

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Pustaka

1. Marpol 73/78 Annex IV

a. Definisi

MARPOL (*Marine Pollution*) merupakan sebuah regulasi internasional yang bertujuan untuk mencegah polusi di laut. MARPOL 73/78 adalah sebuah konvensi internasional yang bertujuan untuk mencegah pencemaran yang berasal dari kapal-kapal. pembuangan *sewage* dan limbah mentah dari kapal telah di atur dalam MARPOL Annex IV dengan tujuan melindungi kualitas air laut dan kesehatan publik melalui persyaratan teknis dan prosedural bagi kapal serta kewajiban penyediaan fasilitas penerimaan di pelabuhan (Andrian, 2023).

Sesuai aturan Marpol Annex IV yang berbunyi "*Prevention of pollution by sewage from ships*" aturan ini berlaku untuk kapal internasional yang memenuhi kriteria tonase atau kapasitas pengangkutan orang, umumnya kapal baru lebih dari 400 GT atau kapal baru kurang dari 400 GT tetapi mempunyai sertifikasi untuk membawa lebih dari 15 orang pada pelayaran internasional kapal-kapal tersebut wajib distandarisasi sesuai Annex IV dan dinilai untuk penerbitan sertifikat ISPP. Pengaturan ini mencakup aspek teknis, operasional, dan administratif (Marpol 73/78 Annex I-VI, n.d.)

b. Persyaratan instalasi di kapal

Persyaratan instalasi di kapal sesuai ketentuan MARPOL Annex IV, setiap kapal yang tercakup harus dilengkapi dengan salah satu dari tiga fasilitas yaitu pertama,

Sewage Treatment Plant (STP) yang telah disetujui dan bersertifikat oleh otoritas yang berwenang, kedua Sistem penghancuran dan desinfektan limbah yang memenuhi statifikasi harus dilengkapi dengan fasilitas untuk menyimpan limbah sementara, ketika kapal kurang dari 3 mil laut dari daratan terdekat, ketiga, holding tank berkapasitas memadai untuk menampung seluruh limbah domestik hingga dapat dibuang ke fasilitas penerima darat atau sampai terpenuhi syarat pembuangan di laut sesuai jarak dan kondisi yang ditetapkan (Kusuma et al., 2023).

c. Prinsip pembuangan *sewage*

Pembuangan *sewage* (limbah domestik kapal) ke laut pada prinsipnya dilarang, kecuali apabila memenuhi persyaratan tertentu sebagaimana diatur dalam Marpol Annex IV. Ketentuan tersebut menyatakan bahwa limbah hanya dapat dibuang apabila telah melalui proses pengolahan yang sesuai standar (Hadi et al., 2024). Pertama, *sewage* dapat dibuang ke laut apabila telah diolah menggunakan *Sewage Treatment Plant* (STP) yang telah disetujui oleh otoritas berwenang dan hasil olahannya tidak menimbulkan padatan mengapung maupun perubahan warna air laut di sekitar area pembuangan. Kedua, apabila kapal tidak memiliki STP, *sewage* masih dapat dibuang asalkan telah dicacah dan didesinfeksi, serta dilakukan pada jarak lebih dari 3 mil laut dari daratan terdekat. Ketiga, untuk *sewage* yang belum dicacah atau tidak didesinfeksi, pembuangan hanya diperbolehkan apabila kapal berada pada jarak lebih dari 12 mil laut dari pantai terdekat dan dalam kondisi sedang berlayar dengan kecepatan tertentu biasanya tidak kurang dari 4 knot (Uzma Nafik, 2024).

d. Sertifikasi *International Sewage Pollution Prevention* (ISPP)

Kapal yang tunduk Annex IV wajib memiliki *International Sewage Pollution Prevention* (ISPP) *Certificate* sebagai bukti ketaatan terhadap persyaratan teknis dan operasional Annex IV. Formulir dan isi sertifikat diatur pada lampiran Annex IV (*form of certificate*) dan harus memuat informasi tentang sistem *sewage* kapal (STP, comminuter, holding tank) dan kapasitasnya (Saputra, 2022).

2. *Sewage Treatment Plant* (STP)

a. Definisi

Sewage Treatment Plant merupakan permesinan bantu yang berfungsi untuk menguraikan limbah kotoran buangan kamar mandi sebelum dibuang kelaut (Raharja, 2024). Apabila kotoran limbah manusia secara langsung dibuang ke laut maka akan mencemari lingkungan laut. Penecemaran itulah yang nantinya membuat biota-biota laut menjadi mati, menimbulkan bau yang tidak enak, dan membuat lingkungan laut menjadi kotor.



Gambar 2. 1 Sewage Tank
Sumber : KM. Mutiara Berkah II

b. Jenis- Jenis Sewage Dikapal

Jenis-jenis sewage dikapal umumnya dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu black water dan grey water, yang masing-masing memiliki karakteristik dan tingkat risiko pencemaran yang berbeda.

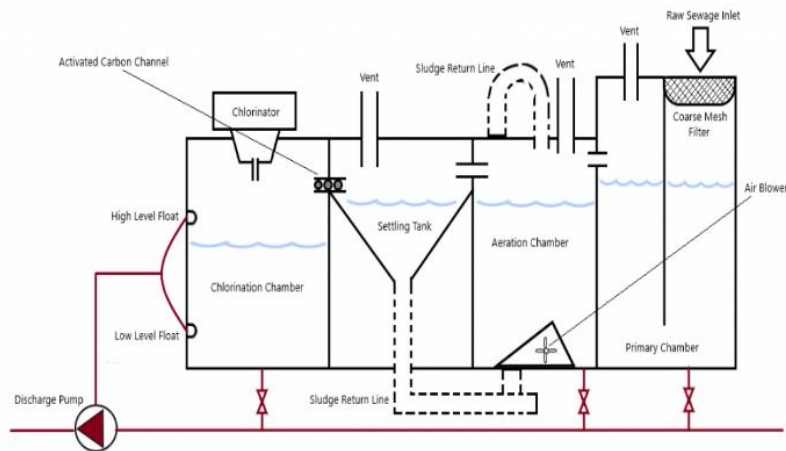
Black water adalah limbah cair yang berasal dari toilet, urinoar, kloset ruang medis, serta seluruh buangan yang mengandung kotoran manusia. Limbah jenis ini memiliki potensi pencemaran yang sangat tinggi karena mengandung bakteri patogen, virus, parasit, dan bahan organik yang dapat menyebabkan penurunan kualitas perairan secara signifikan apabila dibuang tanpa pengolahan. Oleh karena itu, black water merupakan jenis limbah yang secara langsung diatur dalam MARPOL 73/78 Annex IV dan wajib diolah terlebih dahulu menggunakan Sewage Treatment Plant (STP) atau disimpan dalam holding tank sampai kapal berada pada jarak pembuangan yang diperbolehkan.

Sementara itu, grey water adalah limbah cair yang berasal dari aktivitas domestik awak kapal, seperti air bekas mandi, air cucian tangan, air dapur atau galley, air cucian pakaian, serta buangan dari area akomodasi lainnya. Meskipun grey water tidak mengandung kotoran manusia, limbah ini tetap memiliki kandungan bahan organik, minyak, lemak, deterjen, dan sisa makanan yang dapat mengganggu kualitas lingkungan laut. Grey water tidak secara spesifik diatur dalam Annex IV, namun jumlahnya sering kali lebih besar daripada black water dan tetap berpotensi mencemari perairan apabila tidak dikelola dengan baik. Pada banyak kapal modern, grey water dialirkan ke STP agar proses pengolahan lebih terpadu dan hasil buangannya memenuhi standar lingkungan yang berlaku.

c. Prinsip kerja *Sewage Treatment Plant* (STP)

Prinsip kerja STP terdiri atas beberapa tahapan proses yang berlangsung secara bertahap untuk mengolah limbah domestik sebelum dibuang ke laut. Tahapan pertama adalah pra-pengolahan, yaitu proses penyaringan awal untuk memisahkan kotoran berukuran besar seperti plastik, kertas, dan pasir. Tahap ini berfungsi melindungi unit pengolahan berikutnya agar tidak mengalami kerusakan atau penyumbatan (Kristiyono, 2025). Tahap kedua adalah pengolahan primer, yaitu proses pengendapan untuk memisahkan partikel padat berukuran besar sehingga dapat menurunkan kadar zat padat tersuspensi dalam air limbah.

Setelah itu, limbah yang telah melalui pengolahan primer masuk ke tahap pengolahan sekunder, yaitu proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme baik dengan bantuan oksigen maupun tanpa oksigen (Amalia & Prayitno, 2024). Proses ini bertujuan menurunkan kadar zat pencemar seperti kebutuhan oksigen biokimia dan kebutuhan oksigen kimia secara signifikan. Tahap terakhir adalah pengolahan tersier dan desinfeksi, yaitu penyaringan lanjutan untuk menghilangkan sisa partikel halus dan zat nutrisi yang masih tertinggal, serta proses pembunuhan bakteri dan mikroorganisme berbahaya menggunakan bahan kimia atau teknologi tertentu. Melalui tahapan tersebut, air hasil olahan menjadi lebih aman dan layak untuk dibuang ke laut tanpa menimbulkan pencemaran lingkungan.



Gambar 2. 2 Bagan Sewage Treatment Plant

Sumber: <https://sl1nk.com/sewagetreatmentplant>

- d. Prosedur perawatan dan strategi pemeliharaan operasi STP di kapal

Dalam penerapannya, STP harus selalu dirawat dan dipelihara dengan baik agar kinerjanya sesuai dengan standar yang diatur dalam MARPOL 73/78 Annex IV tentang pencegahan pencemaran oleh limbah kapal. Perawatan STP mencakup pemeriksaan harian, mingguan, bulanan, hingga tahunan. Pada pemeriksaan harian, awak kapal wajib memastikan bahwa pompa, blower, dan aerator berfungsi dengan baik, memeriksa tekanan udara, suhu, panel kontrol, serta membersihkan saringan dari kotoran padat (Wahyu et al., 2024). Pemeriksaan mingguan dilakukan dengan mengontrol pH, kadar oksigen terlarut, serta memastikan proses biologis berjalan dengan normal. Selain itu, dilakukan juga pembersihan pipa, pelumasan bagian mekanis, dan pengurasan lumpur bila volumenya berlebih.

Pada pemeriksaan bulanan, kegiatan difokuskan pada pencucian atau penggantian filter dan membran, pengujian hasil air buangan, serta kalibrasi sensor seperti pH meter dan DO sensor. Sementara itu, pemeriksaan tahunan

dilakukan secara menyeluruh dengan melakukan overhaul sistem, mengganti komponen yang aus, dan mengecek ulang sertifikat serta kesesuaian STP dengan ketentuan MARPOL Annex IV (Dirhamsyah, 2025). Agar sistem STP tetap efisien, diterapkan beberapa strategi pemeliharaan seperti preventive maintenance yang dilakukan secara rutin untuk mencegah kerusakan dini, predictive maintenance yang memanfaatkan data sensor untuk memperkirakan kapan peralatan perlu diservis, serta corrective maintenance yang dilakukan setelah terjadi kerusakan.

e. Jenis teknologi STP yang umum pada kapal

Secara umum, terdapat tiga jenis teknologi utama yang digunakan, yaitu *biological system*, *physical-chemical system*, dan *combined system*. Teknologi biologis merupakan jenis yang paling umum digunakan di kapal karena efisien dan ramah lingkungan. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan mikroorganisme (bakteri aerob maupun anaerob) untuk menguraikan bahan organik dalam limbah. Proses ini biasanya terjadi dalam tangki aerasi yang dilengkapi blower udara untuk menjaga suplai oksigen. Hasil penguraian kemudian disaring dan diklorinasi sebelum dibuang ke laut.

Selain itu, terdapat teknologi *physical-chemical system* yang menggunakan proses kimia dan fisik, seperti koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi. Jenis ini cocok digunakan pada kapal yang memiliki keterbatasan ruang atau beban limbah yang bervariasi. Sistem ini menggunakan bahan kimia seperti klorin, alum, atau polimer untuk mengikat partikel padat dan menurunkan kadar polutan sebelum air buangan dilepaskan ke laut. Meskipun cepat dan efektif, sistem ini memerlukan kontrol ketat terhadap

dosis bahan kimia agar tidak menimbulkan pencemaran sekunder (Fitri, 2025).

Jenis ketiga adalah *combined system*, yaitu gabungan antara proses biologis dan fisik-kimia yang dirancang untuk mencapai hasil pengolahan yang lebih sempurna. Sistem ini mengombinasikan keunggulan efisiensi biologis dengan efektivitas filtrasi kimia, sehingga kualitas effluent yang dihasilkan lebih stabil dan memenuhi standar internasional (Yunita, 2025). Penggunaan sistem kombinasi ini banyak diterapkan pada kapal modern yang beroperasi di wilayah dengan regulasi lingkungan yang ketat. Dengan memahami jenis-jenis teknologi STP tersebut, operator kapal dapat memilih sistem pengolahan yang paling sesuai dengan kebutuhan operasional, kapasitas awak kapal, serta tuntutan regulasi internasional yang berlaku.

f. Bahan Kimia yang Digunakan dalam STP

Dalam proses pengolahan limbah, STP memerlukan beberapa jenis bahan kimia untuk menjamin efektivitas proses. Bahan kimia tersebut meliputi klorin (chlorine tablet atau sodium hypochlorite) sebagai agen disinfeksi, bio-enzim atau microbial additive untuk meningkatkan aktivitas bakteri aerob, serta koagulan seperti PAC, alum, atau ferric chloride untuk membantu proses pengendapan padatan ketika limbah memiliki konsentrasi tinggi. Bahan penyesuai pH seperti sodium hydroxide (NaOH) dan sulfuric acid (H_2SO_4) digunakan untuk menjaga kestabilan lingkungan bakteri. Selain itu, defoamer digunakan untuk mengatasi busa berlebih, sedangkan odor neutralizer ditambahkan untuk mengurangi bau akibat pembentukan gas H_2S . Pada sistem tertentu, polimer digunakan untuk membantu proses pengolahan lumpur atau sludge dewatering.

g. Komponen-komponen *sewage treatment plant*

Menurut (Eriko, 2024), Pada pesawat bantu *sewage treatment plant* mempunyai komponen-komponen yang memiliki fungsinya masing-masing. Komponen-komponen tersebut menunjang pesawat bantu *sewage treatment plant* dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsinya, antara lain:

1) Tangki Aerasi (*Aeration* atau *Biofilter Tank*)

Merupakan tangki pengolahan tinja atau air kotor untuk proses menghidupkan bakteri. Pada tangki ini terjadi proses penghancuran limbah oleh tekanan udara yang berasal dari aeration blower.

2) Tangki Pengendap atau Sedimentasi (*Primary* atau *Secondary Settling Tank*)

Merupakan sebuah tangki yang berfungsi untuk mengendapkan lumpur dan padatan sehingga air akhir menjadi lebih jernih sebelum tahap sterilisasi (discharge).

3) Pompa Pembuangan (*Discharge* atau *Sewage Pump*)

Merupakan pompa yang memiliki fungsi untuk memindahkan limbah yang telah diolah menuju titik pembuangan (mis. laut) atau ke proses selanjutnya dapat bekerja otomatis atau manual.

4) Sistem Aeration Blower atau Jet Aerator

Merupakan bagian dari *sewage treatment plant* yang berfungsi untuk memberi suplai udara untuk proses penghidupan bakteri dengan cara menarik udara dari atmosfer.

5) Sistem Kontrol dan Panel Elektrik

Merupakan pengendali semua komponen pada *sewage treatment plant*. Control panel berbentuk tombol

atau switch yang terhubung pada rangkaian listrik.

6) Unit Disinfeksi (*Chlorination* atau *Sterilization compartment*)

Merupakan tahap akhir dari STP untuk membunuh patogen sebelum air dibuang, misalnya dengan penggunaan klorin atau tablet desinfektan atau metode lain sesuai MARPOL.

7) Tangki Penampungan (*Equalization Tank*)

Merupakan sebuah tangki yang berfungsi sebagai buffer (penyangga) aliran dan sebagai lokasi pengadukan ataupun penyetaraan konsentrasi limbah sebelum ke proses utama.

8) Biofilter (Media Biologis)

Merupakan komponen *sewage treatment plant* yang berfungsi untuk menyaring sampah atau kotoran kecil yang masuk ke dalam proses pengolahan. Sehingga, sampah atau kotoran yang tersaring pada biofilter tidak dapat ikut dibuang ke laut yang memungkinkan mencemari lingkungan laut.

3. Faktor Kepatuhan Organisasi

Faktor kepatuhan organisasi merujuk pada berbagai unsur yang memengaruhi sejauh mana suatu organisasi atau individu mematuhi peraturan dan standar yang berlaku, termasuk dalam konteks keselamatan dan lingkungan di kapal. Kepatuhan tidak hanya ditentukan oleh adanya peraturan, tetapi juga oleh sejauh mana peraturan tersebut dipahami, diterapkan, dan dihargai oleh seluruh anggota organisasi. Salah satu faktor utama adalah pengetahuan, yaitu tingkat pemahaman individu terhadap isi, tujuan, dan manfaat regulasi. Ketika awak kapal memahami pentingnya aturan seperti MARPOL 73/78 Annex

IV, mereka akan lebih sadar dan termotivasi untuk mematuhi. Sebaliknya, kurangnya pengetahuan dapat menyebabkan pelanggaran yang tidak disengaja.

Faktor kedua adalah sanksi, yang berfungsi sebagai pengendali perilaku. Adanya sanksi tegas terhadap pelanggaran dapat meningkatkan rasa tanggung jawab dan mencegah terjadinya penyimpangan. Selain itu, fasilitas dan sarana pendukung juga berperan penting dalam memastikan kepatuhan. Misalnya, ketersediaan alat pengolahan limbah seperti *Sewage Treatment Plant* (STP) yang berfungsi baik akan memudahkan awak kapal dalam menerapkan ketentuan pengolahan limbah. Tanpa fasilitas yang memadai, kepatuhan terhadap regulasi sering kali sulit diwujudkan meskipun kesadaran sudah tinggi.

Selanjutnya, budaya keselamatan (*safety culture*) menjadi faktor kunci dalam membangun kepatuhan berkelanjutan. Budaya ini terbentuk dari kebiasaan, nilai, dan sikap positif seluruh anggota organisasi terhadap keselamatan dan tanggung jawab lingkungan. Organisasi yang memiliki budaya keselamatan kuat cenderung memiliki tingkat kepatuhan yang tinggi karena setiap individu merasa memiliki tanggung jawab moral, bukan hanya kewajiban formal. Dengan demikian, kombinasi antara pengetahuan, penerapan sanksi, dukungan fasilitas, dan pembentukan budaya keselamatan yang baik akan menciptakan sistem organisasi yang patuh, profesional, dan berkelanjutan dalam menjalankan regulasi yang berlaku.

4. Penelitian Terdahulu

a. Hasil penelitian Aliful Uzma Nafik (2024)

Penelitian Aliful Uzma Nafik (2024), berjudul “Analisis Kurang Optimalnya Kinerja *Sewage Treatment Plant*

terhadap Kelestarian Lingkungan Laut di MV. Pan Energen”. Penelitian ini merupakan penelitian yang menggunakan metode deskriptif kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab utama kurang optimalnya kinerja STP di MV. Pan Energen adalah kerusakan pada *discharge pump*, *aeration blower*, serta *mechanical seal* yang menyebabkan proses pengolahan limbah tidak berjalan sebagaimana mestinya. Akibatnya, limbah domestik langsung dibuang ke laut tanpa melalui proses biologis yang sesuai, sehingga meningkatkan risiko pencemaran lingkungan laut.

Kesimpulan dari hasil penelitian ini yaitu kegagalan fungsi STP di kapal yang berdampak pada pencemaran laut dan ketidakpatuhan terhadap MARPOL Annex IV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab utama kurang optimalnya kinerja STP di MV. Pan Energen adalah kerusakan pada *discharge pump*, *aeration blower*, serta *mechanical seal* yang menyebabkan proses pengolahan limbah tidak berjalan sebagaimana mestinya. Akibatnya, limbah domestik langsung dibuang ke laut tanpa melalui proses biologis yang sesuai, sehingga meningkatkan risiko pencemaran lingkungan laut (Aliful, 2024).

b. Hasil penelitian Antares Rifka (2021)

Penelitian Antares Rifka (2021), berjudul “ Analisis menurunnya kinerja *sewage treatment plant* terhadap lingkungan laut di MT. Bintang samudra”. Penelitian ini merupakan penelitian yang menggunakan metode deskriptif kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab utama kurang optimalnya kinerja STP di MT. Bintang Samudra Adalah penurunan tekanan pompa pembuangan, Kurangnya suplai udara di tangki aerasi , Pipa udara yang kotor dan Non-Return Valve yang rusak. sistem STP yang

tidak berfungsi dengan baik menghasilkan pembuangan limbah yang belum cukup terolah, menyebabkan kondisi laut di sekitar kapal menjadi lebih keruh dan tercium bau tidak sedap, yang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia maupun biota laut.

Kesimpulan dari hasil penelitian ini yaitu kinerja STP di kapal MT Bintang Samudra sangat berpengaruh terhadap kelestarian lingkungan laut di sekitar kapal. Penurunan performa sistem pengolahan limbah (termasuk aerasi, pompa, pipa) menyebabkan kapal tidak mampu menjalankan pengolahan sesuai prosedur yang ideal, dan akibatnya limbah dapat dibuang dalam kondisi yang belum layak sehingga mencemari lingkungan laut. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kinerja *sewage treatment plant* sangat berpengaruh terhadap kelestarian lingkungan entah itu diatas kapal maupun lingkungan laut di sekitar kapal MT. Bintang Samudra (Antares Rifka, 2021).

5. Landasan Teori Pendukung

a. Teori Perawatan Mesin

Menurut ((Dhillon, 2021) dalam bukunya yang berjudul "*Robot System Reliability and Safety: A Modern Approach*", terdapat tiga jenis strategi perawatan utama yang umum diterapkan dalam sistem permesinan. Pertama, *preventive maintenance* atau perawatan pencegahan adalah pendekatan perawatan yang dilakukan secara terjadwal dan sistematis sebelum terjadi kegagalan atau kerusakan pada peralatan. Kegiatan ini meliputi inspeksi rutin, pelumasan, penyetelan, dan penggantian komponen yang memiliki umur pakai terbatas. Tujuan dari

perawatan preventif adalah untuk mencegah potensi kerusakan, mempertahankan kinerja optimal, dan memperpanjang umur pakai komponen. Kedua, *corrective maintenance* atau perawatan korektif adalah perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan atau kegagalan fungsi pada suatu peralatan. Pendekatan ini bersifat reaktif di mana perbaikan baru dilakukan ketika masalah sudah muncul dan mengganggu operasi. Karakteristik dari perawatan korektif adalah waktu henti (*downtime*) yang biasanya lebih lama dan biaya perbaikan yang cenderung lebih tinggi karena kerusakan seringkali sudah meluas. Ketiga, *predictive maintenance* atau perawatan prediktif adalah pendekatan perawatan yang didasarkan pada kondisi aktual peralatan yang dipantau secara terus-menerus melalui sensor atau pengukuran parameter tertentu seperti analisis getaran, pencitraan termal, atau analisis pelumas. Tujuannya adalah untuk memprediksi kapan suatu komponen akan gagal sehingga perbaikan dapat dilakukan tepat sebelum kerusakan terjadi.

b. Teori manajemen pengadaan dan ketersediaan suku cadang

Menurut (Christopher, 2021) dalam bukunya yang berjudul "*Global Logistics: New Directions in Supply Chain Management*" edisi ke-8, manajemen rantai pasok didefinisikan sebagai pengelolaan aliran barang, bahan baku, informasi, dan sumber daya keuangan dari pemasok awal hingga pengguna akhir secara efisien dan efektif. Tujuan utamanya adalah untuk memberikan nilai (*value*) kepada pelanggan dengan biaya total yang minimal. Christopher menekankan bahwa manajemen rantai pasok modern di abad ke-21 harus mempertimbangkan aspek digitalisasi melalui penggunaan teknologi digital untuk

melacak aliran barang, integrasi teknologi Industry 4.0 seperti IoT dan *big data*, serta ketahanan rantai pasok (*supply chain resilience*) yaitu kemampuan sistem untuk bertahan dan pulih dari gangguan operasional seperti pandemi atau krisis logistik.

Christopher mengidentifikasi beberapa indikator keberhasilan manajemen rantai pasok yang baik. Indikator pertama adalah ketersediaan stok (*stock availability*), yaitu bahan habis pakai (*consumables*) harus tersedia dalam jumlah yang cukup untuk seluruh periode operasional dan tidak boleh ada kekosongan stok yang mengganggu operasional. Indikator kedua adalah ketepatan waktu pengiriman (*on-time delivery*), yaitu pengiriman bahan harus tiba sebelum persediaan di kapal habis karena keterlambatan dapat menyebabkan gangguan operasional. Indikator ketiga adalah prosedur pengadaan yang terstandarisasi (*standardized procurement procedures*), yaitu perusahaan harus memiliki prosedur yang jelas mengenai permintaan, otorisasi, pemesanan, penerimaan, dan distribusi bahan ke kapal.

c. Teori kompetensi sumber daya manusia

Menurut Organisation for Economic Co-operation and Development ((OECD, 2021) dalam laporan tahunannya yang berjudul "*OECD Skills Outlook 2021: Learning for Life*", kompetensi didefinisikan sebagai kombinasi terintegrasi antara pengetahuan (*knowledge*), keterampilan (*skills*), dan sikap (*attitudes*) yang diperlukan individu untuk berpartisipasi secara efektif dalam dunia kerja dan masyarakat. Ketiga komponen ini saling terkait dan harus dimiliki secara seimbang oleh setiap tenaga kerja.

Komponen pertama adalah pengetahuan (*knowledge*), yaitu informasi faktual dan teoretis yang dipahami seseorang tentang suatu subjek. Dalam konteks pengoperasian STP di kapal, pengetahuan yang diperlukan meliputi pemahaman tentang prinsip kerja STP yang mencakup proses aerasi, sedimentasi, dan disinfeksi, pengetahuan tentang komponen-komponen STP beserta fungsinya, pemahaman tentang regulasi MARPOL Annex IV yang mengatur pembuangan *sewage*, serta pengetahuan tentang prosedur keselamatan dalam pengoperasian STP. Komponen kedua adalah keterampilan (*skills*), yaitu kemampuan praktis untuk melakukan tugas atau aktivitas tertentu. Dalam konteks STP, keterampilan yang diperlukan meliputi kemampuan melakukan prosedur *start-up* STP dengan benar, kemampuan memeriksa dan menyetel ketegangan *V-belt*, kemampuan melakukan perawatan dasar seperti pembersihan filter dan pelumasan, kemampuan melakukan *troubleshooting* sederhana jika terjadi masalah, serta kemampuan mengoperasikan panel kontrol dan membaca indikator. Komponen ketiga adalah sikap (*attitudes*), yaitu cara berpikir, nilai, dan disposisi yang mempengaruhi perilaku seseorang. Dalam konteks STP, sikap yang diperlukan meliputi kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah yang benar, tanggung jawab untuk menjaga kebersihan lingkungan laut, disiplin dalam mengikuti prosedur operasional, serta inisiatif untuk memeriksa dan merawat peralatan.

d. Teori pengawasan dan kepatuhan

Menurut (Tyler, 2006) dalam edisi terbaru bukunya yang berjudul "*Why People Obey the Law*", kepatuhan terhadap regulasi dipengaruhi oleh dua faktor utama. Faktor pertama

adalah kepatuhan berbasis pencegahan (*deterrence-based compliance*), yaitu kepatuhan yang didorong oleh rasa takut akan sanksi atau hukuman. Dalam mekanisme ini, individu atau organisasi mematuhi aturan karena khawatir akan konsekuensi negatif seperti denda, penahanan kapal, pencabutan sertifikat, atau tuntutan hukum. Semakin berat dan pasti sanksi yang akan diterima, semakin tinggi efek pencegahannya. Namun, kelemahan dari pendekatan ini adalah kepatuhan hanya bertahan selama ancaman sanksi dirasakan nyata. Ketika pengawasan longgar, kepatuhan cenderung menurun dan pendekatan ini tidak membangun komitmen internal terhadap nilai-nilai aturan.

Faktor kedua adalah kepatuhan berbasis legitimasi (*legitimacy-based compliance*), yaitu kepatuhan yang didorong oleh keyakinan bahwa aturan tersebut adil, penting, dan layak untuk dihormati. Dalam mekanisme ini, individu atau organisasi mematuhi aturan karena kesadaran internal. Mereka percaya bahwa otoritas pembuat aturan (seperti IMO) memiliki hak untuk mengatur dan mereka merasa bertanggung jawab secara moral untuk mematuhi. Kelebihan dari pendekatan ini adalah kepatuhan lebih stabil dan berkelanjutan, tidak tergantung pada kehadiran pengawasan, serta mampu membangun budaya kepatuhan dalam organisasi.

e. Teori dampak pencemaran limbah domestik terhadap lingkungan laut

Menurut (Tuholske et al., 2021) dalam penelitian yang dipublikasikan di jurnal *PLoS ONE* berjudul "*Mapping Global Inputs and Impacts from Human Sewage in Coastal Ecosystems*", limbah domestik manusia yang tidak diolah memberikan dampak signifikan terhadap ekosistem pesisir.

Penelitian ini merupakan studi global pertama yang memetakan input limbah domestik manusia ke ekosistem pesisir dan dampaknya. Temuan utama penelitian ini adalah bahwa limbah domestik manusia menyumbang sekitar 6,2 teragram (setara dengan 6,2 juta metrik ton) nitrogen ke perairan pesisir global setiap tahunnya. Angka ini setara dengan sekitar 40 persen dari total nitrogen yang berasal dari pertanian yang merupakan sumber pencemar terbesar.

Penelitian Tuholske et al. (2021) juga menemukan dampak spesifik pada ekosistem pesisir. Pertama, sekitar 58 persen terumbu karang global terpapar nitrogen berlebih dari limbah domestik. Eksposur ini menyebabkan pemutihan karang (*coral bleaching*), penurunan pertumbuhan karang, dan peningkatan penyakit pada karang. Kedua, sekitar 88 persen padang lamun global terpapar nitrogen dari limbah domestik yang menyebabkan penurunan produktivitas, penggantian spesies, dan degradasi habitat.

f. Teori solusi pengolahan limbah kapal

Menurut International Maritime Organization (IMO, 2021) dalam "*Revised Garbage Management Plan Guidelines*" yang diadopsi melalui Resolusi MEPC.360(79), pengelolaan limbah kapal yang efektif harus didasarkan pada pendekatan hierarki pengelolaan limbah (*waste hierarchy*) yang terdiri dari tiga tingkatan. Tingkat pertama adalah pencegahan (*prevention*), yaitu upaya untuk mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan sejak awal. Strategi yang direkomendasikan meliputi penggunaan peralatan hemat air (*water-saving fixtures*), edukasi awak kapal untuk tidak membuang benda asing ke toilet, penggunaan bahan pembersih yang ramah lingkungan,

serta perawatan rutin untuk mencegah kebocoran dan pemborosan.

Tingkat kedua adalah pengolahan (*treatment*), yaitu memproses limbah melalui sistem yang telah disetujui seperti STP sebelum dibuang. IMO (2021) menetapkan persyaratan bahwa STP harus disetujui oleh otoritas berwenang, *effluent* (air hasil olahan) harus memenuhi standar kualitas dengan BOD5 kurang dari atau sama dengan 50 ppm, SS kurang dari atau sama dengan 50 ppm, dan *coliform fecal* kurang dari atau sama dengan 200 MPN per 100 ml. Selain itu, STP harus dioperasikan sesuai prosedur, perawatan rutin harus dilakukan, dan penggunaan *chlorine tablet* untuk disinfeksi harus tersedia.

Tingkat ketiga adalah pembuangan terkendali (*controlled disposal*). IMO (2021) mengatur bahwa jika pengolahan tidak memungkinkan, limbah harus dibuang dengan mematuhi ketentuan yang berlaku sesuai MARPOL Annex IV atau diserahkan ke fasilitas penerima (*reception facilities*) di pelabuhan. Ketentuan pembuangan ke laut meliputi limbah yang telah diolah STP dapat dibuang di semua perairan, limbah yang telah dicacah dan didesinfeksi hanya dapat dibuang pada jarak lebih dari 3 mil laut dari daratan terdekat, sedangkan limbah mentah hanya dapat dibuang pada jarak lebih dari 12 mil laut dari daratan terdekat dengan kecepatan kapal minimal 4 knot.

IMO juga menekankan beberapa komponen penting dalam kepatuhan pengelolaan limbah. Komponen pertama adalah pelatihan awak kapal di mana seluruh awak kapal harus dilatih tentang prosedur pengelolaan limbah termasuk operasi, perawatan, dan pencatatan, serta pelatihan berkala diperlukan untuk mempertahankan kompetensi. Komponen

kedua adalah pencatatan dalam *Garbage Record Book* di mana setiap pembuangan limbah harus dicatat meliputi tanggal, posisi kapal, jenis limbah, dan perkiraan volume sebagai bukti kepatuhan saat inspeksi. Komponen ketiga adalah rencana pengelolaan limbah (*Garbage Management Plan*) di mana setiap kapal dengan ukuran 100 GT ke atas harus memiliki rencana tertulis yang mencakup prosedur pengumpulan, pengolahan, penyimpanan, dan pembuangan limbah yang telah disetujui oleh otoritas berwenang.

B. Kerangka Pikir

Tabel 2. 1 Kerangka Pikir

