

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. KEBIJAKAN MARITIM INDONESIA

Kebijakan maritim Indonesia telah berkembang dalam mendukung pengelolaan transportasi laut nasional, namun implementasinya dalam konteks pengurangan emisi masih terbatas dibandingkan dengan standar internasional yang ditetapkan oleh International Maritime Organization (IMO) dalam strategi dekarbonisasi sektor pelayaran (IMO, 2023). Indonesia telah memiliki berbagai regulasi di sektor pelabuhan dan pelayaran, namun sebagian besar belum secara eksplisit mengatur target pengurangan emisi atau implementasi zero emission sebagaimana yang direkomendasikan dalam kebijakan global sektor maritim (UNCTAD, 2022). Dibandingkan dengan kebijakan global, seperti strategi IMO yang menargetkan net-zero emission pada tahun 2050 melalui penggunaan bahan bakar alternatif dan peningkatan efisiensi energi kapal, kebijakan maritim Indonesia masih berada pada tahap awal dalam mengintegrasikan aspek dekarbonisasi ke dalam regulasi pelabuhan dan pelayaran (IMO, 2023). Meskipun demikian, kebijakan yang ada tetap memberikan dasar awal bagi pengembangan pelabuhan hijau, namun masih diperlukan penguatan dalam aspek teknologi dan regulasi untuk mendukung implementasi zero emission secara komprehensif (Notteboom et al., 2021).

2.1.1 Sejarah dan Perkembangan Kebijakan Maritim di Indonesia

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau, sehingga memiliki sejarah panjang dalam pengelolaan laut dan kemaritiman yang dimulai sejak era kerajaan maritim Nusantara seperti Sriwijaya dan Majapahit (Trisnanto, 2017). Sistem kemaritiman pada masa tersebut menjadi tulang punggung perekonomian dan kebudayaan, dan pengelolaan laut dilakukan secara tradisional dengan prinsip keseimbangan ekologis (Firman, 2021).

Setelah kemerdekaan Indonesia, modernisasi dan pengelolaan sektor maritim menjadi prioritas nasional terutama pada era Orde Baru dengan pembentukan lembaga pemerintah yang mengatur aspek pelayaran, perikanan, dan sumber daya laut. Pengelolaan pada masa ini bersifat sentralistik dengan

tujuan optimalisasi laut sebagai sumber kemakmuran, namun koordinasi antar lembaga dan perhatian terhadap isu lingkungan masih kurang (Susanto, 2015).

Memasuki era reformasi dan masa jabatan Presiden Joko Widodo, paradigma pembangunan kemaritiman berubah signifikan dengan peluncuran program "Poros Maritim Dunia" sebagai tonggak strategis. Fokus kebijakan kini menitikberatkan tidak hanya pada konektivitas dan pembangunan infrastruktur pelabuhan, tapi juga pada pelestarian lingkungan laut dan pengurangan dampak negatif aktivitas maritim (Amir, 2022). Pemerintah Indonesia mendorong penguatan kelembagaan lintas sektor, pengembangan teknologi hijau di pelayaran dan pelabuhan, serta harmonisasi standar internasional di sektor maritim demi menjadikan Indonesia negara maritim yang berkelanjutan (Hidayat, 2020).

Transformasi tersebut mencerminkan upaya nyata Indonesia untuk kembali mengaktifkan perannya sebagai kekuatan maritim utama di kawasan dan dunia dengan memperhatikan aspek keberlanjutan dan mitigasi perubahan iklim (Wahyudi, 2023).

2.1.2 Komitmen Indonesia terhadap Pengurangan Emisi di Sektor Maritim

Indonesia telah menunjukkan komitmen yang mendalam untuk mengatasi perubahan iklim dengan memasukkan tujuan pengurangan emisi dalam sektor maritim ke dalam kerangka kebijakan nasionalnya. Melalui Rencana Nasional untuk Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GHG), pemerintah bertujuan untuk pengurangan emisi independen sebesar 29% dan potensi pengurangan hingga 41% dengan dukungan kerja sama internasional pada tahun 2030, termasuk sektor transportasi laut, yang berfungsi sebagai kontributor substansial emisi karbon. (KLHK, 2023).

Pemerintah juga aktif mengimplementasikan langkah-langkah strategis seperti pengembangan bahan bakar alternatif ramah lingkungan untuk kapal, peningkatan efisiensi energi kapal, serta penguatan regulasi emisi yang mengacu pada standar global seperti konvensi MARPOL Annex VI (Kemenhub, 2023). Selain itu, Indonesia terlibat aktif dalam forum internasional seperti IMO (*International Maritime Organization*) dan ASEAN Maritime Forum untuk

memperkuat komitmen kolaboratif dalam pengurangan emisi sektor maritim (Amir, 2022).

Upaya ini didukung oleh berbagai program pendanaan dan penelitian yang mendorong inovasi teknologi hijau serta peningkatan kapasitas pengawasan dan penegakan hukum terkait emisi kapal. Tantangan yang dihadapi termasuk ketersediaan infrastruktur bahan bakar ramah lingkungan di pelabuhan dan kesiapan armada kapal domestik dalam mengadopsi teknologi baru (Wahyudi, 2023).

Dengan demikian, komitmen Indonesia terhadap pengurangan emisi sektor maritim tidak hanya berbasis rencana kebijakan, tetapi juga diiringi langkah implementatif yang terus berkembang (Firman, 2021).



Sumber : <https://www.forestdigest.com/detail/910/target-emisi-indonesia-kurang-ambisius>

Gambar 2.1. Skenario Target Penurunan Emisi di Indonesia

2.1.3 Peta Jalan Penurunan Pelepasan Gas Rumah Kaca di Industri Kelautan Indonesia Menuju Nol Bersih 2050

Peta jalan penurunan pelepasan gas rumah kaca di industri kelautan Indonesia disusun sebagai arahan strategis guna meraih sasaran nol bersih pada 2050, yang selaras dengan penyempurnaan Kontribusi yang Ditentukan Secara Nasional (NDCs) Indonesia tahun 2021 serta Strategi GHG Kelautan IMO yang diperbaharui pada 2023. Strategi ini menitikberatkan pada pemangkasan pelepasan CO₂, NO_x, serta SO_x secara bertingkat, dengan sasaran negara pengurangan 29% pada 2030 (otonom) atau 41% (bersama bantuan luar), 50% pada 2040, dan 100% pada 2050, lewat keterlibatan Kementerian Perhubungan

(Kemenhub), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), serta Pelindo (Kementerian Perhubungan, 2022). Pelaksanaan mencakup uji coba awal di dermaga prioritas seperti Tanjung Priok dan Patimban, diikuti penyebaran ke daerah terpencil guna mencegah ketidakmerataan dan memaksimalkan pengelolaan arus kapal pengangkut serta ro-ro tanpa menimbulkan kepadatan kegiatan (*International Maritime Organization*, 2023). Peta jalan ini dibagi berdasarkan tonggak waktu tahunan untuk menjamin kemampuan pengukuran, dengan prioritas pada dukungan keuangan, pengembangan sumber daya manusia, dan pengawasan melalui jaringan digital domestik.

➤ **2025: Tahap Fondasi dan Uji Coba Awal**

Di 2025, fokus utama adalah membangun infrastruktur dasar untuk transisi awal, dengan target pengurangan emisi gas rumah kaca maritim 10-15% dari baseline 2020 melalui pilot di 5-10 pelabuhan utama. Kegiatan inti mencakup penegakan ketat LSFO sesuai Lampiran VI MARPOL, serta konversi 20% kapal domestik ke LNG sebagai jembatan energi yang memangkas emisi CO₂ hingga 25% per kapal dibanding HFO (Kementerian ESDM, 2023). Untuk inovasi, mulai uji coba TOS berbasis AI di Tanjung Priok guna optimalisasi bongkar muat (Pelindo, 2022). Masukkan kapal tunda listrik-diesel (5-10 unit) di Patimban dan Tanjung Perak, diisi ulang via jaringan listrik, untuk kurangi emisi lokal di dermaga hingga 30% dari aktivitas penarikan—krusial hadapi aturan *zero emission* (Hadi & Wijaya, 2023). Yang perlu dilakukan: Alokasikan Rp5-10 triliun untuk subsidi LNG dan fasilitas pengisian, latih 5.000 tenaga maritim via Kemenhub, lakukan audit tahunan untuk kepatuhan, serta berikan insentif pajak bagi armada baru (Sari et al., 2023).

➤ **2030: Pelaksanaan Awal dan Penguatan Sarana**

Tahun 2030 capai target NDC awal dengan pengurangan emisi maritim 29%, lewat transisi 40% kapal domestik ke LNG atau biofuel B30 (campur 30% dari sawit lokal), yang turunkan emisi CO₂ hingga 35% dan dukung kenaikan *traffic* 20% tanpa tambah emisi infrastruktur (KLHK, 2021). Untuk kapal tunda, terapkan luas 50-100 unit listrik

murni di pelabuhan besar, dengan pengisian surya di dermaga—pangkas emisi SO_x/NO_x hingga 80% di area urban, fasilitasi arus ro-ro lebih efisien (Kusuma & Rahman, 2022). Yang perlu dilakukan: Bangun 20 stasiun bunkering LNG/biofuel di pelabuhan regional (Sorong, Ambon), terapkan disinsentif pajak karbon Rp50/kg CO₂ untuk HFO, kolaborasi IMO untuk transfer teknologi, latih 20.000 pekerja maritim, dan monitoring satelit untuk verifikasi (IMO, 2023).

➤ **2035: Ekspansi Teknologi dan Transisi Menengah**

Pada 2035, target pengurangan emisi 40%, lewat penggantian 60% armada domestik ke biofuel B40 atau LNG, plus uji coba e-ammonia di rute pendek (Jawa-Bali) untuk nol emisi via produksi hijau—optimalkan traffic feeder naik 30% akibat logistik hijau (Nugraha & Sari, 2023). Kapal tunda listrik skala penuh (200+ unit nasional), termasuk model otonom malam hari—turunkan emisi dermaga 50% dan dukung *zero emission zone* di pelabuhan utama (Indah et al., 2023). Yang perlu dilakukan: Investasi Rp20-30 triliun untuk jaringan *bunkering e-fuels*, revisi regulasi Kemenhub mandat B40, bangun 10 pusat pelatihan AI maritim provinsi, serta evaluasi via CII IMO berdasarkan data traffic (Wahyudi & Pratiwi, 2022).

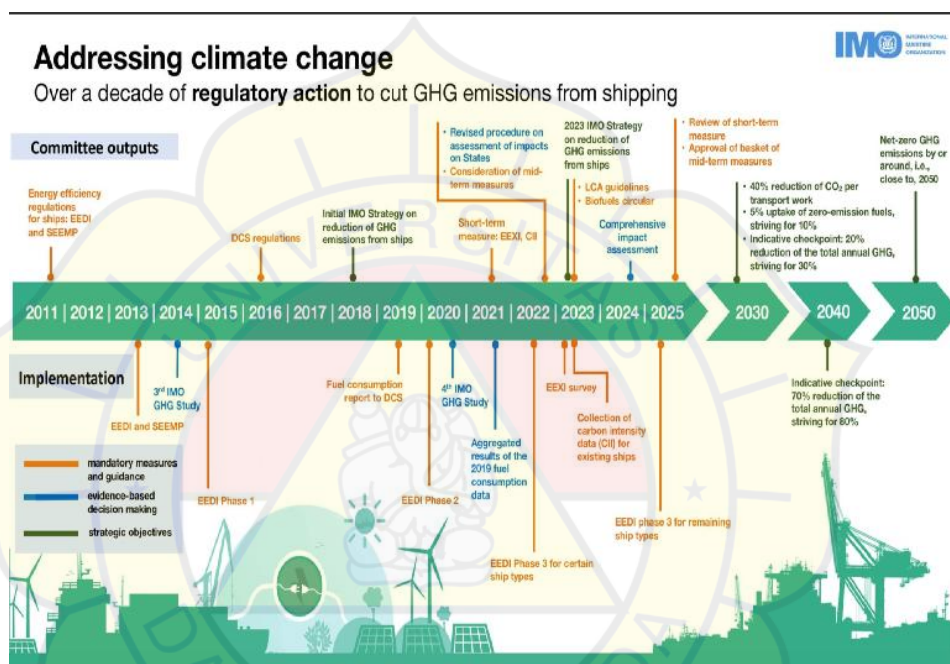
➤ **2040: Konsolidasi Dekarbonisasi dan *Optimalisasi Traffic***

Tahun 2040 target pengurangan emisi 50% dari baseline, dengan 80% kapal domestik ke LNG, B40, atau hidrogen hijau—*e-fuels* standar untuk kapal besar, tingkatkan *traffic* domestik 50% via efisiensi energi dan kurangi biaya operasional 20-30% (Fauzi et al., 2021). Kapal tunda listrik norma (500+ unit baterai terbarukan)—turunkan emisi lokal 70% dan fasilitasi kapal otonom untuk arus ro-pax padat (Sutrisno et al., 2023). Yang perlu dilakukan: Kembangkan infrastruktur hidrogen di 50 pelabuhan, pajak karbon progresif Rp100/kg CO₂, integrasi roadmap ASEAN untuk transfer pengetahuan, audit emisi tahunan, serta subsidi UMKM agar 90% armada patuh (Kemenhub, 2022).

➤ **2050: Pencapaian *Net-Zero Emission* dan Keberlanjutan Penuh**

Tahun 2050 capai net-zero emission maritim penuh, dengan 100% kapal domestik pakai energi terbarukan (*e-fuels*, listrik, hidrogen)—hilangkan

emisi residu via *capture-storage*, stabilkan *traffic* tinggi tanpa dampak lingkungan (KLHK, 2021).Kapal tunda listrik dominan (armada otonom penuh)—kontribusi ekosistem pelabuhan hijau yang serap CO₂ lebih banyak dari produksi (Wibowo, 2023).Yang perlu dilakukan: Finalisasi regulasi *net-zero* via undang-undang nasional, alokasi dana hijau internasional untuk pemeliharaan, evaluasi pasca-2050 adaptasi iklim, serta kolaborasi global standar berkelanjutan (Sari & Hidayat, 2022).



Sumber : <https://wwwcdn.imo.org/>
Gambar 2.2. GHG emission for shipping

2.2. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO)

a. Tujuan Pembangunan Berkelanjutan Perserikatan Bangsa-Bangsa

Indonesia telah menunjukkan komitmen yang mendalam untuk mengatasi perubahan iklim melalui masuknya inisiatif pengurangan emisi dalam sektor maritim sebagai prioritas dalam agenda nasionalnya. Pada tahun 2015, total 193 negara meratifikasi Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan bersama dengan penetapan 17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Sebagai komponen integral dari Perserikatan Bangsa-Bangsa, *Organisasi Maritim Internasional (IMO)* dengan tekun memajukan tujuan yang diuraikan dalam Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan. Memang, realisasi sebagian

besar komponen Agenda 2030 bergantung pada pembentukan sektor transportasi berkelanjutan yang mendukung perdagangan internasional dan mendukung ekonomi global. Komite Kerjasama Teknis IMO telah secara resmi mendukung keterkaitan antara inisiatif bantuan teknis Organisasi dan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan.

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan memberikan cetak biru untuk transisi menuju planet yang lebih sehat dan dunia yang lebih adil — untuk generasi sekarang dan masa depan. Dengan target konkret, tujuan untuk mengakhiri kemiskinan dan kelaparan, memperluas akses ke kesehatan, pendidikan, keadilan dan pekerjaan, mempromosikan pertumbuhan ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan, sambil melindungi planet kita dari degradasi lingkungan.

b. Aksi untuk manusia dan planet

Dekade 2020-2030 harus bertindak dan menerapkan tujuan ini, untuk mencapai hal tersebut, Sekretaris Jenderal Perserikatan Bangsa-Bangsa, Antonio Guterres, telah meminta semua pemimpin dunia untuk fokus pada Tujuan Pembangunan Berkelanjutan.

Organisasi Maritim Internasional, sejalan dengan Sekretariat IMO Strategi SDG, bekerja untuk lebih meningkatkan kesadaran akan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan Perserikatan Bangsa-Bangsa dan untuk mendukung Negara-negara Anggota dalam upaya mereka untuk mengimplementasikan Agenda 2030 dan menjadikan 2020-2030 sebagai satu dekade tindakan.



Sumber : *Sustainable Development Goals*
Gambar 2.3. Simbol SDG's

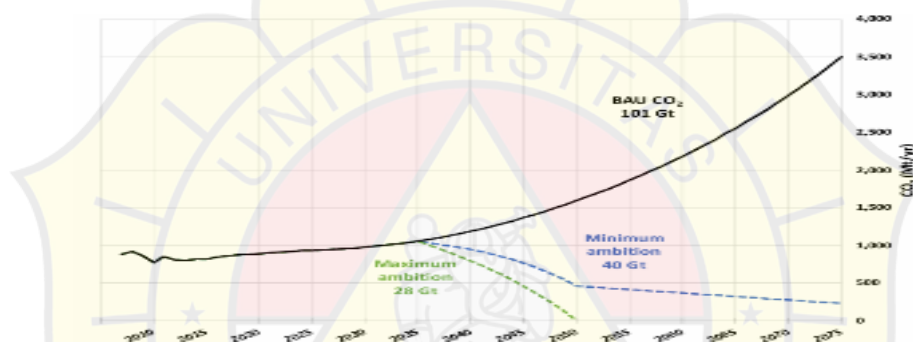
c. IMO Strategy

IMO terus berkontribusi dalam perjuangan global melawan perubahan iklim, dalam mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (GOAL 13), untuk mengambil tindakan mendesak untuk memerangi perubahan iklim dan dampaknya.

Pada tahun 2023, IMO (*International Maritime Organization*) mengadopsi strategi baru untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dari kapal. Berikut adalah beberapa langkah dan strategi utama yang diambil:

1. Visi dan Ambisi

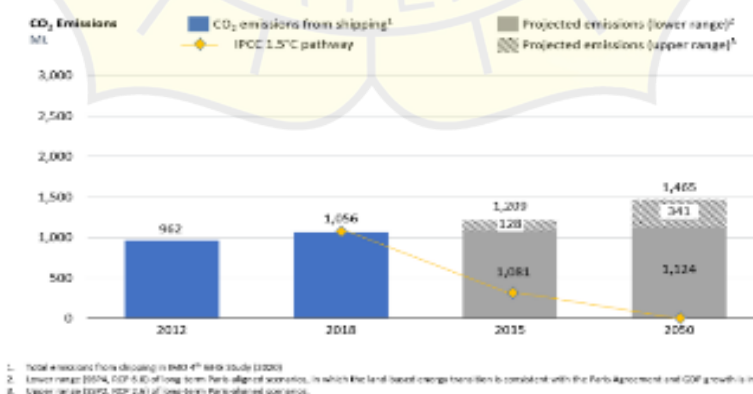
IMO berkomitmen untuk mengurangi emisi GRK dari pelayaran internasional dan bertujuan untuk menghapusnya secepat mungkin. Strategi ini juga menekankan pentingnya transisi secara merata.



Sumber : Studi GRK IMO ke-4 IMO 2020

Gambar 2.4. Emisi CO₂ pelayaran internasional di bawah strategi GRK awal IMO (biru dan hijau) vs. BAU (hitam), dengan emisi kumulatif 2015- 2075.

2. Pengurangan Intensitas Karbon



Sumber: Studi GRK IMO ke-4 IMO 2020

Gambar 2.5. Emisi CO₂

Saat Ini Dan Proyeksi Untuk Skenario Jangka Panjang

Transportasi laut menyumbang sekitar 2,9 persen dari emisi gas rumah kaca (GRK) global. Bahkan memperhitungkan pandemi COVID-19, emisi pengiriman diperkirakan akan tetap stabil atau meningkat secara signifikan, dengan IMO memperkirakan bahwa emisi sektor ini dapat mencerminkan 90-130 persen dari tingkat 2008 pada tahun 2050 untuk jalur yang paling masuk akal yang diidentifikasi dalam studi GRK Keempat (2020).

Seperti yang ditunjukkan dalam gambar, kesenjangan emisi antara kisaran emisi pengiriman yang diproyeksikan dan persyaratan jalur 1,5°C di bawah Perjanjian Paris sangat sulit untuk dicapai. Strategi ini menetapkan target untuk mengurangi intensitas karbon dari pelayaran internasional sebesar 40 persen tahun 2030 dibandingkan tahun 2008.

1) Peningkatan Efisiensi Energi Kapal:

- a) Mengembangkan kapal dengan desain yang lebih aerodinamis dan efisien energi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar.
- b) Memperkuat persyaratan desain efisiensi energi untuk kapal baru melalui *Energy Efficiency Design Index* (EEDI).

2) Penggunaan Teknologi dan Bahan Bakar Rendah Emisi:

- a) Mendorong penggunaan bahan bakar alternatif yang rendah/nol emisi, (LNG, biofuel, dan hidrogen).
- b) Mengadopsi teknologi baru seperti sistem propulsi listrik dan penggunaan energi terbarukan (layar angin dan panel surya).

3. Kerjasama dan Pengembangan Kapasitas serta Penerapan Kebijakan

Strategi ini mencakup langkah-langkah untuk mengatasi hambatan dan mendukung negara-negara anggota melalui pembangunan kapasitas, kerjasama teknis, serta penelitian dan pengembangan.

- a. Regulasi dan Standar. Mengembangkan regulasi dan standar baru untuk mengurangi emisi GRK, termasuk *Carbon Intensity Indicator* (CII) yang mengukur efisiensi karbon kapal selama operasional.

- b. Insentif Ekonomi. Menerapkan insentif ekonomi untuk mendorong adopsi teknologi dan bahan bakar rendah emisi, seperti pajak karbon atau sistem perdagangan emisi.

4. Pemantauan dan Pelaporan

- a. Sistem Pemantauan

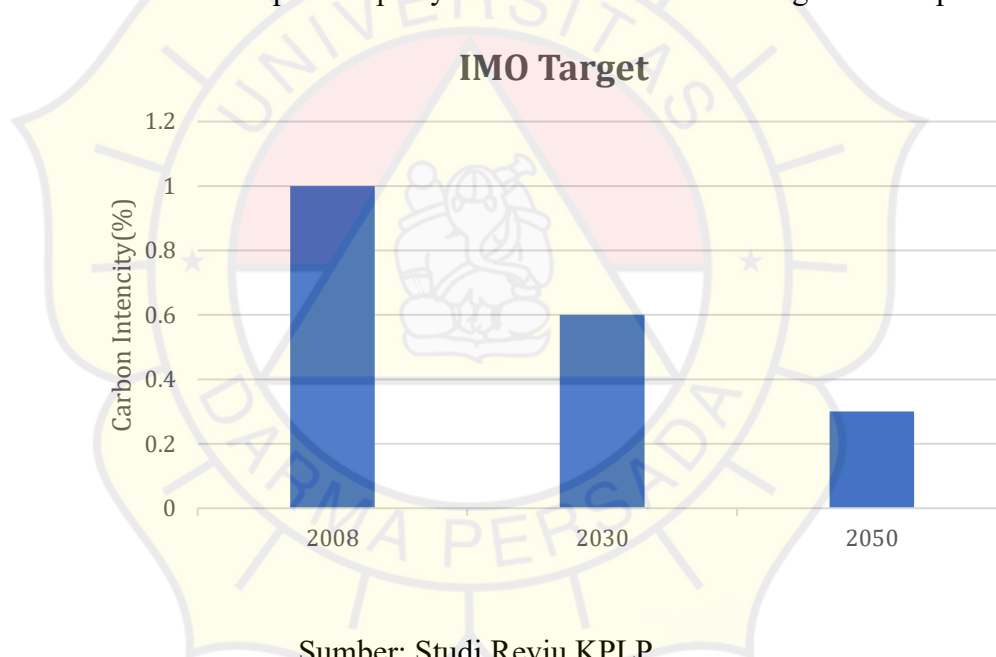
Mengembangkan sistem pemantauan dan pelaporan emisi yang lebih baik untuk memastikan kepatuhan dan transparansi.

- b. Evaluasi Berkala

Melakukan evaluasi berkala terhadap kemajuan dan efektivitas langkah-langkah yang diambil.

5. Peningkatan Efisiensi Energi

IMO berencana untuk terus meningkatkan efisiensi energi kapal baru dan memperkuat persyaratan desain efisiensi energi untuk kapal.



Gambar 2.6. Target IMO Menurunkan Karbon

Tingkat ambisi yang mengarahkan Strategi GRK IMO 2023 sangat tinggi dan mencerminkan komitmen kuat untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari sektor pelayaran. Berikut adalah beberapa poin utama dari tingkat ambisi tersebut:

- a. **Pengurangan Emisi Absolut:** IMO menargetkan pengurangan emisi GRK absolut dari pelayaran internasional sebesar 50 persen pada

tahun 2050 dibandingkan dengan tingkat emisi tahun 2008, dengan tujuan akhir mencapai nol emisi sesegera mungkin dalam abad ini.

- b. **Pengurangan Intensitas Karbon:** Strategi ini menetapkan target pengurangan intensitas karbon dari pelayaran internasional sebesar 40 persen pada tahun 2030 dan 70 persen pada tahun 2050 dibandingkan dengan tahun 2008.
- c. **Penggunaan Bahan Bakar dan Teknologi Rendah Emisi:** IMO mendorong penggunaan bahan bakar dan teknologi yang menghasilkan emisi GRK nol atau hampir nol, dengan target kontribusi minimal 5 persen dari total energi yang digunakan oleh pelayaran internasional pada tahun 2030, dan meningkat secara signifikan setelahnya.
- d. **Transisi yang Adil dan Merata:** Strategi ini juga menekankan pentingnya memastikan bahwa transisi menuju pelayaran rendah emisi dilakukan secara adil dan merata, dengan mempertimbangkan kebutuhan dan kapasitas negara-negara berkembang.

2.3. **CONFERENCE OF THE PARTIES 21 PARIS**

COP21 atau *Paris Agreement* merupakan kesepakatan global yang bertujuan untuk membatasi kenaikan suhu bumi di bawah 2°C melalui pengurangan emisi gas rumah kaca secara signifikan di berbagai sektor (UNFCCC, 2015). Kesepakatan ini menjadi dasar bagi sektor transportasi, termasuk pelayaran, untuk mengurangi emisi karbon melalui kebijakan dekarbonisasi yang dikembangkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) (IMO, 2023). Dalam konteks maritim, implementasi kebijakan tersebut diwujudkan melalui strategi pengurangan emisi kapal dan pengembangan teknologi rendah karbon sebagai bagian dari upaya menuju *zero emission* (UNCTAD, 2022). Oleh karena itu, *Paris Agreement* menjadi landasan penting dalam penelitian ini, khususnya dalam pengembangan model estimasi emisi berbasis konsumsi bahan bakar serta analisis dampak implementasi *zero emission* terhadap lalu lintas kapal domestik (Lindstad et al., 2015).

2.4. PERAN *BLUE ECONOMY* DAN *GREEN ECONOMY* DALAM MENDUKUNG ASTA CIPTA PADA KEBIJAKAN MARITIM INDONESIA UNTUK MENUJU *ZERO EMISSION*

integrasi dua konsep ekonomi berkelanjutan—*Blue Economy* yang berfokus pada pemanfaatan sumber daya laut secara ramah lingkungan dan *Green Economy* yang menekankan pertumbuhan rendah karbon—dalam mendukung Asta Cipta, yaitu delapan pilar pembangunan maritim Indonesia yang mencakup penguatan kedaulatan wilayah laut, pengelolaan sumber daya berkelanjutan, peningkatan konektivitas kepulauan, pengembangan infrastruktur pelabuhan, optimalisasi industri perikanan, penguatan keamanan maritim, pemberdayaan masyarakat pesisir, serta inovasi teknologi kelautan, semuanya diarahkan untuk mencapai target *zero emission* pada 2060 melalui kebijakan maritim nasional seperti Rencana Strategis Kemaritiman 2020-2024 (Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, 2021). *Blue Economy* berperan krusial dengan mempromosikan sektor-sektor seperti transportasi laut hijau dan akuakultur berkelanjutan, yang selaras dengan pilar Asta Cipta seperti pengelolaan sumber daya laut dan konektivitas kepulauan, sehingga mengurangi emisi dari kapal domestik melalui penggunaan biofuel dan infrastruktur pelabuhan ramah lingkungan, yang pada akhirnya mendukung transisi *zero emission* dengan meminimalkan dampak ekologis di perairan Nusantara (World Bank, 2022). Sementara itu, *Green Economy* melengkapi peran ini melalui integrasi energi terbarukan seperti surya dan angin di fasilitas maritim, yang mendukung pilar Asta Cipta terkait inovasi teknologi dan pemberdayaan masyarakat pesisir, misalnya dengan kapal tunda listrik dan sistem monitoring emisi digital, sehingga mempercepat pengurangan emisi CO₂ hingga 50% di sektor maritim domestik menuju *net-zero* pada 2060 (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2023). Secara keseluruhan, kedua ekonomi ini saling melengkapi dalam Asta Cipta untuk membentuk kebijakan maritim holistik yang tidak hanya meningkatkan daya saing ekonomi Indonesia sebagai negara kepulauan, tetapi juga memastikan pelestarian ekosistem laut sambil mencapai *zero emission* melalui kolaborasi antarlembaga seperti Kemenhub dan KKP (Susanto & Rahman, 2022).

2.4.1 Asta Cipta

Asta Cipta adalah sebuah konsep yang diusung oleh pasangan Prabowo-Gibran dalam konteks politik Indonesia. Nama ini mirip dengan “Nawa Cita” yang sebelumnya diusung oleh Presiden Jokowi pada Pilpres 2014. Asta Cipta

bertujuan untuk mewujudkan visi "**Bersama Indonesia Maju Menuju Indonesia Emas 2045**".

a. Isi Asta Cipta

Asta Cipta terdiri dari delapan agenda prioritas yang mencakup berbagai aspek pembangunan nasional, seperti:

- **Peningkatan Kesejahteraan Rakyat:** Fokus pada pengurangan kemiskinan dan peningkatan kualitas hidup masyarakat.
- **Pembangunan Infrastruktur:** Meningkatkan infrastruktur transportasi, energi, dan telekomunikasi untuk mendukung pertumbuhan ekonomi.
- **Pendidikan dan Kesehatan:** Meningkatkan akses dan kualitas pendidikan serta layanan kesehatan.
- **Ekonomi Berkelanjutan:** Mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.
- **Reformasi Birokrasi:** Meningkatkan efisiensi dan transparansi dalam pemerintahan.
- **Keamanan dan Ketertiban:** Memastikan keamanan dan ketertiban di seluruh wilayah Indonesia.
- **Pemberdayaan Daerah:** Meningkatkan otonomi dan pemberdayaan daerah untuk pembangunan yang lebih merata.
- **Kerjasama Internasional:** Meningkatkan kerjasama dengan negara-negara lain untuk memperkuat posisi Indonesia di kancah global.

Asta Cipta ini diharapkan dapat membawa Indonesia menuju visi Indonesia Emas 2045, dengan fokus pada pembangunan yang inklusif dan berkelanjutan.

2.4.2 Blue Economy

Blue Economy merupakan konsep pembangunan yang menekankan pemanfaatan sumber daya laut secara berkelanjutan, termasuk pengendalian dampak lingkungan dari aktivitas pelayaran melalui pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) di sektor maritim (UNCTAD, 2022). Dalam konteks sektor pelayaran, konsep ini mendorong efisiensi operasional kapal serta pengelolaan lalu lintas pelayaran yang berkelanjutan untuk mengurangi dampak lingkungan (Notteboom et al., 2021). Oleh karena itu, Blue Economy menjadi landasan

dalam penelitian ini, khususnya dalam menganalisis hubungan antara aktivitas pelayaran dan emisi yang dihasilkan.

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)

Perjalanan Indonesia menuju pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*) telah memperoleh fondasi kokoh melalui implementasi Peta Jalan SDGs via Peraturan Presiden Nomor 59 Tahun 2017, yang kemudian diperbaharui dengan Peraturan Presiden Nomor 111 Tahun 2022. Peraturan tersebut tidak hanya menyediakan arahan kebijakan dan strategi untuk mencapai target SDGs, tetapi juga menjadi panduan bagi institusi serta pemangku kepentingan di level nasional maupun lokal dalam menyusun, menjalankan, memantau, dan mengevaluasi Rencana Aksi Nasional serta Subnasional. Selain itu, peraturan ini menegaskan peran Menteri Perencanaan Pembangunan Nasional/Bappenas dalam mengoordinasikan pelaksanaan, termasuk pembentukan tim koordinasi dan panel ahli yang sesuai.

Pengembangan ekonomi biru di Indonesia memainkan peran penting dalam upaya mencapai SDGs. Dimasukkannya tujuan khusus untuk laut (SDG 14) menyoroti pentingnya lautan dalam kebijakan global, terutama bagi negara-negara kepulauan seperti Indonesia. Lautan mendukung seluruh agenda pembangunan berkelanjutan, dengan keterkaitan yang erat antara SDG 14 dan tujuan lainnya seperti pengentasan kemiskinan (SDG 1), ketahanan pangan (SDG 2), pendidikan berkualitas (SDG 4), energi bersih dan terjangkau (SDG 7), pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi berkelanjutan (SDG 8), industri, inovasi, dan infrastruktur (SDG 9), pengurangan ketidaksetaraan (SDG 10), konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab (SDG 12), serta adaptasi terhadap perubahan iklim (SDG 13).

Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, dengan lebih dari 17.504 pulau dan garis pantai sepanjang sekitar 108.000 km, Indonesia memiliki kekayaan keanekaragaman hayati dan sumber daya laut yang melimpah. Sumber daya ini menopang beragam kehidupan kelautan dan menawarkan prospek yang besar untuk pengembangan sektor-sektor baru yang sedang tumbuh. Perairan Indonesia memberikan peluang ekonomi yang luas di berbagai sektor, termasuk kehidupan laut dan sumber daya non-hidup, industri, pariwisata, transportasi, dan logistik. Bank Dunia memperkirakan ekonomi laut Indonesia memiliki nilai

tahunan lebih dari USD 280 miliar, dengan sektor utama seperti bangunan kelautan dan manufaktur. Wisata terumbu karang saja bernilai USD 3 miliar, mencerminkan potensi besar dari kekayaan karang Indonesia. Selain itu, produksi perikanan tangkapan laut telah menunjukkan surplus perdagangan yang substansial, dengan nilai USD 4,12 miliar pada tahun 2018.

Meskipun potensi besar dari ekonomi biru ini, pemanfaatannya masih terbatas pada sektor konvensional seperti perikanan tangkap laut, akuakultur, dan pengolahan ikan, yang menyumbang 83 persen dari total nilai tambah. Rata-rata kontribusi sektor ekonomi biru terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) dalam lima tahun terakhir relatif rendah, yaitu sekitar 3,6 persen. Namun, sektor ini menunjukkan pertumbuhan yang pesat, dengan rata-rata pertumbuhan tahunan sebesar 10,5 persen selama periode 2012-2020, melampaui tingkat pertumbuhan nasional yang berkisar 5 persen. Peningkatan permintaan yang berkelanjutan untuk produk ekonomi biru menunjukkan potensi besar jika investasi dikerahkan secara strategis. Lintasan jangka panjang dari ekonomi biru ini sejalan dengan Visi Indonesia 2045, di mana diperkirakan kontribusi ekonomi biru terhadap PDB nasional akan mencapai 12,45 persen pada tahun 2045.

Keseluruhan upaya ini menunjukkan komitmen Indonesia dalam mengintegrasikan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan ke dalam kebijakan dan strategi pembangunan nasional. Dengan arahan kebijakan yang jelas dan koordinasi yang efektif dari Bappenas, Indonesia berada di jalur yang tepat untuk mencapai tujuan-tujuan yang telah ditetapkan dalam SDGs, sekaligus memanfaatkan potensi ekonomi biru untuk kemajuan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat secara berkelanjutan.

1. Kaitan Blue Economy dengan Pelabuhan, Galangan Kapal dan Kapal

Blue Economy memiliki hubungan erat dengan pelabuhan. Berikut beberapa aspek yang menggambarkan keterkaitan antara keduanya:

a. Infrastruktur Pelabuhan

Pelabuhan berperan sebagai pintu gerbang bagi kegiatan ekonomi laut. Infrastruktur pelabuhan, seperti dermaga, terminal, dan fasilitas bongkar muat, memfasilitasi perdagangan, transportasi, dan kegiatan maritim lainnya yang mendukung blue economy.

b. Pengelolaan Sumber Daya

Pelabuhan memainkan peran penting dalam pengelolaan sumber daya laut. Mereka harus memastikan bahwa kegiatan pelayaran dan bongkar muat tidak merusak lingkungan, seperti mengurangi polusi dan memastikan keberlanjutan perikanan.

c. Inovasi Teknologi

Pelabuhan dapat menjadi pusat inovasi teknologi untuk *blue economy*. Contohnya, beberapa pelabuhan telah mengadopsi teknologi terkini untuk mengurangi emisi karbon, memantau kualitas air, dan mengelola limbah.

d. Kemitraan dan Kolaborasi

Pelabuhan bekerja sama dengan pihak swasta, pemerintah, dan lembaga riset untuk mengembangkan solusi berkelanjutan. Kemitraan ini mencakup pengembangan teknologi, pelatihan tenaga kerja, dan pengelolaan lingkungan.

Blue Economy dan galangan kapal memiliki hubungan yang erat. Berikut beberapa aspek yang menggambarkan keterkaitan antara keduanya:

a. Galangan Kapal

Galangan kapal memainkan peran kunci dalam *blue economy*. Di sini, kapal dan struktur terapung dibangun, termasuk kapal dagang, kapal pesiar, dan peralatan maritim lainnya. Galangan kapal juga melakukan perbaikan dan pemeliharaan kapal.

b. Inovasi Teknologi

Galangan kapal berkontribusi pada pengembangan teknologi yang mendukung *blue economy*. Misalnya, mereka mencari alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan, teknologi pembatalan kebisingan, dan kebijakan tanpa pembuangan limbah.

c. Pertumbuhan Ekonomi

Galangan kapal menciptakan lapangan kerja dan mendukung pertumbuhan ekonomi melalui pembangunan kapal dan peralatan maritim dan berkontribusi pada keberlanjutan sektor maritim.

d. Kemitraan

Kemitraan antara galangan kapal, pemerintah, dan sektor swasta memperkuat *blue economy*. Mereka bekerja sama untuk mengoptimalkan produksi kapal, mengurangi dampak lingkungan, dan memastikan keberlanjutan.

Blue Economy memiliki hubungan yang erat dengan kapal dan perusahaan pelayaran. Berikut beberapa aspek keduanya:

a. Perusahaan Pelayaran

Perusahaan pelayaran berperan penting dalam *blue economy*. Mereka mengangkut barang melalui jalur laut, memfasilitasi perdagangan global, dan mendukung pertumbuhan ekonomi. *Container shipping companies*, yang membawa sebagian besar barang yang kita beli, berkontribusi pada pendapatan sektor ini.

b. Galangan Kapal

Galangan kapal membangun dan memperbaiki kapal. Ini mendukung industri maritim dan memastikan kapal beroperasi secara efisien. Galangan kapal juga berkontribusi pada inovasi teknologi, seperti penggunaan bahan bakar alternatif dan teknologi kebisingan.

c. Infrastruktur Pelabuhan

Pelabuhan memfasilitasi bongkar muat, distribusi, dan penyimpanan barang. Pelabuhan juga berperan dalam pengelolaan sumber daya laut dan perlindungan lingkungan.

d. Kemitraan dan Kolaborasi

Perusahaan pelayaran, galangan kapal, dan pelabuhan bekerja sama untuk mencapai keberlanjutan *blue economy*. Kemitraan ini mencakup pengembangan teknologi, pelatihan tenaga kerja, dan pengelolaan lingkungan.



Sumber : <https://www.bappenas.go.id>

Gambar 2.7. Skor Indeks Kesehatan Laut (OHI) untuk Indonesia

Terdapat tujuh sektor prioritas utama dalam ekonomi biru, yaitu perikanan tangkap dan akuakultur, manufaktur berbasis laut, transportasi serta logistik laut, pariwisata pesisir dan laut, pendidikan beserta penelitian kelautan, energi baru terbarukan, serta bioteknologi dan bioekonomi. Sayangnya, pemerintah belum menetapkan alokasi kontribusi masing-masing sektor untuk masa depan. Khusus untuk sektor transportasi dan logistik laut, pengembangan kebijakan blue economy akan difokuskan pada green logistics dan green port, rantai pasok dingin (*cold supply chain*), serta pemanfaatan energi terbarukan di sektor maritim.

2.4.3 Green Economy

Green Economy merupakan konsep pembangunan ekonomi yang menekankan pengurangan emisi karbon melalui penggunaan energi bersih dan efisiensi sumber daya di berbagai sektor (UNEP, 2011). Dalam sektor maritim, implementasi konsep ini diwujudkan melalui penggunaan bahan bakar alternatif seperti LNG dan biofuel, elektrifikasi kapal, serta penerapan teknologi pelabuhan ramah lingkungan sebagai bagian dari strategi dekarbonisasi (Acciaro et al., 2014). Dengan demikian, konsep Green Economy mendukung pengembangan model estimasi emisi dan analisis implementasi zero emission dalam penelitian ini.

2.5. EMISI KAPAL DI INDONESIA

Aktivitas pelayaran di Indonesia berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca (GRK), terutama seiring dengan meningkatnya volume lalu lintas kapal domestik di berbagai pelabuhan utama (Kementerian Perhubungan, 2022). Secara global, sektor

pelayaran menyumbang sekitar 2,9% dari total emisi CO₂ dunia, yang menunjukkan pentingnya pengendalian emisi pada sektor ini, termasuk di Indonesia (IMO, 2020). Emisi dari kapal terutama berasal dari pembakaran bahan bakar pada mesin utama dan mesin bantu yang menghasilkan gas seperti CO₂, NO_x, SO_x, dan partikulat selama operasi pelayaran maupun saat kapal berada di pelabuhan (Bouman et al., 2017). Perhitungan emisi kapal umumnya dilakukan menggunakan pendekatan berbasis konsumsi bahan bakar (fuel-based approach), di mana total emisi dihitung berdasarkan konsumsi bahan bakar dan faktor emisi masing-masing jenis bahan bakar (Lindstad et al., 2015). Oleh karena itu, analisis emisi kapal di Indonesia menjadi dasar penting dalam penelitian ini untuk mengembangkan model estimasi emisi serta menganalisis dampaknya terhadap peningkatan lalu lintas kapal hingga tahun 2050 (Notteboom et al., 2021).

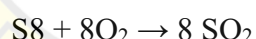
- *Sulfur (SO₂)*

Sulfur terkandung dalam bahan bakar, di mana semakin tinggi kandungan sulfurnya, maka tenaga mesin pun semakin besar. *Sulfur dioksida (SO₂)* terbentuk dari proses pembakaran pada suhu tinggi, dengan reaksi kimia utamanya adalah pembakaran sulfur elemental bersama oksigen:

SO₂ dalam kandungan bahan bakar.



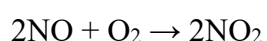
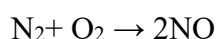
SO₂ hasil dari pembakaran



Sulfur dioksida (SO₂) dapat mengganggu sistem pernafasan, gangguan jantung, serta sifatnya korosif terhadap bahan metal.

- *Komponen Nitrogen (NO₂)*

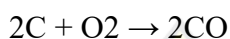
NO_x dapat berupa *nitrogen monoksida (NO)* dan *nitrogen dioksida (NO₂)*. Dimana sifat dari NO adalah tidak berbau dan tidak berwarna sedangkan NO₂ memiliki bau menyengat dan berwarna merah kecoklatan. Nitrogen ini didapatkan dari udara sekitar yang mana 79% adalah *Nitrogen (N)* dan akan terbentuk NO_x diruang bakar pada suhu tinggi. Berikut adalah reaksi kimianya.



NOx dapat mengakibatkan iritasi mata, gangguan pernafasan, gangguan jantung, serta memicu kanker paru-paru.

- Karbon (COx)

COx mencakup *karbon monoksida (CO)* dan *karbon dioksida (CO₂)*, tetapi karbon monoksida (CO) sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena mengikat hemoglobin dalam darah lebih kuat daripada oksigen, menyebabkan hipoksia. CO dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna akibat kekurangan oksigen, dengan reaksi kimianya:



Karbon monoksida (CO) apabila terhirup ke dalam paru-paru akan ikut peredaran darah dan akan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan oleh tubuh. Hal ini dapat terjadi karena gas CO yang bersifat racun, ikut bereaksi secara metabolis dengan darah (hemoglobin):



- *Particulate Matter (PM)*

Particulate Matter (PM) merupakan partikel emisi padat yang sangat berbahaya bagi kesehatan, dengan tingkat risikonya bergantung pada ukuran diameter partikel tersebut. Misalnya, PM10 yang berdiameter kurang dari 10 µm sering dihasilkan oleh mesin diesel dan dapat memicu penyakit kardiovaskular serta gangguan pernapasan.

2.6. TEKNOLOGI DIGITALISASI DAN OTOMATISASI PELABUHAN

Teknologi digitalisasi dan otomatisasi pelabuhan merupakan penerapan sistem berbasis teknologi informasi dan otomasi dalam pengelolaan operasional pelabuhan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas (Acciaro et al., 2014). Digitalisasi pelabuhan mencakup penggunaan sistem seperti Vessel Traffic Service (VTS) dan Port Management Information System (PMIS) yang memungkinkan pengaturan lalu lintas kapal dan logistik secara terintegrasi (Notteboom et al., 2021). Selain itu, otomatisasi pelabuhan melalui penggunaan automated cranes dan autonomous vehicles turut meningkatkan efisiensi proses bongkar muat serta mengurangi ketergantungan pada energi berbasis bahan bakar fosil (UNCTAD, 2022). Penerapan teknologi ini juga dapat mengurangi waktu tunggu kapal dan waktu sandar, sehingga menurunkan konsumsi

bahan bakar dan emisi yang dihasilkan selama aktivitas di pelabuhan (Acciaro et al., 2014). Oleh karena itu, digitalisasi dan otomatisasi pelabuhan menjadi faktor penting dalam penelitian ini, khususnya dalam menganalisis hubungan antara peningkatan lalu lintas kapal dan emisi dalam kerangka implementasi zero emission (Notteboom et al., 2021).

2.6.1 *Shore Connection* Pada Pelabuhan

Shore connection atau yang dikenal sebagai *cold ironing* merupakan teknologi yang memungkinkan kapal untuk mematikan mesin bantu saat berlabuh dan menggantinya dengan suplai listrik dari darat (*Onshore Power Supply/OPS*). Teknologi ini menjadi salah satu solusi utama dalam mengurangi emisi gas buang kapal di area pelabuhan, khususnya pada fase sandar yang selama ini masih bergantung pada pembakaran bahan bakar minyak untuk kebutuhan listrik di atas kapal.

Pada kondisi konvensional, kapal yang sedang berlabuh tetap mengoperasikan mesin bantu untuk menunjang kebutuhan listrik seperti sistem navigasi, pendingin, dan operasional kargo. Hal ini menyebabkan konsumsi bahan bakar tetap berlangsung dan menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK), seperti CO₂, NO_x, dan SO_x, meskipun kapal tidak sedang berlayar. Oleh karena itu, penerapan *shore connection* menjadi sangat penting dalam konteks pengurangan emisi di pelabuhan.

Menurut (UNCTAD, 2022), penggunaan *shore connection* mampu mengurangi emisi CO₂ hingga 30–50% selama kapal berada di dermaga, serta menurunkan emisi NO_x dan SO_x hingga lebih dari 90%. Hal ini menjadikan teknologi ini sebagai salah satu komponen utama dalam pengembangan konsep *green port* dan strategi dekarbonisasi sektor maritim global. Selain itu, (International Maritime Organization, 2020) juga menekankan bahwa elektrifikasi pelabuhan melalui OPS merupakan langkah strategis dalam mencapai target pengurangan emisi sesuai regulasi MARPOL Annex VI.

Dalam konteks penelitian ini, penerapan *shore connection* relevan karena perhitungan emisi dilakukan tidak hanya pada fase pelayaran, tetapi juga pada fase kapal berlabuh di pelabuhan. Dengan menggantikan sumber energi dari

bahan bakar fosil menjadi listrik darat, konsumsi bahan bakar kapal dapat ditekan secara signifikan, sehingga berdampak langsung pada penurunan total emisi yang dihasilkan .

Sebagai ilustrasi, kapal yang mengonsumsi sekitar 2 ton bahan bakar per hari saat berlabuh dapat menghasilkan lebih dari 6 ton CO₂ per hari. Dengan penerapan *shore connection*, konsumsi bahan bakar tersebut dapat dieliminasi, sehingga emisi yang dihasilkan selama fase sandar dapat ditekan hingga mendekati nol, terutama jika sumber listrik berasal dari energi bersih.

Meskipun memiliki keunggulan dalam pengurangan emisi, implementasi *shore connection* juga menghadapi beberapa tantangan, antara lain tingginya biaya investasi infrastruktur, kebutuhan standar teknis yang seragam antara kapal dan pelabuhan, serta ketergantungan pada sumber energi listrik di darat. Jika listrik yang digunakan masih berasal dari pembangkit berbasis fosil, maka pengurangan emisi hanya bersifat *relokasi emisi* dari kapal ke sektor pembangkit listrik (IEA, 2023).

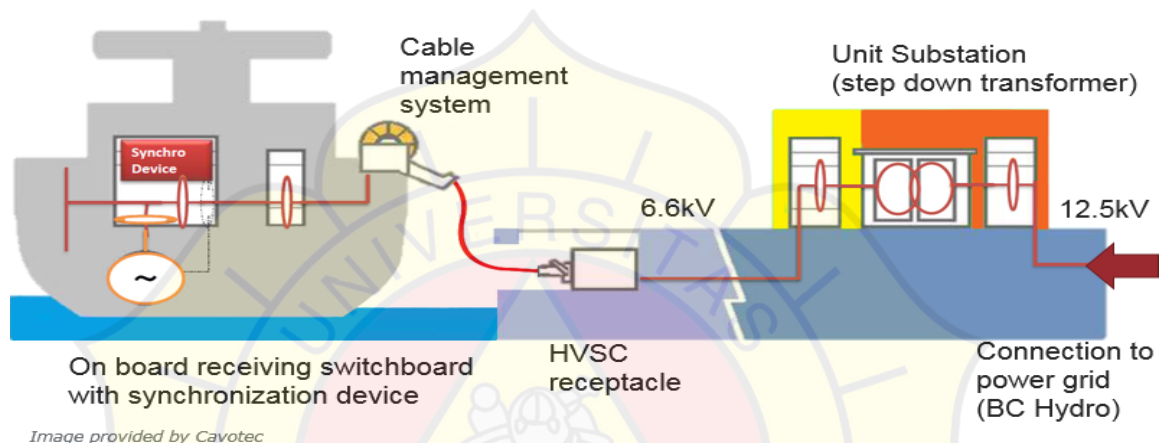
Dengan demikian, *shore connection* merupakan teknologi yang sangat potensial dalam mendukung implementasi *zero emission port* di Indonesia. Integrasi teknologi ini dengan sistem digitalisasi pelabuhan serta penggunaan energi terbarukan akan menjadi kunci dalam mencapai target pengurangan emisi sektor maritim hingga tahun 2050 sesuai dengan ketentuan IMO.

Dasar Hukum :

1. Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup;
2. Peraturan Pemerintah Nomor 46 Tahun 2017 tentang Instrumen Ekonomi Lingkungan Hidup;
3. Peraturan Presiden Nomor 29 Tahun 2012 tentang *Pengesahan Annex III, Annex IV, Annex V, And Annex VI of The International Convention For The Prevention of Pollution From Ships 1973 as Modified By The Protocol of 1978 Relating Thereto* (Lampiran III, Lampiran IV, Lampiran V, dan Lampiran VI Dari Konvensi Internasional Tahun 1973 Tentang Pencegahan

Pencemaran Dari Kapal sebagaimana diubah dengan Protokol Tahun 1978 yang terkait daripadanya;

4. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 29 Tahun 2014 tentang Pencegahan Pencemaran Lingkungan Maritim;
5. Surat Edaran Direktur Jenderal Perhubungan Laut Nomor SE-DJPL 22 Tahun 2022 tanggal 28 September 2022 tentang Penggunaan Fasilitas Listrik Darat (*Onshore Power Supply (OPS)*) di Pelabuhan Bagi Kapal Yang Berlayar di Perairan Indonesia (SE-DJPL 2022).



Sumber : <https://site.uit.no/ladeteknologi>

Gambar 2.8. *Shore Connection*

Penerapan *Shore Connection* :

- $\geq$ GT400 dan mesin diesel $\geq$ 130kW yang berlayar di perairan internasional;
- $\geq$ GT400 dan mesin diesel $\geq$ 130kW termasuk fasilitas pengeboran lepas pantai atau anjungan lepas pantai lainnya dan yang berlayar di perairan Indonesia;
- $\geq$ GT 100 sampai dengan GT 399 yang memiliki mesin diesel dibawah 130 kW yang berlayar di perairan Indonesia dan perairan internasional;(SE-DJPL, 2022)

2.6.2 Kapal Tunda Berenergi Listrik: Inovasi untuk Transisi Zero

Emission di Pelabuhan Indonesia

Kapal tunda berenergi listrik (*electric tugboat*) merupakan salah satu inovasi dalam mendukung dekarbonisasi sektor pelabuhan melalui pengurangan emisi dari aktivitas operasional kapal bantu. Kapal tunda memiliki peran penting

dalam membantu proses manuver kapal, seperti *berthing* dan *unberthing*, yang dilakukan secara intensif di area pelabuhan. Tingginya frekuensi operasi ini menyebabkan kapal tunda menjadi salah satu kontributor emisi yang signifikan di lingkungan pelabuhan

Pada sistem konvensional, kapal tunda menggunakan mesin berbahan bakar diesel yang menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) seperti CO₂, serta polutan udara lainnya seperti NO_x dan SO_x. Menurut (*International Energy Agency, 2023*), sektor transportasi maritim, termasuk kapal bantu pelabuhan, masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil yang berkontribusi terhadap peningkatan emisi global. Oleh karena itu, elektrifikasi kapal tunda menjadi solusi strategis dalam menekan emisi di area pelabuhan.

Penggunaan kapal tunda listrik memungkinkan eliminasi emisi secara langsung (*zero emission*) pada saat operasi di pelabuhan. Dibandingkan dengan kapal tunda berbahan bakar diesel, kapal tunda listrik mampu mengurangi emisi CO₂ hingga 100% pada tingkat operasional lokal, serta menurunkan emisi NO_x dan SO_x secara signifikan (*UNCTAD, 2022*). Selain itu, efisiensi energi dari sistem kelistrikan yang lebih tinggi juga berkontribusi terhadap penurunan biaya operasional dalam jangka panjang (*IEA, 2023*).

Dalam konteks penelitian ini, kapal tunda menjadi bagian penting dalam perhitungan total emisi pelabuhan, selain kapal utama yang melakukan pelayaran. Aktivitas kapal tunda yang terjadi secara berulang dan berdekatan dengan kawasan pelabuhan menjadikan dampak emisi yang dihasilkan lebih signifikan terhadap lingkungan sekitar, terutama kualitas udara di wilayah pesisir dan perkotaan. Oleh karena itu, transisi dari kapal tunda konvensional ke kapal tunda listrik akan memberikan kontribusi besar dalam menurunkan total emisi yang dihitung dalam penelitian ini.

Sebagai ilustrasi, kapal tunda diesel dengan konsumsi bahan bakar sekitar 800 liter per hari dapat menghasilkan emisi CO₂ sebesar lebih dari 2.000 kg per hari. Dengan menggantinya menggunakan kapal tunda listrik, emisi tersebut dapat dieliminasi sepenuhnya pada lokasi operasional. Namun demikian, efektivitas pengurangan emisi secara keseluruhan tetap bergantung pada sumber

energi listrik yang digunakan. Jika listrik berasal dari sumber energi terbarukan, maka pengurangan emisi dapat bersifat absolut, sedangkan jika masih berasal dari pembangkit berbasis fosil, maka terjadi pergeseran emisi ke sektor energi (IEA, 2023).

Meskipun memiliki keunggulan dalam aspek lingkungan dan efisiensi energi, implementasi kapal tunda listrik masih menghadapi beberapa tantangan, seperti tingginya biaya investasi awal, keterbatasan kapasitas baterai, serta kebutuhan infrastruktur pengisian daya (*charging infrastructure*) di pelabuhan. Selain itu, kesiapan teknologi dan regulasi di Indonesia juga menjadi faktor penting dalam mendukung adopsi teknologi ini secara luas (UNCTAD, 2022).

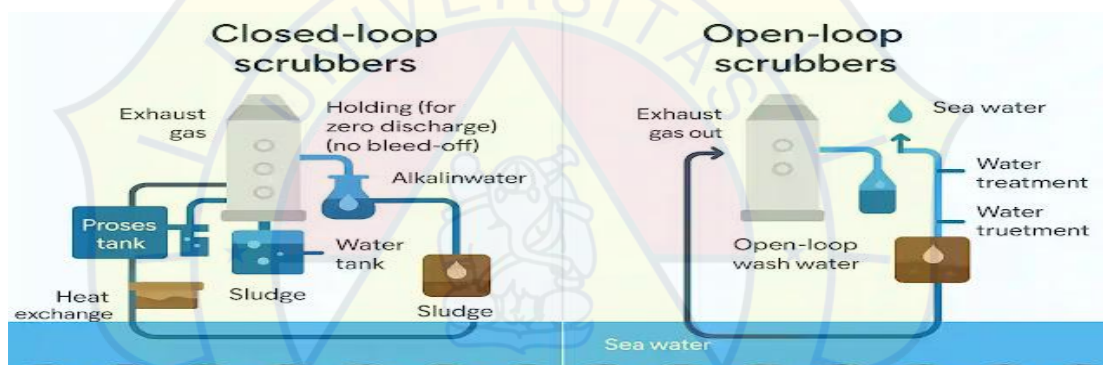
Dengan demikian, kapal tunda berenergi listrik merupakan salah satu solusi kunci dalam mendukung implementasi konsep *green port* dan *zero emission port*. Integrasi teknologi ini dengan sistem digitalisasi pelabuhan dan strategi pengelolaan energi yang berkelanjutan akan memberikan dampak signifikan dalam menurunkan emisi sektor maritim Indonesia dalam jangka panjang.



Sumber : <https://solarindustri.com/blog/kapal-tunda/>
Gambar 2.9. Kapal Tunda

2.6.3 Scrubber Dalam Menurunkan Emisi

Scrubber pada kapal, atau *Exhaust Gas Cleaning System* (EGCS), merupakan teknologi pembersih gas buang yang menghilangkan sulfur oksida (SOx) dari emisi mesin utama dan *auxiliary* kapal melalui reaksi kimia dengan air laut atau alkali, memungkinkan penggunaan bahan bakar *high-sulfur* (HFO) sambil mematuhi regulasi IMO 2020 global sulfur cap 0.5%. Sistem ini esensial untuk transisi *zero emission* karena mengurangi SOx hingga 99% tanpa mengganti BBM ke low-sulfur VLSFO, sehingga hemat biaya operasional hingga 20-30% per tahun pada kapal *tanker* dan *bulk carrier*. Di Indonesia, penerapannya diwajibkan bagi kapal >5.000 GT melalui Peraturan Menteri Perhubungan No. PM 6/2020 dan telah diuji di Pelabuhan Tanjung Priok, menghasilkan penurunan emisi SO₂ sebesar 95% serta penghematan BBM efektif 15% (Kementerian Perhubungan, 2024).



Sumber : <https://www.kapaldanlogistik.com/>

Gambar 2.10. *Scrubber*

2.7. REGULASI BAHAN BAKAR RAMAH LINGKUNGAN

Bahan bakar merupakan faktor utama yang mempengaruhi besaran emisi yang dihasilkan oleh kapal dalam sektor transportasi maritim. Dalam penelitian ini, penggunaan bahan bakar alternatif menjadi salah satu strategi utama dalam menekan emisi gas rumah kaca seiring dengan target dekarbonisasi yang ditetapkan oleh IMO. Beberapa jenis bahan bakar alternatif yang saat ini dikembangkan antara lain LNG, biodiesel (B40), hydrogen, dan ammonia. LNG sebagai bahan bakar transisi mampu menurunkan emisi CO₂ hingga 20–25% dibandingkan bahan bakar konvensional, sementara hydrogen dan ammonia menawarkan potensi zero emission karena tidak menghasilkan karbon dalam proses pembakaran (UNCTAD, 2022; IEA, 2023).

2.7.1 Bahan Bakar LNG: Transisi Rendah Emisi untuk Kapal Jangka Menengah

Liquefied Natural Gas (LNG) merupakan bahan bakar alternatif yang digunakan untuk mengurangi emisi dibanding bahan bakar konvensional. LNG berperan sebagai bahan bakar transisi, dengan kemampuan menurunkan emisi CO₂ sebesar 20–25%, mengurangi hampir seluruh SO_x, serta menurunkan NO_x hingga 80–90% (IMO, 2020; UNCTAD, 2022). Dalam penelitian ini, penggunaan LNG akan menurunkan faktor emisi sehingga total emisi menjadi lebih kecil. Namun, LNG belum termasuk *zero emission* karena masih menghasilkan karbon dan berpotensi mengalami *methane slip* (IEA, 2023).

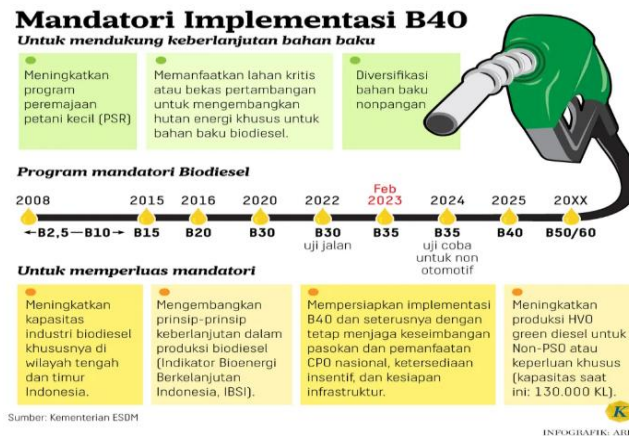


Sumber : <https://www.shippingknowhow.net/>

Gambar 2.11. *Alternative Fuel in Shipping*

2.7.2 Bahan Bakar B40: Solusi Biofuel Lokal untuk Pengurangan Karbon Fosil

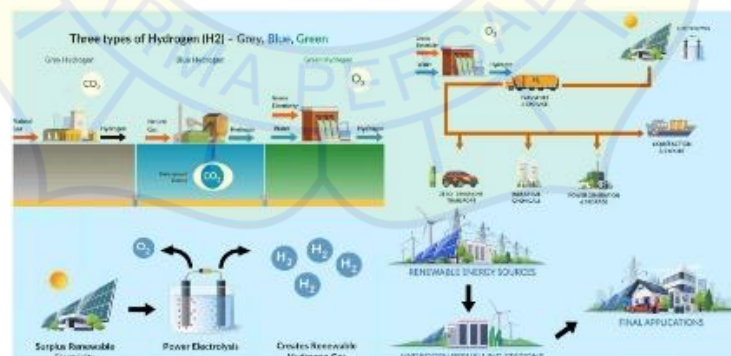
B40 merupakan campuran 40% biodiesel dan 60% solar yang dikembangkan sebagai bagian dari kebijakan energi nasional Indonesia. Dalam konteks penelitian Anda, penggunaan B40 termasuk upaya pengurangan emisi melalui substitusi bahan bakar fosil. Penggunaan B40 dapat menurunkan emisi CO₂ sekitar 10–20% dibandingkan bahan bakar konvensional (Kementerian ESDM, 2023). Meskipun lebih ramah lingkungan, B40 belum mencapai *zero emission* dan efektivitasnya masih bergantung pada sumber bahan baku biodiesel.



Sumber : <https://shasolo.com/>
Gambar 2.12. Mandatori Implementasi B40

2.7.3 Bahan Bakar Hydrogen

Hydrogen merupakan bahan bakar masa depan yang memiliki potensi *zero emission* karena tidak menghasilkan karbon dalam proses penggunaannya. Dalam penelitian ini, hydrogen dapat menjadi solusi jangka panjang dalam mendukung target dekarbonisasi sektor maritim. Menurut (IEA, 2023), penggunaan hydrogen menghasilkan emisi CO₂ nol pada saat operasional, dengan produk sampingan berupa air. Namun, tantangan utama penggunaan *hydrogen* adalah biaya produksi yang tinggi, kebutuhan infrastruktur khusus, serta penyimpanan yang kompleks.



Sumber : <https://fokusenergi.com/>
Gambar 2.13. Jenis-jenis Hydrogen

2.8. PERHITUNGAN KONSUMSI BAHAN BAKAR MENURUT TROZI

Metode Trozzi merupakan salah satu pendekatan yang digunakan dalam studi emisi transportasi maritim untuk memperkirakan besaran emisi gas buang kapal berdasarkan konsumsi bahan bakar. Metode ini banyak digunakan dalam berbagai

penelitian karena memiliki pendekatan yang sederhana dan dapat diaplikasikan pada berbagai jenis kapal.

Hal ini sejalan dengan konsep dasar metode Trozzi yang menyatakan bahwa besaran emisi kapal berbanding lurus dengan jumlah bahan bakar yang digunakan. Menurut (*Trozzi, 2010*), perhitungan emisi dalam metode ini didasarkan pada hubungan antara konsumsi bahan bakar dan faktor emisi dari masing-masing jenis bahan bakar. Pendekatan ini digunakan untuk memperkirakan emisi gas seperti CO₂, NO_x, dan SO_x dari aktivitas pelayaran.

Selain itu, (*UNCTAD, 2022*) menyebutkan bahwa metode berbasis konsumsi bahan bakar merupakan salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam analisis emisi maritim karena kemudahannya dalam penerapan dan kebutuhan data yang relatif sederhana.

Meskipun demikian, metode Trozzi memiliki keterbatasan, yaitu belum mempertimbangkan secara detail variasi kondisi operasional kapal seperti kecepatan, beban muatan, dan efisiensi mesin. Oleh karena itu, metode ini umumnya digunakan sebagai pendekatan awal dalam estimasi emisi dan sering dikombinasikan dengan metode lain untuk meningkatkan akurasi (*Trozzi, 2010*).

Dengan demikian, metode Trozzi dalam kajian ini digunakan sebagai dasar teori dalam memahami hubungan antara konsumsi bahan bakar dan emisi kapal, yang selanjutnya menjadi landasan dalam analisis pada bagian metodologi penelitian.

2..9 PERHITUNGAN KONSUMSI BAHAN BAKAR MENGGUNAKAN METODE ISHIDA

Metode Ishida merupakan salah satu pendekatan dalam analisis emisi kapal yang mempertimbangkan aktivitas operasional kapal secara lebih rinci dibandingkan metode berbasis konsumsi bahan bakar sederhana. Metode ini digunakan untuk mengestimasi emisi dengan memperhatikan berbagai fase operasional kapal, seperti pelayaran (*cruising*), manuver (*maneuvering*), dan saat berlabuh (*hoteling*).

Hal ini sejalan dengan pendekatan metode Ishida yang membagi perhitungan emisi berdasarkan kondisi operasional kapal. Dengan demikian, setiap fase memiliki karakteristik konsumsi energi dan tingkat emisi yang berbeda. Menurut (*Ishida, 2013*), metode ini menghitung emisi dengan mempertimbangkan daya mesin, waktu operasi, serta faktor beban pada masing-masing fase aktivitas kapal. Pendekatan ini memungkinkan estimasi emisi yang lebih detail karena tidak hanya bergantung pada

total konsumsi bahan bakar, tetapi juga pada pola operasional kapal.

Selain itu, (UNCTAD, 2022) menyebutkan bahwa pendekatan berbasis aktivitas seperti metode Ishida memberikan hasil yang lebih representatif dalam studi emisi maritim, terutama untuk analisis di area pelabuhan yang memiliki variasi aktivitas kapal yang tinggi.

Meskipun memiliki keunggulan dalam tingkat detail, metode Ishida memerlukan data yang lebih kompleks, seperti profil operasional kapal, durasi aktivitas, dan spesifikasi mesin. Hal ini menjadi tantangan dalam penerapannya, terutama jika data yang tersedia terbatas (Ishida, 2013).

Dengan demikian, metode Ishida dalam kajian ini digunakan sebagai landasan teori untuk memahami pengaruh aktivitas operasional kapal terhadap besaran emisi, serta sebagai pembanding dengan metode lain seperti metode Trozzi dalam analisis emisi maritim.

2.10. SWOT (*STRENGTHS, WEAKNESSES, OPPORTUNITIES, THREATS*)

Analisis SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor internal dan eksternal dalam suatu sistem atau kebijakan. Dalam konteks penelitian ini, analisis SWOT digunakan sebagai kerangka konseptual untuk mengevaluasi implementasi teknologi dan bahan bakar alternatif dalam upaya pengurangan emisi di sektor maritim.

Hal ini menunjukkan bahwa diperlukan suatu pendekatan analitis untuk menilai kesiapan dan tantangan implementasi strategi tersebut, salah satunya melalui analisis SWOT. Menurut *Albert Humphrey*, analisis SWOT mengelompokkan faktor menjadi dua kategori utama, yaitu faktor internal (*strengths dan weaknesses*) serta faktor eksternal (*opportunities dan threats*). Pendekatan ini banyak digunakan dalam studi kebijakan dan perencanaan strategis untuk mendukung pengambilan keputusan (Gürel & Tat, 2017).

Dalam konteks sektor maritim, analisis SWOT dapat digunakan untuk mengevaluasi berbagai aspek terkait implementasi *green port* dan *zero emission*, seperti:

- kekuatan: potensi pengurangan emisi melalui teknologi (*shore connection, electric tugboat*)
- kelemahan: biaya investasi dan keterbatasan infrastruktur

- peluang: dukungan regulasi internasional seperti IMO
- peluang: dukungan regulasi internasional seperti IMO (UNCTAD, 2022)

Meskipun bersifat kualitatif, analisis SWOT memberikan gambaran strategis yang komprehensif terhadap kondisi eksisting dan potensi pengembangan di masa depan. Namun demikian, metode ini memiliki keterbatasan karena tidak memberikan hasil kuantitatif dan sangat bergantung pada subjektivitas dalam penilaian faktor-faktor yang dianalisis (*Gürel & Tat, 2017*).

Dengan demikian, analisis SWOT dalam kajian ini digunakan sebagai dasar teoritis untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan implementasi strategi pengurangan emisi di sektor maritim, yang selanjutnya dapat dikembangkan dalam analisis pada bagian penelitian.

