

Transisi Energi Pelayaran:

Peluang Strategis di Indonesia



By Global Maritime Forum
& University College London

For the P4G Getting to Zero Coalition
Partnership

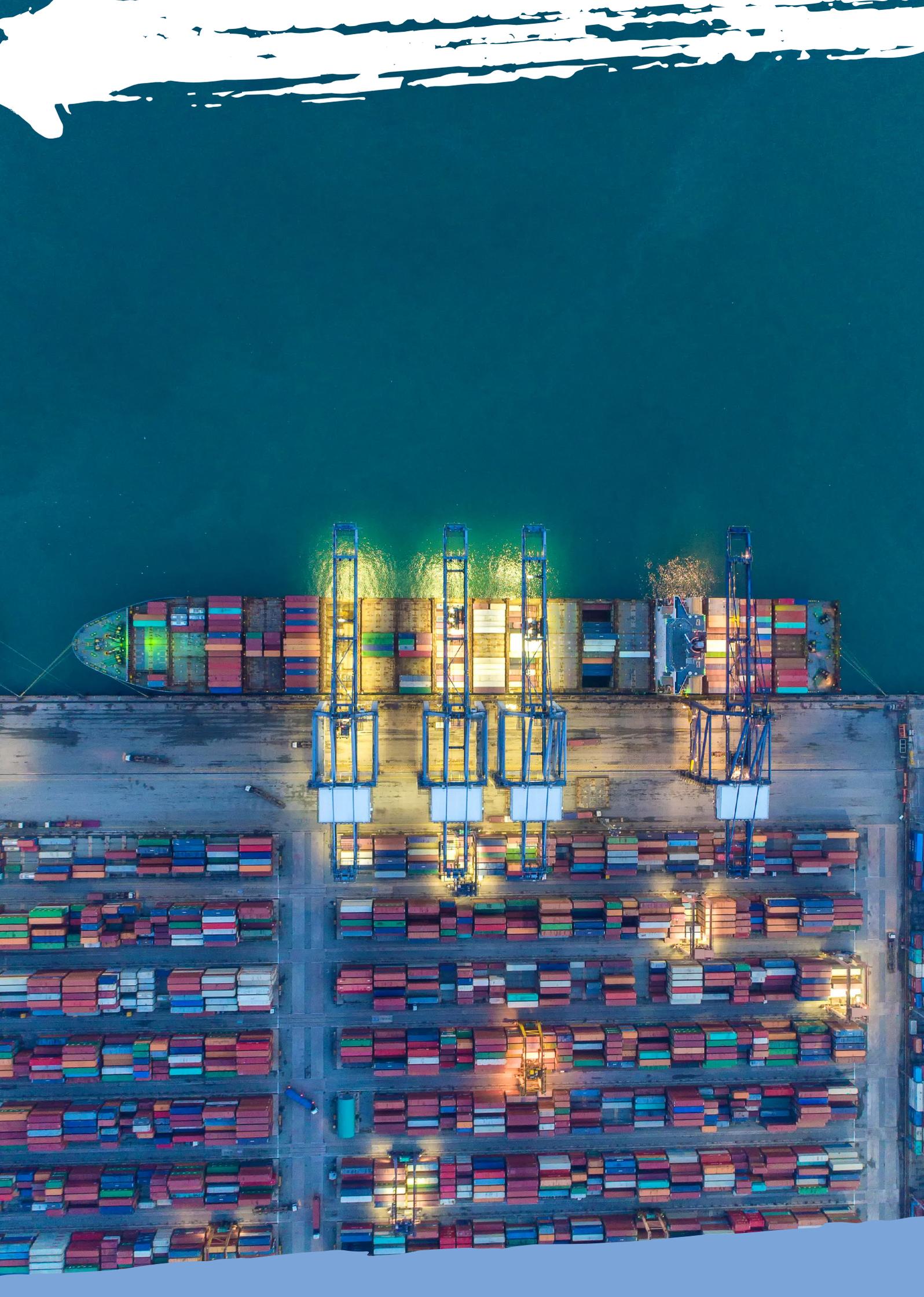


GLOBAL
MARITIME
FORUM



INDONESIA
OCEAN JUSTICE
INITIATIVE





Daftar isi

	Kata Pengantar	8
	Ringkasan Eksekutif	10
	Singkatan	20
Bagian 1	Perlunya Dekarbonisasi Maritim	22
Bagian 2	Indonesia: Negara Maritim	26
Bagian 3	Aktivitas Pelayaran & Emisi Maritim	29
Bagian 4	Memfaatkan Potensi Terbarukan Indonesia	42
Bagian 5	Kerangka Kebijakan & Ambisi	46
Bagian 6	Peluang Bisnis Strategis di Indonesia	53
Bagian 7	Persyaratan Keuangan & Investasi	66
Bagian 8	Rekomendasi	69
	Referensi	81
Lampiran I	Model Geospasial Pelayaran: Informasi Teknis	98

Tentang Koalisi “Getting to Zero Coalition”

Koalisi “Getting to Zero Coalition” (GtZ), kemitraan antara Global Maritime Forum dan World Economic Forum, adalah komunitas pemangku kepentingan lintas sektor maritim, energi, infrastruktur, dan keuangan, dan didukung oleh pemerintah utama, organisasi pemerintah internasional (IGO), dan pemangku kepentingan lainnya, yang berambisi dan berkomitmen untuk dekarbonisasi sektor pelayaran.

Ambisi dari Getting to Zero Coalition adalah untuk mewujudkan Wahana Niremisi (Zero Emission Vehicle—ZEV) yang layak secara komersial yang beroperasi sepanjang rute perdagangan laut pada 2030, dengan didukung oleh infrastruktur yang diperlukan untuk menyediakan sumber energi nol-karbon yang skalabel, termasuk produksi, distribusi, penyimpanan, dan *bunkering*, menuju dekarbonisasi penuh pada 2050.

Tentang Partnering for Green Growth and the Global Goals 2030

Partnering for Green Growth and the Global Goals 2030 (P4G) adalah mekanisme penyelenggaraan global yang memelopori kemitraan hijau untuk membangun ekonomi berkelanjutan dan tangguh. P4G memobilisasi ekosistem global dari 12 negara mitra dan 5 mitra organisasi untuk membuka peluang bagi lebih dari 66 kemitraan yang bekerja di lima bidang SDG: pangan dan pertanian, air, energi, kota, dan ekonomi sirkular.

Tentang Global Maritime Forum

Global Maritime Forum (GMF) adalah organisasi nirlaba internasional yang didedikasikan untuk membentuk masa depan perdagangan lintas laut global guna meningkatkan pembangunan ekonomi jangka panjang yang berkelanjutan dan kesejahteraan manusia.

Tentang Friends of Ocean Action

Friends of Ocean Action adalah sebuah kelompok unik beranggotakan lebih dari 55 pemimpin global dari bisnis, organisasi internasional, masyarakat sipil, sains, dan akademisi yang tengah mengupayakan percepatan solusi skalabel untuk menjawab tantangan paling mendesak yang dihadapi lautan. Kelompok ini diselenggarakan oleh World Economic Forum bekerja sama dengan World Resources Institute.

Tentang World Economic Forum

World Economic Forum (WEF) adalah Organisasi Internasional untuk Kerja Sama Pemerintah-Swasta. Forum ini melibatkan para pemimpin politik, bisnis, budaya, dan masyarakat terkemuka lainnya untuk membentuk agenda global, regional, dan industri. Didirikan pada 1971 sebagai yayasan nirlaba dan berkantor pusat di Jenewa, Swiss, organisasi ini independen, tidak memihak dan tidak terikat pada kepentingan khusus apa pun.

Tentang Environmental Defense Fund

Environmental Defense Fund Europe adalah afiliasi dari Environmental Defense Fund (EDF), sebuah organisasi nirlaba internasional terkemuka yang menciptakan solusi transformatif untuk masalah lingkungan yang paling serius. Sejak 1967, EDF telah menggunakan sains, ekonomi, hukum, dan kemitraan sektor swasta yang inovatif untuk menghadirkan suara baru bagi solusi praktis.

Tentang University College London

University College London (UCL) Energy Institute Shipping Group bertujuan untuk mempercepat transisi pelayaran ke sistem energi yang adil dan berkelanjutan secara global melalui penelitian, pendidikan, dan dukungan kebijakan pelayaran kelas dunia. Kelompok ini mengkhususkan diri dalam penelitian multi-disiplin berdasarkan analisis data dan pemodelan terdepan sektor maritim.

Tentang International Association of Ports and Harbours

International Association of Ports and Harbours (IAPH) dibentuk pada 1955 dan selama enam puluh tahun terakhir telah berkembang menjadi aliansi global yang mewakili lebih dari 180 pelabuhan anggota dan 140 bisnis terkait pelabuhan di 90 negara. Tujuan utama IAPH berkisar pada promosi kepentingan pelabuhan di seluruh dunia, membangun hubungan anggota yang kuat dan berbagi praktik terbaik di antara anggotanya.

Tentang UMAS

UMAS memberikan layanan konsultasi dan melakukan penelitian untuk berbagai klien di sektor publik dan swasta menggunakan model sistem pelayaran, maha data pelayaran, dan analisis ilmu sosial dan kualitatif dari kebijakan dan struktur komersial sistem pelayaran. Kerja UMAS didukung data mutakhir yang didukung oleh model dan praktik penelitian yang ketat, yang menjadikan UMAS terdepan di dunia dalam tiga bidang utama; menggunakan maha data untuk memahami penggerak emisi pelayaran, menggunakan model untuk mengeksplorasi transisi pelayaran ke masa depan niremisi, dan memberikan interpretasi kepada pengambil keputusan utama.

Indonesia Ocean Justice Initiative

Indonesia Ocean Justice Initiative (IOJI) merupakan wadah pemikir independen dan kelompok advokasi kebijakan Indonesia yang bertujuan untuk mendukung Indonesia, sebagai salah satu negara maritim terbesar, dalam mewujudkan tata kelola laut yang berkelanjutan dan adil, dengan meningkatkan keamanan maritim, mempromosikan tata kelola laut yang berkelanjutan dan memastikan akses keadilan bagi orang-orang terpinggirkan yang bergantung pada laut.

[Layout by Housatonic.eu](https://www.housatonic.eu)

Ucapan Terima Kasih

Laporan ini ditulis oleh Katrina Abhold (GMF) dan Domagoj Baresic (UCL) bersama Santiago Suarez De La Fuente, Alison Shaw, James Stewart, Aideé Saucedo Dávila, Wendela Schim Van Der Loeff (UCL); Connor Bingham (GMF); Camilo Perico, Isabelle Rojon, Connor Galbraith (UMAS); Rosa Esi Ennison, Noam Boussidan, Joachim Monkelbaan (WEF); Jeremia Humolong Prasetya, Harish Makarim, Stephanie Juwana, Karenina Lasrindy dan Gabriella Gianova (IOJI).

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada orang-orang dan organisasi berikut yang telah membantu meninjau laporan ini: Ingrid Sidenvall Jegou (GMF); Tristan Smith, Joseph Taylor (UCL); dan Panos Spiliotis (EDF). Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pemangku kepentingan lokal dari Indonesia yang terlibat dalam proyek P4G-GtZ Coalition Partnership atas masukan dan umpan balik mereka yang terus-menerus untuk proyek dan draf laporan.

Para mitra proyek berterima kasih atas kontribusi keuangan P4G untuk proyek ini.

Untuk mengutip laporan ini, silakan gunakan: Abhold et al. (2022). Shipping's Energy Transition: Strategic Opportunities in Indonesia. Report for P4G-Getting to Zero Coalition Partnership project.

Pemangku kepentingan lokal dari Indonesia yang terlibat melalui proyek P4G-GtZ Coalition Partnership.

Nama	Posisi	Organisasi
Akihiko Itoh	Manager, Transportation Group, LNG Trading Unit, Global Energy Marketing Division	Inpex Corporation
Basilio Dias Araujo	Deputi Bidang Koordinasi Kedaulatan Maritim dan Energi	Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi
Budhi Halim	Kepala	Indonesia National Shipowners Association (INSA)
Chrisnawan Aditya	Direktur Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Cipu Suaib	Business Development Manager	HDF Energy
Dr. Mas Achmad Santosa	CEO	Indonesia Ocean Justice Initiative (IOJI)
Emma Rachmawati	Direktur Mitigasi Perubahan Iklim	Kementerian Lingkungan Hidup
Hasto Kristiyono	Presiden Komisaris	PT Pertamina Power
Hendra Kesuma	General Manager	Bintika Bangunusa Group
I Ketut Aria Pria Utama	Profesor Hidrodinamika Kapal, Departemen Teknik Kelautan	Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Name	Position	Organization
Ibrahim Kholilul Rohman	Senior Research Associate	Indonesia Financial Group Progress
Ikhsan Asaad	Direktur Mega Proyek & Energi Terbarukan	Perusahaan Listrik Negara (PLN)
Indah Budiani	Direktur Eksekutif	Indonesia Business Council for Sustainable Development (IBCSA)
Iqbal Fikri	Direktur Produksi	PT PAL Indonesia
Juanda Abednego Lubis	Program Officer	Indonesia Climate Change Trust Fund
Lars Bo Larsen	Duta Besar	Kedutaan Besar Denmark di Indonesia
Lesmana Hartanto	Managing Director	Pt Tanto Intim Line
Marizi Nizhar	Deputi Direktur Energi Terbarukan Bersih dan Konservasi Energi	Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Bappenas
Onny Widjanarko	Direktur Eksekutif, Kepala Komunikasi	Bank Indonesia
Popy Sartika	Kepala Seksi Asia, Australia dan Pasifik; Subdirektorat Pelayaran Internasional	Kementerian Perhubungan
Randy Rakhmadi	Regional Manager, Asia	P4G
Riva Siahaan	Commercial Director	PT Pertamina International Shipping
Ronald Halim	Manager and Principal Transport Economist	Equitable Maritime Consulting
Tomás Herrero Diez	Konsultan Transportasi Senior	Bank Dunia (sebelumnya)
Yo Ishizaki	Chief Country Representative of Indonesia/President Director PT MOL Indonesia	MOL Group

Penafian

Laporan ini berasal dari proyek P4G – Getting to Zero Coalition Partnership, sebuah proyek Global Maritime Forum, Friends of Ocean Action, World Economic Forum, University College of London, Environmental Defense Fund, dan International Association of Ports and Harbours. Pandangan yang diungkapkan adalah dari penulis sendiri dan tidak mewakili pendapat atau pandangan dari para mitra yang terlibat.

Kata Pengantar

Transportasi laut merupakan bagian penting dari kehidupan sehari-hari di Indonesia, menyediakan konektivitas antara banyak pulau dan mendukung pembangunan dan integrasi ekonomi yang berkelanjutan. Banyak orang Indonesia sehari-hari menggunakan kapal dan perahu sebagai mata pencaharian. Kapal juga merupakan sarana untuk mendukung beberapa kegiatan industri. Hal ini berarti bahwa kegiatan maritim sangat penting untuk mendukung tujuan nasional Indonesia yang lebih luas.

Dengan semakin meningkatnya laju dekarbonisasi maritim, penting untuk memahami bagaimana memanfaatkan tren global ini untuk kepentingan Indonesia secara nasional. Hal ini mengacu baik pada peluang ekonomi langsung terkait kapal dan bahan bakar baru ini, namun juga memastikan bahwa Indonesia tetap terhubung dengan proses ini sebagai negara maritim yang penting dan berpengaruh.

Secara geografis, Indonesia terletak dekat dengan beberapa jalur pelayaran utama dunia, dengan volume lalu lintas besar yang melewati perairannya setiap tahun. Hal ini signifikan baik dari segi tingginya emisi maritim yang terjadi di perairan Indonesia, maupun potensi untuk memanfaatkan lalu lintas ini dengan lebih baik sebagai peluang ekonomi. Melakukan upaya-upaya tersebut dapat membantu Indonesia mengurangi emisinya sementara juga membantu mencapai tujuan pembangunan nasional. Secara khusus, hal ini dapat membantu menciptakan lapangan kerja berkelanjutan dalam jangka panjang, mendekarbonisasi industri lain, meningkatkan kesehatan, meningkatkan impor dan ekspor, dan membantu melindungi keanekaragaman hayati Indonesia.

Untuk membuka potensi ini, jelas dibutuhkan dukungan internasional dalam bentuk investasi yang dapat membantu menutup kesenjangan dalam hal bantuan teknis dan pengembangan kapasitas. Selain itu, diperlukan upaya lebih lanjut dalam hal koordinasi nasional, memastikan arah, memungkinkan pemangku kepentingan publik dan swasta untuk bekerja sama.

Sebagai pemangku kepentingan lokal dan kontributor laporan ini, kami menyambut baik temuan-temuan yang diuraikan dalam laporan ini dan mengajak para pihak terkait untuk lebih jauh berupaya mewujudkan peluang-peluang ini bagi Indonesia.



Basilio Dias Araujo



Indah Budiani



Budhi Halim



Ronald Halim



Lars Bo Larsen



Nizhar Marizi



Randy Rakhmadi



Ibrahim Rohman



Dr. Mas Achmad Santosa



Cipu Suaib



Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama

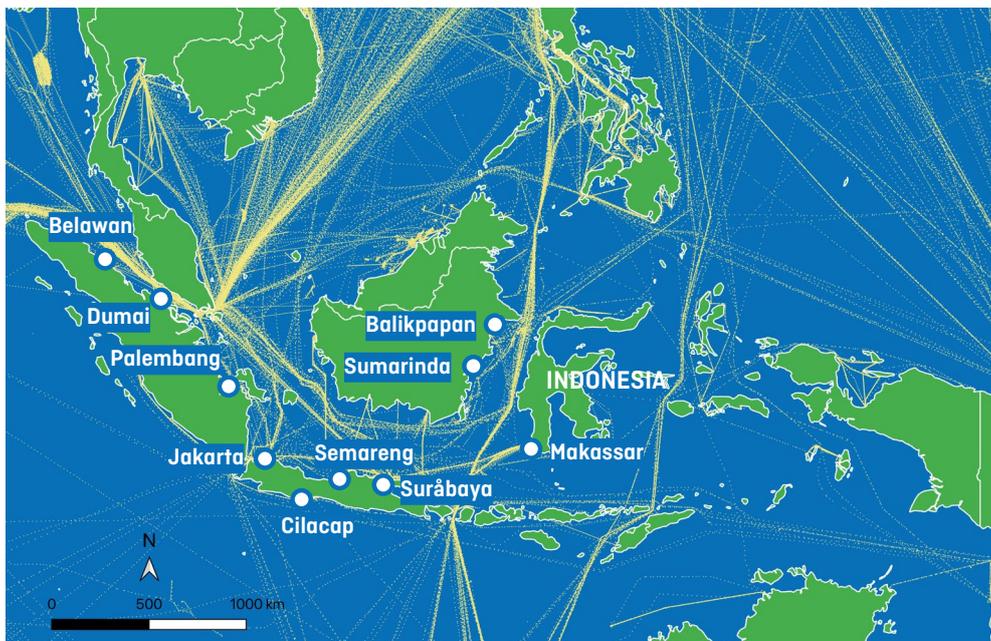
Ringkasan Eksekutif

Memajukan Indonesia – negara kepulauan penting untuk mendukung transisi energi pelayaran dengan membuka potensi domestik untuk produksi bahan bakar hijau.

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia yang secara geografis dilintasi dua jalur pelayaran terpenting bagi lalu lintas kapal internasional. Dengan lebih dari 17.000 pulau, identitas nasional, politik, masyarakat, dan ekonomi Indonesia melekat dengan industri maritimnya. Ekonomi kelautan Indonesia sangat penting dalam menyediakan lapangan kerja bagi jutaan warga Indonesia, dan ini menjadikan Indonesia sebagai pemasok pelaut terbesar ketiga di dunia dan mendukung sektor perikanan senilai US\$27 miliar yang mempekerjakan tujuh juta orang.

Sebagai negara kepulauan dan pengemisi gas rumah kaca (GRK) terbesar kelima secara global, Indonesia sangat terkena dampak iklim dan jelas perlu mengurangi emisinya, sementara juga mencapai tujuan pembangunannya. Kegiatan maritim di perairan Indonesia berkontribusi terhadap emisi ini dan, tergantung pendekatan yang diambil, berbagai perhitungan menunjukkan bahwa emisi pelayaran domestik selama ini sangat kurang diperhitungkan. Ini sebagian besar dapat dikaitkan dengan perbedaan penanganan data, namun dengan jelas menunjukkan skala aktivitas maritim sebagai sumber emisi. Mengingat banyaknya kapal yang lewat tanpa singgah di pelabuhan Indonesia, emisi maritim dari kapal yang transit di perairan Indonesia hanyalah meningkatkan angka ini.

Gambar 1: Aktivitas Maritim Sekitar Perairan Pesisir Indonesia (2018).



Dengan semakin majunya agenda dekarbonisasi industri maritim, kebutuhan akan bahan bakar hijau dan teknologi terkait semakin mendesak dan relevan. Secara khusus, bahan bakar niremisi skalabel (Scalable Zero Emissions Fuel – SZEf) seperti hidrogen hijau dan amonia hijau dianggap sebagai bahan bakar yang paling menjanjikan untuk transisi industri ini. Bahan bakar ini akan membutuhkan jumlah energi terbarukan yang besar untuk produksi, penyimpanan, dan distribusinya.

Untuk meraih kemajuan dalam bidang ini membutuhkan pengembangan sumber daya energi terbarukan yang sebagian besar belum dimanfaatkan di Indonesia. Ini berpotensi menambah produksi energi terbarukan sebesar 830 – 1.873 Terawatt jam per tahun (TWh/tahun) pada 2030, yang sebagian besar didominasi pemanfaatan energi surya. Hal ini diperlukan untuk membantu Indonesia beralih dari ketergantungan pada sumber energi fosil, seperti cadangan batubara domestik dan impor produk minyak bumi, dan pada akhirnya menyediakan akses ke energi bersih untuk kebutuhan Indonesia.

Gambar 2: Perkiraan Total Potensi Energi Terbarukan Indonesia pada 2030.



Potensi energi tersebut cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik domestik, mendekarbonisasi industri lokal, dan berkontribusi pada dekarbonisasi pelayaran domestik. Selain itu, jika Indonesia berhasil mengakses cadangan energi panas buminya yang besar dengan biaya yang efektif, Indonesia juga dapat menjajaki peluang untuk membangun hub ramah lingkungan untuk bunker, bahkan mengeksplor SZEf di mana surplus energi terbarukan memungkinkan.

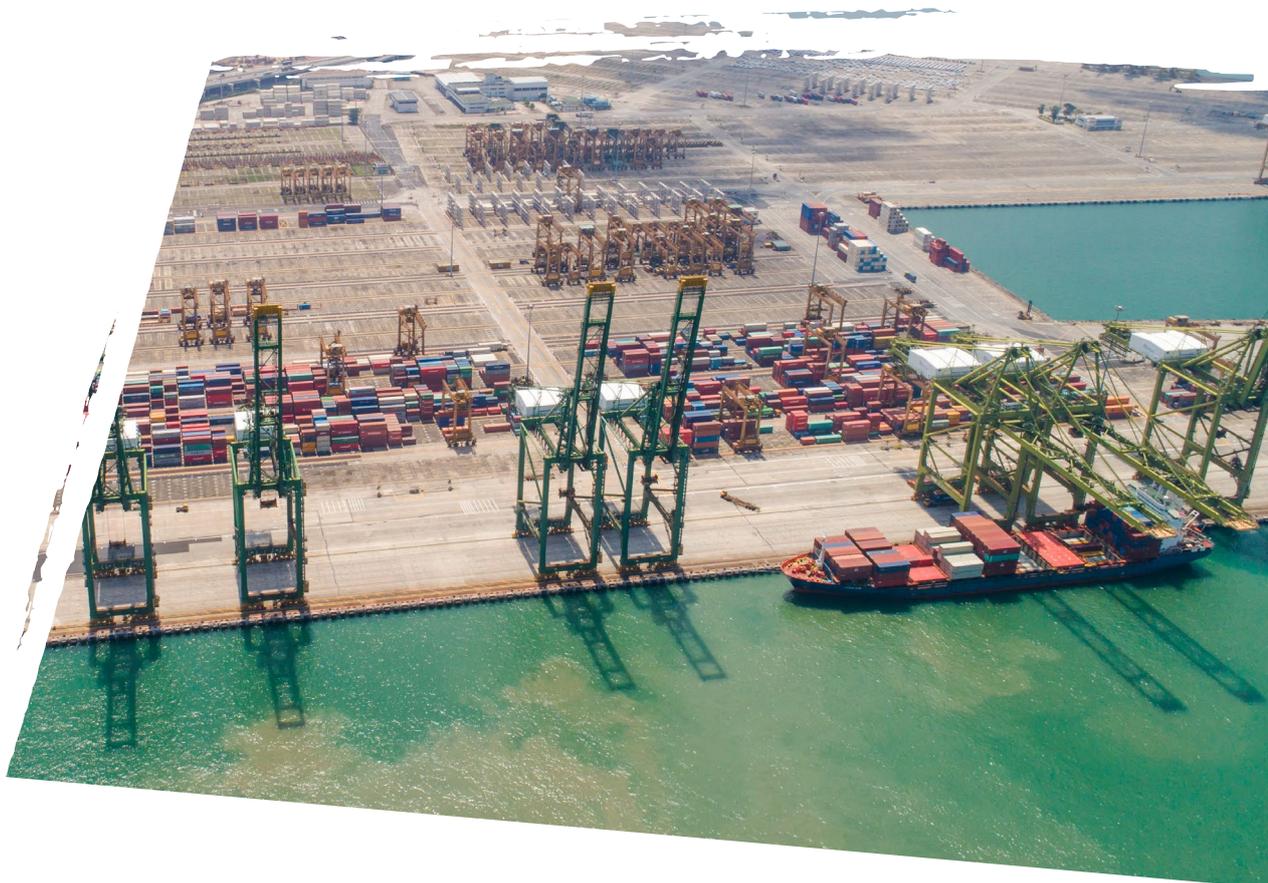
Dengan asumsi 5% armada global bertransisi ke SZEf pada 2030, permintaan energi hijau untuk kapal di Indonesia akan mencapai sekitar 8,3 TWh/tahun, yang menurut perhitungan konservatif hanya merupakan 0,9% dari total potensi terbarukan Indonesia.

Peluang Bisnis Strategis

Potensi ini kelak dapat memungkinkan Indonesia untuk memanfaatkan posisinya yang unik di Asia Tenggara untuk memfasilitasi pembangunan dan pertumbuhan berkelanjutan, terutama dengan membangun hub maritim untuk koridor hijau nasional yang menargetkan pelayaran laut jarak pendek. Indonesia dapat memanfaatkan potensi energi terbarukan yang bertumbuh ini untuk meningkatkan produksi dan kontribusi energi terbarukan, pada saat yang sama memanfaatkan potensinya sebagai pusat impor dan ekspor bahan bakar nol-karbon yang diproduksi di negara lain. Melalui transisi energi ke SZEK, Indonesia juga dapat memperoleh manfaat dari penciptaan lapangan kerja ramah lingkungan domestik di industri energi terbarukan dan pembuatan kapal.

Perkiraan menunjukkan bahwa pembangunan infrastruktur bahan bakar hijau untuk melayani sektor pelayaran Indonesia dapat menarik investasi hingga Rp 46 – 65 triliun (US\$3,2 – 4,5 miliar) di infrastruktur darat pada tahun 2030.

Untuk meningkatkan skala potensi energi terbarukan dengan mempertimbangkan kebutuhan pelayaran domestik, juga internasional, Indonesia dapat terus mengembangkan ambisi nasional yang ada untuk meningkatkan penetrasi energi terbarukan dan perluasan jejaring mikro. Memanfaatkan momentum transisi energi pelayaran, Indonesia dapat berinvestasi dalam proyek-proyek strategis yang membangun hub dan pelabuhan ramah lingkungan, membuka peluang koridor hijau domestik, dan mengembangkan kompetensi dan keterampilan sektoral baru. Konsultasi luas dengan para pemangku kepentingan di Indonesia mengidentifikasi tiga peluang utama, termasuk rencana pemindahan ibukota ke Kalimantan, elektrifikasi armada kapal kecil Indonesia, dan potensi produksi hidrogen dari energi panas bumi.





Pemindahan Ibukota ke Kalimantan

Rencana pemindahan ibukota Indonesia dari Jakarta ke Kalimantan Timur menawarkan peluang untuk mengembangkan wilayah tersebut lebih luas. Sebagai bagian dari langkah ini, rencana pemindahan ibukota mengatur pemanfaatan energi terbarukan dan efisiensi energi di ibukota baru.

Untungnya, Kalimantan menawarkan salah satu potensi energi terbarukan terbesar di Indonesia, yaitu sekitar 180 GW, terutama dari tenaga surya dan tenaga air. Terdapat berbagai inisiatif yang hendak memanfaatkan potensi ini untuk mengembangkan industri peleburan logam di Kalimantan Utara. Selain itu, rencana produksi dan pengembangan hidrogen hijau dan amonia untuk keperluan domestik dan ekspor juga sedang dipertimbangkan dengan target produksi 650.000 ton hidrogen hijau per tahun.

Pembangunan infrastruktur ini dapat bersinergi dengan dekarbonisasi pelayaran. Pelabuhan Balikpapan dapat dikembangkan menjadi pusat bunkering SZEF untuk pelayaran domestik, menjadikannya pintu gerbang komersial ke ibukota baru dan pusat ekspor untuk produk baru dan bahan bakar hijau yang diproduksi di Kalimantan Utara. Ini akan mendukung peralihan Kalimantan Timur sebagai "jantung pertambangan batubara" Indonesia dan memfasilitasi dekarbonisasi sektor pertambangan yang selama ini sulit dikurangi di daerah ini.



Mengelektifikasi Armada Kapal Kecil Indonesia

Armada kapal kecil domestik Indonesia yang besar dapat dilihat sebagai tulang punggung ekonomi dan masyarakat, menjadi sarana penting untuk penciptaan lapangan kerja dan konektivitas antar pulau serta sumber emisi maritim yang signifikan. Meski diesel dan bahan bakar nabati lebih disukai sebagai sumber bahan bakar, peralihan ke elektrifikasi untuk armada kapal kecil Indonesia akan memberi manfaat yang cukup besar.

Elektrifikasi dan adopsi teknologi penggerak tenaga baterai sangat cocok untuk kapal penumpang dan kapal tamasya, kapal penangkap ikan kecil, dan kapal tunda, karena kapal-kapal tersebut sering beroperasi pada jarak yang lebih pendek dan dekat dengan pesisir. Inisiatif elektrifikasi yang ada dan yang akan datang di Indonesia dapat dipromosikan sebagai rintisan dan diperluas di rute penumpang dan penangkapan ikan yang sibuk sekitar Jawa dan Sumatera.

Sumber energi terbarukan untuk ini dapat disandingkan dengan ambisi pemerintah untuk memperluas instalasi jejaring mikro guna meningkatkan akses listrik masyarakat terpencil. Selain itu, jika Indonesia bergerak cepat untuk meraih keunggulan kompetitif dalam teknologi baterai atau pembuatan kapal listrik, akan ada manfaat tambahan bagi pembangunan ekonomi Indonesia berupa penciptaan lapangan kerja ramah lingkungan dan peluang ekspor.



Pusat Dekarbonisasi Bertenaga Panas Bumi

Indonesia diperkirakan memiliki sekitar 40% cadangan sumber daya panas bumi dunia. Sumber daya ini sebagian besar terletak di pulau Sumatera dan Jawa-Bali, yang memiliki kepadatan penduduk yang besar dan dekat dengan jalur pelayaran penting.

Mengakses cadangan ini sangat mahal dan memiliki banyak tantangan; karena itu, baru sebagian kecil sumber energi ini dikembangkan di Indonesia. Jika dapat membuka potensi ini dengan biaya yang kompetitif, Indonesia berpotensi menjadi produsen internasional dan bunkering hub untuk SZEK.

Beberapa inisiatif sudah berjalan, misalnya oleh Pertamina Geothermal Energy yang sedang menjajaki produksi hidrogen hijau. Pertamina mengelola 15 lokasi operasional untuk produksi panas bumi yang diperkirakan dapat menghasilkan hingga 8.600 kg/hari hidrogen hijau. Proyek rintisan telah dimulai di lokasi panas bumi Ulubelu yang direncanakan untuk beroperasi secara komersial pada 2022. Sinergi dengan sektor maritim, sektor perikanan budidaya, dan produsen pupuk dapat memperkuat kelayakan bisnis untuk hidrogen dan amonia hijau berbasis panas bumi.

Rekomendasi

Untuk memanfaatkan berbagai peluang strategis ini secara tepat, ada beberapa tindakan kunci yang dapat diambil untuk memajukan pelayaran niremisi di Indonesia. Tindakan-tindakan tersebut dapat dilakukan oleh para pelaku dan otoritas pelabuhan, pemerintah, lembaga keuangan, serta pelaku industri maritim dan industri yang lebih luas yang tertarik untuk memanfaatkan potensi energi terbarukan di Indonesia. Dengan insentif yang tepat dan tindakan tertarget untuk mendorong investasi ke bidang yang relevan, Indonesia dapat membuka peluang ekonomi sekaligus mengurangi emisi.

PELABUHAN

Kaji opsi elektrifikasi pelabuhan

Elektrifikasi penggunaan bahan bakar fosil yang ada di pelabuhan adalah langkah langsung menuju dekarbonisasi maritim, di mana pun perubahan ini memungkinkan, dengan mengalihkan aktivitas pelabuhan untuk mengandalkan energi listrik dari sumber terbarukan sehingga mengurangi emisi GRK.

Masukkan pertimbangan keberlanjutan dalam rencana perluasan pelabuhan

Para pemangku kepentingan telah mencatat perlunya koordinasi perluasan pelabuhan dan pengembangan proyek infrastruktur umum secara terkoordinasi dan berkelanjutan, terutama bila direncanakan di daerah dengan keanekaragaman hayati tinggi seperti Kalimantan.

Persiapkan diri untuk mencari sumber atau memproduksi listrik terbarukan dan SZEf untuk bunkering dan penggunaan pelabuhan

Perusahaan pelayaran sudah berencana untuk mengoperasikan kapal menggunakan SZEf. Mempersiapkan sumber atau memproduksi energi terbarukan dan bahan bakar hijau dapat membantu Indonesia untuk tetap mengikuti perkembangan sektor serta bersiap untuk melayani kapal-kapal baru ini.

Mendorong pelabuhan sebagai simpul hijau dalam jejaring distribusi energi

Pelabuhan adalah titik pusat berbagai sumber polusi, mulai dari kapal yang datang dan berangkat, pelayaran domestik, truk dan rel darat, serta operasi pelabuhan itu sendiri. Agar dapat menangani SZEf, para pemangku kepentingan melihat perlunya pelabuhan dikembangkan menjadi simpul yang dapat mendukung distribusi energi hijau dan bahan bakar ke masyarakat pulau terpencil.

KEBIJAKAN

Nasional

Mengembangkan strategi aksi nasional yang jelas untuk mewujudkan dekarbonisasi maritim

Mengembangkan strategi nasional untuk mewujudkan dekarbonisasi maritim, dengan fokus pada aksi yang dapat dilakukan baik secara nasional maupun melalui kerja sama internasional, dapat memberikan sinyal kebijakan yang jelas dan penting untuk mendukung tindakan lebih lanjut menuju agenda ini.

Tugaskan studi yang mengkaji kapasitas realistis untuk menghasilkan SZEf untuk memperkuat dan mendukung pengembangan strategi atau peta jalan hidrogen nasional

Indonesia dapat menugaskan studi untuk lebih memahami dan menentukan cakupan lokasi yang realistis untuk memperluas kapasitas energi terbarukan dan lokasi produksi hidrogen hijau. Pengetahuan ini dapat dimasukkan ke dalam strategi nasional atau peta jalan untuk pengembangan dan penerapan hidrogen hijau.

KEBIJAKAN

Manfaatkan sinergi antara dekarbonisasi pelayaran dan penghentian batubara

Indonesia dapat mempertimbangkan bagaimana dekarbonisasi pelayaran dapat membantu menciptakan lapangan kerja baru sekaligus mendukung transisi dari lapangan kerja bahan bakar fosil seiring dihentikannya penggunaan batubara. Berbagai studi memperkirakan bahwa pada 2050 setidaknya 3,2 juta pekerjaan baru dapat diciptakan jika Indonesia melakukan transisi sistem energinya.

Dukung koordinasi pada pelabuhan dan simpul energi hijau

Seiring upaya Indonesia untuk memosisikan diri sebagai simpul bunkering internasional untuk SZEZ, diperlukan peningkatan koordinasi antara kementerian, pelabuhan, dan badan usaha milik negara.

Fasilitasi sinergi lintas sektor untuk produksi dan penggunaan SZEZ

Terdapat peluang sinergi lintas sektor antar industri seperti pelayaran, produksi pupuk, peleburan aluminium, pertambangan, perikanan budidaya, dan produksi listrik untuk konsumsi dalam negeri. Indonesia dapat mengupayakan untuk mendukung kolaborasi tersebut melalui, misalnya, satuan tugas khusus.

Siapkan kapasitas dan keterampilan tenaga kerja untuk menangani SZEZ dan berbagai teknologi terkait

Indonesia dapat menyusun strategi untuk mengembangkan talenta yang berkualifikasi untuk ekonomi hidrogen hijau, mengamankan karir masa depan pelaut Indonesia baik di kapal maupun di lepas pantai karena sektor maritim mengadopsi solusi digital baru, teknologi hijau, dan transisi dari sumber energi bahan bakar fosil tradisional.

Tinjau metodologi agregasi data dan MRV terkait emisi maritim

Untuk lebih memahami emisi sektor pelayaran Indonesia, perlu ada tinjauan terhadap berbagai metodologi agregasi data dan pemantauan, pelaporan, dan verifikasi (MRV) yang berkaitan dengan emisi maritim.

Internasional

Berkolaborasi untuk mendorong kebijakan GRK yang efektif di Organisasi Maritim Internasional (IMO)

Penandatanganan Deklarasi Pengiriman Tanpa Emisi pada tahun 2050 (the Declaration on Zero Emission Shipping by 2050) dan memanfaatkan peran Indonesia sebagai tuan rumah KTT G20 mendatang dapat memperkuat agenda dekarbonisasi pelayaran. Ini akan membantu menetapkan target yang jelas yang didukung oleh langkah-langkah kebijakan yang efektif, termasuk langkah-langkah berbasis pasar, dan memastikan transisi yang adil dan merata.

Tanda tangani Deklarasi Clydebank dan kembangkan koridor hijau pertama di Indonesia

Berdasarkan potensi energi terbarukan, hubungan perdagangan dengan kawasan lain, dan lokasinya di sepanjang rute pelayaran yang sibuk, Indonesia dapat menandatangani Deklarasi Clydebank untuk menandakan minatnya dalam kolaborasi internasional di koridor hijau.

Mendukung pengembangan standar dan otorisasi SZEZ

Standar dan label tersebut diperlukan untuk menyelaraskan spesifikasi teknologi untuk industri dan memantau keselamatan produksi, penanganan, dan pengangkutan SZEZ.

KEUANGAN

Kaji insentif fiskal nasional bagi penggerak pertama

Peningkatan infrastruktur adalah prosedur yang mahal dan panjang, yang sering menuntut pengerahan modal swasta yang signifikan. Para pemangku kepentingan menyarankan dilakukannya kajian insentif fiskal untuk mendukung penggerak pertama yang mengambil risiko lebih tinggi.

FINANCE

Dorong pembangkit listrik terbarukan swasta

Sebagaimana dikemukakan para pemangku kepentingan, intervensi fiskal memainkan peran penting dalam mendorong sektor swasta untuk berkolaborasi dengan pemerintah dalam proyek-proyek yang relevan. Memberi insentif bagi investasi sektor swasta dalam sistem jejaring terdistribusi dapat mengurangi tekanan dari penyedia energi terbarukan milik negara.

Kaji peningkatan penerapan untuk instalasi jejaring mikro (microgrid)

Sudah ada jejaring mikro terpasang di berbagai tempat di seluruh Indonesia dan rencana untuk memperluas sebarannya. Sistem lokal seperti ini berpotensi memasok kebutuhan energi pelabuhan yang lebih kecil (baik melalui elektrifikasi maupun bahan bakar hijau) yang dilewati lalu lintas feri dan kapal penangkap ikan yang tinggi.

Memanfaatkan pembiayaan pembangunan internasional untuk memprioritaskan pendanaan proyek-proyek strategis

Indonesia sudah memiliki pengalaman dalam mengakses dan melaksanakan bantuan bank pembangunan yang dapat digunakan untuk kepentingan industri maritim dan daratnya dalam meningkatkan produksi SZEf.

INDUSTRI

Lakukan dan inisiasi kolaborasi sektor publik-swasta

Kolaborasi dan kemitraan sektor publik dan swasta merupakan cara penting untuk menetapkan arah dan mengoordinasikan upaya, khususnya mengingat peran penting badan usaha milik negara seperti Pertamina dan PLN.

Tingkatkan kesadaran akan manfaat dan perlunya transisi energi hijau

Pelaku industri dapat membuat menyelenggarakan serangkaian proyek (yaitu seminar, debat TV, publikasi, dll.) yang menjelaskan potensi manfaat transisi ke SZEf, yang akan membantu menciptakan pasar baik bagi perusahaan lokal maupun asing yang berkomitmen untuk mengambil langkah pertama untuk melakukan peralihan ke SZEf di Indonesia.

Kebangkan kehadiran lokal dengan mendirikan kantor regional atau kemitraan

Untuk perusahaan internasional, memiliki kehadiran lokal di negara tempat mereka hendak berkembang dan tumbuh adalah sangat berharga. Hal ini dapat memperkuat kemampuan untuk membangun jejaring dan memiliki dampak lokal.

Targetkan kegiatan dekarbonisasi di area strategis

Para pihak yang tertarik mengembangkan proyek konkret untuk menghasilkan SZEf dan teknologi rintisan terkait dapat memanfaatkan lokasi strategis di Indonesia yang memiliki konvergensi faktor-faktor yang menguntungkan.

Permintaan agregat SZEf

Industri maritim sendiri dapat bertindak sebagai *offtaker* yang besar. Namun pelaku industri dapat juga untuk mengumpulkan permintaan SZEf di seluruh rantai nilai serta dari sektor lain (yaitu perikanan, pariwisata, pertambangan, dan produksi pupuk dan amonia) untuk mengamankan pasokan.

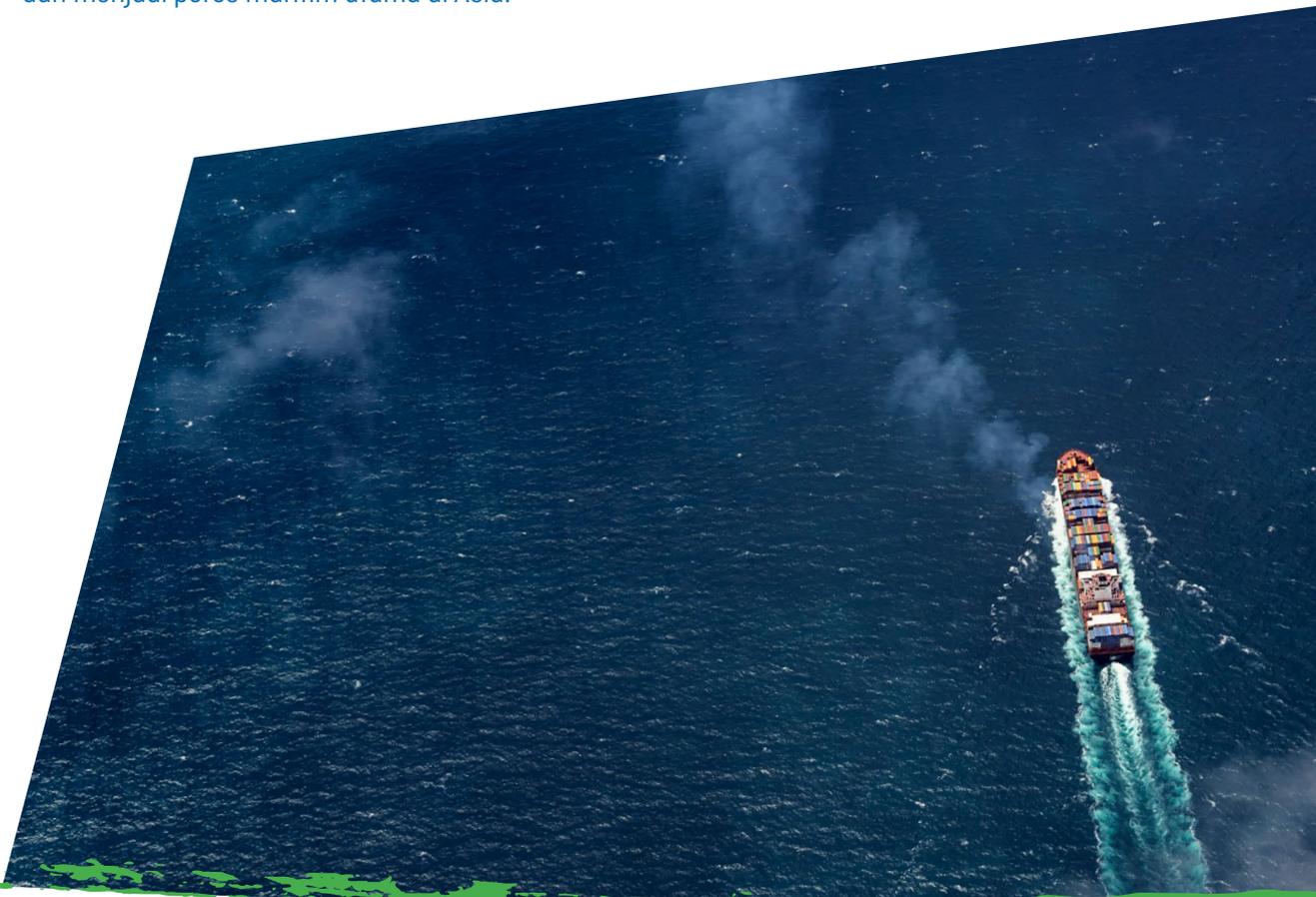
Kaji berbagai opsi model bisnis alternatif

Pelaku industri dapat mencari model bisnis baru dan alternatif yang mengurangi hambatan masuk atau adopsi teknologi SZEf yang tinggi, baik di atas kapal maupun di darat.

Terhubung dengan upaya transisi energi maritim global akan membantu Indonesia memosisikan diri dengan lebih baik untuk tidak hanya mewujudkan target iklimnya, tetapi juga ambisinya menuju pembangunan berkelanjutan. Membangun infrastruktur yang relevan akan mendorong kemampuan Indonesia untuk memanfaatkan transisi ini dan membuat terobosan pada beberapa tujuan nasional. Menciptakan kerangka keuangan dan peraturan pengampu, membangun kemitraan dan inisiatif kolaboratif publik-swasta, dan berinvestasi dalam energi terbarukan dan proyek-proyek berketahanan iklim akan menjadi cara mendasar untuk mewujudkan hal ini di tahun-tahun mendatang.

Transisi energi pelayaran menuju bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan sudah berlangsung dengan semakin banyaknya proyek dan inisiatif yang muncul secara global. Diskusi di tingkat internasional telah mendorong peningkatan ambisi dan memperjelas bahwa ketergantungan sektor pelayaran pada bahan bakar fosil akan berakhir dalam beberapa dekade mendatang.

Sangat penting bagi negara-negara seperti Indonesia untuk menjadi bagian dari transisi yang adil dan merata menuju ekonomi rendah karbon. Untuk menuju ke sana, diperlukan aksi nasional dan internasional, terutama untuk mendukung investasi dan perluasan skala energi terbarukan dan infrastruktur SZEK. Hal ini tidak hanya akan mengurangi emisi domestik, mengurangi ketergantungan negara pada batubara dan meningkatkan kualitas udara dan air, tetapi juga memberikan manfaat yang signifikan bagi perekonomian negara dan masyarakat dalam penciptaan lapangan kerja dan keahlian yang berkelanjutan. Tindakan-tindakan yang diuraikan di atas dapat mendukung Indonesia dalam upayanya menghijaukan ekonominya dan menjadi poros maritim utama di Asia.



Singkatan

ADB	<i>Asian Development Bank</i> (Bank Pembangunan Asia)
AIS	<i>Automatic Identification System</i> (Sistem Identifikasi Otomatis)
ASEAN	<i>Association of Southeast Asian Nations</i> (Asosiasi Bangsa-Bangsa Asia Tenggara)
BC	<i>Black Carbon</i> (Karbon Hitam)
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i> (Penangkapan dan Penyimpanan Karbon)
CCUS	<i>Carbon Capture, Utilization, and Storage</i> (Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon)
CH₄	Methane
CII	<i>Carbon Intensity Indicator</i> (Indikator Intensitas Karbon)
CO	Karbon Monoksida
CO₂	Karbon Dioksida
CO₂e	Setara CO ₂
ECA	<i>Emission Control Area</i> (Area Kendali Emisi)
EEDI	<i>Energy Efficiency Design Index</i> (Indeks Efisiensi Energi sesuai Desain)
EEXI	<i>Energy Efficiency Existing Ship Index</i> (Indeks Efisiensi Energi Kapal yang Ada)
EEZ /ZEE	<i>Exclusive Economic Zone</i> (Zona Ekonomi Eksklusif)
EF/FE	<i>Emission Factor</i> (Faktor Emisi)
EIA	<i>Environmental Impact Assessment</i> (Penilaian Dampak Lingkungan)
GHG GRK	<i>Greenhouse Gas</i> (Gas Rumah Kaca)
GWh/tahun	Gigawatt Jam per Tahun
GWP₁₀₀	<i>Global Warming Potential Over a 100-year Period</i> (Potensi Pemanasan Global dalam Periode 100 Tahun)
HFO	<i>Heavy Fuel Oil</i> (Minyak Bakar Berat)
HFO_{eq}	<i>Heavy Fuel Oil Equivalent</i> (Setara Minyak Bakar Berat)
IMO	<i>International Maritime Organization</i> (Organisasi Maritim Internasional)
IDR	Rupiah
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Panel Perubahan Iklim Antarpemerintah)

IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i> (Badan Energi Terbarukan Internasional)
LHV	<i>Low Heating Value</i> (Nilai Pemanasan Rendah)
LNG	<i>Liquefied Natural Gas</i> (Gas Alam Cair)
MBM	<i>Market-based Measures</i> (Langkah-langkah Berbasis Pasar)
MCR	<i>Maximum Continuous Rating</i>
MDO	<i>Marine Diesel Oil</i> (Minyak Diesel Kelautan)
MMSI	<i>Maritime Mobile Service Identity</i> (Identitas Layanan Bergerak Maritim)
MRV	<i>Monitoring, Reporting, and Verification</i> (Pemantauan, Pelaporan, dan Verifikasi)
N₂O	Dinitrogen Oksida
NDC	<i>Nationally Determined Contribution</i> (Kontribusi yang Ditentukan Secara Nasional)
NM VOC	<i>Non-Methane Volatile Organic Compounds</i> (Senyawa Organik Non-Metana yang Mudah Terbakar)
NO_x	Oksida Nitrogen
PLN	Perusahaan Listrik Negara
PM	<i>Particulate Matter</i> (Partikel Padat)
QA	<i>Quality Assurance</i> (Penjaminan Mutu)
QC	<i>Quality Control</i> (Kendali Mutu)
RUKN	Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (2019-2038)
RUPTL	Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (2021)
SEEMP	<i>Ship Energy Efficiency Management Plan</i> (Rencana Pengelolaan Efisiensi Energi Kapal)
SFC	<i>Specific Fuel Consumption</i> (Konsumsi Bahan Bakar Spesifik)
SGM	<i>Shipping Geospatial Model</i> (Model Geospasial Pelayaran)
SOG	<i>Speed Over Ground</i> (Kecepatan di Darat)
SO_x	<i>Sulfur Oxides</i> (Oksida Belerang)
SZEF	<i>Scalable Zero Emission Fuels</i> (Bahan Bakar Niremisi Skalabel)
TWh	Terawatt Jam
USD	Dollar Amerika Serikat
VOC	<i>Volatile Organic Compounds</i> (Senyawa Organik Mudah Terbakar)

Bagian 1

Perlunya Dekarbonisasi Maritim

Perubahan iklim adalah salah satu tantangan terbesar yang dihadapi umat manusia abad ini. Hasil kerja Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (Intergovernmental Panel on Climate Change—IPCC) telah menyoroti dan membuktikan dampak perubahan iklim yang berdaya rusak yang terjadi di seluruh dunia. Dampak tersebut diperkirakan akan meningkat intensitas, frekuensi, dan bahayanya kecuali jika transisi energi dilakukan di semua sektor [1]. IPCC menyarankan bahwa untuk menghindari skenario terburuk, kenaikan suhu global perlu dibatasi sekitar 1,5°C. Untuk itu, “Emisi bersih global karbon dioksida (CO₂) yang disebabkan manusia akan perlu turun sekitar 45% dari tingkat tahun 2010 pada tahun 2030, mencapai setidaknya ‘nol bersih’ sekitar tahun 2050” [2][3].

Pada 2015, Perjanjian Paris menetapkan tujuan untuk membatasi pemanasan global di bawah 2,0°C dan lebih baik lagi 1,5°C. Baru-baru ini, pada Konferensi Para Pihak Perserikatan Bangsa-Bangsa (COP26) 2021, pelayaran dan kontribusinya terhadap perubahan iklim internasional disorot sebagai sektor utama yang harus ditangani di tahun-tahun mendatang. Memang, laporan terbaru IPCC menyoroti peran sektor pelayaran dan tindakan yang diperlukan untuk mengampu dekarbonisasinya [4]. Jelas bahwa pelayaran, sebagai sebuah sektor, perlu memainkan perannya dalam dekarbonisasi global dan transisi energi jika tujuan ini hendak dicapai.

Transportasi lintas laut regional dan global secara efektif menghubungkan ekonomi negara-negara melalui pergerakan barang yang efisien, mewakili 80-90% dari perdagangan dunia [5][6]. Yang menjadi pendorong gerakan ini adalah industri energi senilai US\$140 miliar per tahun yang memasok sektor pelayaran dengan 4-5 juta barel minyak setiap hari¹ [7]. Dengan itu, sektor pelayaran menghasilkan antara 2-3% emisi gas rumah kaca (GRK) global – dan menyumbang antara 12-13% emisi belerang dan oksida nitrogen terhadap polusi udara global [8][9].

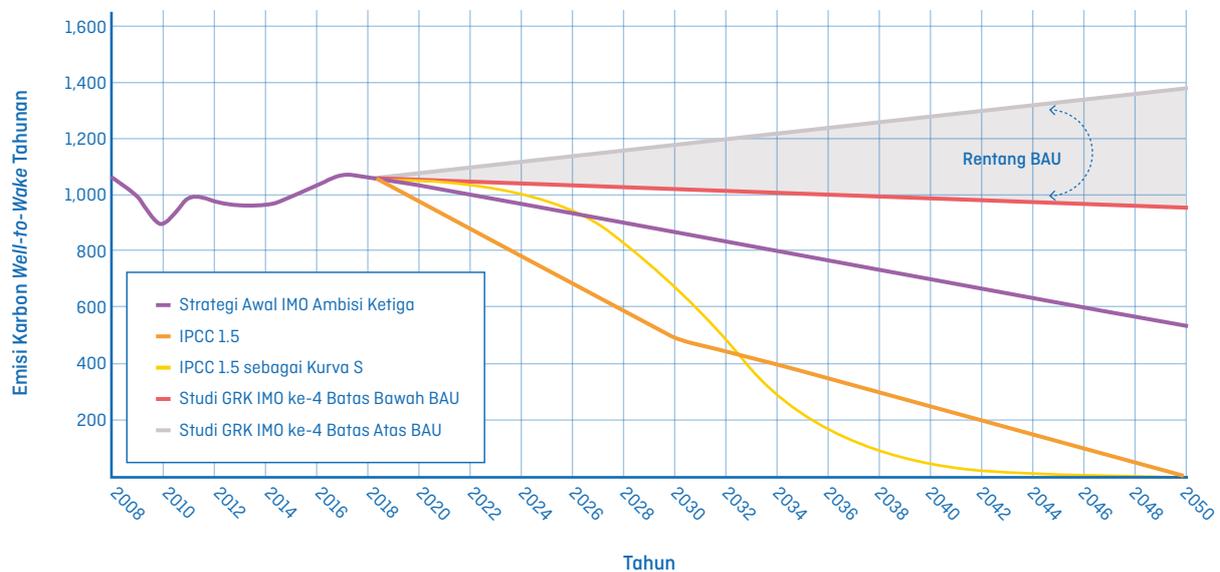
Perdagangan lintas laut mengalami pertumbuhan tahunan rata-rata sekitar 3,2% antara tahun 2011 dan 2019, yang berarti bahwa lebih dari 13.000 kapal komersial baru² telah beroperasi dalam dekade terakhir [10], yang sebagian besar digerakkan oleh bahan bakar fosil. Proyeksi terbaru menunjukkan bahwa pada 2050, emisi pelayaran akan meningkat antara 90-130% dibandingkan tingkat tahun 2008 [8] (lihat Gambar 1). Dengan usia rata-rata sekitar 25 dan 30 tahun, kapal dianggap sebagai aset berusia panjang. Tergantung pada jenis mesin yang digunakan di kapal-kapal ini, biaya pemutakhiran mereka untuk menggunakan bahan bakar alternatif bisa sangat besar. Agar kapal berbahan bakar fosil tidak menjadi aset terdampar, langkah-langkah untuk memfasilitasi transisi pelayaran dan mengurangi emisi secara substansial perlu dilakukan sesegera mungkin [11]. Tindakan untuk mendukung hal ini mencakup pembuatan kapal niremisi serta pemutakhiran aset yang ada.

1 Harga kontrak barel diambil pada 17/01/2022 yaitu US\$84,20.

2 Di atas 100 tonase kotor dan biasanya dengan panjang lebih besar dari 25m tergantung pada konstruksi kapal .

Penting untuk disorot bahwa peningkatan efisiensi energi dan bahan bakar berbasis gas alam saja tidak akan cukup untuk memenuhi tujuan iklim Perjanjian Paris [4]. Dengan demikian, masa depan pelayaran internasional akan bergantung pada produksi dan penggunaan bahan bakar niremisi (SZEF) baru yang dapat digunakan luas, subset bahan bakar dengan (i) potensi untuk memiliki emisi GRK nol sepanjang siklus hidup dengan mempertimbangkan emisi dari produksi, transportasi, penyimpanan, dan penggunaan; dan (ii) proses produksi yang mampu secara kompetitif memasok permintaan masa depan yang diharapkan. Skala permintaan bahan bakar tersebut diperkirakan sekitar 200-300 Mt energi setara Minyak Berat (HFO_{eq}) per tahun [12].

Gambar 1: Potensi jalur emisi setara karbon dari Well-to-Wake³ berdasarkan skenario, ambisi, dan tujuan perubahan iklim yang berbeda. Bidang abu-abu mewakili kisaran emisi untuk kasus BAU (berdasarkan 8).



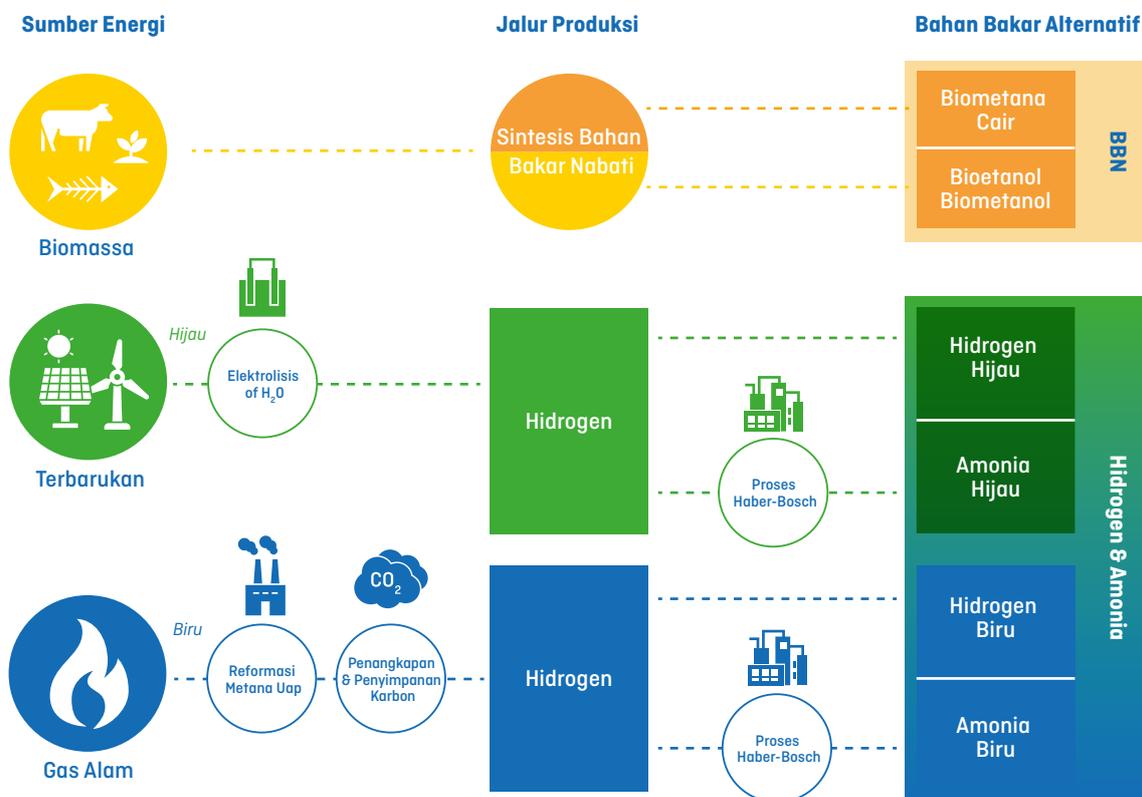
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, ada beberapa jenis bahan bakar baru yang berpotensi untuk digunakan dalam industri pelayaran. Secara khusus, Indonesia memiliki ketersediaan bahan bakar nabati dalam jumlah besar, yang oleh pemerintah telah diamanatkan penggunaannya dalam transportasi (lihat Bagian 5). Bahan bakar nabati cenderung dilihat sebagai sumber energi netral karbon karena CO_2 lingkungan ditangkap dan disimpan oleh hewan, tumbuhan, mikroorganisme, atau limbah yang mengimbangi CO_2 yang dilepas ketika digunakan sebagai bahan bakar [13]. Walau asumsi netralitas karbon dari beberapa bahan bakar nabati telah dibantah [14], bahan bakar ini masih cenderung menawarkan emisi GRK yang lebih rendah daripada bahan bakar berbasis fosil konvensional. Selain itu, asumsi bahwa bahan bakar nabati adalah sumber terbarukan masih menjadi pokok diskusi dan hanya analisis siklus hidup di masa depan yang dapat menentukan bahan baku biomassa mana yang benar-benar terbarukan [15]. Namun, ada kekhawatiran pada skala global untuk bahan bakar ini dan penggunaannya yang berkelanjutan di sektor maritim. Memang, studi dan pakar industri telah mencatat bahwa bahan bakar nabati tidak mungkin menjadi pilihan bahan bakar utama industri untuk pelayaran laut dalam karena menghadapi tantangan skalabilitas serta permintaan kompetitif dari sektor lain [16]. Bahan bakar nabati berkelanjutan dari limbah dapat terus digunakan untuk kapal domestik yang lebih kecil dan pelayaran jarak pendek, atau kapal besar lainnya sebagai bahan bakar transisi, meskipun sektor lain mungkin menawarkan pasar yang lebih menguntungkan untuk penjualan dan penggunaannya.

3 Yakni agregasi emisi hulu (yaitu well-to-tank) dan hilir (yaitu tank-to-wake).

Bahan bakar yang tidak memiliki molekul karbon, seperti hidrogen dan amonia, adalah beberapa contoh SZEK yang paling layak karena potensinya untuk produksi dalam skala besar dan tanpa emisi CO₂ operasional. Bahan bakar ini dapat diproduksi melalui dua jalur, yaitu hidrogen dan amonia 'biru' dan 'hijau'. Hidrogen dan amonia biru diproduksi melalui reformasi uap-metana gas alam sehingga masih memerlukan penggunaan bahan bakar fosil dalam jalur produksinya [17]. Agar jalur produksi tersebut dianggap nol karbon, semua emisi GRK yang dihasilkan dari proses manufaktur akan memerlukan pemanfaatan teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS) [17]. Kelangsungan jangka panjang dan daya saing harga dari proses ini masih harus dipastikan, karena teknologi CCS masih mahal, dan penggunaannya dapat dikatakan memperpanjang ketergantungan pada bahan bakar fosil. Di sisi lain, hidrogen dan amonia hijau diproduksi tanpa bahan bakar fosil, tetapi dengan menggunakan listrik terbarukan untuk menggerakkan elektrolisis air [17].

Menimbang hal ini, hidrogen biru dan amonia dapat berperan dalam transisi dari bahan bakar fosil ke SZEK, tetapi dalam jangka panjang hanya bahan bakar yang benar-benar bebas fosil seperti hidrogen hijau dan amonia hijau yang dianggap paling menjanjikan sebagai pilihan untuk kapal laut dalam karena keduanya dapat digunakan melalui sel bahan bakar mesin pembakaran internal. Amonia hijau, khususnya, dianggap sebagai pilihan jangka panjang yang paling cocok untuk dekarbonisasi pelayaran internasional [16][18]. Kapal domestik yang lebih kecil juga dapat menggunakan hidrogen hijau, meskipun ada pilihan daya lain yang menarik, seperti elektrifikasi.

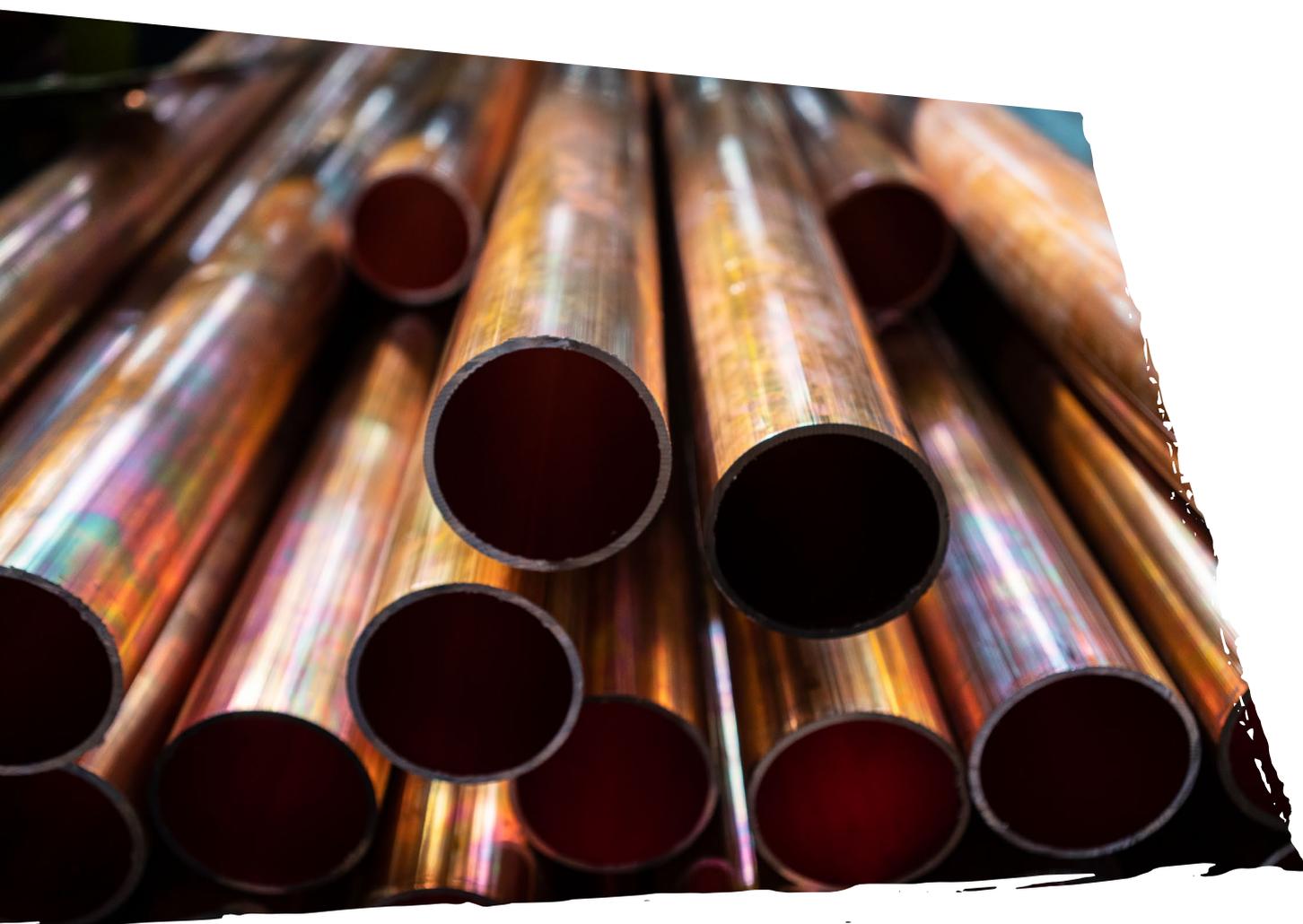
Gambar 2 : Bahan bakar alternatif dan jalur-jalur produksinya (terinspirasi oleh Bank Dunia [19]).



Sumber: Terinspirasi oleh Bank Dunia [19]

Transisi bahan bakar pelayaran, yang jelas merupakan tantangan sekaligus peluang, dapat memicu investasi, mendorong inovasi, dan menciptakan pertumbuhan yang berkelanjutan. Untuk itu, sektor ini perlu mengembangkan dan membangun kapal baru, mengintegrasikan dan mengadopsi solusi teknologi inovatif, mengembangkan rantai pasokan bahan bakar baru dan infrastruktur darat sambil meningkatkan sinergi dengan sektor lain yang hendak menghilangkan karbon dari kegiatan komersial mereka. Dengan ini, pelayaran itu sendiri dapat dilihat sebagai penggerak sekaligus konsumen bahan bakar baru ini [20].

Berbagai langkah telah diambil untuk membangun, mendemonstrasikan, dan merintis teknologi dan purwarupa SZEK baru. Sudah ada mesin laut berbahan bakar ganda SZEK skala besar yang menggunakan metanol yang beroperasi, sementara mesin hidrogen hijau dan amonia diharapkan tersedia secara komersial pada pertengahan 2020-an dan sistem sel bahan bakar skala besar kemungkinan akan tersedia di akhir dekade ini [21][22][23]. Biaya mesin dan sel bahan bakar baru ini pada awalnya memang akan lebih mahal daripada yang berbasis bahan bakar fosil tradisional yang saat ini digunakan luas. Namun biaya ini akan menjadi lebih kompetitif seiring waktu dengan manfaat skala ekonomi. Kapal niremisi diperkirakan akan mulai beroperasi dalam skala yang relatif kecil pada atau sebelum tahun 2030, dan akan menjadi pilihan utama untuk pesanan kapal baru selama dua dekade berikutnya. Untuk mempersiapkan diri menghadapi masa depan ini, perlu mengambil tindakan sekarang, terutama mempercepat penciptaan infrastruktur SZEK [17].



Bagian 2

Indonesia: Negara Maritim

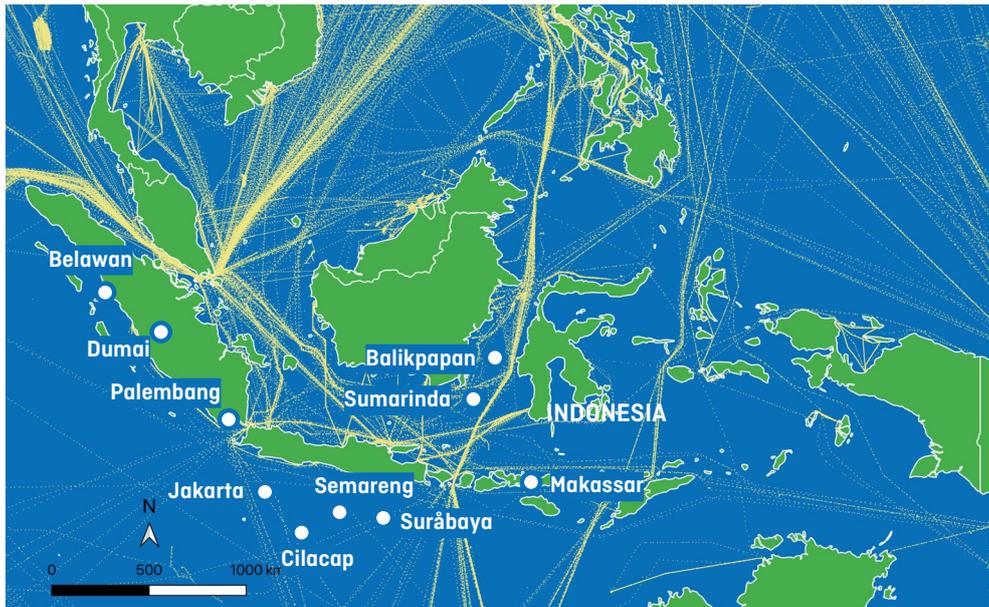
Indonesia terletak sepanjang dua jalur pelayaran terpenting di dunia, yaitu Selat Malaka dan Selat Sunda. Lokasi geografis Indonesia memberikan peluang besar untuk berinvestasi di pasar maritim beragam yang perlu beralih ke intensitas karbon yang lebih rendah (lihat Gambar 3), dan menjadi simpul bagi kapal internasional yang melintas di antara ekonomi-ekonomi terbesar di dunia.

Indonesia terdiri dari lebih dari 17.000 pulau yang terbentang antara Samudra Pasifik dan Hindia [24]. Dengan garis pantai sepanjang 54.720 km dan jumlah penduduk pesisir yang besar, sekitar 900.000 orang Indonesia mencari nafkah di ekonomi maritim lokal dan internasional. Karena itu, Indonesia memiliki ekonomi kelautan yang besar dengan sektor perikanan senilai sekitar US\$27 miliar yang menyediakan pekerjaan bagi 7 juta orang pada 2019 [26].

Politik dan kegiatan sosial ekonomi Indonesia sangat ditentukan oleh geografinya sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan keanekaragaman hayati dan budaya yang kaya [27][28][29]. Atribut geografis yang unik ini membentuk bagian penting dari identitas nasional Indonesia. Sifat kepulauan Indonesia dan posisinya di jantung beberapa poros perdagangan global memberikan beberapa jalan untuk pertumbuhan dan perkembangan perdagangan maritim di masa depan.

Dengan pulau sebanyak ini, tidak heran jika terdapat beberapa ratus pelabuhan kecil yang tersebar sepanjang kepulauan, yang 111 di antaranya merupakan pelabuhan niaga dan 11 pelabuhan peti kemas. Dengan jumlah pelabuhan yang begitu besar, Indonesia memiliki 260 administrasi yang melakukan pengawasan. Pelindo adalah badan usaha milik negara utama yang mengelola pelabuhan-pelabuhan ini [25][30][31]. Pelabuhan-pelabuhan tersebut melayani banyak kapal, baik domestik maupun internasional. Armada nasional Indonesia sendiri memiliki 27.114 kapal yang terutama terdiri dari kapal kargo umum, kapal tanker minyak, kapal curah, kapal kontainer, dan lain-lain. 99% pelayaran domestik dilakukan melalui kapal yang terdaftar secara lokal [32][25]. Karena ketergantungannya yang besar pada kegiatan maritim, Indonesia juga merupakan pemasok pelaut utama dunia, menduduki peringkat ketiga setelah Filipina dan Rusia [5].

Gambar 3: Aktivitas Maritim di Sekitar Perairan Pesisir Indonesia (2018).



Indonesia memiliki kapasitas pelabuhan peti kemas sebesar 14.025.449 TEU [32]. Pada 2020, Indonesia mengimpor barang senilai US\$140 miliar, sebagian besar berupa minyak suling dan minyak mentah. Nilai ekspor Indonesia adalah US\$178 miliar dan mencakup minyak sawit, briket batubara, emas, dan gas minyak bumi (lihat Tabel 1). Mitra dagang utama Indonesia adalah Cina, Amerika Serikat, Jepang, Singapura, India, dan Thailand.

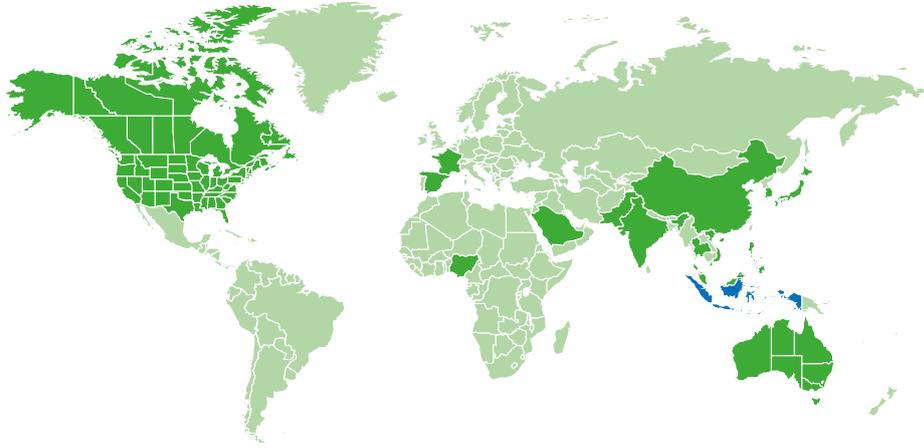
Tabel 1: Impor dan Ekspor Utama Indonesia [33]

Produk	Impor			Ekspor			
	Nilai (USD)	% dari total Impor	Asal & nilai (USD)	Produk	Nilai (USD)	% dari total ekspor	Tujuan & nilai (USD)
Minyak Bumi Halus	7.45 B	5.32%	Singapura (3,82B) Malaysia (1,28B) Arab Saudi (487 juta) Uni Emirat Arab (365M) Korea Selatan (332M)	Minyak kelapa sawit	17.9 B	10.06%	India (3,05B) Cina (2,47B) Pakistan (1,62B) Spanyol (854M) Malaysia (729M)
Minyak Mentah	3.13 B	2.23%	Arab Saudi (1,21B) Nigeria (775 juta) Amerika Serikat (248 juta) Malaysia (210 juta)	Briket Batubara	15.6 B	8.76%	India (3,8B) Cina (2,67B) Jepang (1,85B) Malaysia (1,34B) Filipina (1,27B)
Telepon	2.95 B	2.11%	Cina (1,95 miliar) Hong Kong (268 juta) Cina Taipei (227 juta) Vietnam (200 juta) Singapura (188M)	Emas	6.31 B	3.54%	Singapura (3,31B) Swiss (2,11B) Hongkong (464M) Australia (371 juta) Thailand (25,4 juta)
Pesawat, Helikopter, dan/ atau pesawat luar angkasa	2.69 B	1.92%	Thailand (1,45B) Malaysia (934M) Prancis (172M) India (46,8 juta) Kanada (36,4 juta)	Gas Minyak Bumi	5.71 B	3.21%	Singapura (1,69B) Cina (1,62B) Jepang (836M) Korea Selatan (796M) Tionghoa Taipei (290 juta)
Gas Minyak Bumi	2.42 B	1.73%	Amerika Serikat (887 juta) Uni Emirat Arab (652M) Qatar (375 juta) Arab Saudi (166 juta) Australia (105 juta)	Ferroalloy	4.74 B	2.66%	Cina (4,55B) India (114 juta) Korea Selatan (41,8 juta) Cina Taipei (18,9 juta) Kanada (3,67 juta)

Gambar 4: Hubungan Impor dan Ekspor Indonesia [33]

Indonesia

- China
- United States
- Japan
- Singapore
- Thailand
- Malaysia
- Saudi Arabia
- United Arab Emirates
- Qatar
- India
- South Korea
- Nigeria
- Hong Kong
- Vietnam
- Philippines
- Spain
- France
- Switzerland
- Canada
- Australia



Bagian 3

Aktivitas Pelayaran & Emisi Maritim

Indonesia adalah negara berdagang yang terletak di jalur-jalur pelayaran utama, sehingga memiliki aktivitas maritim yang signifikan di perairannya. Kegiatan pelayaran Indonesia didominasi oleh kapal curah, kapal tanker, dan kapal peti kemas yang sebagian besar melakukan pelayaran internasional. Menggunakan pendekatan berbasis aktivitas⁴, Tabel 2 merinci kapal yang berangkat dari pelabuhan Indonesia pada 2018 dan menunjukkan energi yang digunakan oleh setiap jenis kapal⁵. Kapal tanker besar dan kecil menyumbang 27,9% dari total permintaan energi tahunan, sementara kapal curah kecil dan besar serta kapal kontainer kecil masing-masing menyumbang 24,6% dan 7,5%. Namun, pangsa terbesar dari permintaan pelayaran adalah kapal industri kecil dengan pangsa 27,2% dari total permintaan energi pada 2018. Hal ini mencerminkan relevansi armada kapal kecil dengan sifat kepulauan Indonesia dan peluang besar bagi segmen sektor pelayaran ini untuk bertransisi, seperti yang akan dibahas dalam Bagian 6.

Tabel 2: Permintaan energi bahan bakar fosil dari berbagai jenis kapal yang meninggalkan pelabuhan Indonesia baik dalam pelayaran internasional maupun domestik [34].

Kategori kapal	Permintaan energi bahan bakar fosil 2018 (GWh/t)	Pangsa (%)
Pengangkut curah: Besar	14,770	12.9%
Pengangkut curah: Kecil	13,405	11.7%
Tanker: Besar	20,079	17.5%
Tanker: Kecil	11,977	10.5%
Kontainer: Besar	572	0.5%
Kontainer: Kecil	8,060	7.0%
Pengangkut Orang & Kendaraan: Besar	959	0.8%
Pengangkut Orang & Kendaraan: Kecil	4,838	4.2%
Lepas Pantai dan Jasa	2,300	2.0%
Penangkapan ikan	216	0.2%
Perahu kecil: Industri	31,192	27.2%
Perahu kecil: Memancing / Perahu Kecil Lainnya	6,364	5.5%
Total	114,732	100%

‡ The energy demand presented does not represent fuel sales only the energy expenditure to arrive to any port in Indonesia from the previous stop.
§ To convert from GWh to TJ a multiplying factor of 3.6 is used. For HFO_{eq} the Low Heating Value [LHV] used was 40.2 TJ/kt [8].

- 4 Dalam pendekatan berbasis aktivitas, juga dikenal sebagai pendekatan bottom-up, kapal-kapal dikelompokkan berdasarkan spesifikasi desainnya menggunakan informasi teknis yang bersumber dari basis data pendaftaran kapal seperti Clarkson's Shipping Intelligence Network. Ini digabungkan dengan data aktivitas yang dapat diambil dari survei operator kapal, otoritas pelabuhan, dan Sistem Identifikasi Otomatis (Automatic Identification Systems – AIS).
- 5 Energi tahunan didasarkan pada semua energi pelayaran yang diminta untuk pelayaran yang berangkat dari pelabuhan Indonesia ke pelabuhan berikutnya pada 2018. Ini mencakup pelayaran internasional dan domestik.

3.1 Inventori Emisi GRK Nasional Indonesia

Indonesia menyusun Inventori GRK Nasionalnya sesuai pedoman inventori IPCC 2006 untuk periode antara tahun 2000 dan 2019 [35]. Total emisi GRK Indonesia tahun 2019 sebesar⁶ 920.2214 kt CO₂e. Pada 2018, Indonesia merupakan penghasil GRK terbesar ketujuh [36]. Namun, penting untuk digarisbawahi bahwa untuk Indonesia, emisi Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya berjumlah 924.853 kt CO₂e, yang dengan emisi GRK selebihnya menghasilkan total 1.845.067 kt CO₂e, dan meningkatkan emisi Indonesia secara signifikan dan menaikkan peringkatnya dari peringkat ketujuh menjadi penghasil emisi GRK terbesar kelima.

*Navigasi Perairan*⁷ pada 2019 bertanggung jawab atas hanya 0,01% dari total emisi GRK Indonesia⁸ (yaitu 95 kt CO₂e). Bagian total GRK yang disebabkan oleh 1.A.3.c *Navigasi Perairan* tampaknya rendah untuk negara kepulauan besar yang sangat bergantung pada subsektor ini untuk mengangkut orang dan barang serta memiliki beberapa jalur lalu lintas pelayaran internasional tersibuk. Selanjutnya, selama COP26, pemerintah Indonesia, melalui Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, menyatakan bahwa 19% emisi CO₂ Indonesia yang tercatat dalam Kontribusi Nasionalnya berasal dari industri maritim [38]. Ini menunjukkan dengan jelas bahwa pelayaran memiliki andil GRK yang lebih besar di Indonesia daripada yang tercatat dalam inventori emisinya. Kemungkinan Inventori Nasional mencatat emisi yang lebih rendah dapat dikaitkan dengan bagaimana konsumsi energi diagregasi dari statistik energi nasional dan bagaimana bahan bakar disandingkan dengan moda transportasi tertentu. Indonesia menggunakan "*Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia*" untuk mengagregasi konsumsi bahan bakar berdasarkan sektor. Namun hal ini hanya dilakukan pada tingkat agregasi tertinggi – untuk pelayaran di bagian *Transportasi* [39]. Namun, ada terjemahan langsung dari statistik konsumsi bahan bakar nasional ke kategori IPCC 2006 berdasarkan jenis bahan bakar. Namun khusus untuk kasus diesel – yang mencakup minyak berat (HFO) dan *marine diesel oil* (MDO) berada – dan gas, inventori GRK Indonesia tidak dapat membedakan atau memilah konsumsi solar dan gas antar moda transportasi [40]. Ini bisa jadi merupakan akar penyebab terkuat dari rendahnya emisi GRK yang dilaporkan untuk sektor maritim, karena sebagian besar penggunaan diesel dan gas bisa saja masuk ke kategori transportasi yang berbeda dalam inventori GRK Indonesia⁹.

Pemaparan yang lebih rinci dari Pedoman IPCC 2006 untuk navigasi perairan dapat ditemukan di Lampiran I atau di Davies et al. [37] dan penjelasan lebih lanjut mengenai inventori GRK nasional Indonesia tersedia di "Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) 2020" [40].

6 Tidak termasuk Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya.

7 Suatu negara hanya perlu memperhitungkan emisi maritim domestik dalam inventori nasional mereka, di mana kegiatan penangkapan ikannya diagregasi, seperti yang disarankan oleh Pedoman IPCC di bawah kategori Pertanian/Kehutanan/Perikanan di sektor Energi. Namun, untuk Inventori GRK Indonesia, kategori ini tidak ada dan kemungkinan dimasukkan ke dalam kategori 1.A.5 *Tidak Ditentukan*. Emisi bahan bakar bunker internasional, yang terdiri dari emisi dari penerbangan internasional dan transportasi laut, dihitung sebagai bagian dari inventori GRK nasional, tetapi dikeluarkan dari total nasional dan dapat dilaporkan secara terpisah [37]. Indonesia tidak melaporkan hal ini.

8 Tidak Termasuk Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya .

9 Tidak disebutkan dalam referensi yang digunakan dalam laporan ini untuk sektor transportasi mana konsumsi diesel dimasukkan.

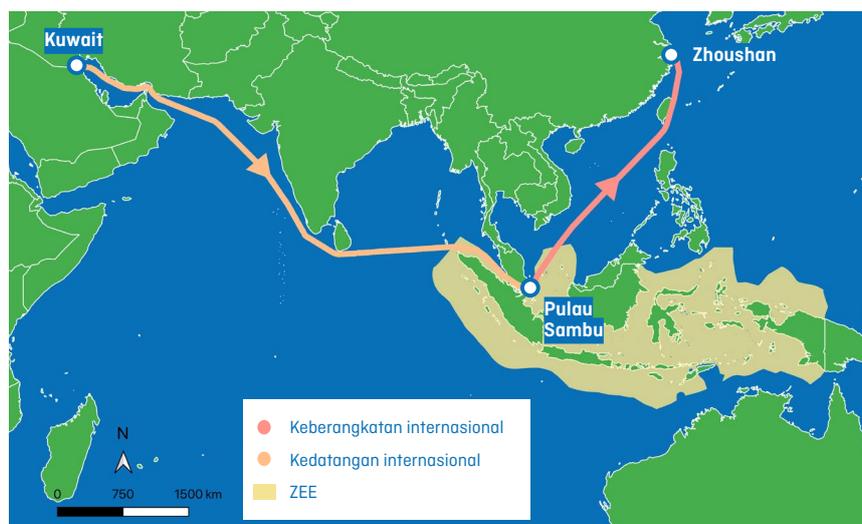
3.2 Model Geospasial Pelayaran: Pendekatan baru untuk memperkirakan emisi maritim

Model Geospasial Pelayaran (*Shipping Geospatial Model* – SGM) adalah pendekatan baru berbasis aktivitas yang diciptakan oleh UCL Energy Institute Shipping Group. Pendekatan ini memperkirakan polusi udara maritim dan inventori emisi GRK berdasarkan permintaan energi armada global dan dapat memilah emisi berdasarkan jenis dan ukuran kapal, moda operasional, rute atau lokasi geografis (misalnya di dekat pelabuhan). Keserbagunaan ini memungkinkan analisis yang peka atas emisi GRK sektor pelayaran untuk negara mana pun. Analisis tersebut dapat menggambarkan emisi GRK pada pelayaran atau di wilayah geografis tertentu, atau untuk mengestimasi polusi udara dan dampak kesehatan yang dihasilkan di suatu wilayah.

Untuk mempelajari emisi maritim selama 2018 di Indonesia melalui berbagai lensa, SGM mengumpulkan data kapal per jam¹⁰ sebagai berikut:

- **Keberangkatan.** Aktivitas pelayaran diagregasikan untuk keseluruhan perjalanan pelayaran yang dimulai dari pelabuhan Indonesia (lihat Gambar 5 sebagai contoh), yang mencakup pelayaran domestik maupun internasional.
- **Kedatangan.** Aktivitas pelayaran diagregasikan untuk perjalanan lengkap yang berakhir di pelabuhan negara tersebut. Pelayaran itu bisa domestik atau internasional.
- **Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) dengan Geofencing¹¹.** Semua aktivitas pelayaran yang terjadi di dalam ZEE negara (yaitu 200 mil laut yang mencakup Laut Teritorial) diagregasi. Ini termasuk pelayaran internasional, pelayaran domestik, dan perikanan domestik. *Geofencing* ini juga mendeteksi kapal-kapal yang melewati ZEE tetapi tidak singgah di pelabuhan mana pun di negara tersebut. Wilayah geografis digital ZEE diambil dari Flanders Marine Institute [41].

Gambar 5: Pendekatan agregasi aktivitas kapal.



¹⁰ Ini hanya memperhitungkan aktivitas kapal di atas 100 tonase kotor, aktivitas armada kapal kecil dan emisi tidak dipertimbangkan.

¹¹ Geofencing merupakan teknologi yang digunakan untuk memantau objek bergerak seperti gawai pintar, kendaraan dan lain-lain, menggunakan teknologi satelit Global Positioning System (GPS). Geofencing menetapkan batas-batas virtual untuk menandai suatu wilayah geografis fisik.

Secara umum, pendekatan SGM harus dilihat sebagai pelengkap Inventori GRK Nasional Indonesia. Sementara yang terakhir menangkap interaksi kompleks antara kegiatan ekonomi, masyarakat, dan lingkungan, SGM mempertimbangkan dengan sangat rinci perbedaan spasial dan teknologi dari sektor maritim. Komponen *geofencing* SGM, khususnya, menggambarkan dampak lingkungan, ekonomi, dan kesehatan akibat emisi dari kapal yang transit ke, dari, dan melalui perairan Indonesia dan membangun argumen untuk dekarbonisasi pelayaran, terutama mengingat tidak semua emisi dihasilkan dari ekspor dan impor Indonesia. Singkatnya, SGM dapat menggambarkan peluang SZEF Indonesia sambil mendukung dan mendorong pengurangan emisi GRK dari pelayaran.

Hasil pendekatan SGM menunjukkan bahwa kapal-kapal yang beroperasi di ZEE menghasilkan jumlah CO₂e terbesar pada 2018, yaitu sebesar 56.861 kt. Kapal yang tiba dari mancanegara menyumbang 16.306 kt CO₂e, diikuti keberangkatan mancanegara dengan 16.026 kt (lihat Tabel 3). Sekitar 9,9% dari total emisi polusi udara ZEE terjadi di wilayah perairan Indonesia¹² yang menimbulkan dampak negatif yang tidak proporsional bagi masyarakat pesisir. Berdasarkan hal ini, pendekatan ZEE dengan *geofencing* dapat mendukung studi tentang manfaat wilayah pengendalian emisi Indonesia, namun juga menekankan posisi utama Indonesia untuk mendukung transisi maritim dengan memanfaatkan SZEF.

Tabel 3: Emisi GRK dan polutan udara terkait berbagai metode inventori yang kontras. navigasi domestik juga disajikan.

Pollutant ¹³	Keberangkatan Internasional	Kedatangan Internasional	Pelayaran Domestik	Perikanan Domestik	ZEE dengan <i>geofencing</i> (200nm)
GRK (kt)					
CO ₂	14712.97	14991.05	6841.22	4.21	51774.91
CH ₄	1.74	1.47	0.19	7.58 x10 ⁻⁵	11.31
N ₂ O	0.82	0.84	0.37	2.38 x10 ⁻⁴	2.81
BC [§]	1.16	1.17	0.81	7.05 x10 ⁻⁴	4.47
CO ₂ e	16025.62	16306.03	7676.88	4.91	56860.53
Polusi udara (kt)					
SO _x	219.80	225.00	63.23	1.80 x10 ⁻²	672.00
NO _x	358.43	367.19	131.11	8.18 x10 ⁻²	1129.39
CO	13.95	14.13	5.83	3.96 x10 ⁻³	47.20
PM ₁₀₀	33.45	34.19	9.82	1.29 x10 ⁻³	102.00
PM ₂₅	30.77	31.46	9.03	1.18 x10 ⁻³	93.84
NMVOG	15.26	15.52	5.89	3.56 x10 ⁻³	49.07
‡ Untuk mengonversi CO ₂ ke ekuivalen Heavy Fuel Oil (HFO _{eq}), bagi angka emisi CO ₂ dengan faktor karbon HFO, yaitu 3,114 kt CO ₂ /kt HFO [8]. § Nilai 900 digunakan untuk Potensi Pemanasan Global 100 tahun karbon hitam [42].					

12 Ini mencakup semua kegiatan pelayaran yang terjadi di perairan teritorial suatu negara, sampai dengan 12 mil laut lepas pantai.

13 CO₂: carbon dioxide; CH₄: methane; N₂O: nitrous oxide; BC: black carbon; CO₂e: carbon dioxide equivalent; SO_x: sulphur oxide; NO_x: nitrogen oxides; CO: carbon monoxide; PM: particulate matter; NMVOG: non-methane volatile organic compounds.

Emisi domestik maritim yang tercatat oleh SGM dihasilkan dari 83.509 pelayaran domestik¹⁴ yang terjadi pada 2018. Tingkat aktivitas ini mencapai 7.677 kt CO₂e sedangkan perikanan domestik diperkirakan mengeluarkan 5 kt CO₂e. Selisihnya dengan Inventori Nasional Indonesia 2018 adalah sebesar 7.569 kt CO₂e karena emisi GRK Navigasi Perairan (*Water-Borne Navigation*) hanya sebesar 108 kt CO₂e [40]. Seperti yang dibahas pada subbagian sebelumnya, penyebab utama perbedaan besar ini adalah:

- Perbedaan antara data Inventori Nasional berdasarkan penjualan bahan bakar ke pelayaran internasional dan metode berbasis aktivitas juga dapat dijelaskan. Penjualan BBM hanya dicatat jika sebuah kapal melakukan bunkering (mengambil BBM) di Indonesia. Dalam praktiknya, kapal yang singgah di Indonesia mungkin tidak perlu melakukan bunkering (beberapa kapal memiliki simpanan bahan bakar hingga tiga bulan sehingga tidak melakukan pengisian ulang bahan bakar pada setiap pelayaran), dan akan membeli bahan bakar di Indonesia hanya jika harganya bersaing dengan bahan bakar yang tersedia di pelabuhan lain yang mereka singgahi. SGM mencatat semua aktivitas pelayaran terlepas apakah aktivitasnya terkait dengan pembelian bahan bakar atau tidak. Statistik yang diperkirakan di sini menengarai bahwa hanya sebagian dari bahan bakar terkait aktivitas pelayaran Indonesia dibeli di Indonesia, sehingga metode berbasis aktivitas sangat membantu untuk memberikan perkiraan potensi pasar penjualan bunker – jika Indonesia hendak memperluas peluangnya, terutama untuk SZEF.
- ◊ Konsumsi bahan bakar tahunan maritim Indonesia diagregasi dengan semua moda transportasi lain di bawah kategori *Transportasi* [39]. Pada tahap ini, hubungan antara bahan bakar yang dikonsumsi dan moda transportasi yang mengonsumsi bahan bakar tersebut tidak lagi terlihat. Dalam kasus SGM, bahan bakar yang dikonsumsi dari, ke, dan di dalam Indonesia diperkirakan menggunakan data satelit per jam ditambah dengan metodologi teknis yang menghasilkan konsumsi bahan bakar dan emisi per kapal.
- ◊ Saat menyusun Inventori GRK Nasional, bahan bakar yang dikonsumsi dari kategori *Transportasi* dipilah sesuai kategori IPCC 2006 berdasarkan pengelompokan bahan bakar per moda transportasi. Misalnya, avgas dan bahan bakar jet hanya dimasukkan di bawah kategori penerbangan sipil. Untuk pelayaran, kelompok bahan bakar yang ditetapkan untuknya tidak ditemukan, namun dinyatakan bahwa untuk diesel dan gas, konsumsi bahan bakar dan perkiraan GRK tidak dapat dipilah berdasarkan moda transportasi. Ini kemungkinan menjadi akar penyebab perbedaan besar antara laporan inventori, karena sangat mungkin bahwa bahan bakar yang dikonsumsi oleh kegiatan maritim domestik Indonesia dialokasikan ke moda transportasi lain dalam Inventori Nasional. Karena pentingnya kegiatan maritim dalam perekonomian Indonesia, disarankan untuk mulai melakukan penghitungan konsumsi bahan bakar khusus berdasarkan moda dan jenis bahan bakar.
- Metode yang digunakan dalam SGM adalah metode berbasis aktivitas sehingga termasuk emisi dari pelayaran domestik kapal internasional (misalnya dari satu pelabuhan Indonesia ke pelabuhan lain) yang tidak akan tercakup dalam statistik penjualan bahan bakar untuk keperluan domestik. Adanya ketidaksesuaian emisi GRK saat menghitung dengan dua metode adalah hal yang umum dan juga terjadi di negara lain (misalnya Inggris), yang sejak itu beralih menggunakan metode berbasis aktivitas [43].

14 SGM menganggap pelayaran domestik sebagai pelayaran yang dimulai dan berakhir di negara yang sama. Jika ini adalah perjalanan multi-perhentian, yang akan dianggap sebagai perjalanan domestik adalah bagian yang dimulai dan berakhir di negara yang sama. Jika ada lebih dari satu segmen domestik, masing-masing akan diperlakukan sebagai perjalanan domestik terpisah.

- Namun, basis data penjualan bahan bakar dapat menangkap bahan bakar yang dikonsumsi armada kapal kecil yang cenderung tidak memiliki sistem pelacakan di atas kapal (misalnya transponder AIS). Untuk Indonesia, karena kebutuhan energinya, seperti yang terlihat pada Tabel 2, segmen ini memiliki peran yang relevan dan penting dalam emisi maritim nasional Indonesia. Ini adalah keterbatasan SGM, namun menengarai bahwa hasil SGM untuk emisi GRK dan polusi udara pelayaran domestik adalah perkiraan yang konservatif.

Sekarang, melihat agregasi SGM dari semua aktivitas maritim pada 2018 ke, dari, dan di dalam Indonesia, total emisi GRK mencapai 40.013 kt CO₂e – sekitar 12.850 kt HFO_{eq} – yang mewakili sekitar 3,7% dari total emisi GRK pelayaran pada 2018¹⁵. Penerapan SGM jelas menunjukkan peran penting Indonesia dalam mendukung dekarbonisasi pelayaran dalam beberapa dekade mendatang dan menekankan pentingnya kolaborasi internasional antara Indonesia dan mitra komersialnya.

Rincian lebih lanjut tentang metodologi SGM dapat ditemukan di Lampiran I dengan rincian akar penyebab yang berbeda antara inventori emisi yang disajikan di sub-bagian Analisis Sensitivitas.

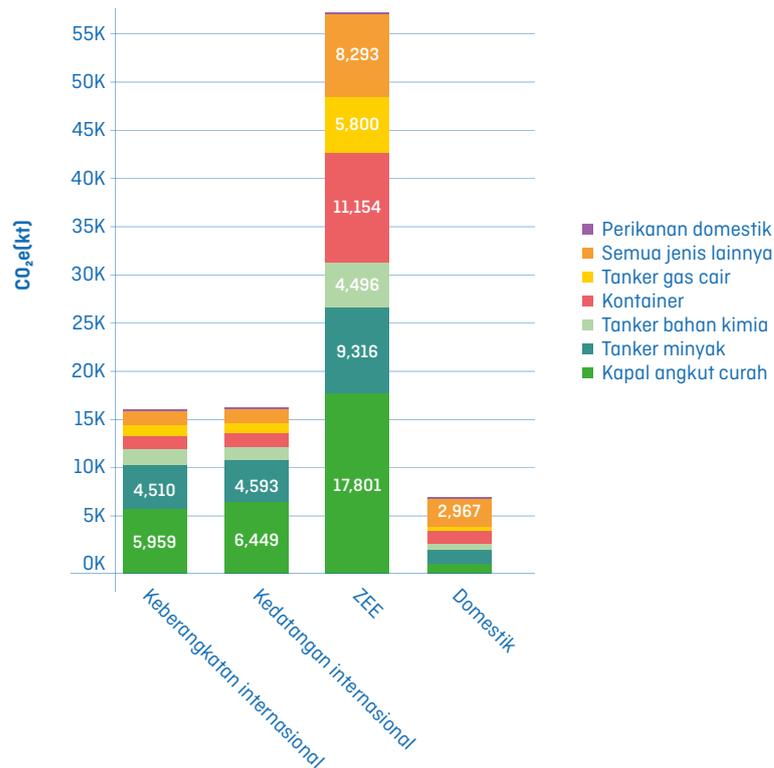
3.2.1 Analisis berdasarkan jenis kapal

Pada bagian ini analisis SGM dipilah berdasarkan jenis kapal (lihat Gambar 6). Dari berbagai pendekatan yang dipertimbangkan, jenis kapal yang paling berpolusi untuk Indonesia adalah kapal pengangkut curah, kapal tanker minyak, dan kapal tanker kimia yang menyumbang 61,1% dari emisi GRK 2018. Hal ini sejalan dengan tingkat aktivitas yang diamati pada Tabel 2 di mana kapal curah, kapal tanker minyak, dan kapal tanker kimia menuntut sekitar 60.230 GWh/th (yaitu sekitar 5.395 kt HFO_{eq}¹⁶) energi bahan bakar fosil. Emisi GRK pelayaran domestik mewakili sekitar 47,9% dan 47,1% dari total CO₂e yang dihasilkan, masing-masing, oleh keberangkatan dan kedatangan internasional. Penangkapan ikan domestik mewakili sekitar 0,03% dari total emisi GRK dari keberangkatan internasional dan kedatangan internasional. Sekilas, ini terlihat seperti persentase kecil untuk negara kepulauan besar dengan aktivitas penangkapan dan pendaratan ikan salah satu yang terbesar di dunia [44]. Tetapi apa yang ditunjukkan, dalam hubungannya dengan Tabel 3, adalah bahwa sebagian besar kegiatan penangkapan ikan domestik, sekitar 95%, dilakukan oleh armada kapal kecil [45]. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, salah satu keterbatasan model SGM adalah bahwa ia hanya menangkap aktivitas kapal di atas 100 tonase kotor, sehingga armada kapal kecil, yang mungkin merupakan sumber aktivitas penangkapan ikan domestik terbesar, tidak diperhitungkan. Namun, keterbatasan ini menengarai bahwa hasil SGM untuk emisi GRK pelayaran dan polusi udara domestik adalah perkiraan yang konservatif.

¹⁵ Total emisi GRK pada 2018 adalah 1'076.000 kt CO₂e dari pelayaran dan penangkapan ikan internasional dan domestik [8].

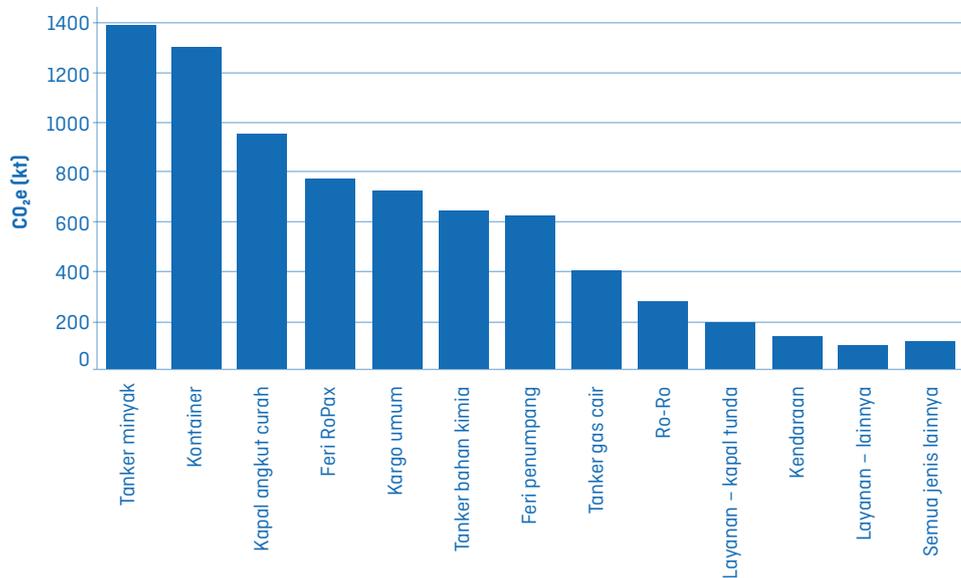
¹⁶ Untuk mengonversi dari GWh ke TJ digunakan faktor pengali 3,6. Untuk HFO_{eq}, Low Heating Value (LHV) yang digunakan adalah 40,2 TJ/kt [8].

Gambar 6: Inventori CO₂e menurut jenis kapal untuk Indonesia tahun 2018.



Disagregasi rinci pelayaran domestik menurut jenis kapal disajikan pada Gambar 7, yang menunjukkan bahwa emisi pelayaran domestik didominasi oleh kapal tanker minyak, yaitu sekitar 1.392 kt CO₂e, diikuti oleh kapal peti kemas, sekitar 1.304 kt CO₂e, dan kapal curah, sekitar 959 kt CO₂e. Penangkapan ikan domestik untuk kapal di atas 100 tonase kotor adalah sumber terbesar ke-15 dari GRK pelayaran nasional dengan 5 kt CO₂e selama 2018 – dikumpulkan di bawah kategori *Semua Jenis Lainnya* pada Gambar 7. Dari metode IPCC, penangkapan ikan domestik diagregasi di bawah kategori *Pertanian/Kehutanan/Perikanan* dari sektor Energi. Namun, Inventori Nasional GRK Indonesia tidak memiliki kategori ini. Akan tetapi disebutkan bahwa emisi yang terkait dengan konsumsi energi transportasi pertanian dialokasikan ke kategori 1.A.5 *Tidak Ditentukan* dan diasumsikan bahwa penangkapan ikan domestik dimasukkan dalam kategori ini [40]. Namun, dengan asumsi ini, tidak mungkin untuk mengetahui berapa porsi penangkapan ikan domestik dalam kategori ini karena cara pengumpulan datanya.

Gambar 7: Porsi emisi domestik menurut jenis kapal. Penangkapan ikan domestik ditambahkan untuk perbandingan.



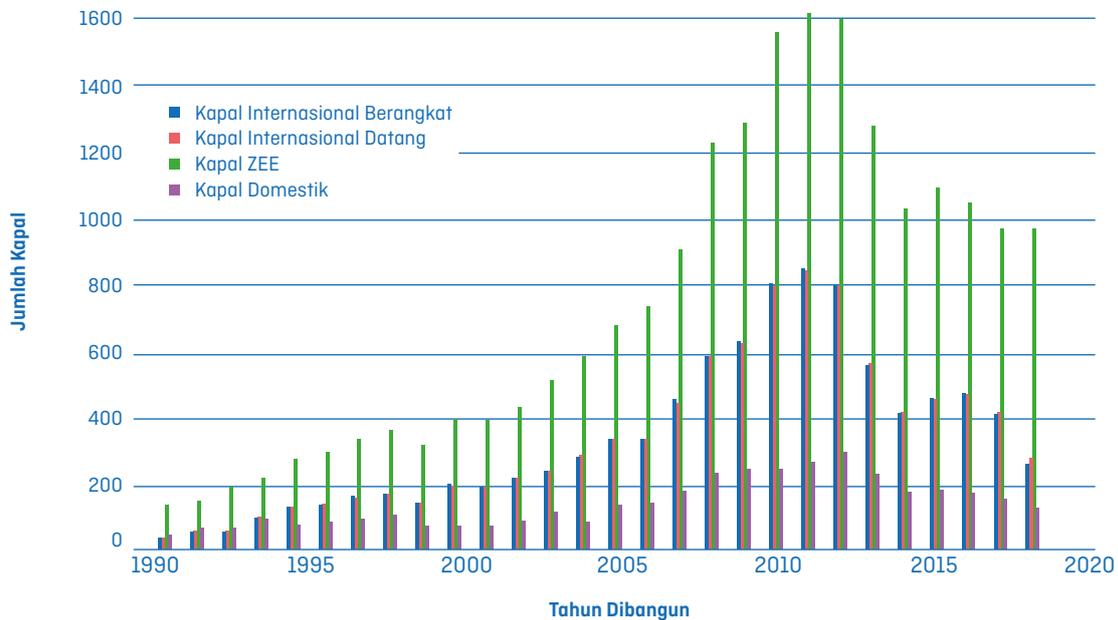
3.2.2 Analisis berdasarkan usia

Aspek penting untuk dipertimbangkan ketika menganalisis emisi pelayaran adalah karakteristik armada, khususnya usia, yang memiliki korelasi kuat dengan efisiensi bahan bakar dan produksi emisi. Gambar 8 menyajikan persebaran tahun pembuatan kapal yang berlayar di perairan Indonesia setelah tahun 1990. Porsi terbesar kapal yang beroperasi pada 2018 dibangun antara tahun 2010 dan 2012. Hal ini menunjukkan bahwa porsi terbesar kegiatan pelayaran yang terjadi di Indonesia berasal dari kapal yang relatif baru yang cenderung memiliki efisiensi bahan bakar dan langkah-langkah pengendalian polusi yang baik sesuai peraturan Organisasi Maritim Internasional (IMO).

Dari 9.975 kapal unik yang berangkat dari pelabuhan Indonesia ke mancanegara sepanjang 2018, 2,0% (203) dibangun sebelum tahun 1988, atau berusia 30 tahun atau lebih. Ini dibandingkan dengan hanya 3,3% (712) dari 21.739 kapal yang melintasi ZEE Indonesia selama tahun yang sama dan 8,0% dari kapal domestik (368 dari 4.624). Ini membuat kelas domestik cenderung paling tidak efisien dan mencemari karena sistem permesinan mereka yang tua.

Ada sedikit perbedaan dalam tahun pembuatan dari setiap pendekatan inventori. Untuk pendekatan ZEE, rata-rata tahun pembuatan adalah 2008, sama dengan keberangkatan dan kedatangan internasional. Namun, kapal domestik merupakan kategori tertua yang dibangun rata-rata pada tahun 2004. Pada dasarnya, di bawah lensa ini kita dapat melihat bahwa armada internasional lebih muda dan kemungkinan lebih hemat energi. Tetapi perbedaan tahun rata-rata menempatkan mereka di bawah periode peraturan yang sama untuk intensitas karbon dan polusi udara dari IMO. Ini berarti bahwa peraturan internasional masa depan yang diajukan pada tingkat IMO kemungkinan akan memiliki efek positif yang signifikan terhadap emisi Indonesia, yang tampak dari jenis kapal dan segmen *geofencing*. Dalam jangka pendek, armada domestik akan mendapat manfaat dari peningkatan efisiensi energi.

Gambar 8: Tahun pembuatan kapal dalam kumpulan data 2018. Kapal penangkap ikan domestik tidak termasuk.

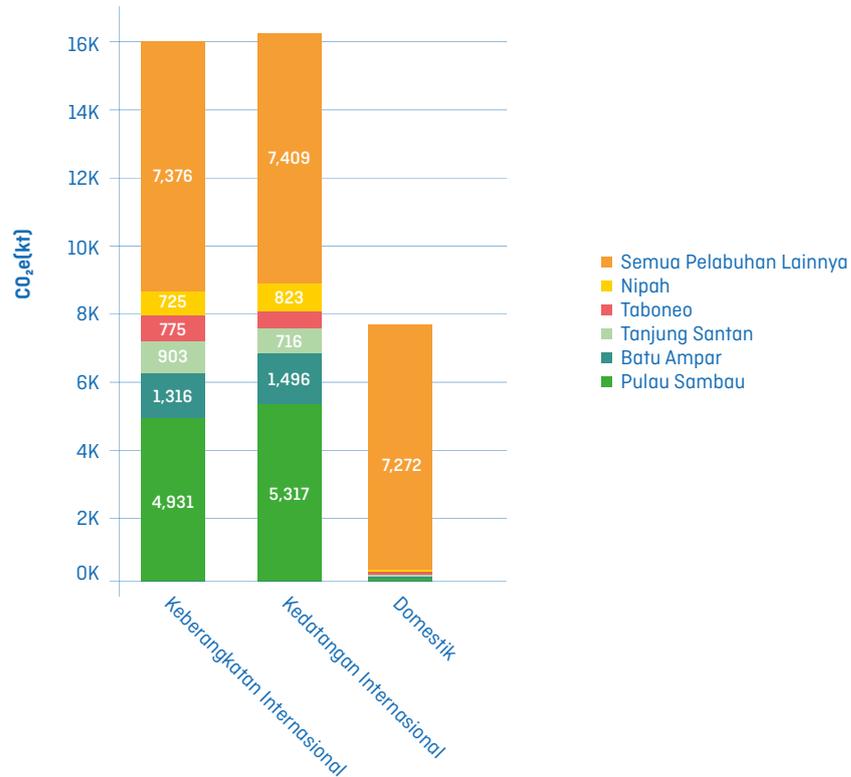


3.2.3 Analisis berdasarkan Kedatangan dan Keberangkatan Pelabuhan

Menggunakan SGM untuk fokus pada aktivitas berbasis pelabuhan dapat memberi gambaran yang jelas tentang emisi yang dapat mempengaruhi komunitas pelabuhan dan penduduk lokal. Gambar 9 menyajikan perincian emisi CO₂e dari pelayaran internasional yang berangkat dan tiba di lima pelabuhan Indonesia penghasil polusi terbesar (berdasarkan keberangkatan internasional), yaitu Pulau Sambu, Batu Ampar, Tanjung Santan, Taboneo, dan Nipah, sekaligus menggabungkan pelabuhan-pelabuhan lainnya dalam satu kelas. Penting untuk diketahui bahwa pelabuhan Pulau Sambu dan Batu Ampar merupakan pusat pengisian bahan bakar sehingga bertanggung jawab atas jumlah permintaan energi dan emisi yang sangat tinggi dibandingkan dengan ukurannya.

Kontributor terbesar pada inventori keberangkatan internasional adalah Pulau Sambu yang menghasilkan 30,8% dari total emisi tahunan dari keberangkatan internasional (4.931 kt CO₂e) pada 2018, diikuti Batu Ampar sekitar 8,2% (1.316 kt CO₂e) dan Tanjung Santan sekitar 5,6% (903 kt CO₂e). Pelabuhan di luar lima besar bertanggung jawab atas 46,0% emisi yang dihasilkan dari keberangkatan internasional (yaitu 7.376 kt CO₂e) di mana Jakarta berkontribusi sekitar 640 kt CO₂e. Dari segi kedatangan internasional, Pulau Sambu menghasilkan jumlah CO₂e terbesar, yaitu 5.317 kt, yang mewakili 32,6% dari total pada 2018, disusul Batu Ampar dan Jakarta dengan pangsa masing-masing 9,2% dan 6,1%. Kategori *Semua Pelabuhan Lainnya* memiliki pangsa yang lebih besar dari total kedatangan internasional dengan 46,0% atau 7.409 kt CO₂e yang menunjukkan aktivitas maritim di seluruh Indonesia.

Gambar 9: Emisi GRK maritim yang dihasilkan dari keberangkatan dan kedatangan internasional pelabuhan Indonesia pada 2018.



3.2.4 Geofencing sekitar kota pelabuhan besar

Sudah umum diketahui bahwa polutan udara dapat menempuh jarak ratusan kilometer. Sementara itu, emisi GRK maritim di sekitar pelabuhan berkontribusi pada jejak karbon kota. Untuk mendapatkan gambaran implikasi emisi maritim pada populasi pesisir Indonesia dan GRK maritimnya, tiga kota dengan populasi pesisir yang cukup besar dan dengan pelabuhan aktif dipilih untuk analisis lebih lanjut. Wilayah dengan radius 100 km sekitar pelabuhan-pelabuhan Indonesia di Jakarta, Belawan, dan Surabaya dipilih untuk mengestimasi emisi yang dihasilkan aktivitas pelayaran¹⁷ selama 2018 (lihat Gambar 10).

Tabel 4 menunjukkan bahwa penduduk Jakarta memiliki paparan tertinggi dengan 11 kt SO_x, 21 kt NO_x dan 175 t pembangkitan karbon hitam (BC). Untuk CO₂e maritim, emisi Jakarta adalah sebesar 1.607 kt. Dengan pendekatan *geofencing* radius 100 km Belawan memiliki total emisi GRK tahunan sebesar 1.154 kt CO₂e dan emisi tahunan SO_x sekitar 15 kt dan 25 kt NO_x. Untuk Surabaya, kegiatan pelayaran menghasilkan 938 kt CO₂e, 5 kt SO_x dan sekitar 12 kt NO_x. Total emisi karbon hitam tahunan untuk tiga kota pelabuhan diperkirakan lebih dari 300 t karbon hitam.

¹⁷ Emisi yang diukur di sini hanya memperhitungkan aktivitas kapal-kapal yang ada di wilayah tersebut, dan tidak memperhitungkan emisi yang dihasilkan pelabuhan dan sistemnya (misalnya crane, forklift).

Gambar 10: Poligon-poligon 100 km Indonesia dan aktivitas pelayaran di dalamnya selama tahun 2018.



Tabel 4: Emisi GRK dan polutan udara yang dihasilkan dalam jarak 100 km dari pelabuhan Jakarta, Belawan, dan Surabaya selama tahun 2018.

Polutan	Jakarta	Belawan	Surabaya
GRK (kt)			
CO ₂	1428.26	1059.03	828.42
CH ₄	3.38 x10 ⁻²	6.01 x10 ⁻²	1.05 x10 ⁻²
N ₂ O	7.41 x10 ⁻²	5.81 x10 ⁻²	4.31 x10 ⁻²
BC	1.75 x10 ⁻¹	8.62 x10 ⁻²	1.08 x10 ⁻¹
CO ₂ e	1606.53	1153.66	937.57
Polutan Udara (kt)			
SO _x	11.11	15.14	5.20
NO _x	20.62	24.57	11.82
CO	9.79 x10 ⁻¹	9.57 x10 ⁻¹	5.81 x10 ⁻¹
PM ₁₀₀	1.63	2.30	8.22 x10 ⁻¹
PM ₂₅	1.50	2.11	7.56 x10 ⁻¹
VOC	9.16 x10 ⁻¹	1.04	5.37 x10 ⁻¹

Penyusunan inventori terfokus untuk kota-kota pelabuhan melalui SGM dapat membantu upaya masing-masing untuk melakukan dekarbonisasi secara regional dan mendukung mitigasi polusi udara dan efek kesehatannya pada populasi setempat. Selain itu, populasi dalam jarak 5 mil laut dari sumber polusi udara – dalam hal ini pelabuhan – berpotensi 50% lebih tinggi terkena masalah kardiovaskular dan kanker akibat paparan polutan ini untuk waktu yang lama [46]. Khusus Indonesia, studi dan mitigasi pencemaran udara maritim di dekat pelabuhan dapat membantu meningkatkan kualitas udara masyarakat pesisir yang diperkirakan berjumlah antara 150 sampai 180 juta orang [47][48].

“Ada kebutuhan yang jelas untuk memodernisasi dan membuktikan sistem pelabuhan Indonesia di masa depan dengan membangun infrastruktur yang diperlukan untuk mengalihkan operasi ke bentuk energi yang lebih bersih. Selain ilmu pengetahuan dan teknologi terbaru, modernisasi ini perlu mempertimbangkan kebutuhan dan perhatian domestik perusahaan pelayaran.” – Budhi Halim, Indonesia National Shipowners Association (INSA)

3.3 Implikasi bagi Indonesia

Inventori GRK nasional menyajikan perkiraan emisi yang andal yang memungkinkan negara-negara untuk merumuskan dan menerapkan langkah-langkah mitigasi, dengan mempertimbangkan keadaan dan kemampuan nasional masing-masing. Inventori Nasional Indonesia, dengan menggunakan metodologi IPCC yang diterima secara luas, disajikan di Bagian 3.1 dan melaporkan emisi pelayaran domestik di bawah kategori *Navigasi Perairan*. Meskipun emisi dari sektor pelayaran internasional diakui dalam metodologi IPCC 2006, emisi tersebut tidak dihitung dalam Inventori Nasional Indonesia. Mengingat bahwa inventori nasional mendorong tujuan, sasaran, dan kebijakan strategis nasional pemerintah, pengecualian pelayaran internasional menciptakan kerangka artifisial yang sempit terkait emisi GRK, baik dari perspektif perubahan iklim maupun polusi udara.

Untuk mengatasi hal ini, dan untuk menyajikan kuantifikasi emisi pelayaran yang lebih rinci, laporan ini menggunakan SGM sebagai metodologi granular berbasis aktivitas untuk memahami emisi maritim, baik di perairan nasional Indonesia maupun di pelabuhannya. SGM melengkapi Inventori GRK Nasional Indonesia dengan menyajikan emisi maritim domestik dan internasional di bawah definisi pelayaran dan di dalam wilayah geografis sekaligus dapat memilah hasil berdasarkan jenis dan usia kapal. Hasil dari metode SGM menunjukkan bahwa:

- Emisi domestik dan permintaan bahan bakar dari kapal berukuran di atas 100 tonase kotor, yang kemungkinan besar didorong oleh peraturan perundang-undangan nasional, jauh lebih kecil daripada emisi kedatangan/keberangkatan internasional dan permintaan bahan bakar. Regulasi IMO akan menjadi kunci dalam mendorong perubahan kapal-kapal yang singgah di pelabuhan-pelabuhan Indonesia.

- Walau demikian, terlihat bahwa pangsa terbesar permintaan energi di Indonesia berasal dari armada kapal kecil yang mewakili 32,7% dari total permintaan energi pada 2018. Hal ini pada gilirannya akan memiliki implikasi penting pada emisi GRK dan polusi udara di Indonesia. Untuk segmen sektor maritim Indonesia ini, peraturan perundang-undangan dan kebijakan nasional akan memainkan peran sentral dalam transisi energi dan mengurangi polusi udara segmen tersebut.
- Kapal pengangkut curah, kapal tanker, kapal tanker kimia, dan kapal peti kemas di atas 100 tonase kotor adalah jenis kapal yang paling banyak menghasilkan GRK dan polusi udara dari aktivitas maritim ke, dari, dan di dalam pelabuhan dan perairan nasional Indonesia.
- Terlepas dari besaran relatifnya, armada/emisi domestik masih signifikan, dan ini memberikan banyak peluang untuk adopsi dini yang kemungkinan sejalan dengan strategi/prioritas dekarbonisasi nasional lainnya.
- Pelayaran domestik dan internasional berkontribusi signifikan terhadap polusi udara termasuk di dekat pusat-pusat populasi besar Indonesia. Dekarbonisasi pelayaran, jika diampu dengan bahan bakar dengan tingkat polutan udara yang lebih rendah, dapat menjadi pendorong peningkatan kualitas udara yang signifikan di beberapa lokasi penting.
- Dibandingkan dengan metode pengukuran emisi GRK dan polusi udara lain, metode SGM memberikan estimasi konservatif karena tidak menangkap emisi dari armada kapal kecil, yang di Indonesia merupakan sebagian besar armada domestik.

Temuan-temuan ini dapat membantu proses pengambilan keputusan terkait transisi menuju emisi rendah dan nol karbon di sektor pelayaran dan menggambarkan peluang Indonesia untuk berpartisipasi dalam transisi pelayaran yang adil dan merata. Temuan-temuan ini juga dapat mendukung penyusunan strategi, solusi, dan kebijakan yang dapat mengurangi emisi maritim dan polusi udara nasional dan regional serta menciptakan lapangan kerja hijau terkait ekonomi kelautan.

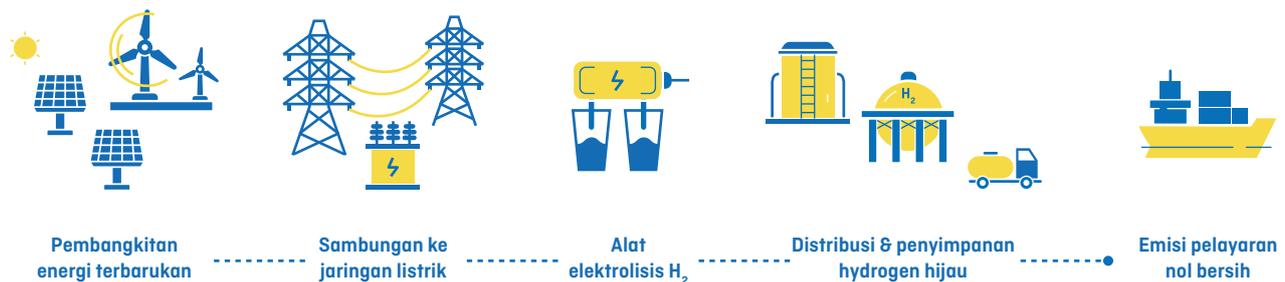
“Indonesia sangat bergantung pada kegiatan maritim, baik sebagai sumber lapangan kerja maupun sebagai sektor yang penting untuk mendukung tujuan nasional Indonesia yang lebih luas. Untuk memastikan bahwa sektor maritim berkelanjutan, ada kebutuhan yang jelas untuk beralih dari kegiatan berbasis bahan bakar fosil tradisional dalam beberapa dekade mendatang yang dapat bermanfaat bagi Indonesia secara nasional sebagai negara maritim yang penting dan berpengaruh.”
– Indah Budiani, Indonesian Business Council for Sustainable Development (IBCSD)

Bagian 4

Memanfaatkan Potensi Terbarukan Indonesia

Pelayaran sangat bergantung pada bahan bakar fosil yang menghasilkan banyak GRK dan polusi udara. Emisi ini pada gilirannya meningkatkan efek global perubahan iklim dan berdampak negatif pada kesehatan dan kesejahteraan sosial-ekonomi penduduk pesisir sekitar jalur pelayaran. Sementara solusi efisiensi energi dan mitigasi jangka pendek berperan dalam transisi sektor maritim, ini saja tidak akan cukup untuk mewujudkan target Perjanjian Paris [4]. Kebutuhan akan SZEZ hijau dan infrastruktur terkait yang diperlukan sangat penting untuk mewujudkan dekarbonisasi maritim. Energi terbarukan dalam jumlah besar diperlukan untuk memproduksi bahan bakar ini sehingga pelayaran dapat berada di jalur yang tepat untuk berkontribusi mewujudkan tujuan perubahan iklim global (lihat Gambar 11).

Gambar 11 : Ilustrasi Jalur Produksi untuk Hidrogen Hijau (Sumber: terinspirasi oleh Quadrant Smart [49]).



Source: Inspired by [Quadrant Smart \[58\]](#)

Pada 2019, 16% (47,6 TWh) pembangkit listrik Indonesia berasal dari sumber terbarukan. Ini merupakan penurunan dari tahun sebelumnya di mana energi terbarukan menyumbang 22%, dan menurun jauh dari tahun 2013 ketika 34% dari pembangkitan listrik berasal dari sumber yang terbarukan [50]. Dalam beberapa dekade mendatang, persentase ini diperkirakan akan meningkat secara substansial. Rencana Umum Energi Nasional memperkirakan energi terbarukan akan mencapai 28% dari pangsa produksi energi Indonesia pada 2038 [51]. Secara khusus, dengan mempertimbangkan teknologi yang tersedia saat ini dan pembatasan penggunaan lahan, pada 2030 Indonesia dapat menghasilkan tambahan energi terbarukan sebesar 830 – 1.873 TWh/tahun: 525 – 1.568 TWh/tahun tenaga surya, 10 TWh/tahun angin di daratan, 47 TWh/tahun pasang surut, 133 TWh/tahun panas bumi, dan 105 TWh/tahun energi tenaga air [34]. Jika digabungkan dengan pembangkit terbarukan yang ada, Indonesia dapat menghasilkan total 877,6 – 1.920,6 TWh/tahun pada 2030 (lihat Gambar 1 2).

Gambar 12 : Perkiraan Total Potensi Energi Terbarukan Indonesia pada 2030.

Penting untuk dicatat bahwa angka ini hanya kisaran yang diestimasi berdasarkan studi yang tersedia dan potensi energi terbarukan Indonesia sebetulnya bisa lebih besar. Lebih banyak penelitian diperlukan untuk memberikan kisaran yang lebih definitif dan pemahaman yang lebih baik tentang berbagai kemungkinan skenario dan bagaimana peningkatan teknologi dapat memengaruhi nilai ini. Ini mendukung teknologi baru seperti 'Pembangkit Tenaga Surya Terapung' yang semakin berkembang dalam beberapa tahun terakhir. Di Indonesia, pengembangan pembangkit listrik tenaga surya di darat dapat merusak lingkungan dan membahayakan keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, kini minat beralih ke lokasi lain seperti danau, waduk, dan laut. Proyek pembangkit listrik tenaga surya terapung sedang dikerjakan di Jawa Barat di Waduk Cirata serta di Pulau Batam di Waduk Duriangkang. Yang terakhir ini dianggap sebagai pembangkit tenaga surya terapung terbesar di dunia [52][53]. Namun, keterbatasan luas permukaan waduk juga berdampak pada jumlah energi matahari yang dapat dikumpulkan. Oleh karena itu, pengembangan pembangkit listrik tenaga surya terapung di laut atau di perairan Indonesia sangat menarik.

Selanjutnya, untuk memastikan transisi yang adil dan merata, rencana energi terbarukan tambahan untuk pelayaran harus dikembangkan bersama dengan yang diperkirakan oleh Rencana Umum Energi Nasional untuk menghindari kemungkinan efek negatif pada upaya dekarbonisasi domestik. Pembangunan infrastruktur pembangkit terbarukan harus dilakukan secara bertanggung jawab, di mana dampak lingkungan dan sosial dipertimbangkan ketika merencanakan untuk memanfaatkan potensi energi terbarukan Indonesia. Misalnya, penting untuk mengkaji potensi perubahan penggunaan lahan langsung dan tidak langsung ketika membangun infrastruktur di kawasan pertanian untuk membatasi dampak lingkungan dan ekologi yang negatif. Hal ini terutama berlaku untuk setiap rencana untuk meningkatkan produksi dan penggunaan bahan bakar nabati berkelanjutan dari sumber limbah, yang dapat berperan sebagai bahan bakar transisi namun tidak dianggap sebagai pilihan jangka panjang yang layak untuk pelayaran laut dalam [16].

Namun, secara keseluruhan, Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang terbatas karena kendala akses ke sumber daya ini. Tantangan-tantangan lain termasuk ketersediaan lahan, kelayakan pengembangan lokasi, dan jejaring yang tidak terhubung satu sama lain di seluruh Indonesia. Tantangan teknis tersebut diperberat oleh tantangan politik dan sosial terkait komitmen dan kemauan politik pemerintah untuk beralih ke energi terbarukan, yang menurut beberapa pemangku kepentingan terkompromikan karena sarat kepentingan keuangan dalam sistem migas yang ada. Kecuali hal ini diatasi, potensi Indonesia beragam, walau terbatas, untuk menghasilkan bahan bakar hijau untuk sektor pelayaran internasional. Namun potensi ini cukup untuk memenuhi kebutuhan pelayaran domestik [34]. Terlepas dari itu, para pemangku kepentingan mencatat bahwa dekarbonisasi pelayaran relevan untuk Indonesia, dengan ambisi politik untuk bersaing dengan negara-negara seperti Singapura sebagai simpul bunker bahan bakar hijau. Dengan lalu lintas pelayaran dan permintaan bunker saat ini, dengan asumsi 5% dari armada global

bertransisi ke SZEZ pada 2030, permintaan energi hijau dari kapal internasional dan domestik yang berkunjung akan mewakili sekitar 8,3 TWh/tahun [34].

Perhitungan konservatif menunjukkan bahwa 8,3 TWh/tahun hanya mewakili 0,9% dari total potensi energi terbarukan Indonesia, sehingga menyisakan potensi yang jauh lebih banyak daripada yang dibutuhkan baik untuk dekarbonisasi jejang nasional maupun kapal yang singgah di pelabuhan Indonesia. Hal ini mendukung persepsi para pemangku kepentingan bahwa Indonesia ada dalam posisi yang baik untuk memproduksi hidrogen hijau dan turunannya, di mana dekarbonisasi pelayaran dapat menghasilkan sinergi yang kuat dengan transportasi jalan dan sektor berbasis darat lainnya.

Para pemangku kepentingan juga menyoroti bahwa jika ada perjanjian *offtake*¹⁸ yang kuat, di mana pembeli setuju untuk membeli sebagian dari produksi yang direncanakan pemasok, ada potensi tidak hanya untuk produksi SZEZ, tetapi juga ekspor bahan bakar ini. Hal ini terutama berlaku mengingat baik Uni Eropa maupun Jepang telah menyatakan bahwa mereka tidak dapat memproduksi cukup SZEZ di negara mereka dan perlu mengimpor bahan bakar untuk memenuhi kebutuhan energi mereka. Memang, perang di Ukraina telah mendesak kebutuhan untuk meninggalkan bahan bakar fosil dan mengimpor bahan bakar hijau. Akan tetapi, ekspor hidrogen selama ini terbatas pada hidrogen abu-abu yang berbasis bahan bakar fosil, sedangkan ekspor hidrogen hijau yang semakin diminati akan membutuhkan pengembangan kerangka pengampu perdagangan.

“Indonesia memiliki sumber energi terbarukan yang sebagian besar belum dimanfaatkan karena tantangan teknis dan geografis. Hidrogen hijau dapat memainkan peran penting dalam mengatasi tantangan ini mengingat keserbagunaannya. HDF Energy sudah menjajaki hal ini di Indonesia hari ini, dan upaya harus ditingkatkan di tahun-tahun mendatang karena bentuk energi yang berkelanjutan semakin diminati.” – Cipu Suaib, HDF Energy



¹⁸ Perjanjian *offtake* adalah kesepakatan antara produsen dan pembeli untuk membeli atau menjual sebagian dari barang produsen yang akan datang (output).

Perdagangan Hidrogen

Karena negara-negara seperti Indonesia tengah menilik peluang untuk mengekspor hidrogen hijau, penting untuk mempertimbangkan bagaimana perdagangan lintas batas hidrogen hijau antara titik produksi dan wilayah permintaan di seluruh dunia dapat diaktifkan [54]. Badan Energi Terbarukan Internasional (The International Renewable Energy Agency—IRENA) melaporkan bahwa lebih dari 30% hidrogen yang dihasilkan akan diperdagangkan secara internasional pada 2050 [55]. Hal ini akan membutuhkan kerja sama internasional dan multipemangku kepentingan untuk mencegah gangguan dalam rantai pasokan hidrogen bersih, memastikan produk dapat dengan bebas bergerak melintasi perbatasan.

Standar yang menargetkan keselamatan dan kualitas barang dan jasa hidrogen hijau adalah salah satu cara untuk membangun ekonomi hidrogen hijau global yang tangguh dan mengurangi risiko hambatan perdagangan di masa depan. Pertanyaan seputar klasifikasi hidrogen menggunakan skema warna atau tingkat, misalnya, berdasarkan bahan baku dan apakah bahan bakar berasal dari sumber energi terbarukan atau tidak, tetap ada. Terlepas dari itu, sejumlah organisasi tengah mengupayakan mendapatkan sertifikasi ISO untuk ekspor hidrogen hijau mereka untuk meningkatkan harmonisasi sekaligus mengatasi fragmentasi yang ada.

Green Hydrogen Organization adalah salah satu aktor tersebut. Organisasi ini hendak menetapkan standar yang berpusat pada penghitungan emisi gas rumah kaca yang akurat, metrik ESG yang mempertimbangkan dampak yang lebih luas dari produksi hidrogen, dan penilaian pengembangan hidrogen dengan mempertimbangkan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan [56]. Pada tahap awal ini, fragmentasi dari pengaturan spesifik hidrogen hijau menjadi tantangan utama. Untuk mengatasi hal ini, model yang ada dapat digunakan dalam pengembangan standar umum untuk menghindari fragmentasi lebih lanjut dan mendorong persaingan yang sehat.

Perjanjian perdagangan bilateral dan regional juga dapat merangsang ekspor hidrogen hijau. Meskipun Indonesia belum memilikinya hingga saat ini, ada minat industri di bidang ini, seperti Nota Kesepahaman antara Global Green Growth Institute dan Korea Gas Corporation yang bertujuan untuk mempromosikan hidrogen hijau di negara berkembang dan *emerging economies*, termasuk Indonesia. Kedua organisasi “berharap untuk mendukung negara-negara berkembang untuk memanfaatkan kekayaan energi terbarukan yang tersedia di Indonesia, mempromosikan penggunaannya dalam industri berat lokal dan berpotensi untuk diekspor ke negara lain” [57]. Akan tetapi, tarif hidrogen sangat rendah atau tidak ada untuk sebagian besar produsen utama dan konsumen hidrogen. Alih-alih memiliki tarif terpisah untuk hidrogen hijau, akan lebih baik untuk mengadakan metode produksi dan proses yang dapat disertifikasi.

Pelaku industri dan pemerintah juga dapat memanfaatkan praktik terbaik dari perdagangan barang dan jasa ramah lingkungan lain yang relevan untuk menciptakan medan permainan yang setara, membentuk ekonomi hidrogen hijau global yang efisien, dan mengupayakan dekarbonisasi industri penuh pada 2050.

Bagian 5

Kerangka Kebijakan & Ambisi Iklim

5.1 Kebijakan Iklim & Energi

Indonesia memiliki kebutuhan pembangunan yang unik yang memainkan peran penting dalam membentuk kebijakan iklim dan energi domestik dan internasional. Seperti yang ditunjukkan pada Bagian 3, total emisi GRK dari Indonesia diperkirakan sebesar 920,2 Mt CO₂e pada 2019¹⁹. Indonesia sangat bergantung pada tenaga batubara yang menyumbang hampir 60% dari energi yang digunakan untuk produksi listrik [58]. Kebijakan saat ini kemungkinan akan perlu disesuaikan dalam jangka menengah agar Indonesia dapat melakukan dekarbonisasi sejalan dengan komitmennya terhadap Perjanjian Paris dan target suhunya [59][60].

Ranah pengembangan kebijakan di Indonesia memiliki pemangku kepentingan yang beragam, termasuk berbagai kementerian, Kantor Staf Presiden Republik Indonesia, Dewan Perwakilan Rakyat, beberapa lembaga, dan organisasi non-pemerintah. Namun, badan pembuat kebijakan utama terkonsentrasi di kementerian yang mengeluarkan peraturan tentang pengembangan energi dan lingkungan. Yang penting di antaranya, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mengatur mekanisme dukungan energi terbarukan, sementara Kementerian Keuangan memiliki kekuasaan untuk menetapkan besaran subsidi energi terbarukan, insentif fiskal, dan langkah-langkah keuangan lainnya. Kementerian Perindustrian dan Kementerian Desa, Daerah Tertinggal, dan Transmigrasi juga telah menetapkan beberapa peraturan yang mendukung terciptanya hibah daerah dan syarat mengenai energi terbarukan. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan memiliki mandat untuk mengoordinasikan keseluruhan pelaksanaan Mekanisme Penetapan Kontribusi Nasional (NDC) Indonesia dan mekanisme penetapan harga karbon.

Perkembangan kebijakan baru-baru ini di Indonesia cukup menjanjikan. Pada 2021, Indonesia menyerahkan NDC terbarunya kepada PBB, yang meningkatkan target sektoral dan menegaskan kembali target pengurangan GRK 41% pada tahun 2030 'dengan dukungan pembiayaan internasional' [61], untuk mencapai rasio elektrifikasi 99,7% pada 2025 dan mengurangi intensitas energi sebesar 1% per tahun sampai 2025 [61][62]. Pada tahun yang sama Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia menandatangani kemitraan dengan Badan Energi Terbarukan Internasional (International Renewable Energy Agency—IRENA) untuk bekerja menuju masa depan dengan peningkatan suhu maksimal 1,5°C, dengan fokus pada identifikasi dan implementasi jalur dekarbonisasi yang relevan [63].

Pada 2021 Indonesia juga telah bergabung dalam CORSIA *Offsetting Scheme* untuk penerbangan internasional sebagai peserta sukarela [64]. Pada 2021 juga, Presiden Joko Widodo menandatangani peraturan presiden dengan kerangka hukum penetapan harga karbon [65] yang mengatur pelaksanaan NDC Indonesia dan pengendalian emisi GRK. Menteri Perhubungan diberi mandat untuk menyusun lini dasar emisi GRK dan batas atas subsektor transportasi, yang menjadi acuan pelaksanaan perdagangan karbon dan pajak karbon di sektor energi.

19 Tidak Termasuk Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Ambisi ini disambut baik, terutama mengingat Indonesia adalah produsen batubara terbesar keempat dan pemasok gas terbesar di Asia Tenggara [66]. Pemerintah telah menerbitkan beberapa strategi energi seperti Kebijakan Energi Nasional, Rencana Energi Nasional, dan Peta Jalan Bahan Bakar Nabati [67]. Pemerintah juga telah mengadopsi kebijakan untuk mempercepat pengembangan energi terbarukan [67]. Sejalan dengan itu, Indonesia telah menetapkan tujuan untuk meningkatkan akses listrik dan kontribusi energi terbarukan ke jejaring di atas 20% pada 2025 [34]. Dalam proses ini, Indonesia telah mengidentifikasi pentingnya beralih dari bahan bakar fosil, meningkatkan peran energi terbarukan, berinvestasi dalam penangkapan dan penyimpanan karbon, sekaligus meningkatkan kesejahteraan manusia [68]. Demikian pula, pemerintah telah mengidentifikasi risiko aset terlantar sebagai sesuatu yang harus dipertimbangkan [68], hal yang signifikan relevansinya ketika membahas potensi peran bahan bakar transisi dibandingkan dengan SZEK dalam jangka menengah.

Hingga saat ini, Indonesia telah mengesahkan empat undang-undang yang secara eksplisit menyoal perubahan iklim. Selain ratifikasi Kesepakatan Paris, yang lainnya antara lain:

1. **Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan**, [69] yang mengatur pelaksanaan pajak karbon. Emisi karbon yang berdampak negatif terhadap lingkungan dikenakan pajak karbon minimal Rp 30/kg CO₂e (US\$2/ton). Pada tahap awal (mulai 2022), pajak karbon diterapkan pada sektor pembangkit listrik tenaga batubara dalam mekanisme *cap-and-trade*;
2. **Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup**, sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Penciptaan Lapangan Kerja [70], yang mensyaratkan pertimbangan perubahan iklim dalam semua instrumen perlindungan lingkungan, termasuk Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL); dan
3. **Undang-Undang Nomor 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika** [71] yang mengamanatkan Pemerintah Indonesia untuk melakukan upaya mitigasi dan adaptasi iklim .

Selain itu, terdapat berbagai undang-undang dan kebijakan terkait iklim di sektor pelayaran, energi, kehutanan, konservasi sumber daya hayati, dan pengelolaan limbah. Mengenai keberlanjutan dan pengembangan energi terbarukan, pada 2021 Indonesia menetapkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang 'Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup' [72] yang mewajibkan perusahaan untuk menyampaikan analisis dampak lingkungan dari setiap proyek energi terbarukan yang direncanakan, yang semakin menegaskan upaya Indonesia untuk melestarikan keanekaragaman hayatinya.

Ada banyak perubahan mengenai peraturan energi dan beberapa di antaranya bertujuan untuk meningkatkan keadilan energi. Walau keberhasilan berbagai upaya ini telah dipertanyakan [73], berbagai perubahan ini menunjukkan kecenderungan umum menuju kebijakan energi yang lebih progresif. Di antaranya, program "Indonesia Terang" 2016 yang diluncurkan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral bekerja sama dengan Bank Pembangunan Asia (ADB) dan dukungan dari General Electric, menunjukkan hal ini. Inisiatif ini hendak mengembangkan jejaring mikro senilai US\$3 miliar menggunakan tenaga surya untuk menerangi wilayah timur Indonesia seperti Papua, Papua Barat, Maluku, Maluku Utara, dan Nusa Tenggara Timur dan Barat. Program ini masih dalam tahap pembangunan pada 2022 [74][75][76].

Indonesia sejauh ini telah mengesahkan beberapa peraturan perundang-undangan sebagai langkah pertama menuju dekarbonisasi masa depan yang lebih ambisius. Peraturan perundang-undangan tersebut di antaranya:

- **Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2014 tentang Panas Bumi sebagaimana telah diubah dengan UU No. 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja** – melonggarkan batasan-batasan eksploitasi panas bumi [77].
- **Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik** sebagaimana telah diubah terakhir dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 4 Tahun 2020 – merinci rencana pembangunan infrastruktur energi terbarukan dan menciptakan mekanisme untuk memprioritaskan pembelian energi terbarukan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) [78].
- **Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Nasional Tahun 2021 (RUPTL)** – menjabarkan rencana pembangunan 10 tahun untuk aset pembangkit, transmisi, dan distribusi tenaga listrik di Indonesia. Pada skenario rendah karbon, komposisi bauran energi pada 2030 direncanakan menjadi batubara (59,6%), gas bumi (15,6%), energi terbarukan (24,2%), dan bahan bakar minyak (0,4%) [79].
- **Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2019-2038 (RUKN)** – menetapkan target 28% 'energi baru terbarukan' pada 2038 [51].
- **Menteri Desa, Pembangunan Daerah Tertinggal, dan Transmigrasi No. 11 Tahun 2019** – menciptakan dukungan keuangan daerah untuk proyek energi terbarukan *off-grid* (khususnya jejaring mikro) [80].
- **Peraturan Presiden No. 10 Tahun 2021 tentang Bidang Usaha Penanaman Modal** – menciptakan berbagai insentif fiskal untuk pembangkit energi terbarukan, termasuk pengurangan pajak penghasilan badan [81].
- **Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional** – peraturan yang dikeluarkan Presiden Joko Widodo ini bertujuan untuk menetapkan kerangka hukum penetapan nilai ekonomi karbon [82].

5.2 Kebijakan Maritim

Pada dasarnya laut merupakan sumber daya alam yang penting bagi Indonesia sebagai sumber pangan, komunikasi, transportasi, dan perdagangan. Oleh karena itu, Presiden Joko Widodo telah membuat komitmen untuk mengubah Indonesia menjadi "Poros Maritim Dunia" yang dibangun di atas keunikan geografi Indonesia sepanjang Selat Lombok dan Selat Malaka di persimpangan antara jalur perdagangan dan budaya [83]. Sumber daya laut Indonesia yang besar menjadi kunci pembangunan ekonomi, yang ditunjukkan oleh ekonomi kelautannya yang terbesar di ASEAN [84].

Kebijakan maritim Indonesia dapat berasal dari berbagai tingkat otoritas nasional, regional, dan lokal, termasuk Kementerian Perhubungan dan Kementerian Kelautan dan Perikanan [85][25]. Kementerian Kelautan dan Perikanan telah mengeluarkan beberapa peraturan untuk melindungi wilayah pesisir dan lingkungan perikanan [86].

Pada 2008, pemerintah mengesahkan peraturan yang mengatur keselamatan, keamanan, dan perlindungan lingkungan laut pelayaran, navigasi, dan pelabuhan [87]. Peraturan ini memperkenalkan pemisahan antara fungsi regulasi dan operasional, yang bertujuan untuk mendorong persaingan dan mendorong partisipasi sektor swasta. Peraturan turunannya pada 2009 dan 2010 membentuk Unit Penyelenggara Pelabuhan, merestrukturisasi sektor pelabuhan menjadi model “tuan tanah” [88]. Potensi transformasi untuk dekarbonisasi sektor pelabuhan nasional diarahkan pada “pergeseran dari pembangunan berbasis darat ke laut” [89]. Bahkan, dengan semboyan “Jalesveva Jayamahe” (“Di lautan kita jaya”), pemerintah saat ini berupaya memosisikan Indonesia sebagai kekuatan maritim [83]. Hal ini menghasilkan Kebijakan Kelautan Indonesia pada 2017 yang terdiri dari dua komponen: Kebijakan Kelautan Indonesia yang memuat pilar-pilar luas²⁰, dan Rencana Aksi Kebijakan Kelautan Indonesia yang menerjemahkan pilar-pilar tersebut menjadi program dan menunjuk institusi yang bertanggung jawab atas implementasinya [90]. Perlu juga dicatat bahwa beberapa pemangku kepentingan menyoroti bahwa sektor pelayaran/kelautan termasuk dalam peta jalan pajak karbon yang saat ini sedang dikembangkan oleh Indonesia.

Dalam konteks pelayaran internasional, Indonesia adalah anggota IMO, sebuah badan PBB dengan lebih dari 170 negara anggota yang mengatur industri pelayaran internasional. IMO menetapkan standar global untuk keselamatan, keamanan, dan kinerja lingkungan maritim. Indonesia telah mengadopsi, mengaksesi dan/ atau meratifikasi berbagai instrumen dan konvensi global yang berkaitan dengan perubahan iklim, perlindungan lingkungan laut, dan transisi ke sektor maritim rendah emisi.

Indonesia telah meratifikasi beberapa konvensi internasional, antara lain Konvensi Internasional tentang Tanggungjawab Perdata untuk Kerusakan Akibat Pencemaran Minyak (*International Convention on Civil Liability for Oil Pollution Damage*) tahun 1969 dan amandemennya tahun 1992 [91]. Pada 2010, Indonesia menerbitkan peraturan tentang perlindungan lingkungan laut yang bertujuan untuk mencegah pencemaran laut yang disebabkan oleh kapal atau kegiatan pelabuhan dan pembuangan limbah di perairan terkait dengan MARPOL 73/78 [92]. Pada 2012, Indonesia meratifikasi Konvensi MARPOL Annex III, IV, V dan VI yang selanjutnya disahkan oleh Peraturan Menteri Perhubungan No. 29 Tahun 2014 [93][94].

Selanjutnya, perlindungan lingkungan laut diatur oleh undang-undang tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup [70] dan peraturan tentang Pengendalian Pencemaran Dan/Atau Perusakan Laut [95]. Pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil diatur dalam UU No. 27 Tahun 2007, sebagaimana telah diubah terakhir dengan UU No. 11 Tahun 2020 [96]. Selain kemajuan yang signifikan dalam rancangan undang-undang domestik untuk menyelaraskan diri dengan perjanjian internasional yang telah diratifikasi, Indonesia juga aktif dalam IMO. Indonesia memiliki salah satu delegasi IMO terbesar dan teratas dalam rasio delegasi/ukuran armada [97]. Indonesia juga menjabat sebagai anggota Dewan IMO Kategori C periode 2022-2023. Dalam sidang ke-72 Komite Perlindungan Lingkungan Laut, Indonesia mengakui mandat IMO dalam menangani emisi GRK dari pelayaran internasional dan mendukung penyelarasan Strategi GRK Awal IMO dengan Perjanjian Paris.

20 Ketujuh pilar kebijakan tersebut meliputi: (i) pengelolaan sumber daya kelautan dan pengembangan sumber daya manusia; (ii) pertahanan, keamanan, penegakan hukum, dan keselamatan di laut; (iii) tata kelola dan kelembagaan laut; (iv) ekonomi dan infrastruktur kelautan dan peningkatan kesejahteraan; (v) pengelolaan ruang laut dan perlindungan lingkungan laut; (vi) budaya bahari; dan (vii) diplomasi maritim.

Tabel 5: Komitmen Indonesia terhadap Kebijakan Maritim Internasional.

Konvensi PBB tentang Hukum Laut (Konvensi UNCLOS) (diratifikasi tahun 1985)
Konvensi Basel tentang Pengawasan Perpindahan dan Lintas Batas Limbah Berbahaya dan Pembuangannya (diratifikasi tahun 1993)
Konvensi Internasional tentang Tanggungjawab Perdata untuk Kerusakan Akibat Pencemaran Minyak tahun 1969 dan amandemennya tahun 1992 (diratifikasi tahun 1999)
Konvensi Internasional untuk Pencegahan Pencemaran dari Kapal (Konvensi MARPOL), khususnya Lampiran VI untuk Polusi Udara (disetujui pada tahun 2012)

IMO telah berhasil mengadopsi berbagai instrumen dan kebijakan yang ditujukan untuk mengurangi emisi GRK dari kapal²¹. Strategi GRK Awal IMO menetapkan target minimum pengurangan emisi setidaknya 50% pada 2050 dibandingkan dengan tahun acuan 2008, sementara secara umum mengupayakan pengurangan emisi GRK sebagai hal yang mendesak dan konsisten dengan sasaran suhu Perjanjian Paris. Selain target pengurangannya, strategi tersebut menetapkan linimasa untuk pertimbangan dan pemilihan langkah-langkah kebijakan jangka pendek, menengah, dan panjang yang berbeda [98]. Langkah-langkah jangka pendek berfokus terutama pada peningkatan efisiensi energi untuk armada global, dan diskusi saat ini tentang langkah-langkah potensial jangka menengah yang fokus pada serangkaian tindakan yang menggabungkan standar bahan bakar dan tindakan berbasis pasar (MBM). Negara-negara Anggota juga semakin menyadari perlunya mengampu transisi yang adil dan merata. Selain itu, momentum semakin menguat untuk meningkatkan ambisi sebagai bagian dari Revisi Strategi IMO. Lebih dari 240 penandatanganan dari rantai nilai maritim menyerukan kepada IMO untuk menetapkan target dekarbonisasi penuh pada 2050 [99]. Namun, ambisi Indonesia terkait dekarbonisasi juga harus menjawab posisinya yang unik sebagai negara kepulauan, karena beberapa penelitian menyiratkan bahwa sebagai akibat dari dekarbonisasi pelayaran dan peningkatan biaya transportasi terkait, Indonesia dapat mengalami penurunan PDB sebesar -0,11% [100].

Tahun yang akan datang sangat penting dalam linimasa regulasi IMO. Pada pertemuan mendatang, revisi Strategi GRK Awal akan dibahas dengan fokus besar yang kemungkinan besar adalah menetapkan tingkat ambisi baru yang selaras dengan sasaran suhu 1,5°C dan kemungkinan dimasukkannya tonggak pencapaian sementara. Selain itu, akan ada diskusi lebih lanjut tentang usulan langkah-langkah jangka menengah. Beberapa usulan untuk MBM telah diajukan untuk dipertimbangkan pada pertemuan mendatang. Bagaimana proposal ini berjalan dan, khususnya, bagaimana upaya untuk menghasilkan pendapatan dirancang akan sangat mempengaruhi seperti apa transisi yang akan terjadi. Pendanaan yang dihasilkan dari harga emisi GRK dapat digunakan dalam berbagai cara, antara lain:

- Mengampu transisi yang adil secara internasional dan adil secara sosial dengan mendukung Negara-negara yang paling rentan terhadap iklim,
- Menutup kesenjangan daya saing²² antara bahan bakar alternatif baru dan bahan bakar fosil yang ada melalui daur ulang pendapatan,
- Mengatasi dampak negatif yang tidak proporsional terhadap Negara-negara,
- Pengembangan kapasitas dan transfer teknologi,
- Pendanaan iklim, dan
- Pelatihan dan pendidikan bagi pelaut dan pekerja di industri pelayaran [101].

21 Termasuk Energy Efficiency Design Index (EEDI), Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), Sistem Pengumpulan Data konsumsi bahan bakar minyak kapal, dan Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) dan Carbon Intensity Indicator (CII).

22 Estimates suggest that across the 2030s and 2040s SZEf may be approximately double the price of conventional fossil fuels [17].

Kajian Bank Dunia menemukan bahwa skenario di mana sebagian pendapatan dialokasikan untuk penggunaan di luar sektor dapat diterima secara politis [102] [103]. Penghasilan, pengumpulan, dan distribusi pendapatan akan bergantung pada desain kebijakan, sehingga saat ini belum dapat dipastikan. Namun, mengingat laporan IPCC baru-baru ini tentang dampak, adaptasi, dan kerentanan perubahan iklim [1], beberapa Anggota menekankan perlunya porsi pendapatan yang signifikan untuk mendukung mereka yang paling rentan terhadap iklim [104].

Diskusi regulasi mendatang di IMO dapat mengatur bentuk transisi untuk tahun-tahun berikutnya. Sangat penting bahwa tujuan kebijakan untuk negara mana pun di tingkat IMO harus seambisius mungkin diselaraskan dengan ilmu iklim IPCC dan mengirimkan sinyal kebijakan yang kuat untuk mendorong investasi jangka panjang dalam produksi dan penyediaan bahan bakar alternatif yang menghasilkan nol GRK sepanjang siklus hidup dan untuk memungkinkan transisi yang adil bagi semua.

Langkah-langkah yang diambil IMO sejauh belum menghasilkan pengurangan yang cukup untuk menempatkan sektor ini pada lintasan yang sesuai dengan tujuan Perjanjian Paris. Meskipun pertemuan mendatang dapat menghasilkan sinyal kebijakan yang kuat, perlu beberapa tahun lagi sebelum langkah-langkah baru tersebut disetujui dan diimplementasikan. Akibatnya, aksi nasional dan kolaborasi publik-swasta memainkan peran kunci saat ini untuk memfasilitasi transisi pelayaran [12]. Contoh kegiatan tersebut di ruang maritim internasional dapat dilihat pada Gambar 13.

Gambar 1 3: Kolaborasi maritim internasional dan Inisiatif untuk mendukung dekarbonisasi.

Seruan Aksi Koalisi “Getting to Zero”

Lebih dari 240 anggota koalisi telah mendesak pemerintah untuk:

1. Berkomitmen untuk mewujudkan mendekarbonisasi pelayaran internasional pada 2050
2. Mendukung proyek pelayaran niremisi skala industri melalui aksi nasional
3. Mengambil langkah-langkah kebijakan yang akan menjadikan pelayaran niremisi sebagai pilihan standar pada 2030

[Informasi Lebih Lanjut](#)

Nota Kesepahaman (MOU) tentang Penerimaan

Nota Kesepahaman (MoU), atau perjanjian kemitraan, dapat ditandatangani oleh pihak-pihak yang tertarik untuk menjajaki pembentukan produksi bahan bakar hijau skala besar dan mempercepat pasokan bahan bakar hijau untuk pelayaran. Perjanjian ini memfasilitasi investasi dengan memastikan permintaan serapan.

[Contoh-contoh MoU yang ditandatangani pada 2022](#)

Deklarasi Clydebank untuk koridor pelayaran hijau

Diluncurkan pada COP26, saat ini sudah 24 negara berjanji untuk:

- memfasilitasi pembentukan kemitraan, dengan partisipasi dari pelabuhan, operator, dan pihak lain sepanjang rantai nilai, untuk mempercepat dekarbonisasi sektor pelayaran dan pasokan bahan bakarnya melalui proyek koridor pelayaran hijau
- mengidentifikasi dan mengeksplorasi tindakan untuk mengatasi hambatan pembentukan koridor hijau. Ini dapat mencakup, misalnya, kerangka peraturan, insentif, berbagi informasi, atau infrastruktur
- mempertimbangkan untuk memasukkan ketentuan tentang koridor hijau dalam pengembangan atau tinjauan atas Rencana Aksi Nasional
- Mengupayakan agar pertimbangan dampak lingkungan dan keberlanjutan yang lebih luas dibuat dalam mewujudkan koridor pelayaran hijau.

Pernyataan Misi:

“Untuk mendukung pembentukan koridor pelayaran hijau di rute maritim tanpa emisi antara dua (atau lebih) pelabuhan. Ini menjadi tujuan bersama untuk mendukung pembentukan setidaknya 6 koridor hijau pada pertengahan dekade ini, sambil berupaya memperluas skala kegiatan di tahun-tahun berikutnya.”

[Informasi Lebih Lanjut](#)

Selain itu, meskipun MBM yang diadopsi di tingkat IMO dapat menawarkan dukungan keuangan dalam sektor pada tahap tertentu, pada fase awal ini investasi sektor swasta, serta kemitraan publik-swasta, tindakan kolektif oleh industri maritim, sektor energi, lembaga keuangan, dan pemerintah/organisasi antar pemerintah perlu menyediakan dana yang signifikan. Mengingat kesenjangan daya saing antara bahan bakar fosil dan SZEK alternatif [101], biaya produksi untuk bahan bakar baru akan mempengaruhi besarnya kesenjangan harga, yang menjadi argumen untuk mendorong investasi produksi bahan bakar masa depan agar difokuskan pada lokasi kompetitif [105].

Dalam ranah kebijakan yang berkembang, menggabungkan fokus pada ambisi domestik yang selaras dengan produksi energi terbarukan dan mitigasi emisi GRK, dengan keterlibatan internasional dalam diskusi IMO dan kolaborasi publik-swasta, memberikan prospek yang menjanjikan untuk peran Indonesia dalam transisi ini.



Bagian 6

Peluang Bisnis Strategis di Indonesia

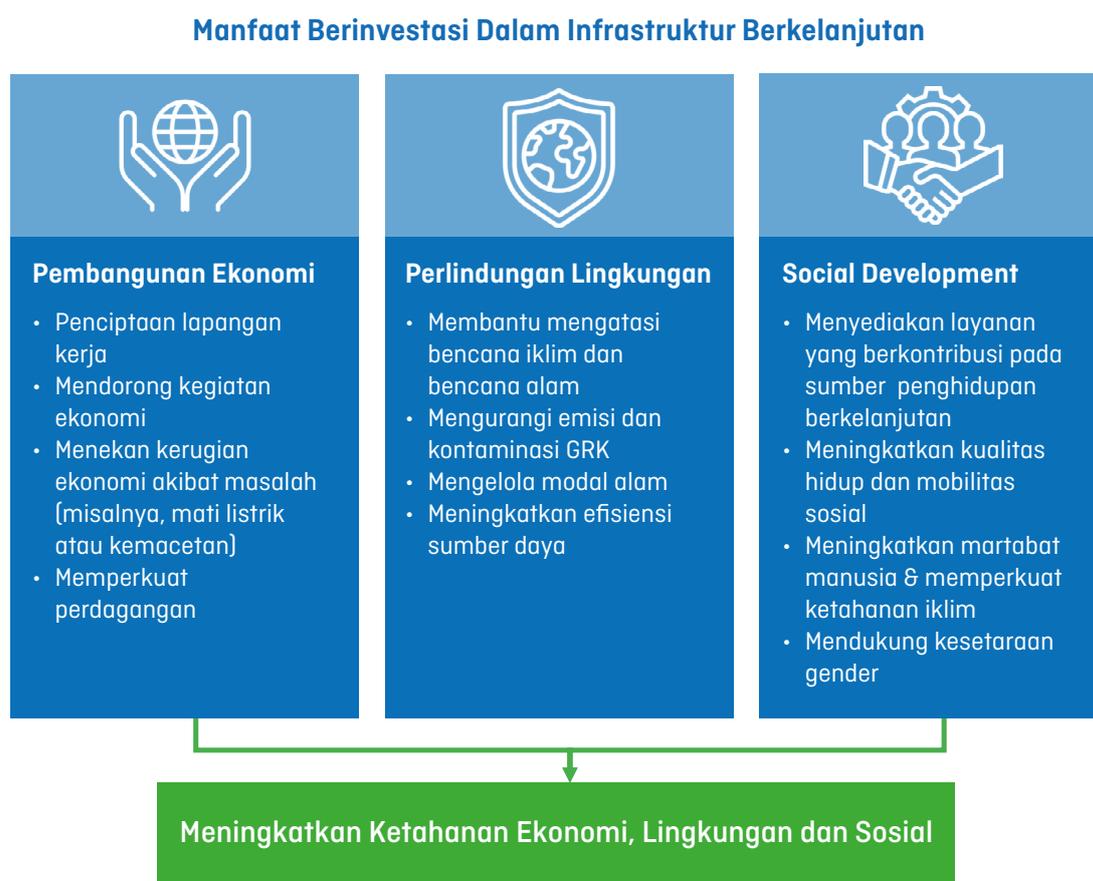
6.1 Bahan Bakar Hijau sebagai Peluang Pembangunan Daerah

Proyek infrastruktur dapat memainkan peran kunci dalam pembangunan negara, baik secara ekonomi maupun dalam hal pembentukan identitas bersama. Proyek infrastruktur skala besar yang baru dapat mengubah narasi nasional, menggalang modal manusia, dan menciptakan berbagai peluang perubahan sosial-ekonomi [106]. Beberapa proyek infrastruktur paling ambisius melibatkan penciptaan kawasan urban baru atau satu kota baru sekaligus di mana komunitas-komunitas baru muncul dan membentuk identitas mereka, dengan kluster permintaan baru terkait barang, jasa, dan infrastruktur yang mendukungnya, seperti pelayaran, produksi energi, transportasi, dan perlindungan lingkungan.

Dengan demikian, infrastruktur harus dilihat sebagai sistem atau portofolio aset yang secara kolektif dapat mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan, alih-alih dilihat sebagai aset kontribusi individu terpisah, seperti pembangkit listrik atau jejaring air. Manfaat ekonomi dari proyek infrastruktur mencakup pekerjaan yang diciptakan selama konstruksi dan pemeliharaan, selain menghasilkan kegiatan ekonomi [107]. Jika Indonesia meningkatkan investasi infrastruktur sebesar 1% dari PDB, akan ada 700.000 pekerjaan baru langsung dan tidak langsung yang dihasilkan [108]. “Dengan menghubungkan masyarakat ke kota, pendidikan dan pekerjaan, infrastruktur seperti transportasi dan telekomunikasi menopang tujuan ekonomi nasional” [107].

Memang, infrastruktur dapat membantu melestarikan sumber daya alam dan mengurangi dampak perubahan iklim. Khusus untuk proyek energi, komunitas lokal dan masyarakat secara keseluruhan mendapat manfaat dari penyediaan pasokan listrik, layanan yang penting untuk pembangunan berkelanjutan. Secara khusus, infrastruktur tahan iklim mendukung ketahanan masyarakat secara keseluruhan dengan menyediakan layanan vital yang stabil yang tidak rentan terhadap kejadian dan gangguan ekstrem [107]. Proyek-proyek ini jika diselenggarakan di wilayah pesisir dapat memainkan peran yang sangat penting dalam memfasilitasi penciptaan permintaan pelayaran baru, untuk memindahkan barang dan jasa, dan memfasilitasi pembangunan ekonomi jangka panjang.

Gambar 14: Manfaat terkait investasi dalam proyek infrastruktur berkelanjutan



“Menetapkan Indonesia sebagai green hub untuk bahan bakar berkelanjutan dapat membantu memastikan bahwa Indonesia mewujudkan ambisinya sebagai poros maritim, menciptakan aktivitas ekonomi tambahan, lapangan kerja ramah lingkungan, dan pertumbuhan secara nasional.” – Basilio Dias Araujo, Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi

Kalimantan sebagai Lokasi Ibukota Baru

Pemerintah Indonesia berencana untuk memindahkan ibukota negara dari Jakarta ke Nusantara di provinsi Kalimantan Timur yang terletak di pesisir timur Pulau Kalimantan. Pengumuman tentang keputusan pemindahan ibukota ke Pulau Kalimantan disampaikan oleh Presiden Joko Widodo pada 2019 [109]. Langkah ini diharapkan dapat membawa lebih banyak peluang pembangunan ekonomi, lapangan kerja dan inovasi ke pulau tersebut, sekaligus mengurangi beberapa tantangan yang dihadapi Jakarta, terutama kenaikan muka air laut, pertumbuhan penduduk, dan prospek pembangunan jangka panjang yang tidak memadai [110]. Rencana pemindahan dijamin dalam undang-undang yang baru diundangkan yang mengatur, antara lain, pemanfaatan energi terbarukan dan efisiensi energi di ibukota baru [111].

Kalimantan menawarkan salah satu potensi energi terbarukan terbesar di Indonesia sekitar 180 GW dan tingkat elektrifikasi 95%. Porsi terbesar dari potensi energi terbarukan ini adalah dari PV surya (150 GW) dan tenaga air (22 GW) [112]. Namun, jumlah realistis PV surya yang sebenarnya untuk pemanfaatan masih harus dilihat karena bergantung pada ketersediaan lahan, dengan mempertimbangkan hutan lindung, aksesibilitas, dan pertimbangan penggunaan lahan lainnya [113].

Dua wilayah utama di Kalimantan dari perspektif pembangunan adalah Kalimantan Timur, karena kedekatan geografisnya dengan ibukota baru Indonesia, dan Kalimantan Selatan, karena posisinya yang unik dekat dengan beberapa jalur perdagangan pelayaran yang sibuk dan pusat populasi yang relatif padat (yaitu Banjarmasin dan Banjarbaru). Potensi pembangkit listrik tenaga air di wilayah ini dapat meningkat di masa depan karena curah hujan diproyeksikan meningkat hingga 20% setelah tahun 2045 sebagai konsekuensi dari peningkatan suhu permukaan udara [68].

Di Kalimantan Utara, proyek pembangkit listrik tenaga air baru akan dibangun sepanjang Sungai Kayan. PLTA Kayan akan memiliki *output* daya 11 GW, dan direncanakan memasok pabrik peleburan logam yang akan dibangun di dekatnya [114]. Potensi pembangkit listrik tenaga air juga mendorong minat investor di peleburan aluminium, industri yang sangat intensif energi yang menghadapi tekanan yang semakin besar untuk melakukan dekarbonisasi. Pada 2021, Fortescue Metals Group dari Australia telah bersama-sama menyatakan minatnya dengan Tsingshan Holding Group dari Tiongkok untuk mengembangkan kawasan industri peleburan logam di Kalimantan [115]. Rencana serupa di Kalimantan Utara untuk pengembangan peleburan aluminium telah diumumkan oleh Adaro Energy Indonesia [116]. Minat yang meningkat akan potensi tenaga air di kawasan ini mengikuti penandatanganan 'Perjanjian Kerja Sama' pada 2021 antara Fortescue Future Industries dan Pemerintah Provinsi Kalimantan Utara untuk produksi dan pengembangan sumber daya hidrogen dan amonia hijau dari energi terbarukan untuk penggunaan domestik dan ekspor. Rencana tersebut menetapkan target produksi 650.000 ton hidrogen hijau per tahun [117]. Pada saat yang sama, potensi tenaga surya juga semakin dimanfaatkan, salah satunya proyek PLTS Badak 4 MW di Kalimantan yang dikembangkan oleh Pertamina [118].

Kegiatan tersebut berarti bahwa Kalimantan dapat mengembangkan infrastruktur baru untuk memenuhi kebutuhan energi kota metropolitan baru yang berkembang pesat, kebutuhan transportasi terkait, dan kebutuhan pelayaran ke ibukota baru. Semua ini menawarkan peluang unik untuk sinergi pengembangan untuk dekarbonisasi pelayaran. Dengan rencana pemindahan ibukota ke Kalimantan, pelabuhan Balikpapan di dekatnya dapat dikembangkan menjadi pusat bunkering SZEK untuk pelayaran domestik dengan kawasan industri untuk memenuhi kebutuhan ibukota Indonesia di masa depan. Dengan pemikiran ini, Balikpapan dapat berfungsi sebagai gerbang komersial utama ke ibukota baru Indonesia dan pusat ekspor untuk produk baru dan bahan bakar hijau yang dibuat di Kalimantan Utara [119].

Gambar 15: Gambaran umum Kalimantan dengan perkembangan kunci terkait peluang bisnis.

Kalimantan



Balikpapan saat ini merupakan pelabuhan terbesar di Kalimantan Timur, sebuah pelabuhan multiguna dengan lalu lintas kapal tanker yang signifikan karena lokasinya di sisi barat Selat Makasar sepanjang jalur pelayaran penting. Pada 2018, pelabuhan Balikpapan menangani 1.059 kapal yang mayoritas merupakan kapal curah (416 kapal), kapal tanker minyak (185 kapal), dan kapal tanker kimia (144 kapal). Dengan demikian, lalu lintas pelayaran pelabuhan membutuhkan energi 0,94 TWh dan menghasilkan sekitar 922 emisi CO₂e [34]. Karena itu, Balikpapan menempati peringkat ketiga tertinggi pelabuhan dengan permintaan energi bahan bakar berdasarkan keberangkatan domestik.

Sebagian besar barang yang diekspor dari Balikpapan adalah mineral. Dari 784 lokasi penambangan di Kalimantan, 574 di antaranya berada di Kalimantan Timur. Sumber daya mineral utama di daerah ini selain batubara juga sumber daya logam tembaga, emas, dan nikel yang merupakan komponen penting dalam elektronik dan sangat penting untuk pertumbuhan global yang berkelanjutan. Kalimantan adalah daerah produksi batubara terbesar di Indonesia, dan Kalimantan Timur dikenal sebagai “jantung pertambangan batubara” [121][122]. Namun, ada kesamaan penting antara sistem penambangan (misalnya truk tambang) dan sistem penggerak dan sistem bantu pelayaran, yang menawarkan peluang sinergi untuk penyerapan dan penggunaan SZEf. Jika daerah ini hendak menjajaki peluang untuk memproduksi bahan bakar hijau secara lokal, ini tidak hanya akan menawarkan peluang dekarbonisasi operasi pertambangan, tetapi juga menjadi peluang bagi transisi pekerjaan batubara ke arah yang lebih berkelanjutan. Transisi ini sejalan dengan ambisi Presiden untuk meninggalkan ekspor bahan baku demi mengembangkan industri hilirnya, terutama karena sektor mineral dan batubara hanya menyumbang 5% dari PDB Indonesia pada 2019 [123].

Kalimantan terkenal dengan keanekaragaman hayatinya yang tinggi [68]; mewujudkan potensi energinya akan membutuhkan investasi besar dalam infrastruktur, seraya menyeimbangkan kebutuhan keanekaragaman hayati yang kaya di pulau itu. Sinergi dengan industri pertambangan dapat membantu transisi industri batubara serta memfasilitasi dekarbonisasi sektor pertambangan dan pelayaran Indonesia yang selama ini sulit dikurangi, sekaligus mendorong Indonesia menjadi inovator di bidang pembangkit listrik alternatif, bahan bakar nol karbon, standar keselamatan, pendidikan, dan pelatihan. Pelabuhan Balikpapan menawarkan peluang unik untuk pengembangan koridor hijau baru, dengan infrastruktur bunker domestik yang dibutuhkan. Perintisan dan peningkatan proyek transisi energi maritim dapat dikembangkan berbasis di atau sekitar pelabuhan Balikpapan untuk lebih menekankan komitmen Indonesia terhadap perubahan iklim, inovasi energi, dan investasi kolaboratif.

6.2 Elektrifikasi Armada Kapal Kecil Indonesia

Elektrifikasi yang berbasis pada energi terbarukan adalah opsi dekarbonisasi yang diakui secara luas yang tidak hanya dapat digunakan untuk mengisi daya pada kapal saat berlabuh, sehingga mengurangi emisi pelabuhan secara langsung, tetapi juga melalui teknologi baterai untuk mengampu solusi propulsi kapal hibrida dan listrik penuh. Sementara yang pertama berfungsi untuk meningkatkan efisiensi energi kapal, yang terakhir memungkinkan kapal dijalankan sepenuhnya dengan baterai yang diisi dayanya melalui jejaring darat [124]. Kapasitas teknologi baterai saat ini yang digunakan untuk kapal bertenaga listrik penuh sudah diidentifikasi sebagai solusi ramah lingkungan yang tersedia untuk kapal kecil yang menempuh jarak lebih pendek [4][124][125], dan dapat menjadi peluang penting untuk dekarbonisasi kapal dalam pembangunan negara kepulauan, di mana kapal yang lebih kecil merupakan bagian penting dari armada pelayaran domestik.

Beralih ke elektrifikasi memberikan banyak manfaat, termasuk pengurangan polusi udara dan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah, yang merupakan pertimbangan penting untuk negara-negara kepulauan yang sedang berkembang di mana transportasi bahan bakar (ke pulau-pulau) menjadi sumber emisi dan biaya tambahan [34]. Manfaat lebih lanjut seperti pengurangan kebisingan, getaran, dan pemeliharaan juga telah diidentifikasi sebagai keuntungan umum dari penggunaan kapal yang digerakkan baterai, yang secara langsung meningkatkan pengalaman pemilik dan penumpang kapal serta masyarakat pelabuhan dan pesisir setempat [125][126]. Mengadopsi teknologi ini, terutama untuk negara-negara dengan armada kapal kecil yang luas, bisa mengurangi emisi nasional [97]. Selain itu, ketahanan energi juga telah diidentifikasi sebagai keuntungan dan potensi pendorong elektrifikasi bagi negara-negara yang bergantung pada impor bahan bakar, mengurangi kerentanan akibat fluktuasi harga bahan bakar dan peraturan karbon [127]. Pendorong lainnya adalah pengembangan keunggulan kompetitif nasional dalam teknologi baterai atau pembuatan kapal listrik [128], dan potensi manfaat yang lebih luas bagi pembangunan ekonomi berkelanjutan dalam hal penciptaan lapangan kerja ramah lingkungan dan peluang ekspor.

Gambar 16: Kapal nelayan yang berlabuh di Pelabuhan Muara Baru dekat Jakarta



Sampai saat ini, elektrifikasi kapal kecil terjadi terutama di kapal penumpang dan kapal rekreasi yang melakukan perjalanan yang lebih pendek dengan rute yang telah ditentukan sebelumnya yang menawarkan transportasi laut ramah lingkungan kepada wisatawan dan warga lokal. Untuk daerah wisata populer, di mana aktivitas seperti tamasya dari pulau ke pulau (*island hopping*) atau pesiar ramah lingkungan menjadi daya tarik, elektrifikasi perahu kecil dapat menjadi peluang yang menjanjikan mengingat permintaan transportasi laut yang tinggi dan elastisitas harga yang kemungkinan lebih rendah di antara wisatawan asing. Perikanan dan kapal tunda juga berpotensi mengadopsi teknologi ini karena kapal-kapal ini sering beroperasi pada jarak yang lebih pendek dan dekat dengan pesisir [34][129][130]. Dengan pesatnya perkembangan teknologi baterai saat ini, laju elektrifikasi kapal kemungkinan akan mengampu kelompok pengguna yang lebih besar di tahun-tahun mendatang [131].

Daya Ramah Lingkungan untuk Kapal Tunda, Kapal Nelayan, dan Feri

Sifat kepulauan Indonesia membutuhkan penggunaan kapal domestik kecil yang signifikan untuk mengangkut barang dan orang antar pulau, mendukung pertumbuhan ekonomi regional dan konektivitas antar pulau. Mengingat bahwa Indonesia memiliki 6.000 pulau berpenghuni, pasar armada kapal kecil Indonesia sangat luas [34][132]. Keberangkatan pelayaran internasional dan domestik Indonesia didominasi kapal-kapal kecil, di mana sekitar 42% keberangkatan pelayaran domestik adalah kapal pengangkut penumpang dan kendaraan kecil, kapal penangkap ikan, kapal tunda, dan kapal layanan lepas pantai, yang mewakili sekitar 28% dari total permintaan energi oleh keberangkatan kapal Indonesia [34]. Indonesia juga merupakan negara nelayan terbesar kedua di dunia setelah China [133], dan pada 2016, Indonesia diperkirakan memiliki lebih dari 544.000 kapal penangkap ikan yang 32% di antaranya bermotor. Sebagian besar kapal bermotor ini ukurannya diperkirakan lebih kecil dari 5 tonase kotor [45].

Indonesia ingin menjadikan bahan bakar nabati sebagai sumber energi utama untuk sektor transportasi pada 2050, yang mewakili 46% dari energi transportasi pada 2050 [68]. Pemerintah telah menetapkan peraturan bahwa semua kapal Indonesia harus berbahan bakar biodiesel B-30²³, dan diskusi belakangan ini menunjukkan bahwa persentase biomassa dapat meningkat hingga 40% dalam waktu dekat [134][135][136]. Mengingat besarnya armada kapal kecil Indonesia, serta persaingan kepentingan untuk bahan bakar nabati sebagai sumber energi dari sektor transportasi lain seperti penerbangan dan kendaraan darat, ini akan berdampak pada ketersediaan bahan bakar nabati yang berkelanjutan sehingga akan menaikkan harganya dalam jangka panjang. Selain bahan bakar nabati, pemerintah telah membuat peraturan untuk mendorong penggunaan Elpiji untuk kapal penangkap ikan kecil (di bawah 5 tonase kotor) untuk meningkatkan ketahanan energi dan kesejahteraan nelayan kecil [137].

Namun, pemerintah juga merencanakan listrik sebagai sumber utama kedua untuk mengurangi emisi terkait transportasi yang menyumbang 30% dari energi transportasi pada 2050 [68]. Elektrifikasi armada kapal kecil Indonesia dapat mengurangi jejak karbon segmen tersebut dan memberi peluang untuk dekarbonisasi, sambil bersinergi dengan tujuan Indonesia untuk meningkatkan pangsa listrik yang berasal dari energi terbarukan [68]. Sebagian besar kapal kecil di Indonesia menempuh jarak yang lebih pendek dan sering mengunjungi pelabuhan yang sama [34]. Kapal-kapal ini cocok untuk menggunakan teknologi elektrifikasi yang ada seperti propulsi baterai. Pemangku kepentingan menyatakan bahwa kapal nelayan dan rekreasi kecil serta feri dengan perjalanan singkat dan kecepatan operasional rendah akan menjadi kandidat yang menarik untuk proyek rintisan dan percontohan. Uji coba ini dapat dilakukan pada rute penumpang yang sibuk seperti Jawa-Bali dan Jawa-Sumatera, di mana jumlah dan frekuensi feri yang melakukan perjalanan antar pulau tinggi, serta di daerah dengan kepadatan penangkapan ikan yang tinggi, seperti Sumatera dan Jawa yang memiliki, masing-masing, 34,2% dan 39,8% kapal penangkap ikan di Indonesia. Indonesia Timur juga merupakan tempat uji coba yang baik, yang wilayahnya sebagian besar terdiri dari pulau-pulau kecil, menjadikan sektor maritim vital bagi transportasi orang dan barang.

Berbagai organisasi di Indonesia, baik lokal maupun internasional, telah mulai menjajaki peluang ini (lihat Tabel 6 di bawah). Meskipun demikian, para pemangku kepentingan menekankan bahwa elektrifikasi armada kapal kecil Indonesia disertai dengan beberapa pertimbangan, termasuk kendala teknologi untuk adopsi dan penggunaan kapal listrik. Ini termasuk tantangan terkait kecepatan, jangkauan, pemeliharaan, dan infrastruktur pengisian daya, dan mungkin memiliki implikasi yang berbeda untuk segmen pengguna yang berbeda. Untuk sektor perikanan, jangkauan jelajah yang terbatas dari teknologi baterai saat ini mungkin akan menyulitkan kapal penangkap ikan yang beroperasi lebih lama, dan untuk kapal penumpang atau feri, waktu pengisian daya yang lama dan kecepatan yang lebih lambat dapat memengaruhi jadwal dan kapasitas operasi.

²³ Bahan bakar nabati Indonesia umumnya terbuat dari minyak sawit dan, ketika dicampur dengan bahan bakar hidrokarbon tradisional seperti solar, dapat berfungsi sebagai campuran yang dapat digunakan di kapal. 'B30' berarti 30% bahan bakarnya terdiri dari bahan bakar minyak sawit.

Tabel 6: Pemilihan inisiatif elektrifikasi untuk kapal kecil di Indonesia

<p>1.</p> <p>PLN sebagai penyedia listrik terbesar di Indonesia berkomitmen untuk pengembangan ekosistem kendaraan listrik, salah satunya adalah elektrifikasi transportasi laut. Salah satu proyek yang kini telah berjalan adalah proyek E-boat di Provinsi Nusa Tenggara Barat [138].</p>	<p>2.</p> <p>Energy Renewed, sebuah organisasi non-pemerintah yang fokus pada akses energi bersih, telah mengembangkan kapal listrik konseptual berbiaya rendah untuk Asia Selatan [139]. Kapal konseptual tersebut meliputi motor listrik, baterai, dan panel surya dengan desain <i>monohull</i> atau katamaran yang terjangkau, dan Indonesia kini menjadi salah satu target pasarnya [140].</p>
<p>3.</p> <p>Di bidang pariwisata, resor ramah lingkungan di Raja Ampat sedang mengelektifikasi kapal-kapal mereka untuk mengurangi dampak lingkungan dan menawarkan solusi ramah lingkungan bagi wisatawan yang berkunjung untuk kegiatan rekreasi [141].</p>	<p>4.</p> <p><i>M/V Ellen</i>, feri listrik yang dikembangkan oleh perusahaan Denmark OMT, memiliki kapasitas untuk 200 penumpang dan 30 mobil yang ditenagai oleh baterai 4,3 MWh [142]. OMT telah mengembangkan kapal standar niremisi yang mereka klaim dapat disesuaikan untuk pasar Indonesia.</p>
<p>5.</p> <p>Bank Pembangunan Asia (ADB) di Batam tengah merintis dua taksi <i>e-boat</i> bekerja sama dengan operator kapal setempat, pemerintah kota, dan produsen kapal, untuk menunjukkan keunggulan jangka pendek dan jangka panjang dibandingkan kapal tradisional [143].</p>	<p>6.</p> <p>Galangan kapal Vallianz di Batam bersama dengan SeaTech, Shift Clean Energy, dan ABS berkolaborasi untuk merancang dan membangun kapal tunda pelabuhan berdaya listrik penuh untuk dijalankan dengan sistem baterai. <i>E-tug</i> ini akan menjadi "yang pertama dari jenisnya di kawasan Asia Pasifik" [144].</p>

Namun, kendala teknologi kapal bertenaga baterai telah diakui dan diuji oleh berbagai pihak. Negara-negara maju, seperti Norwegia [145], dianggap sebagai yang terdepan dalam perkembangan ini. Pembelajaran dari negara-negara ini, serta yang dikumpulkan oleh proyek rintisan dan percontohan khusus untuk Indonesia, dapat menjadi terobosan di pasar dan sektor investasi Indonesia. Karena itu, uji rintisan yang berpusat pada pengalaman pengguna untuk meningkatkan solusi yang terjangkau dan layak menawarkan peluang ke depan. Selain peningkatan kesadaran dan transfer pengetahuan, seperti yang ditegaskan oleh para pemangku kepentingan, melibatkan pemilik dan operator kapal selama proyek rintisan menjadi hal yang penting agar dapat membandingkan dan mendokumentasikan manfaat teknologinya dengan kekurangan yang dirasakan. Biaya bahan bakar yang lebih rendah, berkurangnya kebisingan dan polusi laut adalah beberapa masukan pemangku kepentingan dari rintisan sejauh ini [143].

Selain pertimbangan teknologi, infrastruktur jejaring listrik dan integrasi energi terbarukan juga disorot oleh para pemangku kepentingan sebagai penghalang elektrifikasi armada kapal kecil Indonesia. Infrastruktur jejaring Indonesia tidak hanya perlu ditingkatkan untuk memungkinkan masuknya energi terbarukan, tetapi juga harus diperluas untuk meningkatkan akses listrik di banyak pulau di Indonesia. Pulau-pulau di Indonesia Timur masih sangat bergantung pada pembangkit listrik tenaga diesel dan mengalami kesulitan untuk memasukkan energi terbarukan ke dalam sistem jaringannya. Untuk mengatasi hal ini, HDF Energy telah mulai mengembangkan pembangkit listrik tenaga surya hibrida, baterai, dan sistem hidrogen hijau di wilayah tersebut. Perusahaan ini juga sedang menjajaki potensi menghubungkan sektor di mana kelebihan hidrogen hijau yang dihasilkan dari pembangkit listrik dapat disalurkan ke pelabuhan lokal sebagai bahan bakar untuk kapal yang dimutakhirkan dengan sel bahan bakar (*fuel cell*).

Peningkatan pengembangan solusi luar jejaring (*off grid*), seperti jejaring mikro, menjadi bidang prioritas pemerintah Indonesia untuk meningkatkan akses energi di daerah terpencil dan mengakomodasi pertumbuhan permintaan listrik di tahun-tahun mendatang [68][74]. Implementasi jejaring mikro di komunitas *off-grid*, yang didukung oleh energi terbarukan seperti tenaga surya, menawarkan kesempatan untuk elektrifikasi kapal kecil yang berlabuh di daerah ini dan untuk menghubungkannya dengan permintaan listrik masyarakat setempat [129][146]. Ini merupakan peluang untuk mengatasi berbagai tantangan yang disorot terkait terlalu sedikitnya kapal yang membutuhkan listrik di daerah-daerah ini. Hal ini akan memacu dekarbonisasi armada kapal kecil domestik sambil membawa manfaat yang lebih luas bagi pembangunan daerah perdesaan di Indonesia. Bagi masyarakat pelabuhan, hal ini juga menawarkan peluang untuk lebih jauh menghubungkan permintaan listrik dengan elektrifikasi pelabuhan.

Untuk mewujudkan peluang ini, perlu ada dukungan pemerintah melalui kebijakan dan kampanye informatif tentang manfaat elektrifikasi, ditambah dengan pembiayaan dan investasi internasional. Ini mencakup bagaimana menciptakan lingkungan pengampu Indonesia bagi investasi asing dan swasta dalam teknologi energi terbarukan, serta dimasukkannya dekarbonisasi armada kapal domestik dalam agenda politik dan pergeseran fokus dari bahan bakar nabati ke listrik sebagai sumber energi terbarukan utama. Terakhir, program kendaraan listrik berbasis darat di Indonesia, yang saat ini bertujuan untuk memperkuat ekosistem kendaraan listrik yang berkaitan dengan produksi baterai dan infrastruktur untuk pertukaran baterai [147], menjadi peluang penting untuk memanfaatkan sinergi dan memenuhi permintaan dengan elektrifikasi armada kapal kecil Indonesia.

“Elektrifikasi dan dekarbonisasi armada kapal kecil domestik Indonesia merupakan langkah penting dalam upaya nasional kita untuk mengurangi emisi GRK. Ini memiliki peluang yang signifikan untuk tidak hanya membangun dan mendukung kebijakan dan inisiatif jejaring mikro yang ada, tetapi juga mendukung pembangunan berkelanjutan dari banyak daerah dan masyarakat yang terputus.” – Marizi Nizhar, Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Bappenas

6.3 Pusat Dekarbonisasi Yang Didukung oleh Panas Bumi

Salah satu sumber daya utama di Indonesia adalah energi panas bumi. Perkiraan saat ini menempatkan sumber daya energi panas bumi yang belum dimanfaatkan setinggi 29,5 GW [112] dengan perkiraan yang lebih konservatif sekitar 24 GW [148], atau serendah 19 GW [60]. Bahkan dengan perkiraan terendah sekalipun, Indonesia masih memiliki potensi energi panas bumi yang signifikan, yaitu sekitar 40% dari sumber energi panas bumi dunia [149]. Dari jumlah tersebut, potensi yang dapat dikembangkan diperkirakan sebesar 133 TWh/tahun dengan kapasitas terpasang saat ini hanya 1.877 MW [60]. Sebagai gambaran, jika kapasitas terpasang saat ini

berjalan 24/7 sepanjang tahun dan menghasilkan listrik dengan efisiensi 100%, ini akan setara 16,4 TWh/tahun, hanya 13% dari perkiraan potensi yang dapat dikembangkan. Perhatikan bahwa permintaan energi hijau Indonesia dari kapal yang berkunjung akan mewakili sekitar 8,3 TWh/tahun, dengan asumsi 5% dari transisi armada global ke SZEZ pada 2030.

Energi panas bumi pada prinsipnya dapat digunakan untuk menghasilkan listrik bagi pusat populasi besar di Indonesia dan sektor lainnya, termasuk elektrifikasi armada kapal kecil yang berada dekat dengan sumber daya tersebut. Ini juga dapat digunakan untuk pengembangan SZEZ melalui produksi hidrogen hijau dan amonia, terutama di lokasi di mana potensi panas bumi terletak jauh dari daerah berpenduduk besar.

Pemangku kepentingan mengidentifikasi pelayaran domestik sebagai bidang yang memiliki potensi dekarbonisasi yang besar di Indonesia. Demikian pula, mereka mengidentifikasi berbagai tantangan bagi pengembangan jejaring bunker yang dapat berpindah, beragam, dan tersebar luas di Indonesia yang memiliki begitu banyak pelabuhan dan pulau kecil. Dalam hal ini, menempatkan produksi SZEZ di lokasi bersama (*co-location*) dekat pusat permintaan akan mengurangi biaya transportasi. Namun hal ini mungkin tidak selalu layak atau paling hemat biaya karena bergantung pada kendala lokal berkenaan dengan ruang pengembangan dan potensi energi terbarukan di dekatnya. Oleh karena itu, memisahkan lokasi konsumsi dari produksi SZEZ akan memungkinkan produksi berlangsung di luar lokasi pada skala yang lebih besar di mana biaya produksi lebih rendah, sehingga menawarkan lebih banyak peluang bisnis karena SZEZ yang lebih murah dapat dijual ke lebih banyak pelanggan.

Sebagian besar potensi panas bumi Indonesia terletak di pulau Sumatera dan Jawa-Bali, yakni pulau-pulau dengan kepadatan penduduk yang besar dan berada di jalur pelayaran penting di Laut Jawa, menghubungkan Australia dengan Asia Timur (lihat Gambar 17). Namun, perlu diingat bahwa pada skala yang lebih lokal, sebagian sumber daya ini dapat berada di daerah yang sulit diakses karena terbatasnya infrastruktur jalan dan pelabuhan, dan kemungkinan jauh dari pusat populasi dan jalur perdagangan yang lebih besar.

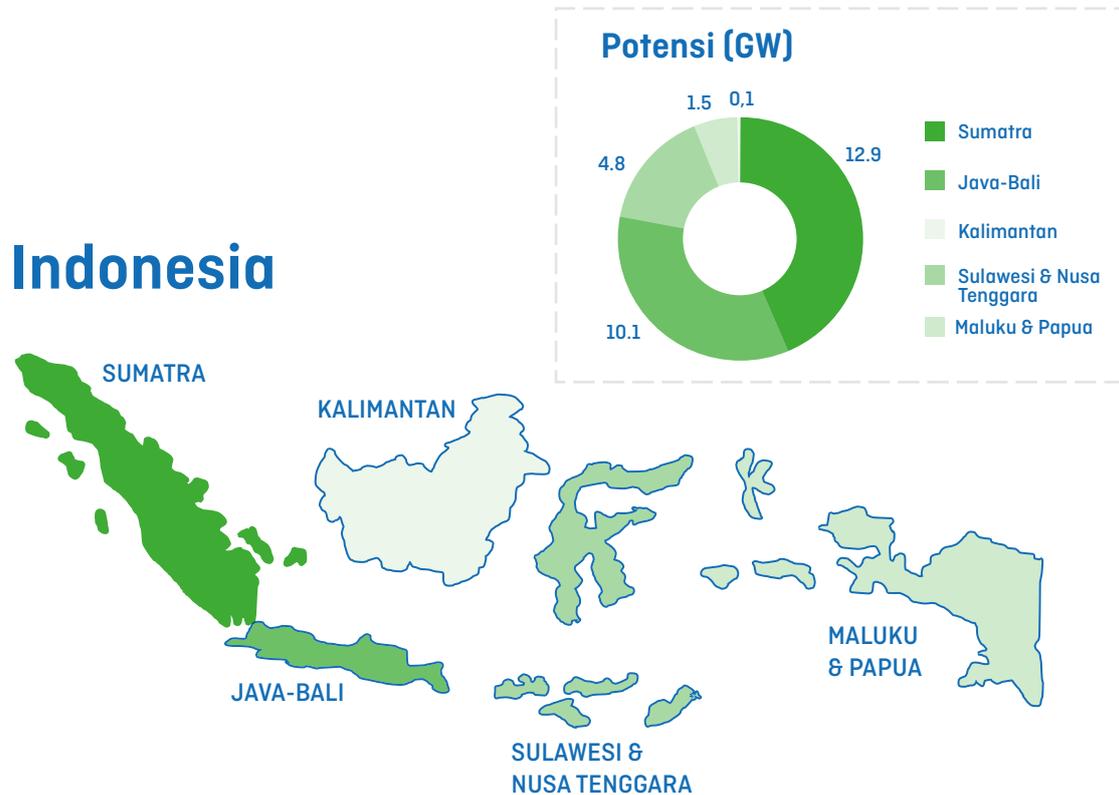
Pertamina Geothermal Energy

Sudah ada upaya yang dilakukan di tingkat nasional untuk mengkaji berbagai cara mengeksplorasi dan memanfaatkan kapasitas panas bumi untuk dikembangkan. Saat ini, Pertamina melalui anak perusahaannya Pertamina Geothermal Energy mengelola 15 lokasi kerja produksi panas bumi. Kelima belas lokasi ini semuanya direncanakan untuk menghasilkan hidrogen hijau, yang diharapkan menghasilkan 8.600 kg/hari [150]. Proyek rintisan "Hidrogen Hijau" sudah dimulai di situs panas bumi Ulubelu dengan kapasitas produksi sekitar 22 hingga 100 kg hidrogen hijau per hari dan direncanakan untuk beroperasi secara komersial pada 2022 [151]. Pemangku kepentingan yang mengetahui proyek tersebut mengindikasikan bahwa Pertamina Geothermal Energy berencana menggunakan energi ini hanya untuk keperluan internal, meskipun sudah ada diskusi yang mengajukan opsi untuk memanfaatkan hidrogen hijau ini untuk tujuan lain, termasuk untuk sektor maritim.

Terlepas dari itu, ada harapan bahwa rencana pembangunan saat ini dapat ditingkatkan lebih jauh melalui perubahan kebijakan dan peraturan yang dapat meningkatkan target energi panas bumi pada 2026 [150]. Pertamina hendak memperluas komitmennya terhadap dekarbonisasi dengan menyelaraskan erat dengan Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional [51], bertransisi menuju sumber energi terbarukan dalam proses penyulingan dan produksi bahan bakarnya [150].

Selain itu, Pertamina telah menunjukkan minat dalam mengembangkan hidrogen hijau, namun mengakui adanya tantangan transportasi, produksi, dan penyimpanan terkait proses ini. Menurut pengumuman baru-baru ini, Pertamina hendak menggandakan kapasitas panas buminya pada 2027-2028. Rencana ini dapat menghasilkan investasi tambahan sebesar US\$4 miliar, yang mencakup investasi sumur panas bumi sekitar US\$5-7 juta/MW [152].

Gambar 17: Perkiraan potensi energi panas bumi di Indonesia [112].



Jika berhasil membuka dan memanfaatkan potensi panas buminya dengan biaya yang efektif, Indonesia dapat menghasilkan SZEf dalam jumlah yang signifikan yang diperlukan untuk memenuhi permintaan domestiknya. Selain itu, tergantung pada seberapa ekonomis sumber daya energi terbarukan lainnya seperti tenaga surya, Indonesia pada prinsipnya juga dapat menjadi pusat bunkering internasional untuk bahan bakar hijau di Asia Tenggara. Jakarta dapat menjadi lokasi salah satu pusat bunkering tersebut, karena kedekatannya dengan rute pelayaran domestik dan internasional yang besar, seperti Selat Sunda. Selain itu, Jakarta terletak di Pulau Jawa yang memiliki salah satu potensi panas bumi tertinggi di Indonesia dan populasi ibukota yang besar yang dapat bertindak sebagai *offtaker* SZEf.

Selain itu, sinergi dengan industri lokal seperti sektor perikanan budidaya dan produsen pupuk dapat memperkuat kelayakan bisnis untuk hidrogen dan amonia hijau berbasis panas bumi. Industri perikanan budidaya Indonesia yang sudah besar masih memiliki potensi pertumbuhan yang signifikan, dengan komoditas utama seperti udang dan ikan yang terus mengalami permintaan domestik dan internasional yang besar [153]. Dengan meningkatnya tuntutan keberlanjutan dalam perikanan budidaya, semua segmen bisnis perikanan budidaya diharuskan untuk lebih ramah lingkungan dan sejalan dengan ambisi dekarbonisasi yang lebih luas. Sebagian besar industri perikanan budidaya Indonesia terletak di perairan pesisir sekitar Jawa dan Sumatera [154], daerah yang juga memiliki potensi panas bumi yang signifikan. Energi panas bumi ini dapat digunakan untuk

mendukung dekarbonisasi industri perikanan budidaya, dengan mendekarbonisasi komponen paling intensif energi dari proses produksi perikanan budidaya [155] melalui penggunaan listrik terbarukan dan SZEK dalam pemrosesan, transportasi, dan produksi pakan, jika memungkinkan. Selain itu, beberapa fasilitas produksi perikanan budidaya menggunakan oksigenasi air untuk meningkatkan hasil dan menjaga dari kekurangan oksigen [156]; karena oksigen adalah produk sampingan dari elektrolisis hidrogen, oksigen dapat digunakan sebagai input untuk industri perikanan budidaya.

Untuk industri pupuk, pupuk anorganik diproduksi dengan menggunakan amonia sebagai bahan baku utama. Dengan demikian, industri pupuk merupakan salah satu sumber permintaan utama amonia secara global. Saat ini, pupuk terutama diproduksi dari amonia abu-abu dan coklat, yang menggunakan batubara dan gas alam sebagai bahan baku. Dekarbonisasi industri pupuk melalui transisi ke amonia hijau akan memainkan peran penting dalam dekarbonisasi rantai produksi pangan global [157]. Indonesia memiliki permintaan pupuk yang signifikan, dan produsen pupuknya tergabung dalam Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia [158]. Salah satu perusahaan terpenting dalam industri pupuk adalah BUMN PT Pupuk. Pada tahun 2022, Pertamina menandatangani Nota Kesepahaman dengan PT Pupuk dan Mitsubishi Corp untuk mengembangkan rantai nilai hidrogen dan amonia hijau bersama-sama dengan bisnis *Carbon Capture Utilization and Storage* (CCUS) [159]. Salah satu tujuan dari kegiatan usaha yang diusulkan adalah untuk menggunakan hidrogen hijau yang dihasilkan untuk produksi amonia yang kemudian dapat digunakan dalam industri pupuk [159]. Meskipun energi panas bumi tidak disebutkan, ada potensi sinergi di mana berbagai sumber energi terbarukan untuk produksi hidrogen hijau, termasuk energi panas bumi, berpotensi dapat dimanfaatkan.

Akan tetapi, para pemangku kepentingan telah menyoroti beberapa kekhawatiran mengenai peluang bisnis ini, salah satunya adalah kesulitan ekstraksi sumber daya panas bumi karena besarnya ukuran Indonesia dan karakteristik geografi kepulauannya. Salah satu pemangku kepentingan juga menyampaikan kekhawatiran seputar kelangsungan jangka panjang dari proyek-proyek tersebut karena potensi biaya pengembangan yang lebih tinggi dan risiko eksplorasi di area pengembangan. Kekhawatiran tersebut harus dipertimbangkan ketika terus mengembangkan potensi panas bumi di Indonesia, terutama mengingat rencana ambisius saat ini untuk lebih memanfaatkan sumber daya ini. Demikian pula, kemungkinan untuk bermitra dengan penyedia teknologi untuk mengeksplorasi solusi teknis baru untuk mengurangi biaya eksplorasi dan pemanfaatan panas bumi juga disarankan. Hal ini sudah dilakukan oleh pemerintah Indonesia, meskipun sampai saat ini belum ada tindakan nyata yang dihasilkan dari diskusi tersebut.

Pemangku kepentingan setempat berpendirian bahwa menggunakan energi panas bumi untuk menghasilkan hidrogen hijau perlu kompetitif dari segi harga. Menggunakan berbagai sumber energi dapat menjadi cara untuk menyeimbangkan masalah harga listrik sambil mendukung kelayakan bisnis untuk menarik investasi internasional dalam pengembangan hidrogen hijau di Indonesia. Para pemangku kepentingan juga menyoroti bahwa penggunaan energi panas bumi untuk menghasilkan SZEK untuk bunkering dapat berpotensi meningkatkan kelayakan bisnis jika SZEK dalam jumlah yang cukup dapat dikirimkan ke kawasan Selat Sunda yang memiliki permintaan bunker pelayaran internasional yang tinggi. Namun, agar pengembangan ini dapat berjalan, dan agar energi panas bumi memainkan peran penting di dalamnya, para pemangku kepentingan menyebutkan bahwa sumber daya panas bumi setempat penting untuk dihubungkan dengan jejaring pasokan nasional.

Pertamina juga berpotensi untuk memanfaatkan sumber daya yang dikembangkan untuk armadanya sendiri. Menurut wawancara pemangku kepentingan, Pertamina dapat 'memberikan kontribusi yang baik' untuk dekarbonisasi karena Pertamina International Shipping memiliki 85 kapal dan mencarter 200 kapal lagi. Perusahaan ini telah menyatakan bahwa pengembangan energi panas bumi merupakan bagian dari program transisi energi untuk mencapai 30% energi baru dan terbarukan dalam bauran energi pada 2030 [160]. Meskipun peluang ini masih dalam tahap awal, mengingat lokasi geografis strategis Indonesia dan kepadatan pelayaran domestik, hidrogen hijau Indonesia dapat mendukung dekarbonisasi pelayaran dan dengan cepat memasuki pasar bunkering.

Apabila Indonesia mengupayakan pengembangan potensi panas buminya, penting untuk dicatat bahwa pengembangan energi panas bumi saat ini harus ditingkatkan secara signifikan untuk menghasilkan hidrogen dan amonia hijau yang cukup pada skala yang diperlukan untuk memasok industri maritim dengan SZEf. Banyak pemangku kepentingan setuju bahwa pemerintah Indonesia dapat melanjutkan rencana pengembangan kebijakannya dengan membuat peta jalan untuk menguraikan bagaimana Indonesia dapat menghasilkan SZEf, sambil berkoordinasi melalui lembaga publik untuk perkembangan penawaran dan permintaan di masa depan (misalnya berbagi informasi, akses ke investasi, dll.).



Bagian 7

Persyaratan Keuangan & Investasi

SZEF akan membutuhkan, antara lain, pengembangan infrastruktur bunkering baru, dukungan mobilisasi, peningkatan produksi, penurunan harga listrik terbarukan, dan pengembangan langkah-langkah regulasi baru yang mengatur keselamatan [17]. Dengan kata lain, transisi bahan bakar dalam pelayaran berhubungan dengan evolusi sistem energi global dan kapasitas energi terbarukan, yang harus meningkat untuk menurunkan harga energi terbarukan [11].

Untuk memenuhi persyaratan pengurangan GRK global, pasar dan infrastruktur untuk SZEF dan kapal yang siap menjadi niremisi harus dibuat. Namun, ada harga, dan karenanya kesenjangan daya saing antara bahan bakar fosil yang ada dan alternatif niremisi. Kesenjangan daya saing antar jenis bahan bakar didorong oleh sejumlah faktor, seperti biaya produksi, kebutuhan modal dan infrastruktur, masalah ketersediaan, kurangnya informasi, dan hambatan pasar lainnya [101]. Perkiraan menunjukkan bahwa pada 2030-an dan 2040-an, harga SZEF mungkin akan dua kali lipat dari harga bahan bakar fosil konvensional [17].

Untuk menutup kesenjangan ini, mekanisme peraturan yang menghasilkan pendapatan kemungkinan akan diterapkan untuk pelayaran di tingkat internasional, atau setidaknya sejumlah tindakan regional akan diperluas untuk menangkap emisi sektor ini. Diperlukan investasi yang cukup besar untuk mewujudkan transisi ini. Berbagai perkiraan menunjukkan bahwa dibutuhkan US\$1,4-1,9 triliun untuk sepenuhnya mendekarbonisasi sektor ini pada 2050, di mana sebagian besar dananya (87%) dibutuhkan untuk membangun infrastruktur di darat [161]. Walau ditengarai bahwa sebagian dari investasi yang dibutuhkan ini dapat dan harus berasal dari MBM global untuk pelayaran, juga dipahami bahwa pada awalnya pendanaan yang signifikan akan berasal dari investasi sektor swasta serta kemitraan publik-swasta dan tindakan kolektif yang disengaja oleh industri maritim, sektor energi, lembaga keuangan, dan pemerintah/organisasi antarpemerintah di seluruh dunia.

Khusus untuk Indonesia, pengembangan infrastruktur SZEF yang sejalan dengan penerapan teknologi kapal niremisi sebesar 5% pada 2030 dapat menghasilkan investasi antara Rp46 – 65 triliun (USD3,2 – 4,5 miliar) [34]. Hal ini selain potensi pengembangan industri lain, keahlian, manfaat perlindungan lingkungan, dan R&D yang berasal dari dekarbonisasi pelayaran maritim dan adopsi SZEF.

Untuk memastikan bahwa modal swasta dapat dimobilisasi untuk proyek-proyek yang relevan, perlu mengidentifikasi sumber pendanaan yang mampu menurunkan hambatan masuk untuk investasi berikutnya. Hal ini sebagian besar akan berupa pembiayaan campuran, menggabungkan berbagai sumber pinjaman preferensial dan hibah dari berbagai sumber. Selain itu, penerimaan pembiayaan internasional sangat penting bagi Indonesia dari perspektif iklim, mengingat komitmen Indonesia di bawah NDC-nya adalah untuk mengurangi emisinya sebesar 29% tanpa dukungan internasional dan 41% dengan dukungan internasional pada 2030 [61]. Ini berarti bahwa penerimaan keuangan internasional akan lebih mendorong kebijakan dan investasi nasional untuk mencapai tingkat ambisi iklim yang lebih tinggi, yang pada gilirannya dapat meningkatkan akses ke pendanaan lebih lanjut.

Indonesia pertama-tama memenuhi syarat untuk mengambil pinjaman besar dari bank pembangunan multilateral, seperti Grup Bank Dunia, Bank Pembangunan Asia (ADB), Bank Investasi Eropa (EIB) dan Bank Pembangunan Islam (IDB) [162][163][164][165]. Sebagai negara yang baru-baru ini ditetapkan berpenghasilan menengah ke bawah [166], Indonesia tidak dapat menerima sebagian besar dana hibah yang disediakan untuk negara-negara dengan tingkat pembangunan yang lebih rendah. Namun, melalui lembaga-lembaga ini, pemberian pinjaman, jenis hibah tertentu, dan bantuan teknis umum dan keahlian masih merupakan cara penting bagi Indonesia untuk memanfaatkan dukungan keuangan untuk berbagai peluang yang diuraikan dalam laporan ini.

Bank Dunia, misalnya, menawarkan pinjaman dari Bank Internasional untuk Rekonstruksi dan Pembangunan (IBRD) [167] dengan persyaratan preferensial, dengan biaya pinjaman yang rendah. Hal ini juga dapat membantu perorangan pribadi dalam mendapatkan pinjaman, jaminan pinjaman, dan pembiayaan ekuitas melalui International Finance Corporation [168]. Jenis pinjaman ini dapat memberikan keamanan dan akses ke modal dalam jangka waktu yang lama, membantu mengurangi risiko investasi infrastruktur skala besar.

ADB juga menawarkan akses serupa ke pendanaan pinjaman preferensial, di mana Indonesia memainkan peran kunci baik sebagai pemegang saham besar maupun peminjam. Pada 2021, Indonesia meminjamkan atau mendapatkan sekitar US\$2,1 miliar dari ADB [169], termasuk dana yang ditujukan untuk melanjutkan transisi energi hijau dan pengembangan jejaring listrik Indonesia. Ke depan, ADB menargetkan perubahan iklim dan pemulihan hijau sebagai agenda prioritas utama bagi Indonesia, dengan Indonesia sebagai negara rintisan untuk Mekanisme Transisi Energi ADB, selain menaungi Blue SEA Finance Hub [169].

Faktor-faktor utama untuk menarik pembiayaan institusional:

- Dukungan pemerintah yang nyata
- Mobilisasi investasi swasta
- Menunjukkan dampak iklim
- Skalabilitas proyek

Bank multilateral juga dapat memberikan dana hibah di beberapa bidang tertentu. Hibah merupakan sumber keuangan penting untuk kelayakan langsung dan pendanaan dukungan teknis dari mekanisme seperti *Public-Private Infrastructure Advisory Facility* Bank Dunia [170] yang dapat digunakan untuk membantu mengembangkan pembangunan kapasitas teknis dan infrastruktur peraturan. Jenis pendanaan ini sangat relevan untuk pengembangan proyek, terutama untuk studi pra-kelayakan, membantu membantu perizinan, persetujuan, dan mendukung pengembangan kerangka peraturan yang efektif. Selain pendanaan kelayakan, ada beberapa sumber pendanaan hibah multilateral yang berfokus pada tujuan tertentu, seperti *Climate Investment Funds* [171] dan *Green Climate Fund* [172], yang bertujuan untuk mendanai proyek yang menargetkan upaya mengatasi perubahan iklim. Untuk dana yang terkait hasil spesifik ini, dan secara umum, bukti aksi iklim dan

keselarasan Indonesia melalui komitmen dan kolaborasi internasional dapat sangat mendukung kemampuannya untuk menarik pendanaan.

Indonesia juga merupakan pihak dalam beberapa perjanjian bilateral yang mampu mendukung transisinya ke bahan bakar pelayaran tanpa emisi. Secara khusus, Indonesia di masa lalu telah diuntungkan dari hubungannya dengan Agence Française de Développement (Prancis), KfW (Jerman), Departemen Luar Negeri dan Perdagangan Australia (DFAT), Departemen Pembangunan Internasional Inggris (UK DFID), USAID (Amerika Serikat), Uni Eropa dan melalui kemitraan lain seperti dengan G7 [173][174][175][176][177][178][179]. Melalui berbagai kemitraan ini, Indonesia dapat mengimplementasikan instrumen keuangan campuran yang mampu mendukung upaya nasional untuk mewujudkan proyek-proyek terkait.

Secara nasional, juga terdapat beberapa institusi dan perangkat yang dapat digunakan untuk mengurangi risiko kelayakan bisnis untuk memproduksi bahan bakar pelayaran tanpa emisi. Misalnya, Indonesia's Climate Change Trust Fund (ICCTF) [180] membantu mengoordinasikan pendanaan nasional dan internasional seputar inisiatif yang ditujukan untuk mengurangi emisi GRK. Dana tersebut juga membantu mengintegrasikan tujuan ke dalam rencana pembangunan di tingkat nasional, membantu mendukung target pengurangan emisi Indonesia. Sumber dana lain seperti Millennium Challenge Account Indonesia [181] dan Badan Pengelola Dana Lingkungan Hidup [182] juga berpotensi menjadi sumber pendanaan yang relevan di tingkat nasional. Peran Kementerian Keuangan Indonesia di bidang ini juga penting untuk diperhatikan, karena tanggung jawab mereka untuk mengkoordinasikan kemitraan publik-swasta.

Aliran lain dari pendanaan hibah internasional secara khusus menargetkan dampak iklim dan tujuan filantropis lainnya, dengan syarat bahwa tujuan penyandang dana dapat ditunjukkan. Contoh lembaga terkait termasuk ClimateWorks Foundation [183], yang dapat memberikan pembiayaan hibah untuk proyek-proyek yang menunjukkan dampak iklim yang nyata. Terakhir, beberapa jenis pembiayaan swasta mungkin juga mampu menyediakan modal yang lebih mampu mengambil risiko jangka panjang, misalnya dana pensiun dan dana lindung nilai (*hedge fund*).

Target bersyarat Indonesia untuk mengurangi emisi GRK sebesar 41% dengan dukungan internasional berarti bahwa penerimaan dana campuran merupakan komponen penting untuk membuka peluang yang diuraikan dalam laporan ini. Pendanaan ini tidak hanya akan membantu merangsang aliran pendanaan swasta di sekitar proyek-proyek tertentu, tetapi juga membantu meningkatkan ambisi iklim, yang pada gilirannya mengarah pada potensi pendanaan yang lebih banyak lagi. Untuk memanfaatkan peluang ini, Indonesia harus terus menetapkan arah yang jelas untuk pelayaran niremisi secara nasional, menentukan arah dan memastikan bahwa proyek yang relevan dapat memenuhi tujuan pembangunan dan menarik keuangan internasional yang mampu mengurangi risiko upaya nasional.

“Menarik dukungan dan keuangan internasional adalah tujuan utama bagi Indonesia, dengan dekarbonisasi maritim internasional memberikan kesempatan untuk menyalurkan sumber pendanaan baru ke proyek-proyek skala besar.” – Lars Bo Larsen, Kedutaan Besar Denmark di Indonesia

Bagian 8

Rekomendasi

Indonesia, negara kepulauan yang dilintasi beberapa jalur perdagangan dan pelayaran internasional yang paling penting, tengah melakukan upaya di berbagai bidang untuk mengatasi perubahan iklim dan mengurangi emisi karbonnya. Utamanya, Indonesia ingin menjadi pemain aktif dalam dekarbonisasi maritim, baik di dalam negeri maupun di berbagai forum internasional. Sebagaimana dibahas di Bagian 3, Indonesia memiliki potensi energi terbarukan tenaga surya dan panas bumi signifikan yang dapat mendukung ambisi ini dan memfasilitasi dekarbonisasi sektor pelayaran domestik secara substansial, serta berpotensi menghasilkan SZEf untuk penjualan dan/atau ekspor bunker internasional. Memanfaatkan sumber daya ini dapat membantu Indonesia untuk mewujudkan masa depan nol karbon, menjadikannya tidak hanya menjadi pemimpin regional dalam dekarbonisasi tetapi juga pengembang berbagai solusi untuk dekarbonisasi maritim, baik dari segi praktik dan teknologi yang dapat menjadi inspirasi dan pembelajaran bagi negara-negara kepulauan lain.

Rekomendasi yang disarankan di bawah ini mewakili akumulasi pekerjaan untuk proyek ini dan berasal dari basis bukti yang dilaporkan pada bagian sebelumnya, wawancara dengan berbagai pemangku kepentingan, kegiatan peninjauan, lokakarya kolaboratif, dan diskusi meja bundar dengan berbagai pemangku kepentingan. Sintesis yang dihasilkan dari input ini juga didukung oleh referensi tambahan dari literatur. Rekomendasi-rekomendasi ini sama sekali tidak bersifat memaksa atau lengkap, namun menawarkan titik awal untuk aksi-aksi penting yang akan diambil di tahun-tahun mendatang untuk mendukung perjalanan Indonesia menuju dekarbonisasi pelayaran sebagai bagian dari transisi yang adil dan merata.

Pelabuhan

Seperti yang terlihat di Bagian 3 dan 4, pelabuhan di Indonesia memiliki permintaan energi yang signifikan dan terus meningkat yang membutuhkan pengembangan yang cukup besar tidak hanya untuk mendekarbonisasi, tetapi juga melayani kapal yang menggunakan listrik dan SZEf. Peluang yang diidentifikasi di Bagian 6 menyoroti bagaimana Indonesia dapat bertindak di kedua sisi, melalui peningkatan dan pengembangan pelabuhan utama serta transisi armada kapal kecilnya untuk menggunakan sumber energi yang lebih berkelanjutan. Dalam jangka pendek, pelabuhan bunker utama Indonesia dapat memperkuat posisinya di pasar internasional sebagai pusat bunkering sementara juga mengembangkan rencana yang jelas untuk menawarkan bahan bakar nol-karbon. Untuk melakukan ini, Indonesia dapat mengembangkan sistem dan infrastruktur rantai pasokan bunkering SZEf dan menyusun rencana untuk menjajaki berbagai cara inovatif untuk mengembangkan produksi SZEf dalam negeri.

Dengan cara ini masyarakat dapat diyakinkan bahwa upaya dekarbonisasi adalah proyek strategis yang akan mendukung pembangunan ekonomi dengan meningkatkan akses masyarakat terhadap listrik terbarukan, mengurangi kekhawatiran publik bahwa energi tersebut langsung digunakan untuk memenuhi permintaan industri.

Pelabuhan dapat mempertimbangkan bagaimana rencana peningkatan selaras dengan masa depan industri maritim. Akan lebih bijaksana untuk membangun fasilitas pelabuhan yang tahan perubahan iklim dan mendukung tujuan pengurangan emisi GRK. Ketika mengembangkan infrastruktur pelabuhan baru, seperti halnya dengan pembangunan ibukota baru Indonesia di Kalimantan, perluasan pelabuhan yang ada dan kemungkinan pengembangan terminal pelabuhan baru harus dilakukan dengan mempertimbangkan penggunaan dan bunkering SZE. Pentingnya pelabuhan sebagai penghubung utama dalam rantai keberlanjutan dan pasokan energi ditekankan oleh banyak pemangku kepentingan. Banyak di antara mereka merasa bahwa pelabuhan Indonesia harus siap untuk bekerja dengan sektor pelayaran yang lebih luas saat bersiap untuk melakukan transisi bahan bakarnya.

Tindakan yang Disarankan

Kaji opsi untuk elektrifikasi pelabuhan

Elektrifikasi penggunaan bahan bakar fosil yang ada di pelabuhan merupakan langkah langsung menuju dekarbonisasi maritim, di mana pun perubahan ini mungkin dilakukan. Mengalihkan kegiatan pelabuhan untuk mengandalkan energi listrik dari sumber terbarukan dapat mengurangi emisi GRK. Elektrifikasi juga dapat mengurangi emisi polusi udara lokal dan biaya pemeliharaan dan energi. Pemangku kepentingan menyoroti bagaimana pelabuhan dapat menjadi penggerak pertama untuk mengambil energi terbarukan yang pada awalnya mungkin intermiten untuk digunakan sendiri. Pilihan untuk beralih ke elektrifikasi termasuk mengelektifikasi dermaga untuk *cold ironing*; memasang infrastruktur pengisian daya untuk menggerakkan logistik dan penanganan kargo dengan derek dan kendaraan logistik darat; penyimpanan dingin; kapal layanan, seperti kapal tunda pelabuhan dan kapal pilot; serta perkantoran dan gedung [184][185]. Upaya seperti yang dilakukan oleh Krakatau International Port sudah sejalan dengan ambisi tersebut, di mana pelabuhan berencana untuk memperluas infrastruktur pelabuhan hijau dan memasang tenaga surya PV untuk mendekarbonisasi operasi pelabuhannya [186].

Pertimbangkan pembangunan berkelanjutan dalam rencana perluasan pelabuhan

Para pemangku kepentingan telah mencatat perlunya koordinasi dalam perluasan pelabuhan dan pengembangan proyek infrastruktur umum dalam cara yang terkoordinasi dan berkelanjutan, terutama bila direncanakan di daerah dengan keanekaragaman hayati tinggi seperti Kalimantan [187]. Dengan mempertimbangkan perubahan penggunaan lahan, keadilan dalam pembangunan masyarakat setempat, dan kesiapan investasi perubahan iklim dapat mendukung Indonesia menuju pembangunan ekonomi dan pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan. Ini sejalan dengan rekomendasi internasional yang mendukung infrastruktur dan layanan maritim yang tahan iklim untuk meningkatkan kapasitas adaptif, memperkuat ketahanan, dan mengurangi kerentanan terhadap perubahan iklim [185]. Hal ini sangat relevan dengan rencana pemindahan ibukota ke Kalimantan dan potensi peningkatan pelabuhan Balikpapan, sebagaimana dijelaskan dalam Bagian 6. Pelabuhan Balikpapan akan menjadi pintu gerbang ibukota baru dan mengalami peningkatan lalu lintas kapal secara umum, terutama untuk kapal peti kemas yang mengirimkan barang baru ke ibukota dan mengeksport produk hijau dari kawasan industri yang direncanakan di Kalimantan Utara.

Bersiap untuk mendapatkan atau memproduksi listrik terbarukan dan SZEf untuk penggunaan bunker dan pelabuhan

Bagian 1 menjelaskan bagaimana pelayaran perlu beralih dengan cepat dari bahan bakar fosil, khususnya selama 2030-an dan 2040-an. Akibat banyaknya kapal internasional yang singgah dan lewat sebagaimana dibuktikan dalam Bagian 3, Indonesia menghasilkan emisi GRK dan polutan udara berbasis maritim dalam jumlah besar, hal yang tidak menguntungkan Indonesia (baik dalam penjualan bunker atau melalui biaya pelabuhan). Ketika kapal-kapal yang menggunakan elektrifikasi dan SZEf mulai menjadi lebih umum, pelabuhan perlu dipersiapkan untuk melayani kapal-kapal ini, misalnya, dengan pasokan listrik di darat serta penyediaan bahan bakar bunker SZEf. Selain itu, pelabuhan sendiri dapat memanfaatkan bahan bakar hijau ini untuk kapal layanan pelabuhan, seperti yang terlihat dengan desain kapal baru seperti 'Hydro tug' Pelabuhan Antwerpen yang digerakkan dengan mesin pembakaran bahan bakar ganda yang membakar hidrogen dalam bauran dengan diesel [188].

Mendorong pelabuhan sebagai simpul hijau dalam jejaring distribusi energi

Pelabuhan adalah titik fokus untuk berbagai sumber polusi, mulai dari kapal yang datang dan berangkat, pelayaran domestik, truk dan rel darat, serta operasi mereka sendiri. Untuk menangani SZEf, pemangku kepentingan lokal melihat perlunya pengembangan pelabuhan menjadi simpul, dengan tetap mempertimbangkan keragaman kondisi dan kebutuhan lokal di seluruh Indonesia. Selain itu, para pemangku kepentingan menyoroti kebutuhan untuk menghubungkan produksi energi terbarukan ke pelabuhan, karena dalam banyak contoh, potensi energi terbarukan tidak berada di dekat pusat permintaan pelabuhan terbesar. Indonesia dapat menajaki suatu ekosistem pelabuhan yang menjadi simpul hijau untuk berbagai sektor dan juga dapat mendukung distribusi energi hijau di berbagai pulaunya. Skala ekonomi dapat dimanfaatkan dengan memberdayakan industri lain di sekitar pelabuhan, seperti pabrik kimia, produsen pupuk, peleburan aluminium, operasi pertambangan, dll. Adopsi solusi teknologi pelabuhan yang dapat menyediakan energi berbasis terbarukan untuk sektor-sektor yang terhubung ini, seperti stasiun pengisian daya atau opsi pengisian bahan bakar hidrogen hijau, adalah satu langkah menuju dekarbonisasi rantai pasokan.

Kebijakan

Untuk mewujudkan transisi energi pelayaran di Indonesia, diperlukan kolaborasi antara berbagai pemangku kepentingan dari berbagai kementerian, kantor kepresidenan, serta sektor swasta dan masyarakat sipil. Melalui proses seperti itu, perencanaan kebijakan jangka panjang dan penetapan strategi yang jelas untuk pembangunan nasional yang selaras dengan dekarbonisasi dapat dirancang. Pemerintah Indonesia saat ini sudah mengomunikasikan upayanya untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan, mengurangi intensitas karbon, dan meningkatkan laju elektrifikasi nasional [61]. Pemangku kepentingan telah mencatat bahwa dukungan lebih lanjut pada lintasan ini dalam kaitannya dengan sektor maritim diperlukan untuk memfasilitasi dekarbonisasi, mengadopsi teknologi yang lebih berkelanjutan dan bahan bakar hijau.

Untungnya, beberapa pembuat kebijakan Indonesia menyadari manfaat dan tantangan yang dihadapi dalam perjalanan dekarbonisasi ini, serta kebutuhan

investasi yang signifikan dan tindakan kolaboratif yang diperlukan untuk mencapainya. Strategi yang ditargetkan dan sikap kebijakan yang tegas terhadap produksi dan distribusi listrik hijau dan SZEf dapat berkontribusi untuk memenuhi kebutuhan energi pelayaran internasional dan domestik, memfasilitasi dekarbonisasi armada kapal kecil, sekaligus memasok kebutuhan listrik domestik Indonesia. Selain manfaat dekarbonisasi yang jelas, perkembangan ini juga akan meningkatkan kualitas udara, mengurangi risiko hujan asam dan efek terkait pada keanekaragaman hayati Indonesia yang kaya, dan menciptakan banyak peluang kerja bagi penduduk Indonesia yang terus bertambah.

Tindakan yang Disarankan

Nasional

Mengembangkan strategi aksi nasional yang jelas untuk mengupayakan dekarbonisasi maritim

Seperti yang ditunjukkan pada Bagian 5, pemerintah Indonesia terus mengembangkan fokusnya pada dekarbonisasi sehubungan dengan perluasan kapasitas energi terbarukan, tetapi sejauh ini belum meluas ke pengembangan strategi yang jelas untuk dekarbonisasi maritim. Para pemangku kepentingan memang menyoroti upaya yang ada untuk memasukkan sektor pelayaran dan maritim ke dalam peta jalan kebijakan Pajak Karbon, yang implementasinya telah ditunda hingga Juli 2022 [189]. Namun demikian, Bagian 3 menggambarkan bahwa emisi maritim GRK dari pelayaran domestik adalah signifikan dan bahkan lebih tinggi jika memperhitungkan pelayaran internasional. Mengembangkan strategi nasional untuk mengatasi dekarbonisasi maritim, dengan fokus pada tindakan yang dapat dilakukan, baik secara nasional maupun melalui kerja sama internasional, dapat memberikan sinyal kebijakan yang penting dan jelas untuk mendukung tindakan lebih lanjut terkait agenda ini [190]. Target jangka pendek, menengah, dan panjang dapat menetapkan rencana peningkatan skala bertahap untuk penggunaan listrik terbarukan dan SZEf di dalam pelabuhan dan armada domestik serta menghijaukan rute angkutan umum. Upaya ini juga dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran tentang emisi GRK maritim di antara para politisi dan menilai kesenjangan atau memberikan kejelasan yang belum ditemukan dalam kebijakan iklim dan maritim yang ada.

Tugaskan studi untuk menilai kapasitas realistis untuk menghasilkan SZEf untuk mendukung pengembangan strategi atau peta jalan hidrogen nasional

Potensi energi terbarukan Indonesia sebagian besar belum dimanfaatkan, sebagaimana dibahas dalam Bagian 4. Namun, berbagai studi dan para pemangku kepentingan telah menyoroti fakta bahwa potensi energi terbarukan untuk Indonesia memiliki kisaran yang besar yang bergantung pada faktor-faktor yang dipertimbangkan. Potensi tenaga surya sangat bervariasi, sementara energi panas bumi sangat mahal untuk dieksplorasi dan tidak selalu mudah diakses. Para pemangku kepentingan menyuarakan keprihatinan bahwa tidak adanya estimasi yang lebih presisi dapat melemahkan ambisi politik dan ketegasan untuk mengupayakan produksi SZEf. Untuk mengatasi hal ini, Indonesia dapat menugaskan sebuah studi untuk lebih memahami dan menjangkau lokasi yang realistis untuk memperluas kapasitas energi terbarukan dan lokasi produksi untuk hidrogen hijau, serta menaksir permintaan SZEf domestik dan internasional secara keseluruhan. Pengetahuan ini dapat menjadi masukan bagi strategi nasional atau peta jalan untuk pengembangan dan pemanfaatan hidrogen hijau. Peta jalan ini akan memberi sinyal positif kepada sektor swasta serta investor internasional, memacu investasi dalam produksi energi terbarukan, terutama bahan bakar rendah dan nol karbon, serta teknologi energi terbarukan untuk pelayaran.

Manfaatkan sinergi antara dekarbonisasi pelayaran dan penghentian batubara

Indonesia adalah salah satu negara penghasil batubara terbesar di dunia, dan emisi pelayaran secara intrinsik terkait dengan batubara sebagai komoditas perdagangan yang penting. Pengumuman belakangan ini menunjukkan minat pemerintah untuk menghapus batubara secara bertahap, seperti pernyataan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada 2020 yang berencana untuk mengganti pembangkit batubara yang sudah dinonaktifkan dengan energi baru dan terbarukan [191]. Namun, masih belum jelas kapan tepatnya Indonesia akan menonaktifkan pembangkit listrik tenaga batubaranya dan sepenuhnya beralih ke sistem energi berkelanjutan [192]. Menetapkan linimasa untuk penghentian total energi berbasis batubara di Indonesia akan memberikan sinyal pasar yang kuat untuk energi terbarukan dan kepada produsen SZE. Lebih jauh lagi, pemerintah dapat mempertimbangkan bagaimana dekarbonisasi maritim dapat membantu menciptakan lapangan kerja baru untuk mendukung transisi lapangan kerja sektor bahan bakar fosil saat batubara dihapuskan. Temuan dari studi yang direncanakan tentang “Implikasi Finansial Penonaktifan Dini Pembangkit Listrik Tenaga Batubara di Indonesia” oleh Energy Transition Partnership [193] dapat mendukung hal tersebut. Studi ini memperkirakan bahwa pada 2050 setidaknya 3,2 juta pekerjaan baru dapat diciptakan jika Indonesia melakukan transisi sistem energinya [192].

Mendukung koordinasi pada pelabuhan dan hub ramah lingkungan

Sebagaimana diuraikan dalam Bagian 2 dan 5, Indonesia adalah negara yang beragam secara budaya, ekonomi, dan geografis yang membutuhkan mekanisme kebijakan campuran yang dapat mempertimbangkan kebutuhan pembangunan lokal sambil memastikan penciptaan infrastruktur bunkering yang koheren dan kuat untuk SZE. Para pemangku kepentingan telah menyoroti tantangan dan peluang yang ditimbulkan oleh geografi Indonesia yang memerlukan solusi yang khas dan didukung oleh kebijakan berdasarkan pendekatan yang koheren terhadap pembangkit listrik terbarukan, produksi hidrogen, dan pembangunan berkelanjutan. Seiring upaya Indonesia untuk memosisikan diri sebagai produsen SZE, koordinasi antara kementerian dan BUMN, seperti Pertamina dan PLN, perlu ditingkatkan. Pengembangan simpul dan pelabuhan hijau, beberapa di antaranya untuk menyediakan bunkering yang berkelanjutan, juga harus mempertimbangkan kebutuhan pelayaran jarak pendek dari masyarakat setempat, yang dihubungkan dengan pengembangan jejaring listrik dan kebutuhan armada kapal kecil. Di sisi lain, pelayaran domestik dan internasional jarak jauh harus berkonsentrasi pada pengembangan simpul bunkering SZE untuk kapal laut dalam yang lebih besar.

Memfasilitasi sinergi lintas sektor untuk produksi dan penggunaan SZE

Sebagaimana diuraikan dalam Bagian 6, ada beberapa peluang untuk sinergi lintas sektor antar industri seperti pelayaran, produksi pupuk, peleburan aluminium, pertambangan, perikanan budidaya, dan produksi listrik untuk konsumsi dalam negeri. Pemangku kepentingan Indonesia menyadari besarnya potensi energi terbarukan dan infrastruktur yang dapat dimobilisasi untuk mewujudkan industri pelayaran niremisi di Indonesia, serta tumpang tindihnya dengan sektor dan industri lain. Produksi dan distribusi baterai, misalnya, dapat menguntungkan nelayan kecil, terutama karena kapal penangkap ikan merupakan mayoritas kapal berbendera Indonesia. Pemerintah Indonesia selanjutnya dapat memfasilitasi kolaborasi dan sinergi lintas sektor tersebut melalui satuan tugas khusus, organisasi, atau forum serupa untuk memastikan bahwa upaya dan pengembangan dekarbonisasi dilakukan dengan cara yang lebih efisien dan holistik.

Siapkan kapasitas dan keterampilan tenaga kerja untuk menangani SZEf dan teknologi terkait

Pengembangan bahan bakar berkelanjutan baru dan teknologi terkait akan membutuhkan keterampilan dan pengetahuan baru bagi angkatan kerja maritim. Indonesia dapat merumuskan strategi untuk mengembangkan talenta yang berkualifikasi untuk ekonomi hidrogen hijau, mengamankan karir masa depan pelaut Indonesia, baik di kapal maupun di lepas pantai, karena sektor maritim mengadopsi solusi digital baru, teknologi hijau, dan transisi dari sumber energi bahan bakar fosil tradisional. Hal ini dapat dilakukan dengan mengembangkan pelatihan khusus, kemitraan akademik-industri, dan kerja sama internasional di bidang pendidikan tinggi, penelitian, pengembangan, dan inovasi. Pada tataran praktis, ini akan mencakup peningkatan keterampilan dan pelatihan pekerja pelabuhan tentang penanganan SZEf, mengadaptasi prosedur bunkering yang aman dan efisien, dan mempersiapkan dan memuat kapal untuk penggunaan dan bunkering SZEf.

Tinjau metodologi agregasi data dan MRV terkait emisi maritim

Seperti yang disoroti di Bagian 3 ketika memperkirakan emisi maritim Indonesia, ada berbagai perkiraan yang dapat dikembangkan berdasarkan metodologi agregasi data yang digunakan, menciptakan variabilitas dalam prakiraan emisi di masa depan, dan perkiraan skala tantangan dekarbonisasi. Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang emisi pelayaran Indonesia, perlu ada suatu tinjauan terhadap berbagai metodologi agregasi data yang berkaitan dengan emisi maritim, dengan justifikasi rinci untuk masing-masing pendekatan serta rekomendasi cara yang paling tepat yang diselaraskan dengan praktik terbaik internasional. Demikian pula, tinjauan dan diskusi seputar praktik terbaik untuk pemantauan, pelaporan, dan verifikasi (MRV), mengacu pada emisi GRK, juga dapat dilakukan untuk memastikan bahwa Indonesia terus menyempurnakan keahlian yang diperlukan untuk memiliki akses ke data emisi pelayaran terkini sesuai aturan IMO saat ini dan masa depan.

Internasiona

Berkolaborasi untuk mengamankan kebijakan GRK yang efektif di IMO

Pasar untuk SZEf, dan sebagai akibatnya juga kelayakan bisnis untuk membuka aliran investasi yang mendalam, dapat sangat diampu dengan kebijakan yang efektif dan tepat waktu di IMO. MBM global yang secara langsung atau tidak langsung memperkenalkan harga emisi GRK – dan dengan demikian membantu mempersempit kesenjangan daya saing antara SZEf dan bahan bakar fosil – akan menciptakan sinyal pasar yang diperlukan untuk menarik investasi global ke dalam proyek SZEf dan infrastruktur terkait. Langkah-langkah kebijakan internasional seperti MBM perlu dikembangkan untuk mendukung investasi dan lapangan kerja. Indonesia dapat mendorong investasi dengan mendukung IMO untuk mengupayakan transportasi maritim niremisi pada 2050 dan bekerja sama dengan negara-negara lain dalam mengadopsi langkah-langkah kebijakan untuk mencapai hasil tersebut demi transisi yang adil dan merata. Salah satu langkah yang bisa diambil untuk mencapai tujuan ini adalah mendukung target iklim internasional untuk pelayaran yang selaras dengan Perjanjian Paris. Penandatanganan Deklarasi Pelayaran Niremisi pada 2050 oleh Indonesia menjadi kesempatan yang baik untuk mengupayakan menuju ambisi ini dalam konteks IMO [194]. Selanjutnya, kepresidenan G20 Indonesia pada 2022 dapat menjadi momentum yang tepat bagi pemerintah Indonesia untuk melakukan upaya diplomasi ini. Dengan Indonesia menjadi tuan rumah KTT G20 pada 2022, di mana transisi energi menjadi salah satu topik utama dalam agenda, pengumuman di forum internasional semacam itu akan mengirimkan sinyal politik yang kuat mengenai tujuan nasional menuju dekarbonisasi pelayaran melalui energi terbarukan dan produksi SZEf.

Tanda tangani Deklarasi Clydebank dan kembangkan koridor hijau pertama di Indonesia

Koridor hijau disebut sebagai metode inovatif untuk menginisiasi tindakan awal sepanjang jalur pelayaran nasional atau internasional tertentu antara dua simpul pelabuhan dan dapat dimanfaatkan untuk melayani kepentingan nasional dalam transisi ke pelayaran tanpa emisi [12]. Berdasarkan potensi energi terbarukannya, hubungan perdagangan dengan daerah lain, dan lokasinya sepanjang rute pelayaran yang sibuk, Indonesia dapat menandatangani Deklarasi Clydebank untuk menandakan minatnya untuk menjadi bagian dari kerja sama internasional di bidang ini. Penggerak pertama dari Asia sudah menorehkan tanda mereka, seperti penandatanganan Deklarasi Clydebank oleh Singapura [195] dan pengumuman baru-baru ini tentang koridor hijau bijih besi Australia-Asia Timur yang menyatukan perusahaan pertambangan, energi, dan pelayaran yang tertarik untuk mendekarbonisasi rantai nilai bijih besi [196].

Mendukung pengembangan standar dan otorisasi SZEf

Mendukung otorisasi lingkungan dan menetapkan standar untuk fasilitas dan proses bunkering baru akan menjadi sangat penting dalam waktu dekat. Akan baik apabila Pemerintah Indonesia terlibat atau mengikuti dengan saksama kemajuan di bidang ini, seperti hasil kerja Korea Shipbuilding & Offshore Engineering dan lembaga klasifikasi Korean Register yang sedang mengembangkan standar kapal hidrogen [197]. Para pemangku kepentingan telah menyatakan bahwa masalah keselamatan perlu diprioritaskan, terutama protokol keselamatan untuk penanganan bahan bakar alternatif baru seperti hidrogen hijau dan amonia.

Keuangan

Salah satu perhatian utama tentang transisi ke bentuk energi yang lebih berkelanjutan adalah implikasi keuangannya. Pemangku kepentingan di Indonesia menyoroti tantangan keuangan dekarbonisasi, merujuk pada investasi cukup besar yang diperlukan untuk mengembangkan proyek energi terbarukan, infrastruktur bunkering SZEf, dan pengembangan sumber daya tenaga surya dan panas bumi. Seperti yang terlihat di Bagian 5, Indonesia memiliki kebijakan yang mendukung investasi dan pengembangan sumber daya energi terbarukan dengan rencana yang jelas untuk meningkatkan penggunaannya selama dekade ini. Namun, Indonesia perlu memperluas ambisi ini lebih lanjut dan mengembangkan rencana pendanaan yang jelas untuk proyek hijau, terutama pengembangan hidrogen, agar berbagai upaya transisi ke elektrifikasi dan SZEf dapat terstruktur dan saling selaras.

Kerangka keuangan memainkan peran besar dalam memfasilitasi pasar dan mengampu munculnya kluster inovatif. Pendanaan internasional masih terbatas karena SZEf masih diragukan kelayakan bisnisnya; Karena itu, pembiayaan yang tersedia dapat diprioritaskan untuk mengurangi risiko investasi, memperkuat kelayakan bisnis, dan mendukung kemandirian energi nasional melalui pendanaan proyek-proyek strategis. Meskipun industri maritim yang lebih luas dan pemangku kepentingan lokal telah menegaskan komitmen mereka untuk berinvestasi dalam infrastruktur dan penelitian dan pengembangan baru, mereka menyoroti perlunya kerangka pendanaan yang mendukung untuk mendapatkan bantuan teknis dan melakukan proyek percontohan dan perintisan. Indonesia dapat mencapai tujuan dekarbonisasinya dengan investasi yang tepat dan perencanaan jangka panjang.

Tindakan yang Disarankan

Jajaki insentif fiskal nasional bagi penggerak pertama

Peningkatan infrastruktur adalah prosedur yang mahal dan panjang, yang seringkali menuntut mobilisasi modal swasta yang signifikan. Pemangku kepentingan menyarankan untuk menjajaki insentif fiskal untuk mendukung penggerak pertama yang mengambil risiko lebih tinggi. Ini akan mendukung penciptaan lingkungan yang memicu investasi dalam sistem berbasis energi terbarukan yang tinggi. Serupa dengan pengembangan teknologi tenaga angin dan surya, teknologi SZEK baru akan membutuhkan dukungan keuangan dan struktur masing-masing untuk memudahkan penerapannya. Insentif seperti *green premiums* adalah salah satu pilihan tersebut. Kontrak selisih²⁴, subsidi langsung, pembebasan pajak, harga karbon, *feed-in-tariff*, lelang kompetitif, dan dana energi terbarukan yang mendukung pengaturan pembelian kembali, jaminan kredit publik, dan obligasi hijau juga merupakan opsi alternatif yang dapat digunakan [101][184][192]. Secara khusus, pengalokasian kembali subsidi energi untuk mendanai proyek energi hijau, alih-alih mendukung batubara dan bahan bakar fosil lainnya, akan membantu menciptakan medan permainan yang adil untuk energi terbarukan [192].

Tingkatkan pembangkit listrik swasta terbarukan

Sebagaimana dikemukakan oleh para pemangku kepentingan, intervensi fiskal, terutama insentif keuangan, memainkan peran penting dalam mendorong sektor swasta untuk berkolaborasi dengan pemerintah untuk transisi semacam itu. Salah satu hal yang disarankan adalah mendorong investasi sektor swasta ke dalam sistem jejaring terdistribusi, terutama untuk mengurangi tekanan dari pemerintah mengingat sebagian besar produksi energi terbarukan Indonesia dimiliki oleh negara. Menghilangkan hambatan produksi listrik terbarukan dan melonggarkan kerangka peraturan sangat penting untuk membangun kapasitas energi hijau Indonesia dan meningkatkan potensinya, termasuk dalam produksi SZEK. Upaya untuk mengatasi hal ini sedang berlangsung, di mana DPR saat ini sedang membahas RUU tentang "Energi Baru & Terbarukan (EBT)" yang memerlukan tarif energi terbarukan berisi *feed-in-tariff* untuk energi terbarukan skala kecil [192][198]. Namun, pemangku kepentingan juga telah mencatat bahwa menyederhanakan perjanjian pembelian dan proses tender juga akan membantu mengurangi risiko investor dan mendukung mobilisasi modal swasta menjadi energi terbarukan [192].

Jajaki peningkatan penyebaran instalasi jejaring mikro

Tenaga surya telah banyak disebutkan melalui studi dan oleh pemangku kepentingan sebagai sumber daya yang masih kurang pemanfaatannya di Indonesia. Seperti disebutkan di Bagian 5 & 6, jejaring mikro sudah didukung oleh pemerintah dan telah dipasang di berbagai tempat di seluruh Indonesia. Instalasi jejaring mikro yang saling berdekatan yang memanfaatkan potensi tenaga surya dan potensi angin darat, seperti dalam beberapa kasus sepanjang pesisir selatan Jawa, dapat memenuhi kebutuhan pelabuhan lebih kecil yang memiliki lalu lintas feri dan kapal penangkap ikan yang tinggi. Para pemangku kepentingan menyoroti bahwa banyak nelayan kecil di Indonesia Timur tidak dapat menyimpan hasil tangkapan mereka dengan baik karena kurangnya listrik yang stabil untuk penyimpanan dingin. Meningkatkan penggunaan instalasi jejaring mikro terbarukan untuk menyediakan listrik di pelabuhan yang lebih kecil dan masyarakat lokal yang tersebar dapat mengurangi sebagian dari tantangan yang ada ini.

²⁴ 'Kontrak selisih' dapat digunakan oleh lembaga keuangan untuk menjembatani kesenjangan antara penggunaan sumber pembangkit energi yang lebih mahal namun berkelanjutan dibandingkan dengan pilihan bahan bakar fosil yang lebih murah namun kurang berkelanjutan. Dengan ini, pemasok energi terbarukan dapat memastikan aliran pendapatan yang stabil untuk mendukung penyebarannya dalam skala besar dan meningkatkan kelayakan pembiayaan proyek mereka.

Memanfaatkan pembiayaan pembangunan internasional untuk memprioritaskan pendanaan proyek-proyek strategis

Seperti yang terlihat di Bagian 6 & 7, Indonesia memiliki pengalaman dalam mengakses dan menggunakan dana bantuan bank pembangunan yang dapat digunakan untuk kepentingan industri maritim dan daratnya dalam meningkatkan produksi SZEf. Dengan model bisnis saat ini, investasi keuangan ke dalam infrastruktur SZEf sulit dijustifikasi; namun, pembiayaan pembangunan dapat digunakan untuk mengurangi risiko langkah awal melalui hibah langsung, bantuan teknis, dan pendanaan pra-kelayakan untuk memperkuat peluang bisnis penting. Pendanaan yang disediakan oleh berbagai organisasi dan lembaga, seperti Bank Pembangunan Asia, Bank Dunia, dan pendanaan bilateral, merupakan opsi yang relevan. Menjajaki pembiayaan proyek melalui dan potensi pendapatan dari MBM global atau nilai ekonomi karbon juga disorot oleh para pemangku kepentingan sebagai jalan yang harus ditempuh.

Industri

Mengingat ambisi politik Indonesia untuk menjadi poros maritim global dan upaya belakangan ini untuk meningkatkan penerimaan dan penetrasi energi terbarukan, ada minat industri yang cukup untuk mendukung proyek energi hijau dan dekarbonisasi pelayaran. Bagian 6 menunjukkan bagaimana beberapa industri dan pelaku regional Indonesia mendukung pengembangan bahan bakar, seperti hidrogen dan amonia, serta potensi penggunaannya sebagai SZEf. Bahkan badan usaha milik negara seperti Pertamina telah menunjukkan komitmen mereka terhadap rencana dekarbonisasi nasional dan terus berinvestasi dalam berbagai proyek yang dapat mendukung produksi dan penerimaan SZEf dalam jangka panjang.

Potensi energi terbarukan Indonesia memiliki kapasitas untuk memasok kebutuhan listrik domestik dan industri yang sulit dikurangi dengan SZEf. Industri maritim telah menyatakan komitmen dan minat mereka untuk mengupayakan agenda yang lebih hijau, seperti yang terlihat dalam Seruan Aksi untuk Dekarbonisasi Pelayaran (*Call to Action for Shipping Decarbonization*). Diluncurkan pada September 2021, Seruan Aksi ini memiliki lebih dari 240 pelaku industri yang secara terbuka menyerukan pemerintah dan regulator internasional untuk mengambil tindakan tegas untuk mendukung pelayaran niremisi menjadi pilihan utama pada 2030 [99].

Sebagai bagian dari seruan ini, berbagai perusahaan secara sukarela sudah memberikan informasi tentang tindakan, target, dan rencana mereka sendiri menuju dekarbonisasi pelayaran. Tindakan industri hingga saat ini termasuk, antara lain, investasi dalam RD&D dan proyek rintisan, memesan dan membangun kapal siap-niremisi, membeli jasa pelayaran niremisi, investasi ke dalam produksi SZEf dan infrastruktur pelabuhan dan bunker [199]. Upaya berkelanjutan para pelaku industri, baik di sektor maritim maupun di bidang lain seperti transportasi dan energi, akan semakin penting di tahun-tahun mendatang.

Tindakan yang Disarankan

Memulai dan menjalankan kolaborasi publik-swasta

Seperti dibahas di Bagian 5, jelas bahwa pemerintah Indonesia ingin mempromosikan pelabuhan hijau dan perluasan kapasitas pembangkit energi terbarukan. Untuk melakukan ini, aktor publik dan swasta perlu bersatu dan membangun kemitraan. Hal ini penting untuk menentukan arah dan mengkoordinasikan upaya mengingat peran sentral yang dimainkan oleh badan usaha milik negara seperti Pertamina dan PLN. Hal ini juga disorot dalam diskusi tentang peluang bisnis strategis yang dijelaskan di Bagian 6, di mana rintisan untuk feri listrik dan peninjauan produksi hidrogen hijau dari energi panas bumi difasilitasi oleh pemerintah. Mendukung upaya tersebut dan memperkuat kelayakan bisnis untuk bidang-bidang peluang spesifik tidak hanya dapat membantu para pembuat keputusan lebih memahami manfaat dekarbonisasi pelayaran, tetapi juga mengurangi potensi rintangan birokrasi dengan mendapatkan dukungan dari pemangku kepentingan pemerintah pusat dan daerah.

Bangun kesadaran mengenai manfaat dan pentingnya transisi energi hijau

Seluruh industri maritim dan energi serta pemangku kepentingan masyarakat sipil perlu membangun kerja sama erat untuk terus memperluas pemahaman tentang risiko yang dihadapi akibat perubahan iklim dan cara-cara berbagai organisasi dapat mendukung Indonesia menuju dekarbonisasi. Para pemangku kepentingan menyoroti perlunya meningkatkan kesadaran mengenai urgensi transisi ke sistem transportasi niremisi. Pelaku industri dapat bekerja untuk menciptakan berbagai proyek industri, masyarakat sipil, dan keterlibatan publik (yaitu seminar, debat TV, publikasi, dll.) yang dapat digunakan untuk menginformasikan, mendidik, dan memperluas pengetahuan tentang potensi manfaat transisi ke SZE. Pada akhirnya, ini juga akan membantu menciptakan pasar bagi perusahaan lokal maupun asing yang berkomitmen untuk mengambil langkah pertama untuk beralih ke SZE di Indonesia.

Menetapkan kehadiran lokal melalui kantor regional atau kemitraan

Kehadiran lokal di negara tempat suatu organisasi berkembang dan tumbuh adalah sesuatu yang sangat berharga, karena dapat sangat mendukung pembangunan jejaring dan memiliki dampak lokal. Meskipun banyak orang Indonesia sudah berbicara bahasa Inggris dan bahasa lainnya yang umum digunakan, kemampuan untuk berkomunikasi dengan masyarakat lokal, pejabat publik, dan aktor terkait lainnya dalam Bahasa Indonesia dapat menjadi keuntungan tersendiri. Kehadiran ini tidak hanya akan mendukung pemahaman mengenai situasi sosial, politik, dan ekonomi yang mungkin belum diketahui, tetapi juga penting untuk mengikuti perubahan lokal yang dapat berdampak positif atau negatif terhadap rencana bisnis. Meskipun membangun kehadiran langsung di Indonesia belum tentu dapat dilakukan oleh banyak UKM dan perusahaan swasta lainnya, kemitraan dan afiliasi dengan organisasi setempat bisa menjadi cara lain untuk memperdalam keterlibatan. Perlu dicatat bahwa perusahaan asing dan multinasional harus berusaha untuk menyelaraskan tujuan strategis mereka dengan kepentingan masyarakat Indonesia, mendukungnya melalui peningkatan kapasitas, peluang produksi baru, dan berbagai upaya pembangunan berkelanjutan lainnya [200].

Menargetkan kegiatan dekarbonisasi di area strategis

Pemangku kepentingan menyoroti bahwa pulau-pulau di Indonesia memiliki tantangannya masing-masing, dan membutuhkan solusi khas yang sesuai dengan tantangan yang dihadapi, dan kemudian menyediakan berbagai peluang ketika ada pembahasan dekarbonisasi. Pulau-pulau ini beragam, dari yang berkepadatan tinggi hingga rendah; yang memiliki pemukiman terpencil luar jejaring (*off-grid*) hingga pusat populasi yang besar; daerah dengan potensi energi terbarukan yang tinggi dan rendah; serta keanekaragaman hayati yang umumnya kaya. Daerah dengan hutan hujan yang lebat (seperti Kalimantan dan Papua) harus dihindarkan dari proyek pembangunan besar untuk melindungi keanekaragaman hayati yang ada. Sedangkan daerah yang dekat dengan jalur pelayaran dengan kepadatan tinggi (misalnya, Selat Sunda) dengan ketersediaan energi terbarukan dapat menyediakan pasar khusus untuk mendorong adopsi awal SZEf. Pelaku industri yang tertarik untuk mengembangkan proyek konkret untuk menghasilkan SZEf dan teknologi rintisan terkait dapat memanfaatkan lokasi strategis di Indonesia yang memiliki konvergensi faktor-faktor menguntungkan tersebut.

Permintaan SZEf agregat

Seperti yang terlihat di Bagian 6, industri maritim dapat menjadi penerima (*offtaker*) sendiri yang cukup substansial, tetapi pelaku industri dapat menimbang untuk melakukan agregasi SZEf di seluruh rantai nilai serta dari sektor lain. Kolaborasi lintas sektor dapat menghasilkan sinergi yang efektif antara pelayaran, pertambangan, sektor transportasi lainnya, dan energi. Industri-industri utama di Indonesia yang dapat menggabungkan permintaan listrik hijau dan SZEf termasuk perikanan, pariwisata, pertambangan, dan produksi pupuk dan amonia. Meningkatkan volume permintaan bahan bakar nol-karbon baru, yang didukung melalui perjanjian *offtake*, memperkuat kelayakan bisnis bagi investor dan memanfaatkan ekonomi skala untuk mengurangi biaya produksi secara keseluruhan. Industri yang tertarik dapat bergabung dengan inisiatif seperti Pusat Energi Hidrogen Indonesia (*Hydrogen Energy Center Indonesia*), yang didedikasikan untuk pengembangan hidrogen hijau dan peluang bisnis terkait [1201].

Jajaki opsi model bisnis alternatif

Industri dapat mencari model bisnis baru dan alternatif yang mengurangi hambatan masuk atau adopsi teknologi SZEf yang tinggi, baik di atas kapal maupun di darat [202][203]. Sistem pemesanan dan klaim, layanan berlangganan, perjanjian pembelian listrik grosir, model persewaan (*leasing*), dan lelang terbalik dapat bertindak sebagai cara baru sektor maritim dan energi melakukan bisnis [204].

Kesimpulannya, potensi energi terbarukan Indonesia, lokasinya yang strategis di Asia Tenggara, serta perdagangan maritim yang mapan dengan negara-negara utama menempatkan Indonesia pada posisi yang unik untuk memanfaatkan transisi industri maritim ke pelayaran niremisi.

Berinvestasi dalam energi terbarukan utama dan infrastruktur SZEK akan memberikan manfaat yang signifikan bagi perekonomian negara dan masyarakat, menyediakan keamanan energi, meningkatkan kualitas udara dan air, sekaligus menciptakan rantai pasokan baru. Untuk memanfaatkan peluang yang ada dan yang sedang tumbuh di dalam negeri, pemerintah Indonesia dan pelaku industri swasta perlu mengambil tindakan yang tepat sasaran dan tegas untuk memastikan Indonesia tetap terdepan. Jelas bahwa momentum global menuju pelayaran tanpa emisi semakin meningkat intensitasnya, dengan aliansi, inisiatif, demonstrasi, dan percontohan baru yang berlangsung di seluruh dunia. Tindakan yang diuraikan di atas dapat mendukung Indonesia dalam upaya dekarbonisasi dan menjadi pemain regional yang kuat di tahun-tahun mendatang.

Referensi

- [1] IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf
- [2] IPCC (2018). Summary for Policymakers of Global warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, ... T. Waterfield, Eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change. Switzerland.
- [3] IPCC (2018). Summary for Policymakers of IPCC Special Report on Global Warming of 1.5°C approved by governments — IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/2018/10/08/summary-for-policymakers-of-ipcc-special-report-on-global-warming-of-1-5c-approved-by-governments/>
- [4] IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf
- [5] UNCTAD (2019). Review of Maritime Transport 2018. United Nations Conference on Trade and Development. Geneva, Switzerland.
- [6] Walker et al. (2018). Environmental Effects of Marine Transportation. In World Seas: An Environmental Evaluation Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts, 1st ed., 505–30. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00030-9>
- [7] Bloomberg L.P. (2022). Energy/Crude Oil & Natural Gas February 2022. <https://www.bloomberg.com/energy>
- [8] Faber et al. (2020). Fourth IMO GHG Study 2020. (MEPC 75/7/15). London, United Kingdom: International Maritime Organization.
- [9] International Maritime Organization (2018). Ship Emissions Toolkit. Guide No. 1: Rapid assessment of ship emissions in the national context. https://gmn.imo.org/wp-content/uploads/2018/10/ship_emissions_toolkit-g1-online.pdf
- [10] Suárez de la Fuente, S., Baresic, D., Smith, T. (2022, in press). Greenhouse Gases and a Low-Carbon Future. Chapter for Marine Engineering, 4th Edition, Society of Naval Architects and Marine Engineers, United States.

- [11] Parker, S., Shaw, A., Rojon, I., Smith, T. (2021). Harnessing the EU ETS to reduce international shipping emissions: assessing the effectiveness of the proposed policy inclusion of shipping in the EU ETS to reduce international shipping emissions. London, United Kingdom: Environmental Defense Fund Europe.
- [12] Smith, T., Baresic, D., Fahnestock, J., Galbraith, C., Velandia Perico, C., Rojon, I., Shaw, A. (2021). A Strategy for the Transition to Zero-Emission Shipping: An analysis of transition pathways, scenarios, and levers for change. Getting to Zero Coalition. <https://www.u-mas.co.uk/wp-content/uploads/2021/10/Transition-Strategy-Report.pdf>
- [13] Matsuda, H., Takeuchi, K. (2018). Introduction, in: Takeuchi, K., Shiroyama, H., Saito, O., Matsuura, M. (Eds.), Biofuels and Sustainability. Springer, Tokyo, Tokyo, pp. 1–8. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54895-9_1
- [14] DeCicco, J.M., Liu, D.Y., Heo, J., Krishnan, R., Kurthen, A., and Wang, L. (2016). Carbon balance effects of U.S. biofuel production and use. *Clim. Change* 138, 667–680. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1764-4>
- [15] Aro, E.M. (2016). From first generation biofuels to advanced solar biofuels. *Ambio* 45, 24–31. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0730-0>
- [16] Englert, D., Losos, A., Raucci, C., & Smith, T. (2021). The Potential of ZeroCarbon Bunker Fuels in Developing Countries. Washington DC: World Bank, Washington, DC.
- [17] Lloyd’s Register & UMAS (2019). Zero-Emission Vessels: Transition Pathways. Low Carbon Pathways 2050 series, London.
- [18] Smith, T.W.P., O’Keeffe, E., Hauerhof, E., Raucci, C., Bell, M., Deyes, K., Fabre, J., and Hoen, M. (2019). Scenario Analysis: Take-up of Emissions Reduction Options and their Impacts on Emissions and Costs. London.
- [19] World Bank Group (2021). The Potential of Zero-Carbon Bunker Fuels in Developing Countries. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35435>
- [20] Krantz, R., Sjøgaard, K., Smith, T. (2020). The scale of investment needed to decarbonize international shipping. The Getting to Zero Coalition Insight Series. Copenhagen, Denmark: Getting to Zero Coalition.
- [21] MAN Energy Solutions (2022). MAN B&W two-stroke engine operating on ammonia. Copenhagen. https://www.man-es.com/docs/default-source/document-sync/man-b-w-two-stroke-engine-operating-on-ammonia-eng.pdf?sfvrsn=c4bb6fea_0
- [22] MAN Energy Solutions (2022). Unlocking Ammonia’s Potential for Shipping. <https://www.man-es.com/discover/two-stroke-ammonia-engine>
- [23] Hydrogen Central (2022). MAN Engines: The First Dual Fuel Hydrogen Engines in Use on a Work Boat. <https://hydrogen-central.com/man-engines-first-dual-fuel-hydrogen-engines-work-boat/>
- [24] BBC (2017). Indonesia counts its islands to protect territory and resources. <https://www.bbc.com/news/world-asia-40168981>

- [25] International Maritime Organization (2022). MEPSEAS: Indonesia. <https://mepseas.imo.org/about/countries/indonesia>
- [26] World Bank (2021). A Sustainable Ocean Economy is Key to Indonesia's Prosperity. Press release. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2021/03/25/sustainable-ocean-economy-key-for-indonesia-prosperity>
- [27] Cribb, R. and Ford, M. (2009). Indonesia as an archipelago: Managing islands, managing the seas. In Cribb, R. & Ford, M. (Eds.), *Indonesia beyond the Water's Edge. Managing an Archipelagic State*. (pp. 1-27). Singapore: ISEAS Publishing. <https://doi.org/10.1355/9789812309815>
- [28] Adam, A.W., Legge, J.D., Mohamad, G.S., McDivitt, J.F., Leinbach, T.R. and Wolters, O.W. (2022). *Indonesia*. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/place/Indonesia>
- [29] Purwanto, Y., Sukara, E., SabilaAjiningrum, P., and Priatna, D. (2020). Cultural diversity and biodiversity as foundation of sustainable development. *Indonesian Journal of Applied Environmental Studies*, Vol. 1, No. 1. DOI: [10.33751/injast.v1i1.1976](https://doi.org/10.33751/injast.v1i1.1976).
- [30] Open to Export (2013). Ports sector in Indonesia. <https://opentoexport.com/article/ports-sector-in-indonesia/>
- [31] Pelindo (2022). About Us. <https://pelindo.co.id/page/tentang-kami>
- [32] UNCTAD (2022). Maritime Profile: Indonesia. <https://unctadstat.unctad.org/countryprofile/maritimeprofile/en-gb/360/index.html>
- [33] Observatory of Economic Complexity (2022). Indonesia. <https://oec.world/en/profile/country/idn>
- [34] Carpenter-Lomax, O., Wilkinson, G. and Ash, N. (2021). Indonesia: fuelling the future of shipping. <https://www.globalmaritimeforum.org/content/2022/06/Zero-carbon-shipping-Indonesia-Issue-2.pdf>
- [35] Directorate General of Climate Change, Ministry of Environment and Forestry. (2021). Indonesia. Third Biennial Update Report under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Jakarta, Indonesia: Ministry of Environment and Forestry Directorate General of Climate Change, Ministry of Environment and Forestry https://unfccc.int/sites/default/files/resource/IndonesiaBUR3_FINAL_REPORT_2.pdf
- [36] Climate Watch (2022). *Historical GHG Emissions*. https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2018&start_year=1990
- [37] Davies Waldron, C., Harnisch, J., Lucon, O., Mckibbon, R.S., Saile, S.B., Wagner, F., et al. (2006). Mobile Combustion. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy, 1st ed. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. p. 3.1-3.78.
- [38] Junida, A.I. and Ihsan, N. (2021). Indonesia ready for decarbonization measures in marine activities. Jakarta. Junida and Ihsan <https://en.antaranews.com/news/199065/indonesia-ready-for-decarbonization-measures-in-marine-activities>

- [39] Ministry of Energy and Mineral Resources (MEMR) (2021). Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2020. Jakarta. Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2020.pdf>
- [40] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. Direktorat Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (2021). Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca, Monitoring, Pelaporan, dan Verifikasi Nasional Tahun 2020. Jakarta. http://ditjenppi.menlhk.go.id/reddplus/images/adminppi/dokumen/igrk/LAP_igrk2020.pdf
- [41] Flanders Marine Institute (2019). Maritime Boundaries Geodatabase: Maritime Boundaries and Exclusive Economic Zones (200NM), version 11. <https://doi.org/10.14284/386>
- [42] Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., Deangelo, B. J., et al. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 5380–5552. <https://doi.org/10.1002/JGRD.50171>
- [43] Scarbrough, T., Tsagatakis, I., Smith, K., Wakeling, D., Smith, T., O’Keeffe, E., and Hauerhoff, E. (2017). A review of the NAEI shipping emission methodology. London.
- [44] Parker, R.W.R., Blanchard, J.L., Gardner, C., Green, B.S., Hartmann, K., Tyedmers, P.H., and Watson, R.A. (2018). Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries. *Nature Climate Change*, 8(4), 333–337. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0117-x>
- [45] Pet-Soede, L. (2019). Around the Boat. What happens around Indonesia’s vast marine areas? The Seven Seas. Indonesia. <https://www.thesevenseas.net/fishing-boats-in-indonesia/>
- [46] Biggeri, A., Barbone, F., Lagazio, C., Bovenzi, M., & Stanta, G. (1996). Air pollution and lung cancer in Trieste, Italy: Spatial analysis of risk as a function of distance from sources. *Environmental Health Perspectives*, 104(7), 750–754. <https://doi.org/10.1289/EHP.96104750>
- [47] Rudiarto, I., Handayani, W., Sih Setyono, J. (2018). A Regional Perspective on Urbanization and Climate-Related Disasters in the Northern Coastal Region of Central Java, Indonesia. *Land* 2018, 7(1), 34; <https://doi.org/10.3390/land7010034>
- [48] Hoegh-Guldberg, O. and Jompa, J. (2016). Indonesia and Australia are sleeping ocean superpowers. *The Conversation*. <https://theconversation.com/indonesia-and-australia-are-sleeping-ocean-superpowers-69886>
- [49] Quadrant Smart (2022). Is ScottishPower Scaling up Green Hydrogen? <https://quadrant-smart.com/scaling-up-green-hydrogen-with-scottishpower/>
- [50] IRENA (2021). Energy Profile: Indonesia. International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/Asia/Indonesia_Asia_RE_SP.pdf

- [51] KESDM (2019). National General Energy Plan (RUKN) for 2019-2038 (ESDM Decree No. 143K/21/MEM/2019). Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 143 K/20/MEM/2019 tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019 Sampai Dengan Tahun 2038. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://jdih.esdm.go.id/index.php/web/result/1973/detail>
- [52] Bellini, E. (2021). Work begins on 145 MW floating solar plant in Indonesia. PV Magazine. <https://www.pv-magazine.com/2021/08/05/work-begins-on-145-mw-floating-solar-plant-in-indonesia/>
- [53] Lewis, M. (2021). The world's largest floating solar farm to be built in Indonesia. Electrek. <https://electrek.co/2021/07/22/the-worlds-largest-floating-solar-farm-to-be-built-in-indonesia/>
- [54] IRENA, World Economic Forum and Accenture (2022). Enabling Measures Roadmap for Green Hydrogen. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Press-Release/2021/Nov/Enabling_Measures_Roadmap_for_Green_H2_Jan22_Vf.pdf?la=en&hash=C7E5B7C0D63A0A68C704A019CE81D1B6AA5FBD75
- [55] IRENA (2022). Hydrogen Economy Hints at New Global Power Dynamics. <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2022/Jan/HydrogenEconomy-Hints-at-New-Global-Power-Dynamics>
- [56] Green Hydrogen Organization (2021). Green Hydrogen Organization to Develop Green Energy Standard. <https://gh2.org/publication/green-hydrogen-organisation-develop-green-energy-standard>
- [57] GGGI (2021). GGGI and KOGAS join forces to promote green hydrogen. The Global Green Growth Institute. <https://gggi.org/gggi-and-kogas-join-forces-to-promote-green-hydrogen/>
- [58] Ministry of Energy and Mineral Resources (MEMR) (2018). Electricity Statistic 2018. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2018-final-edition.pdf>
- [59] UNFCCC (2022). Indonesia. United Nations Framework Convention on Climate Change <https://unfccc.int/node/61083>
- [60] IESR (2021). Deep decarbonization of Indonesia's energy system: A pathway to zero emissions by 2050. <https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2021/10/IESR-Deep-Decarbonization-2021.pdf>
- [61] Republic of Indonesia (2021). Updated Nationally Determined Contribution. Republic of Indonesia. <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Indonesia%20First/Updated%20NDC%20Indonesia%202021%20-%20corrected%20version.pdf>
- [62] IEA (2019). *Southeast Asia Energy Outlook 2019*. Paris, France: International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/southeast-asia-energy-outlook-2019>

- [63] IRENA (2021). *Indonesia and IRENA Agree Partnership to Decarbonise Southeast Asia's Largest Economy*. <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2021/Nov/Indonesia-and-IRENA-Agree-Partnership-to-Decarbonise-Southeast-Asia-Largest-Economy>
- [64] ICAO (2021). CORSIA States for Chapter 3 State Pairs. ICAO document. International Civil Aviation Organization. https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_States_for_Chapter3_State_Pairs_Sept2020.pdf
- [65] Database Peraturan (2022). Peraturan Presiden (PERPRES) Nomor 98 Tahun 2021. Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/187122/perpres-no-98-tahun-2021>
- [66] IEA (2022). *Indonesia country profile*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/countries/indonesia>
- [67] National Energy Council (2019). *Indonesia Energy Outlook 2019*. Jakarta, Indonesia: National Energy Council. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-indonesia-energy-outlook-2019-english-version.pdf>
- [68] Indonesia (2021). Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Indonesia_LTS-LCCR_2021.pdf
- [69] Database Peraturan (2022). Undang-undang (UU) Nomor 7 Tahun 2021. Harmonisasi Peraturan Perpajakan. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/185162/uu-no-7-tahun-2021>
- [70] Database Peraturan (2022). Undang-undang (UU) No. 32 Tahun 2009. Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/38771/uu-no-32-tahun-2009>
- [71] Database Peraturan (2022). Undang-undang (UU) No. 31 Tahun 2009. Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/38769/uu-no-31-tahun-2009>
- [72] Database Peraturan (2022). Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021. Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/161852/pp-no-22-tahun-2021>
- [73] Setyowati, A. (2021). Mitigating inequality with emissions? Exploring energy justice and financing transitions to low carbon energy in Indonesia. *Energy Research & Social Science*, 71, 101817.
- [74] Bellini, E. (2018). Micro and mini-grids to bring power to Indonesia's off-grid communities. *PV Magazine*. <https://www.pv-magazine.com/2018/10/11/indonesia-reveals-national-plan-for-micro-and-mini-grids/>
- [75] Our Planet (2022). Inspiring Ways Microgrids are Used Around the World. Our Planet <https://ourplanet.com/inspiring-ways-microgrids/>
- [76] GE (2017). GE Predix Initiative: Supporting a Brighter Indonesia. GE <https://www.ge.com/news/reports/supporting-a-brighter-indonesia>

- [77] Database Peraturan (2022). Undang-undang (UU) No. 21 Tahun 2014. Panas Bumi. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/38684/uu-no-21-tahun-2014>
- [78] Database Peraturan (2022). Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017. Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/142140/permen-esdm-no-50-tahun-2017>
- [79] Asia Pacific Energy (2022). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Nasional (RUPTL) 2019-2028 (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 39 K/20/MEM/2019). <https://policy.asiapacificenergy.org/node/4172>
- [80] Database Peraturan (2022). Peraturan Menteri Desa, Pembangunan Daerah Tertinggal, dan Transmigrasi Nomor 11 Tahun 2019. Prioritas Penggunaan Dana Desa Tahun 2020. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/139731/permendesa-pdftt-no-11-tahun-2019>
- [81] Database Peraturan (2022). Peraturan Presiden (PERPRES) Nomor 10 Tahun 2021. Bidang Usaha Penanaman Modal. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/161806/perpres-no-10-tahun-2021>
- [82] Database Peraturan (2022). Peraturan Presiden (PERPRES) Nomor 98 Tahun 2021. Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/187122/perpres-no-98-tahun-2021>
- [83] Shekhar, V. and Chinning Low, J. (2014). Indonesia as a Maritime Power: Jokowi's Vision, Strategies, and Obstacles Ahead. The Brookings Institution. <https://www.brookings.edu/articles/indonesia-as-a-maritime-power-jokowis-vision-strategies-and-obstacles-ahead/>
- [84] OECD (2021). *Sustainable ocean economy country diagnostics of Indonesia*. Paris, France: Organisation for Economic Co-operation and Development. [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DCD\(2021\)5&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DCD(2021)5&docLanguage=En)
- [85] Database Peraturan (2022). Undang-undang (UU) No. 32 Tahun 2014. Kelautan. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/38710/uu-no-32-tahun-2014>
- [86] Poernomo, A. and Kuswardani, A. (2019). Ocean Policy Perspectives: The Case of Indonesia. In Harris, P. G. (Ed.), *Climate Change and Ocean Governance* (pp. 102-117). Cambridge University Press
- [87] Database Peraturan (2022). Undang-undang (UU) No. 17 Tahun 2008. Pelayaran. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/39060/uu-no-17-tahun-2008>
- [88] OECD (2012). *OECD reviews of regulatory reform: Indonesia 2012: Strengthening co-ordination and connecting markets, OECD reviews of regulatory reform*. Paris, France: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264173637-en>

- [89] Suherman, A. M., Yuliantiningsih, A., Indriati, N., and Rusli, H. (2020). Indonesian Ocean Policy: Paradigm Shift in Strengthening Ocean Governance. *Journal of East Asia and International Law (JEAIL)*, 13(2), 359-378.
- [90] Database Peraturan (2022). Peraturan Presiden (PERPRES) No. 16 Tahun 2017. Kebijakan Kelautan Indonesia. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/62168/perpres-no-16-tahun-2017>
- [91] Database Peraturan (2022). Keputusan Presiden (KEPPRES) No. 52 Tahun 1999. Pengesahan Protocol Of 1992 To Amend The International Convention On Civil Liability For Oil Pollution Damage, 1969 [Protokol 1992 Tentang Perubahan Terhadap Konvensi Internasional Tentang Tanggungjawab Perdata Untuk Kerusakan Akibat Pencemaran Minyak, 1969]. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/58368/keppres-no-52-tahun-1999>
- [92] Database Peraturan (2022). Peraturan Pemerintah (PP) No. 21 Tahun 2010. Perlindungan Lingkungan Maritim. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/5029/pp-no-21-tahun-2010>
- [93] Database Peraturan (2022). Peraturan Presiden (PERPRES) Nomor 29 Tahun 2012. 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). <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/41273/perpres-no-29-tahun-2012>
- [94] Database Peraturan (2022). Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 29 Tahun 2014. Pencegahan Pencemaran Lingkungan Maritim. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/103722/permenhub-no-29-tahun-2014>
- [95] Database Peraturan (2022). Peraturan Pemerintah (PP) No. 19 Tahun 1999. Pengendalian Pencemaran Dan/Atau Perusakan Laut. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/54252/pp-no-19-tahun-1999>
- [96] Database Peraturan (2022). Undang-undang (UU) No. 27 Tahun 2007. Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/39911/uu-no-27-tahun-2007>
- [97] Psaraftis, N.H. and Kontovas, A.C. (2021). Decarbonization of maritime transport: Is there a light at the end of the tunnel? *Sustainability*, 13. <https://link.springer.com/article/10.1057/s41278-020-00149-4>
- [98] IMO (2018). Resolution MEPC.302(72), Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. [MEPC 72/17/Add.1]. London, United Kingdom: International Maritime Organization. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/250_IMO%20submission_Talanoa%20Dialogue_April%202018.pdf
- [99] GMF (2021). Call to Action for Shipping Decarbonization. Global Maritime Forum. <https://www.globalmaritimeforum.org/getting-to-zero-coalition/call-to-action>
- [100] Sheng, Y., Shi, X., and Su, B. (2018). Re-analyzing the economic impact of a global bunker emissions charge. *Energy Economics* (74). 2018, pp. 107-119.

- [101] Baresic, D., Rojon, I., Shaw, A., Rehmatulla, N. (2022). Closing the Gap: An Overview of the Policy Options to Close the Competitiveness Gap and Enable an Equitable Zero-Emission Fuel Transition in Shipping. London, United Kingdom: University Maritime Advisory Services. https://www.globalmaritimeforum.org/content/2021/12/Closing-the-Gap_Getting-to-Zero-Coalition-report.pdf
- [102] World Bank Group (2022). Carbon Revenues from International Shipping: Enabling an Effective and Equitable Energy Transition. https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/37240/80501-DMT-Technical_c11.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- [103] IMO (2021). *ISWG-GHG 10/5, Market-based measures to decarbonize international maritime transport: carbon revenue use, governance and management submitted by the World Bank*. (ISWG-GHG 10/5). London, United Kingdom: International Maritime Organisation.
- [104] IMO (2022). *ISWG-GHG 12/3/6, Enabling an equitable transition submitted by the Marshall Islands, Solomon Islands and Tuvalu*. (ISWG-GHG 12/3/6). London, United Kingdom: International Maritime Organisation.
- [105] Delasalle, F., Graham, A., Pandey, A. & Randle, C. (2020). *The First Wave. A Blueprint for Commercial-Scale Zero-Emission Shipping Pilots. A Special Report by the Energy Transitions Commission for the Getting to Zero Coalition*. London, United Kingdom: Energy Transitions Commission. <https://www.globalmaritimeforum.org/content/2020/11/The-First-Wave-%E2%80%93-A-blueprint-for-commercial-scale-zero-emission-shipping-pilots.pdf>
- [106] Damodaran, L., Rubek Hansen, J., Hassan, T.M. and Olphert, C.W. (1999). Impact of Large Scale Engineering products and processes on society. The eLSEwise view, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 6 No. 1, pp. 63-70. <https://doi.org/10.1108/eb021099>
- [107] Murray, S. (2019). The critical role of infrastructure for the Sustainable Development Goals. Essay by the Economist Intelligence Unit and supported by UNOPS. https://content.unops.org/publications/The-critical-role-of-infrastructure-for-the-SDGs_EN.pdf
- [108] McKinsey Global Institute (2013). Infrastructure productivity: How to save \$1 trillion a year. https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/infrastructure%20productivity/mgi%20infrastructure_full%20report_jan%202013.pdf
- [109] CNBC (2019). Indonesian president announces site of new capital on Borneo island. CNBC. [] CNBC (2019). Indonesian president announces site of new capital on Borneo island. CNBC. <https://www.cnbc.com/2019/08/26/indonesia-president-jokowi-new-capital-on-east-kalimantan-borneo.html>
- [110] Dobson, J. (2020). As Jakarta Sinks, A New Futuristic Capital City Will Be Built On Borneo. <https://www.forbes.com/sites/jimdobson/2020/01/20/as-jakarta-sinks-a-new-futuristic-capital-city-will-be-built-on-borneo/>
- [111] Database Peraturan (2022). Undang-undang (UU) Nomor 3 Tahun 2022. Ibu Kota Negara. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/198400/uu-no-3-tahun-2022>

- [112] Gielen, D., Saygin, D., Rieger, J. (2017). Renewable Energy Prospects: Indonesia, REmap. Abu Dhabi.
- [113] Langer, J., Quist, J., Blok, K. (2021). Review of Renewable Energy Potentials in Indonesia and Their Contribution to a 100% Renewable Electricity System. *Energies* 2021, 14, 7033. <https://doi.org/10.3390/en14217033>
- [114] Reuters (2021). Indonesia says Fortescue, China's Tsingshan in talks for Borneo investment. <https://www.reuters.com/business/energy/indonesia-says-fortescue-chinas-tsingshan-talks-borneo-investment-2021-03-30/>
- [115] Reuters (2021). Indonesia says Fortescue, Tsingshan to invest billions in Borneo. <https://www.reuters.com/article/indonesia-mining-idUSL4N2PV1J4>
- [116] Reuters (2021). Indonesia's Adaro plans \$728 mln aluminium smelter in Borneo. <https://www.reuters.com/markets/commodities/indonesias-adaro-plans-728-mln-aluminium-smelter-borneo-2021-12-23/>
- [117] Fortescue (2021). Fortescue Future Industries signs cooperation agreement to explore potential development of green hydrogen projects in North Kalimantan. Latest News. <https://www.fmgl.com.au/in-the-news/media-releases/2021/12/09/fortescue-future-industries-signs-cooperation-agreement-to-explore-potential-development-of-green-hydrogen-projects-in-north-kalimantan>
- [118] Pertamina (2021). Pursuing 1.1 Giga Watt Target, Pertamina Geothermal Energy Operates 15 Work Areas. <https://www.pertamina.com/en/news-room/news-release/pursuing-1.1-giga-watt-target-pertamina-geothermal-energy-operates-15-work-areas>
- [119] Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, Pacific Consultants International (2002). Present Conditions of the Principal River Port in Kalimantan, in: The Study on the Development Scheme for the Principal River Ports in Indonesia. Japan International Cooperation Agency, Tokyo, pp. 4.1-4.30.
- [120] Maus, V., Giljum, S., Gutschlhofer, J., da Silva, D.M., Probst, M., Gass, S.L.B., Luckeneder, S., Lieber, M., and McCallum, I. (2020). A global-scale data set of mining areas. *Sci. Data* 2020 71 7, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00624-w>
- [121] Mining Technology (2021). Five largest coal mines in Indonesia in 2020. <https://www.mining-technology.com/marketdata/five-largest-coal-mines-indonesia-2020/>
- [122] Mongabay (2022). Mine pits expose the holes in Indonesia's plan to relocate its capital. <https://news.mongabay.com/2022/04/mine-pits-expose-the-holes-in-indonesias-plan-to-relocate-its-capital/>
- [123] CNBC (2022). Turning nickel into EV batteries: Indonesia wants to take its mining industry to the next level. <https://www.cnbc.com/2022/04/14/indonesia-wants-to-stop-exporting-minerals-make-value-added-products.html>

- [124] Serra, P. and Fancello, G. [2020]. Towards the IMO's GHG goals: A critical overview of the perspectives and challenges of the main options for decarbonizing international shipping. *Sustainability*, 12(8).
- [125] Mjø̆s, N. [2018]. *Maritime impact: Industry Insights: Leading the charge*. DNV. Retrieved from <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/leading-the-charge.html>
- [126] Fan, A., Wang, J., He, Y., Percic, M., Vladimir, N., & Yang, L. [2021]. Decarbonising inland ship power system: Alternative solution and assessment method. *Energy*, 226.
- [127] Gagatsi, E., Estrup, T., and Haltsis, A. [2016]. Exploring the potentials of electric waterborne transport in Europe: the E-ferry concept. *Transportation Research Procedia*, 14, 1571-1580.
- [128] Saether, R. S. and Moe, E. [2021]. A green maritime shift: Lessons from the electrification of ferries in Norway. *Energy Research & Social Science*, 81.
- [129] Ehnberg, J., Hartvigsson, E., & Aas-Monrad, I. [2021]. Electrifying fishing for rural electrification. IEEE Southern Power Electronics Conference (SPEC). Rwanda, Kigali.
- [130] Tenhunen, E. [2022]. *Electrification is the future*. Danfoss. <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/articles/cf/electrification-is-the-future/>
- [131] Bloch, C., Newcomb, J., Shiledar, S., and Tyson, M. [2019]. *Breakthrough batteries: Powering the era of clean electrification*. Rocky Mountain Institute. https://rmi.org/wp-content/uploads/2019/10/rmi_breakthrough_batteries.pdf
- [132] Consulate general of the Republic of Indonesia [2018]. Indonesia at a glance. https://kemlu.go.id/vancouver/en/pages/indonesia_at_a_glance/2016/etc-menu
- [133] Ministry of Investment/BKPM [2017]. Blue economy holds the key to Indonesia's sustainable prosperity. <https://www3.bkpm.go.id/en/publication/detail/news/blue-economy-holds-the-key-to-indonesias-sustainable-prosperity>
- [134] Christina, B. and Suroyo, G. [2021]. Indonesia's B40 biodiesel plan faces new delay due to palm price. Reuters. <https://www.reuters.com/article/us-indonesia-palmoil/indonesias-b40-biodiesel-plan-faces-new-delay-due-to-palm-price-idUSKBN2FR0GG>
- [135] Prananta, W. and Kubiszewski, I. [2021]. Assessment of Indonesia's Future Renewable Energy Plan: A Meta-Analysis of Biofuel Energy Return on Investment (EROI). *Energies* 2021, Vol. 14, Page 2803 14, 2803. <https://doi.org/10.3390/EN14102803>
- [136] Suwastoyo, B. [2020]. Mandatory B30 Policy Benefits Palm Oil Players, Government. - The Palm Scribe. <https://thepalmscribe.id/mandatory-b30-policy-benefits-palm-oil-players-government/>
- [137] Database Peraturan [2022]. Peraturan Presiden (PERPRES) Nomor 38 Tahun 2019. Penyediaan, Pendistribusian, dan Penetapan Harga Liquefied Petroleum Gas untuk Kapal Penangkap Ikan Bagi Nelayan Sasaran dan Mesin Pompa

- Air Bagi Petani Sasaran. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/108811/perpres-no-38-tahun-2019>
- [138] PT PLN (2021). PLN Peduli Dukung Ekosistem Kendaraan Listrik, Kolaborasi dengan IKM Ciptakan E-Boat. <https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2021/12/pln-peduli-dukung-ekosistem-kendaraan-listrik-kolaborasi-dengan-ikm-ciptakan-e-boat/>
- [139] Energy Renewed PTE LTD (2019). Conceptual boats. <https://www.energy-renewed.com/>
- [140] Kong, Y.X. (2019). An idea to electrify 1 million boats in Southeast Asia—inspired by Ikea. <https://www.eco-business.com/news/an-idea-to-electrify-1-million-boats-in-southeast-asia-inspired-by-ikea/>
- [141] Hicks, R. (2018). Indonesia’s scuba diving hotspot Raja Ampat welcomes first electric boats. <https://www.eco-business.com/news/indonesias-scuba-diving-hotspot-raja-ampat-welcomes-first-electric-boats/>
- [142] Murray, A. (2020). Plug-in and sail: Meet the electric ferry pioneers. <https://www.bbc.co.uk/news/business-50233206>
- [143] UCCRTF (2021). Event Snapshot: E-boat taxis launched in Batam, Indonesia. Urban Climate Change Resilience Trust Fund (UCCRTF).
- [144] Taylor, I. (2022). *Indonesian shipyard set to build all-electric harbour tug*. Ship Energy. <https://ship.energy/2022/02/23/indonesian-shipyard-set-to-build-all-electric-harbour-tug/>
- [145] Sustainable Tour. (2021). *Electrifying boats to reduce CO2 emissions*. <https://www.sustainabletour.eu/electrifying-boats-to-reduce-co2-emissions/>
- [146] Indradjaja, B.D., Ramadhani, B., Günther, P.M., and Gunawan, P. (2020). Techno-economic Feasibility Analysis of Photovoltaic Charging Station for Electric Boats in Sabangko Island. *Indones. J. Energy* 3, 34–50. <https://doi.org/10.33116/IJE.V3I1.50>
- [147] Pers, S. (2022). Pertamina and Grab agree to strengthen the EV ecosystem. <https://www.pertamina.com/en/news-room/news-release/pertamina-and-grab-agree-to-strengthen-the-ev-ecosystem>
- [148] Fauzi, A. (2015). Geothermal resources and reserves in Indonesia: an updated revision. *Geoth. Energ. Sci.*, 3, 1–6, 2015 www.geoth-energ-sci.net/3/1/2015/doi:10.5194/gtes-3-1-2015
- [149] Wilcox, J. (2012). Indonesia’s Energy Transit: Struggle to Realize Renewable Potential. *Renewable Energy World.com*. 14 September.
- [150] Pertamina (2021). Ready for Transition, Pertamina Continues to Grow New Renewable Energy. <https://www.pertamina.com/en/news-room/news-release/ready-for-transition-pertamina-continues-to-grow-new-renewable-energy>

- [151] PWC (2021). Pertamina prepares 8 strategies to increase green energy portfolio. <https://www.pwc.com/id/en/media-centre/infrastructure-news/november-2021/pertamina-prepares-8-strategies-to-increase-green-energy-portfolio.html>
- [152] Reuters (2022). Indonesia's Pertamina aims to double geothermal capacity – CEO. <https://www.reuters.com/business/energy/indonesias-pertamina-aims-double-geothermal-capacity-ceo-2022-04-25/>
- [153] Ipsos (2016). Indonesia's aquaculture industry: Key sectors for future growth. <https://www.ipsos.com/en/indonesias-aquaculture-industry-key-sectors-future-growth>
- [154] FAO (2014). *Fishery and Aquaculture Country Profiles – Indonesia*. UN Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/fishery/en/facp/idn?lang=en>
- [155] Global Seafood Alliance (2010). *Energy efficiency of aquaculture*. <https://www.globalseafood.org/advocate/energy-efficiency-aquaculture/>
- [156] Linde (2022). Oxygenation in Aquaculture. https://www.linde-gas.com/en/processes/controlled_and_modified_atmospheres/oxygenation_in_aquaculture/index.html
- [157] Royal Society (2020). *Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store*. Policy Briefing. <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/green-ammonia/green-ammonia-policy-briefing.pdf>
- [158] GFAR (2022). *Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (Association of Indonesian Fertilizer Producers)*. <https://www.gfar.net/organizations/asosiasi-produsen-pupuk-indonesia-association-indonesian-fertilizer-producers>
- [159] Pertamina (2022). Pertamina, PT Pupuk Indonesia, and Mitsubishi Corporation Agree to Develop Blue/Green Hydrogen and Ammonia Business. <https://www.pertamina.com/en/news-room/news-release/pertamina-pt-pupuk-indonesia-and-mitsubishi-corporation-agree-to-develop-blue-green-hydrogen-and-ammonia-business>
- [160] Pertamina (2021). Pursuing 1.1 Giga Watt Target, Pertamina Geothermal Energy Operates 15 Work Areas. <https://www.pertamina.com/en/news-room/news-release/pursuing-1.1-giga-watt-target-pertamina-geothermal-energy-operates-15-work-areas>
- [161] Raucci, C., Bonello, J.M., Suarez de la Fuente, S., Smith, T. & Sogaard, K., 2020. Aggregate investment for the decarbonisation of the shipping industry. UMAS. London.
- [162] World Bank Group (2022). Homepage. <https://www.worldbank.org/en/home>
- [163] ADB (2022). Asian Development Bank. Homepage. <https://www.adb.org/>
- [164] EIB (2022). European Investment Bank. Homepage. www.eib.org/en
- [165] Islamic Development Bank (2022). Homepage. <https://www.isdb.org/>
- [166] World Bank Group (2022). Indonesia. <https://data.worldbank.org/country/indonesia>

- [167] World Bank Group (2022). International Bank for Reconstruction and Development <https://www.worldbank.org/en/who-we-are/ibrw>
- [168] International Finance Corporation (2022). Homepage. <https://www.ifc.org/>
- [169] Asian Development Bank (2022). Asian Development Bank and Indonesia: Fact Sheet. <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/27769/ino-2021.pdf>
- [170] PPIAF (2022). Public-Private Infrastructure Advisory Facility. About us. <https://ppiaf.org/>
- [171] CIF (2022). Climate Investment Funds. Homepage. <https://www.climateinvestmentfunds.org/>
- [172] GCF (2022). Green Climate Fund. Homepage <https://www.greenclimate.fund/>
- [173] Agence Française de Développement (2022). Homepage. <https://www.afd.fr/fr>
- [174] KfW (2022). Homepage. <https://www.kfw.de/About-KfW/>
- [175] Australia Department of Foreign Affairs and Trade (2022). Homepage. <https://www.dfat.gov.au/>
- [176] Foreign, Commonwealth and Development Office (2022). Homepage. Foreign, Commonwealth & Development Office - GOV.UK
- [177] USAID (2022). Homepage. <https://www.usaid.gov/>
- [178] European Commission (2022). International Partnerships: Indonesia. https://ec.europa.eu/international-partnerships/where-we-work/indonesia_en
- [179] Nikkei Asia (2022). G-7 infrastructure investment to target Indo-Pacific's clean-energy transition. <https://asia.nikkei.com/Politics/International-relations/Indo-Pacific/G-7-infrastructure-investment-to-target-Indo-Pacific-s-clean-energy-transition>
- [180] ICCTF (2022). Indonesia Climate Change Trust Fund. <https://www.icctf.or.id/>
- [181] MCA Indonesia (2022). Millennium Challenge Account Indonesia. <https://www.mcc.gov/where-we-work/country/indonesia>
- [182] Indonesia Environmental Fund (Badan Pengelola Dana Lingkungan Hidup) (2022). <https://www.mcc.gov/where-we-work/country/indonesia>
- [183] ClimateWorks Foundation (2022). Homepage. <https://www.climateworks.org/>
- [184] DNV GL (2020). Ports: Green gateways to Europe 10 Transitions to turn ports into decarbonization hubs. https://sustainableworldports.org/wp-content/uploads/PORTS_GREEN_GATEWAYS_TO_EUROPE_FINAL29JUNE.pdf
- [185] UNCTAD (2021). *Review of Maritime Transport 2021*. Geneva, Switzerland: United Nations Conference on Trade and Development.

- [186] Investor.id [2021]. Perkuat Green Port, KIP Manfaatkan Energi Surya di Pelabuhan. <https://investor.id/business/260823/perkuat-green-port-kip-manfaatkan-energi-surya-di-pelabuhan-nbsp>
- [187] Alamgir, M., Campbell, M.J., Sloan, S. et al. (2019). High-risk infrastructure projects pose imminent threats to forests in Indonesian Borneo. *Sci Rep* 9, 140.
- [188] PoA, n.d. Hydrogen-powered tug is world first for Port of Antwerp. <https://newsroom.portofantwerpbruges.com/hydrogen-powered-tug-is-world-first-for-port-of-antwerp>
- [189] S&P Global (2022). Indonesia defers carbon tax launch to July due to global turmoil, energy market volatility. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/energy-transition/040522-indonesia-defers-carbon-tax-launch-to-july-due-to-global-turmoil-energy-market-volatility#:~:text=Under%20its%2>
- [190] Gunawan, R. (2021). Counting the Significance of Indonesia in ASEAN Shipping Decarbonization. <https://www.linkedin.com/pulse/counting-significance-indonesia-asean-shipping-rachmat-gunawan-1f/>
- [191] Reuters (2020). Indonesia plans to replace old coal power plants with renewable plants: minister. <https://www.reuters.com/article/us-indonesia-power-coal-idUSKBN1ZT17N>
- [192] IESR, Agora Energiewende, LUT University (2021). Deep decarbonization of Indonesia's energy system: A pathway to zero emissions by 2050. Institute for Essential Services Reform (IESR). https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Partnerpublikationen/2021/IESR_Deep_Decarbonization_Indonesia.pdf
- [193] ETP (2022). Indonesia - Projects: Planned. Energy Transition Partnership. <https://www.energytransitionpartnership.org/country/indonesia/>
- [194] Kingdom of Denmark (2021). Declaration on Zero Emission Shipping by 2050. <https://em.dk/media/14312/declaration-on-zero-emission-shipping-by-2050-cop26-glasgow-1-november-2021.pdf>
- [195] Department for Transport (2022). COP 26: Clydebank Declaration for green shipping corridors. Policy Paper. <https://www.gov.uk/government/publications/cop-26-clydebank-declaration-for-green-shipping-corridors/cop-26-clydebank-declaration-for-green-shipping-corridors>
- [196] GMF (2022). Maritime industry joins forces with leading global miners in support of Australia-East Asia iron ore Green Corridor. Global Maritime Forum. <https://www.globalmaritimeforum.org/press/maritime-industry-joins-forces-with-leading-global-miners-in-support-of-australia-east-asia-iron-ore-green-corridor-2/>
- [197] Splash247 (2021). Koreans target hydrogen standards. <https://splash247.com/Koreans-target-hydrogen-standards/>
- [198] Asia Business Law Journal (2021). Renewable energy regulations in Indonesia. <https://law.asia/renewable-energy-regulations-indonesia>

- [199] GMF (2021). Report on Climate Commitments by Signatories to the Call to Action for Shipping Decarbonization. Getting to Zero Coalition. <https://www.globalmaritimeforum.org/content/2021/09/Report-on-Climate-Commitments-by-Signatories-to-the-Call-to-Action-for-Shipping-Decarbonization.pdf>
- [200] Pettinger, T. (2019). Multinational Corporations in Developing Countries. <https://www.economicshelp.org/blog/1413/development/multinational-corporations-in-developing-countries/>
- [201] HECI (2022). Hydrogen Energy Center Indonesia. <https://www.hydrogen-indonesia.org/about.php>
- [202] IRENA (2021). A Pathway to Decarbonise the Shipping Sector By 2050. International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Oct/IRENA_Decarbonising_Shipping_2021.pdf
- [203] UNEP (2021). Innovation is key to decarbonizing the maritime sector. <https://www.unep.org/news-and-stories/speech/innovation-key-decarbonizing-maritime-sector>
- [204] C40 (2018). Clean Energy Business Model Manual. https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Clean-Energy-Business-Model-Manual?language=en_US
- [205] IHS Markit (2018). *IHS Markit*.
- [206] Global Fishing Watch (2018). *Global Fishing Watch*. Sustainable Ocean Management. <https://globalfishingwatch.org/map-and-data/>
- [207] Smith, T.W.P., Jalkanen, J.P., Anderson, B.A., Corbett, J.J., Faber, J., Hanayama, S., et al. (2014). Third IMO GHG Study 2014. London.
- [208] EMSA (2018). *EU MRV*. <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/eumrv>
- [209] Ministry of Environment (2012). Jpedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional: Buku I, Pedoman Umum. Jakarta. <https://www.kemenperin.go.id/download/18859>
- [210] Ministry of Environment (2012). Pedoman. Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II - Volume I: Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi. Jakarta. <https://www.kemenperin.go.id/download/11219>
- [211] EMEP/CORINAIR (2005). *Emission Inventory Guidebook – 2005*. Copenhagen.
- [212] Lloyd's Register (1995). *Marine exhaust emissions research programme*. Croydon.
- [213] Woodyard, D. (2009). *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines* (9th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.

- [214] IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- [215] Yoo, D. H., Nitta, Y., Ikame, M., Hayashi, M., Fujita, H., & Lim, J. K. (2012). *Exhaust characteristics of Nitrous oxide from marine engine*. Program Book - OCEANS 2012 MTS/IEEE Yeosu: The Living Ocean and Coast - Diversity of Resources and Sustainable Activities.



Lampiran I

MODEL GEOSPASIAL PELAYARAN: Informasi Teknis

Lampiran ini menyajikan informasi tambahan untuk Bab 3 tentang Kegiatan Pelayaran Indonesia dan Emisi Maritimnya, dan memberikan gambaran lebih rinci tentang metodologi yang digunakan untuk menghasilkan Model Geospasial Pelayaran (*Shipping Geospatial Model – SGM*) untuk Indonesia, termasuk asumsi dan keterbatasan pendekatan tersebut.

Lampiran ini terstruktur dalam tiga bagian:

1. Lampiran ini terstruktur dalam tiga bagian:
2. Inventori GRK Nasional Indonesia
3. Perbandingan antara SGM laporan ini dan Inventori GRK Nasional Indonesia



Model pelayaran geospasial

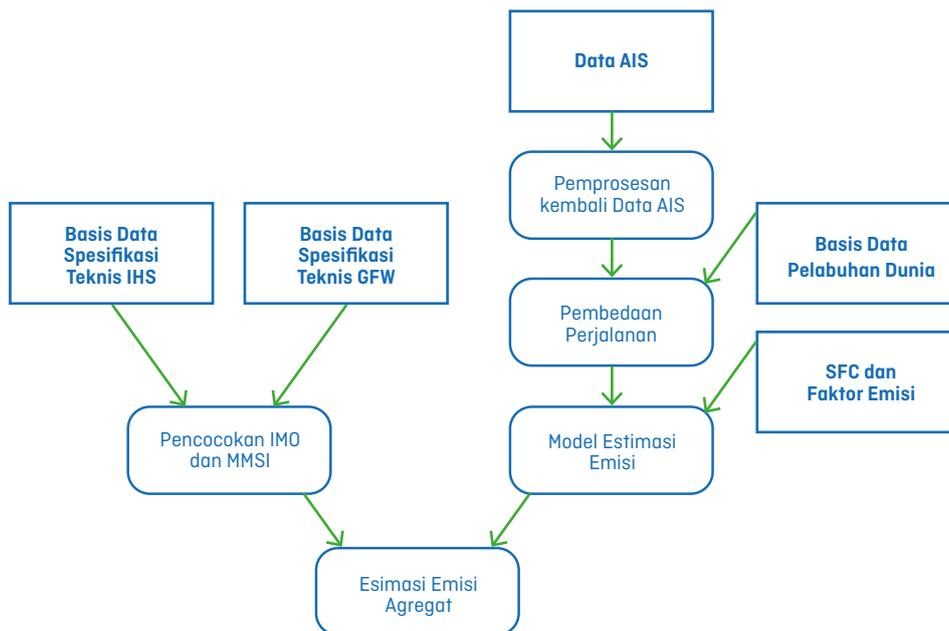
Laporan ini memberikan estimasi emisi GRK dan polutan udara dari pelayaran di Indonesia dengan menggunakan pendekatan berbasis aktivitas.

SGM untuk Indonesia diestimasi dari metodologi dua langkah yang memungkinkan agregasi data pada tingkat yang berbeda. Langkah pertama didasarkan pada metodologi Studi GRK IMO Keempat, yang fokus pada kegiatan pelayaran di Indonesia. Yang kedua mengubah hasil langkah pertama menjadi perjalanan terpisah dan lokasi geografisnya berkat data granular Sistem Identifikasi Otomatis (*Automatic Identification System* – AIS) kapal. Dalam hal ini data AIS yang digunakan mengacu pada rekam per jam kapal untuk seluruh armada global yang beroperasi pada tahun 2018. Langkah terakhir ini bertujuan untuk memberikan refleksi yang adil dan representatif mengenai emisi terkait kegiatan ekonomi maritim Indonesia.

Langkah I: Mengembangkan berdasarkan Studi GRK IMO Keempat

Kajian GRK IMO Keempat [8] menyajikan inventori emisi GRK dari pelayaran internasional antara 2012 dan 2018. Sementara studi ini memberikan dua pendekatan berbeda (yaitu *top-down* dan *bottom-up*) untuk memperkirakan emisi pelayaran, laporan ini menggunakan pendekatan *bottom-up*, dikenal juga sebagai pendekatan berbasis aktivitas (lihat Gambar 18).

Gambar 18: Diagram alir yang mewakili metodologi Studi GRK IMO Keempat dengan kumpulan data yang digunakan.



Dalam pendekatan *bottom-up*, informasi operasional yang ditangkap oleh data AIS dicocokkan dengan informasi teknis statis yang terkandung dalam Markit's Information Handling Service dan basis data Global Fishing Watch [205][206]. Spesifikasi desain yang terkandung dalam kumpulan data digunakan dalam perhitungan konsumsi bahan bakar dan faktor emisi selama satu jam, per kapal. Sesuai Pedoman IPCC 2006 untuk Inventori Gas Rumah Kaca Nasional (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories), Studi GRK IMO Keempat dikembangkan berdasarkan metodologi yang disajikan dalam Studi GRK IMO Ketiga [207] untuk memasukkan identifikasi persinggahan pelabuhan untuk menyusun alokasi pelayaran tersendiri, serta pembedaan antara pelayaran internasional dan domestik.

Salah satu keuntungan utama menggunakan metodologi IMO adalah berisi penelitian GRK maritim dan polusi udara terkini untuk pelayaran domestik dan internasional di atas 100 tonase kotor [8]. Metodologi ini berisi perincian teknis mutakhir, bahan bakar dan faktor emisi yang memungkinkan estimasi GRK sektor maritim dan polusi udara suatu negara.

Pencocokan IHS, IMO DAN MMSI

Data AIS mentah dari sumber terestrial dan satelit diperoleh dari penyedia exactEarth dan data kapal individual yang diambil dari kumpulan data *Information Handling Service* [205]. Kumpulan data ini digabungkan berdasarkan nomor identifikasi IMO masing-masing kapal dan *Maritime Mobile Service Identity* (MMSI). Pengambilan sampel ulang data ke dalam interval waktu per jam memungkinkan ekstrapolasi data aktivitas sepanjang tahun. Langkah ini memastikan bahwa peningkatan cakupan dan jumlah titik data AIS yang dihasilkan dari tahun ke tahun tidak menghasilkan pertumbuhan artifisial dalam perkiraan emisi. Langkah pengambilan sampel ulang juga berfungsi untuk menghapus atau memperbaiki titik data yang tidak valid dan palsu, sekaligus menilai kualitas kumpulan data AIS untuk setiap nomor IMO dalam prosesnya.

Mengikuti metodologi Studi GRK IMO Keempat, laporan ini mempertimbangkan 19 jenis kapal yang berbeda – 70 saat mempertimbangkan ukuran kapal; 13 sistem penggerak berbeda dengan tiga generasi berbeda – berdasarkan tahun pembuatan kapal; mesin bantu dan boiler; empat jenis bahan bakar fosil²⁵; 10 GRK dan polutan udara yang berbeda dan dua emisi fugitive (yaitu refrigeran dan Senyawa Organik Volatil Non-Metana atau *Non-Methane Volatile Organic Compounds* – NMVOC).

PRA-PEMROSESAN DATA AIS

Interpolasi linear diterapkan pada koordinat GPS kapal untuk memperhitungkan lengkung bola Bumi dan penerapan akurat dari faktor emisi yang bergantung pada lokasi seperti Area Kontrol Emisi (*Emission Control Areas* – ECA). Anomali dapat dihasilkan dengan metode interpolasi linear dan jumlahnya diketahui berkorelasi dengan jumlah jam yang berurut di mana tidak ada data GPS yang diamati. Namun, anomali ditemukan menurun secara substansial selama bertahun-tahun penelitian akibat meningkatnya cakupan AIS. Setiap jam di mana ada laporan aktivitas dialokasikan sebagai fase pelabuhan (beroperasi kurang dari tiga knot dan dekat lokasi geografis pelabuhan), fase pelayaran atau fase transisi. Aktivitas pelabuhan digunakan untuk membagi kumpulan data aktivitas kapal, sehingga menghasilkan

²⁵ Kapal yang sepenuhnya bertenaga listrik, batubara, tanpa mesin (non-propelled), dan bertenaga nuklir dikeluarkan.

urutan pelayaran individu. Di mana periode berurut yang hilang ditetapkan lebih besar dari ambang batas periode yang hilang, perjalanan tersebut dihapus dan diganti dengan pengisian mundur dan maju.

Perbedaan antara perjalanan internasional dan domestik

Mengembangkan metodologi yang digunakan dalam Studi GRK IMO Ketiga untuk menghasilkan perkiraan bahan bakar *bottom-up* berdasarkan jenis dan ukuran kapal, Studi GRK IMO Keempat menerapkan pendekatan baru untuk mendiskritkan perjalanan dari data berkelanjutan menggunakan informasi geospasial dan temporal yang terkandung dalam data AIS. Bagian yang sentral dalam Studi GRK IMO Keempat adalah basis data pelabuhan yang berisi nama, koordinat, dan negara dari hampir 13.000 pelabuhan di seluruh dunia. Masing-masing persinggahan pelabuhan diidentifikasi menggunakan nilai *Speed Over Ground* (SOG) yang dilaporkan dan algoritma tetangga spasial terdekat untuk menghitung jarak kapal ke pelabuhan terdekatnya. Titik data AIS dengan nilai SOG rata-rata di bawah satu knot dikelompokkan ke dalam klaster yang mewakili pemberhentian potensial. Klaster ditetapkan sebagai pemberhentian pelabuhan jika jarak ke pelabuhan terdekat cukup dekat, waktu di pelabuhan cukup lama dan jarak antara klaster dan klaster tetangga cukup jauh. Klaster berurut yang terletak berdekatan, walau ditautkan dengan pelabuhan yang sama, digabung menjadi satu. Namun bagi yang ditautkan dengan pelabuhan berbeda, salah satu klasternya dihapus. Untuk kapal yang cakupan AIS-nya sangat buruk, metode identifikasi pemberhentian yang digunakan adalah yang kedua dengan mengandalkan kedekatan dengan pelabuhan dan menghilangkan ketergantungan algoritma identifikasi persinggahan pada rekam SOG yang akurat saja. Dengan menggunakan definisi pelayaran internasional seperti yang terjadi antara pelabuhan di negara yang berbeda, emisi kemudian dapat dialokasikan ke kategori internasional atau domestik sesuai definisi IPCC. Perbedaan ini memungkinkan kuantifikasi inventori berbasis perjalanan yang disajikan di bagian utama laporan ini.

Estimasi konsumsi bahan bakar, emisi dan energi

Permintaan tenaga mesin utama per jam dari setiap kapal ditentukan dengan menggunakan rumus Admiralty di mana kecepatan AIS dan draf yang dilaporkan digabungkan dengan karakteristik desain kapal dari data IHS. Rumus ini telah disesuaikan dengan menggunakan faktor kecepatan, *fouling* dan cuaca, sedangkan kebutuhan daya mesin bantu telah ditetapkan tergantung jenis kapal, ukuran dan moda operasional yang terjadi pada setiap pengamatan per jam. Penting untuk dicatat bahwa nilai draf yang dilaporkan mungkin sering dicatat secara tidak akurat dan memiliki korelasi yang tidak sempurna dengan jumlah kargo yang dibawa oleh setiap kapal yang menyebabkan ketidakpastian dalam estimasi akhir emisi konsumsi bahan bakar yang dihasilkan. Selain itu, kurangnya informasi mengenai impor mengakibatkan ketidakjelasan seputar asal dan atribusi yang adil dari emisi ini terhadap perekonomian Indonesia.

Untuk mengubah dari permintaan daya mesin utama ke konsumsi bahan bakar per jam, daya yang diminta dicocokkan dengan kurva konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yang menggunakan SFC dasar mesin dan jenis bahan bakar dan pemuatan mesin (yakni, berapa banyak daya yang diminta terhadap daya terpasang maksimum) sebagai variabel independen. Perkalian perkiraan SFC dan permintaan tenaga mesin utama menghasilkan konsumsi bahan bakar per jam. Untuk mesin bantu, SFC diberikan sebagai konstan dan konsumsi bahan bakar per jamnya diperoleh dengan mengalikan daya yang diminta dan SFC. Total konsumsi per jam kapal adalah agregasi bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin utama dan mesin bantu.

Estimasi emisi GRK dan polusi udara per jam tergantung pada berapa banyak bahan bakar yang dikonsumsi, jenis bahan bakar, kandungan belerang bahan bakar, pemuatan mesin utama dan keluaran daya, jenis mesin utama, permesinan lain (misalnya, mesin bantu atau boiler) dan lokasi geografis (yaitu, jika berlayar di dalam atau di luar ECA). Seperti dalam metodologi berbasis aktivitas Studi GRK IMO Keempat, digunakan dua pendekatan berbeda terhadap faktor emisi (FE)²⁶: berbasis energi dan berbasis massa. FE berbasis energi diberikan sebagai massa polutan udara berdasarkan permintaan energi – biasanya dinyatakan sebagai gram polutan/kWh. FE berbasis massa diberikan sebagai massa polutan per massa bahan bakar – biasanya dinyatakan sebagai gram polutan/gram bahan bakar. Emisi per jam diperoleh dengan mengalikan FE berbasis energi dengan energi per jam yang diminta untuk setiap jenis mesin onboard. Untuk GRK dan polutan udara yang menggunakan FE berbasis bahan bakar, konsumsi bahan bakar per jam dikalikan dengan FE²⁷. Untuk mengubah emisi GRK menjadi setara CO₂ (CO₂e), digunakan Potensi Pemanasan Global 100 tahun (GWP₁₀₀) dari setiap senyawa. Sebagai acuan, GWP₁₀₀ diambil dari pedoman IPCC 2006²⁸.

Untuk mengonversi konsumsi bahan bakar tahunan menjadi permintaan energi, konsumsi bahan bakar per jam dikonversi ke unit setara bahan bakar umum (*Heavy Fuel Oil equivalent*, HFO_{eq}, dalam Studi GRK IMO Keempat). Konversi ini dicapai dengan menggunakan IMO Minyak Berat (Heavy Fuel Oil—HFO) *Low Heating Value* (LHV) sebesar 40.200 kJ/kg dan bahan bakar yang dikonsumsi (misalnya *Marine Diesel Oil* – MDO) yang memiliki LHV 42.700 kJ/kg). Namun, untuk Ricardo's dan laporan ini, energi pelayaran yang diminta dinyatakan dalam MWh. Untuk mencapai hal ini, satuan HFO_{eq} perlu dikonversi ke kJ menggunakan HFO LHV untuk kemudian mengubah energi per jam yang diminta menjadi MWh²⁹.

Konsumsi bahan bakar tahunan, permintaan energi dan emisi menurut jenis dan ukuran kapal (atau pelayaran secara keseluruhan) adalah agregasi dari setiap pengamatan per jam dalam tahun yang diamati (yaitu, tahun 2018 untuk laporan ini).

Jaminan kualitas dan kontrol resume

Upaya penjaminan mutu (QA) dan pengendalian mutu (QC) yang komprehensif dilakukan untuk memastikan keakuratan input, metode, dan hasil studi *bottom-up*. Analisis ketidakpastian Monte Carlo mutakhir yang diterapkan dalam Studi GRK IMO Ketiga direplikasi dalam Studi Keempat dan digunakan untuk menunjukkan bahwa ketidakpastian telah turun dari hampir sepertiga pada 2012 menjadi kurang dari 10% pada 2018. Ketidakpastian ini diperkirakan akan terus menurun karena cakupan keseluruhan data AIS akan meningkat. Secara keseluruhan, perbedaan angka konsumsi bahan bakar total tahun 2012 hanya menyimpang 3% dari Studi GRK IMO Ketiga, yang menunjukkan kualitas dan koherensi metodologi yang terkandung dalam keduanya. Dari tiga jenis kapal yang bertanggung jawab atas hampir dua pertiga dari total emisi CO₂ internasional selama 2018, terdapat deviasi maksimum sebesar 6% antara emisi CO₂ yang diperkirakan dalam Studi GRK IMO Keempat dan yang disajikan dalam skema MRV UE [208]. Selanjutnya, data pemantauan menerus digunakan untuk memvalidasi kecepatan model, model mesin utama

26 FE dinyatakan sebagai emisi *tank-to-wake*, yang mengukur emisi yang dihasilkan oleh sistem *onboard*. Hal ini tidak mempertimbangkan emisi hulu yang dihasilkan karena ekstraksi, produksi, dan distribusi bahan bakar.

27 Penjelasan lebih spesifik tentang FE dapat ditemukan di subbagian Studi GRK Keempat *Faktor Emisi* atau Lampiran B dan M.

28 Untuk CH₄ angkanya adalah 28 dan untuk N₂O 265.

29 Faktor konversi: 1 kJ setara 2,78x10⁻⁷ MWh.

dan mesin bantu dengan korelasi yang baik pada kecepatan, draf, tenaga mesin utama dan konsumsi bahan bakar dengan ketidakpastian terbesar pada model mesin tambahan, karena asumsi pembangkitan daya yang konstan untuk moda operasional berbeda untuk semua jenis kapal.

Langkah II: Pelayaran dan lokasi geografisnya

Penambahan proses identifikasi perhentian memungkinkan data AIS menerus mewakili aktivitas kapal sebagai pelayaran terpisah. Algoritma menarik data emisi dengan stempel waktu yang berada di antara waktu mulai dan waktu akhir perjalanan tertentu. Data emisi terkait pelayaran di mana kapal berangkat dari pelabuhan Indonesia dan tiba di pelabuhan tujuan internasional digunakan untuk merumuskan inventori keberangkatan internasional. Jika suatu pelayaran berasal dari pelabuhan negara lain dan tiba di pelabuhan Indonesia, emisi terkait perjalanan ini ditambahkan ke inventori kedatangan internasional. Jika pelabuhan asal maupun tujuan berada di Indonesia, emisi pelayaran dialokasikan ke inventori domestik, sedangkan emisi pelayaran yang tidak memiliki interaksi dengan pelabuhan Indonesia tetap tidak digunakan pada pendekatan pelayaran.

Saat menjumlah keberangkatan dan kedatangan internasional dengan kegiatan domestik, ada dua catatan penting:

- Tidak semua kapal yang tiba atau berangkat dari Indonesia dibongkar atau dimuat seluruhnya, yang berarti bahwa sebagian dari muatan yang terdapat di dalam kapal tertentu – dan alasan utama kapal berlayar – tidak menjadikan Indonesia sebagai tujuan akhir atau asalnya.
- Melakukan perjalanan pertama atau terakhir tidak berarti bahwa muatan yang datang atau berangkat dari Indonesia dimuat penuh di pelabuhan terakhir sebelum tiba di Indonesia atau diturunkan seluruhnya di pelabuhan pertama setelah meninggalkan Indonesia. Memang, jenis kapal yang berbeda cenderung berlayar menyinggahi beberapa pelabuhan (*multiport*).

Namun, penggabungan berbagai pendekatan ini memungkinkan penggambaran yang lebih lengkap tentang bagaimana aktivitas pelayaran dari, ke dan di dalam Indonesia terjadi dan menunjukkan peran penting Indonesia dalam transisi sektor transportasi ini. Untuk pendekatan inventori emisi dengan *geofencing*, lokasi geografis dari semua kegiatan untuk seluruh 72.000 kapal yang terdapat dalam kumpulan data 2018 diperiksa posisinya dalam kaitannya dengan Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) nasional dan radius di sekitar kota pelabuhan. Menggunakan *shapefile* yang disediakan oleh Flanders Marine Institute [41] untuk pendekatan ZEE, data emisi terkait aktivitas yang termasuk dalam wilayah tersebut dikumpulkan untuk menyusun inventori *geofencing*, sementara data di luarnya tidak disertakan (lihat Gambar 19). Metode serupa telah diterapkan dalam analisis emisi lokal dari wilayah pelabuhan di mana koordinat geografis setiap pelabuhan digunakan untuk menghasilkan area sekitar dengan radius 100 km dari pusat pelabuhan menggunakan piranti lunak Sistem Informasi Geografis. Dengan menggabungkan data aktivitas per jam yang terjadi di area terdekat di sekitar setiap pelabuhan, indikasi paparan populasi lokal terhadap polutan yang timbul dari aktivitas kapal dapat dihasilkan. Hasil metode tersebut dirangkum di Gambar 10, yang hanya menggunakan aktivitas kapal yang terrekam dalam jarak 100 km dari setiap pelabuhan.

Gambar 19: Poligon yang mewakili poligon ZEE Indonesia dan aktivitas pelayaran di dalamnya selama 2018.



Jaminan kualitas dan kontrol

Setelah mendapatkan hasil yang lengkap dengan menggunakan metodologi berbasis kegiatan Studi GRK Keempat IMO untuk menghitung emisi, sumber kesalahan yang tersisa terbatas pada metode ekstraksi data yang digunakan untuk mengakses hasil studi dan agregasi seperti yang dijelaskan sebelumnya. Hasil ini diringkas dalam Tabel 7 dengan QA dan QC-nya masing-masing untuk meminimalkan dampaknya.

Tabel 7: Potensi sumber kesalahan dalam SGM untuk Indonesia.

Semua pemeriksaan diselesaikan tanpa ada kesalahan yang terdeteksi, dan ini menunjukkan keandalan SGM untuk Indonesia yang disajikan di bagian utama laporan.

Metode Inventarisasi	Potensi Masalah Teridentifikasi	Prosedur QA/QC
Berbasis pelayaran	Ketidakkuratan dalam menyalin data dari Studi GRK IMO Keempat	Pilih 10 baris secara acak dan validasi data yang dipilih
Berbasis pelayaran	Penyertaan data di luar rentang waktu perjalanan	Pilih 10 perjalanan secara acak dan validasi waktu awal dan akhir perjalanan
<i>Geofenced</i>	Ketidakkuratan menyalin data dari Studi GRK IMO Keempat	Pilih 10 baris secara acak dan validasi data yang dipilih
<i>Geofenced</i>	Penyertaan data di luar ZEE	Ambil sampel 10.000 lokasi kejadian per jam terhadap poligon geografis

Inventori GRK nasional Indonesia

Pada skala nasional, terdapat berbagai metode untuk menghasilkan inventori emisi maritim nasional. Pedoman internasional saat ini fokus pada penggabungan faktor emisi yang telah ditetapkan dengan angka konsumsi bahan bakar untuk mendapatkan perkiraan emisi GRK dan polutan udara. Ketika tidak ada kerangka IMO yang konkret untuk menetapkan emisi nasional, Pendekatan Referensi IPCC menawarkan salah satu metode yang memanfaatkan data pasokan energi yang tersedia.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia mengoordinasikan emisi GRK Indonesia melalui penyusunan Inventori Gas Rumah Kaca Nasional [35]. Inventori ini mengikuti Pedoman IPCC 2006. Informasi yang diberikan pada masing-masing subbagian berikut didasarkan pada informasi yang diberikan dalam Laporan Pemutakhiran Dwi-tahunan ketiga Indonesia [35], Direktorat Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Pengukuran Pelaporan dan Verifikasi [40], Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional: Buku I, Pedoman Umum [209], Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Jilid 1 [210], dan Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2020 [39].

Informasi lebih lanjut tentang Pedoman IPCC 2006 yang digunakan pemerintah Indonesia untuk mempersiapkan inventornya disajikan di bawah ini.

Pedoman IPCC 2006: Tinjauan singkat

Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim dalam Pedoman IPCC 2006 untuk Inventori GRK Nasional untuk sektor Energi dan di Bab 3 menetapkan kerangka praktik yang baik untuk kuantifikasi emisi GRK dan polutan udara yang dihasilkan dari pembakaran bergerak. Pedoman untuk pelayaran disertakan, mencakup emisi yang dihasilkan dari semua bentuk transportasi air (internasional dan domestik), penangkapan ikan, militer, dan operasi multilateral [37]. Untuk pelayaran, GRK yang diperhitungkan adalah CO₂, CH₄ dan N₂O.

Metode

Ada dua tingkatan (1 dan 2) untuk evaluasi emisi GRK untuk pelayaran. Kedua tingkatan ini menerapkan faktor emisi ke angka konsumsi bahan bakar secara independen di semua jenis bahan bakar dan kapal transportasi.

Tingkat 1 adalah pendekatan paling sederhana yang dapat menggunakan nilai *default* atau nilai spesifik negara. FE bersifat spesifik sesuai jenis bahan bakar untuk data yang dimiliki suatu negara. Untuk memperkirakan emisi GRK tahunan, perlu mengalikan data bahan bakar – menurut jenis bahan bakar – dengan FE yang sesuai.

Perbedaan dengan pendekatan Tingkat 2 adalah bahwa emisi GRK tahunan perlu lebih spesifik dengan menambahkan moda klasifikasi (misalnya kapal pengarung samudera) dan, jika tersedia, jenis mesin. Selanjutnya, jika Indonesia dapat mengakses data pergerakan kapal, direkomendasikan untuk mengikuti pedoman dari buku panduan inventori emisi EMEP/CORINAIR [211]. Referensi ini direkomendasikan untuk memperkirakan FE untuk NO_x, CO dan NMVOC di kedua pendekatan.

Untuk kedua tingkatan, kategori pelayaran dibagi menjadi empat kelas:

1. *Navigasi Perairan*, yang dapat dibagi lebih lanjut menjadi pelayaran domestik dan internasional berdasarkan keberangkatan dan kedatangan pelabuhan.
2. *Penangkap ikan*. Dalam kategori ini semua emisi dari kapal penangkap ikan yang telah mengisi bahan bakar di dalam negeri perlu dipertimbangkan.
3. *Emisi Bergerak*. Semua emisi lain dari pelayaran yang tidak tercakup di atas [misalnya militer].
4. *Operasi Multilateral*. Emisi yang dihasilkan dalam operasi multilateral (misalnya bahan bakar dikirim ke militer di suatu negara dan dikirim ke militer negara lain).

Emisi *fugitive* dari transportasi dinyatakan dalam kategori "Emisi *fugitive*", namun dianggap dapat diabaikan ketika kapal sedang berlayar.

Laporan inventori GRK Indonesia untuk estimasi emisi perairan dari CO₂, CH₄ dan N₂O menggunakan pendekatan Tingkat 1 [210].

Faktor emisi

Pedoman memberikan FE CO₂ kisaran nilai yang dapat diterima tergantung pada jenis bahan bakar. Pedoman tersebut mengakui 10 jenis bahan bakar untuk transportasi air. Namun, metodologi Indonesia hanya menggunakan enam dari 10 bahan bakar untuk FE CO₂ [210].

Untuk FE CH₄ dan N₂O di bawah metode Tingkat 1, nilainya masing-masing 7 kg/TJ dan 2 kg/TJ. Namun, faktor-faktor ini diambil dari HFO yang dikonsumsi mesin diesel (kecepatan mesin tidak disebutkan), dan oleh karena itu memiliki rekomendasi variasi yang besar (yaitu ±50% untuk CH₄ dan dari -40% hingga 140% untuk N₂O).

Untuk pendekatan Tingkat 2, FE sedapat mungkin harus didasarkan pada pengujian bahan bakar dan mesin pembakaran suatu negara, dan ini harus dicatat sesuai buku panduan inventori emisi EMEP/CORINAIR.

Dalam kasus FE transportasi air, Indonesia menggunakan nilai *default* yang direkomendasikan oleh pendekatan IPCC Tingkat 1.

Pemilihan data aktivitas

Pedoman IPCC menawarkan berbagai sumber data untuk mendapatkan perkiraan bahan bakar yang digunakan untuk aktivitas air dan tujuan penggunaan (misalnya, pelayaran domestik atau internasional). Namun, pemilihan kumpulan data tergantung pada negara dan kondisinya masing-masing yang diakui memberi hasil dengan keakuratan yang berbeda. Daftar IPCC menyarankan, antara lain, statistik energi Nasional, survei pemasok bahan bakar (yaitu penjualan bahan bakar), otoritas kelautan dan perusahaan perikanan sampai basis data IMO dan data pergerakan kapal Lloyd's Register. Pedoman tersebut mengakui bahwa untuk mendapatkan resolusi data yang lebih baik dari bahan bakar yang digunakan, inventori akan membutuhkan kombinasi basis data yang direkomendasikan.

Pedoman tersebut mengakui bahwa ada berbagai jenis mesin dan bahan bakar yang digunakan di atas kapal tertentu, namun menyatakan bahwa granularitas yang serinci ini sulit diperoleh. Untuk mengatasi hal tersebut, pedoman memberikan statistik umum konsumsi bahan bakar rata-rata dalam persentase per jenis mesin (yaitu mesin utama atau bantu) dan jenis kapal. Selain itu, bab ini memberikan

konsumsi bahan bakar harian rata-rata dan regresi linear untuk mengestimasi konsumsi bahan bakar pada daya penuh (yaitu 100% Maximum Continuous Rating (MCR) suatu mesin) terhadap Tonase Kotor kapal. Ini diberikan untuk 13 jenis kapal yang berbeda.

Data kategori emisi maritim domestik Indonesia disediakan oleh Buku Pegangan Statistik Energi dan Ekonomi Indonesia periode 2010-2020 [39]. Laporan tersebut menggunakan penjualan bahan bakar selama periode ini untuk menetapkan permintaan energi sektor maritim. Penjualan bahan bakar nasional diagregasi berdasarkan jenis bahan bakar per sektor energi dan kemudian diterjemahkan ke dalam kategori IPCC 2006 [40].

Kelengkapan dan ketidakpastian

Pedoman bergantung pada kapasitas negara untuk menghitung bahan bakar yang dikonsumsi pelayaran. Sumber kemungkinan estimasi tidak lengkap bahan bakar yang digunakan dan emisi adalah:

- Kesalahan alokasi emisi pelayaran ke dalam kategori sumber lain.
- Ketika data militer bersifat rahasia.
- Kesalahan alokasi antara pelayaran domestik dan internasional.

Dalam pedoman ini, sulit membedakan antara pelayaran domestik dan internasional sebagai sumber ketidakpastian utama dalam membangun inventori emisi perairan. Untuk data survei yang lengkap perkiraan ketidakpastiannya diasumsikan $\pm 5\%$, sedangkan untuk yang tidak lengkap bisa mencapai $\pm 50\%$. Walau demikian, ketidakpastian antar negara bisa jauh lebih besar. Namun, dengan meningkatnya ketersediaan data, seperti dalam kasus data AIS, tingkat ketidakpastian untuk sektor ini akan berkurang.

Laporan Inventori GRK Nasional Indonesia 2019 menyebutkan bahwa estimasi ketidakpastian untuk keseluruhan inventori adalah 13,8% jika tidak mempertimbangkan kategori Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya, dan meningkat menjadi 19,9% jika kategori tersebut dipertimbangkan [35]. Dicatat bahwa tingkat ketidakpastian laporan sejak tahun 2000 tetap sama. Penting untuk diperhatikan bahwa analisis ketidakpastian hanya ditampilkan untuk inventori GRK total dan tidak untuk subkategori dan faktor emisi.

Jaminan dan kontrol kualitas

Pedoman merekomendasikan empat pendekatan berbeda untuk memastikan QA dan QC dari inventori emisi perairan. Namun hal ini akan bergantung pada kapasitas negara untuk mengambil langkah-langkah berikut:

1. Bandingkan emisi menggunakan pendekatan alternatif,
2. Ulasan tentang EF.
3. QA dan QC data aktivitas penggunaan bahan bakar.
4. Peninjauan eksternal.

Untuk inventori emisi Indonesia, QA dan QC dijelaskan secara luas dalam laporan kebijakan kualitas inventori [209]. Laporan tersebut menetapkan pedoman untuk merevisi kualitas data yang diperkirakan, laporan yang dihasilkan dan komunikasi kepada publik dan khalayak khusus.

Pelaporan

Emisi perairan dilaporkan dalam kategori yang berbeda tergantung pada aktivitas yang dilakukan kapal:

1. *Navigasi Perairan*. Navigasi domestik dilaporkan dan diperhitungkan dalam inventori GRK nasional. Navigasi internasional dilaporkan secara terpisah dan tidak diperhitungkan dalam inventori GRK nasional
2. *Penangkapan Ikan*. Dilaporkan di bawah kategori *Pertanian/Kehutanan/ Penangkapan Ikan* di kelas Energi.
3. *Emisi Bergerak*. Khusus untuk militer harus disajikan untuk kepentingan transparansi.
4. *Operasi Multilateral*. Tidak disebutkan bagaimana melaporkannya.

Pedoman IPCC merekomendasikan sebagai praktik yang baik untuk menyajikan sumber bahan bakar dan data lain yang digunakan, metode untuk membedakan pelayaran domestik dan internasional, faktor emisi yang digunakan, dan referensi terkaitnya, serta analisis ketidakpastian atau sensitivitas data dan asumsi yang diambil.



Perbandingan inventori emisi

Estimasi emisi GRK per sektor mendukung proses kebijakan dan pengambilan keputusan untuk tanggapan mitigasi yang layak dari pemerintah yang sejalan dengan UNFCCC dan Protokol Kyoto serta tujuan Perjanjian Paris. Pedoman IPCC membantu negara-negara menghasilkan inventori yang transparan, lengkap, komparabel, dan konsisten dari waktu ke waktu yang tidak melebihi atau mengurangi estimasi emisi GRK nasional.

SGM yang dikembangkan dalam laporan ini memberikan pendekatan baru untuk memperkirakan secara komprehensif emisi GRK maritim dan polusi udara dari negara mana pun. Secara umum, SGM untuk Indonesia dan Inventori GRK Nasional Indonesia perlu dilihat sebagai saling melengkapi. Inventori GRK Nasional Indonesia menangkap interaksi kompleks antara kegiatan ekonomi, masyarakat, dan lingkungan. Menyeimbangkan tingkat granularitas antar kategori karena ketersediaan data, pemodelan, kapasitas, dan akses statistik adalah upaya kompleks yang bertujuan untuk membangun gambaran lengkap negara secara transparan. Di sisi lain, inventori emisi yang disajikan dalam laporan ini yang didasarkan pada Studi GRK IMO Keempat mempertimbangkan secara rinci perbedaan spasial dan teknologi sektor maritim selama tahun 2018. Selanjutnya, laporan ini mengusulkan empat metodologi untuk menggabungkan data yang relevan dengan Indonesia untuk menajaki implikasi pelayaran ke, dari dan di dalam negeri, dan menetapkan perannya dalam transisi sektor maritim.

Perbedaan antara estimasi GRK bersumber dari cara pelaporannya; granularitas basis data bahan bakar yang digunakan; bagaimana data diagregasi; asumsi yang diambil; dan bahwa GRK IMO Keempat tidak mempertimbangkan kapal di bawah 100 tonase kotor, mengecualikan armada kapal kecil³⁰ yang cenderung merupakan aktivitas utama di perairan nasional dan memiliki relevansi tinggi untuk aktivitas maritim Indonesia, seperti yang terlihat pada Tabel 2. Karena itu, hasil SGM dianggap cenderung konservatif.

Namun, beberapa elemen antara pendekatan inventori umum dapat diperbandingkan untuk memahami penyebab utama antara perbedaan kedua inventaris, yang untuk *Navigasi Perairan* – tanpa memperhitungkan aktivitas penangkapan ikan – adalah 7.676,77 kt CO₂e.

³⁰ Biasanya, dengan panjang tidak lebih dari 25 m tergantung pada konstruksi kapal.

Faktor emisi

Seperti yang dilaporkan oleh Inventori GRK Nasional Indonesia untuk *Navigasi Perairan*, FE Tingkat 1 *default* digunakan untuk CO₂, CH₄ dan N₂O. Penting untuk disebutkan bahwa FE metanol tidak disajikan dalam subbagian ini karena merupakan bahan bakar yang tidak dipertimbangkan oleh Pedoman IPCC 2006 untuk navigasi perairan.

Karbon dioksida

Tabel 8 menyajikan FE CO₂ yang digunakan dalam Inventori GRK Nasional Indonesia dan dalam SGM yang diambil dari Kajian GRK IMO Keempat. Setelah pembagian dengan nilai kalor rendah dan konversi ke unit yang sama, persentase perbedaan antara FE CO₂ yang disajikan dalam dua dokumen telah dievaluasi dengan perbedaan -0,02% untuk HFO, -1,33% untuk MDO³¹ dan 1,96% untuk gas alam cair (LNG). Penggunaan faktor emisi serupa penting untuk kuantifikasi akurat pembangkitan GRK dan memberikan keyakinan bahwa hasil yang diperoleh dalam SGM untuk menghasilkan inventori emisi yang disajikan andal dan representatif.

Tabel 8: Perbandingan faktor emisi CO₂ yang digunakan dalam SGM dan nilai yang digunakan oleh inventori GRK Indonesia untuk Pelayaran (Water-Borne Navigation) berdasarkan nilai IPCC 2006 [192].

Bahan bakar	FE SGM kg CO ₂ /kg bahan bakar)	FE SGM yang dikonversi dalam unit yang selaras dengan IPCC (kg CO ₂ /TJ)	FE Default IPCC 2006 (kg CO ₂ /TJ)	Selisih (%)
HFO	3.114	77,463	77,400	-0.02
MDO	3.206	75,082	74,100	-1.33
LNG	2.750	55,000	56,100	1.96

Metana

GRK IMO Keempat, dan karenanya SGM, mengakui bahwa emisi metana berbeda dari bahan bakar, teknologi mesin dan pemuatan mesin yang berbeda, sehingga memberikan kisaran nilai yang lebar. Inventori Nasional GRK Indonesia mengikuti nilai *default* untuk FE metana yang direkomendasikan oleh Pedoman IPCC 2006. FE ini dinyatakan sebagai kisaran, tetapi lebih kecil untuk SGM. Oleh karena itu, FE metana akan diberikan dalam kisaran untuk mempertimbangkan semua FE metana (lihat Tabel 9).

31. Faktor karbon MDO dilaporkan sebagai Solar karena memiliki nilai yang sama seperti yang direkomendasikan oleh Pedoman IPCC (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012b).

Tabel 9: Perbandingan faktor emisi CH₄ yang terkandung dalam SGM dan Pedoman Inventori GRK Nasional 2006 IPCC. Penting untuk disebutkan bahwa FE SGM CH₄ diberikan untuk beban mesin sesuai desain (yaitu 75% dari MCR).

FE SGM (g CH ₄ /kWh)	FE SGM yang dikonversi dalam unit yang selaras dengan IPCC (kg CH ₄ /TJ)	FE Default IPCC 2006 (kg CH ₄ /TJ)
0.002 - 5.500	0.560 - 1,527.780	3.500 - 10.500

Perbedaan besar yang terlihat pada FE di atas berkaitan dengan dua alasan utama:

1. FE CH₄ yang digunakan dalam pedoman IPCC 2006 didasarkan pada angka yang diberikan oleh Lloyd's Register [212] hanya untuk mesin diesel yang menggunakan HFO, sedangkan Studi GRK IMO Keempat mencakup rentang mesin dan bahan bakar yang lebih luas. Biasanya, mesin diesel cenderung ditempatkan di ujung bawah skala FE CH₄. Untuk Studi GRK IMO Keempat, mesin diesel yang menggunakan HFO akan memiliki FE 2,8 kg CH₄/TJ. Namun, ada perbedaan 20% antara FE – menggunakan nilai terendah yang diberikan oleh IPCC. Perbedaan ini mungkin karena usia literatur yang digunakan untuk Pedoman IPCC 2006. Dalam 30 tahun terakhir, mesin diesel maritim telah semakin baik dengan efisiensi pembakaran yang lebih baik berkat penerapan sistem penggerak injeksi bahan bakar dan gas buang [213].
2. Penggunaan LNG sebagai bahan bakar untuk pelayaran sudah ada sejak LNG diangkut dengan kapal. Namun di masa lalu, kapal jenis ini menggunakan gas didihan (*boil-off*) dari tangki untuk membakarnya di dalam *boiler* untuk menghasilkan uap yang kemudian menggerakkan turbin uap kapal. Namun, sejak 2010 LNG sebagai bahan bakar sudah mulai masuk ke pasar maritim untuk semua jenis dan ukuran kapal. Gas alam sebagian besar terdiri dari CH₄ dan ketika diinjeksi ke mesin pembakaran internal, sebagian mungkin tidak terbakar, sehingga meningkatkan emisi GRK ini. Tergantung pada teknologi mesin LNG, FE CH₄ dapat berkisar antara 55,56 dan 1,574,78 kg CH₄/TJ.

Jika LNG menjadi bahan bakar yang lebih menonjol di sektor pelayaran, penting untuk memperbarui FE CH₄ IPCC 2006 untuk memperhitungkan GRK yang sangat kuat ini.

Perbedaan kecil lainnya adalah bahwa GWP₁₀₀ untuk CH₄ yang digunakan oleh Inventori GRK Nasional Indonesia adalah 21 [40], bukan 28 yang digunakan oleh SGM berdasarkan Laporan Penilaian Kelima IPCC [214].

Oksida nitrogen

Tabel 10 menyajikan FE N₂O yang digunakan dalam Inventori GRK Nasional Indonesia – dinyatakan sebagai kisaran dan berdasarkan Pedoman IPCC 2006 – dan yang diturunkan dari Studi GRK IMO Keempat yang digunakan untuk SGM. Satu perbedaan penting dari FE IMO adalah bahwa ia mengakui perubahan FE karena beban mesin – terutama beban di bawah 20% MCR, teknologi mesin, dan bahan bakar.

Tabel 10: Perbandingan FE yang terdapat dalam SGM dan Pedoman Inventori GRK Nasional 2006 IPCC. Penting untuk disebutkan bahwa FE SGM N₂O dinyatakan untuk beban mesin sesuai desain (yaitu 75% dari MCR).

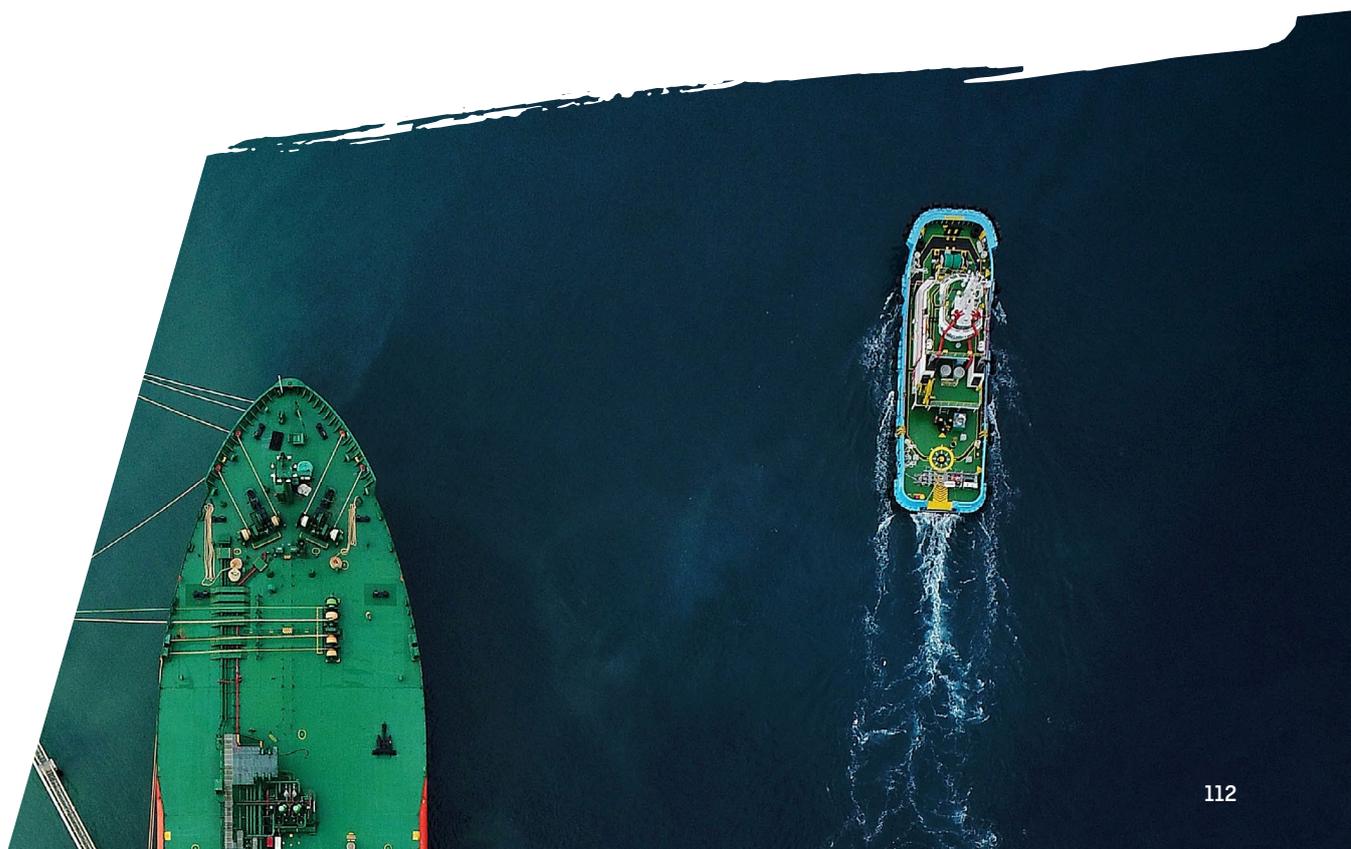
SGM EF (g N ₂ O/kWh)	FE SGM yang dikonversi dalam unit yang selaras dengan IPCC (kg N ₂ O/TJ)	FE Default IPCC 2006 (kg N ₂ O /TJ)
0.02 – 0.05	5.56 – 13.11	1.2 – 4.8

Perbedaan FE N₂O signifikan antara kedua pendekatan. Kemungkinan alasan untuk perbedaan ini bisa datang dari pemahaman yang lebih baik dalam tiga dekade terakhir tentang pembentukan N₂O dalam mesin diesel tradisional. Yoo dkk. [215] menunjukkan dalam studi eksperimental mereka di atas kapal yang mengonsumsi MDO bahwa FE N₂O berkisar antara 0,03 dan 0,07 g N₂O/kWh. FE N₂O tertinggi dari GRK IMO Keempat berasal dari turbin gas dan uap.

Seperti CH₄, GWP₁₀₀ N₂O yang digunakan Inventori GRK Nasional Indonesia berbeda dengan rekomendasi IPCC terbaru, yaitu menggunakan GWP₁₀₀ dari 310 [40] bukan 265 yang digunakan oleh SGM [214].

Karbon hitam

Pedoman IPCC 2006 tidak memperhitungkan karbon hitam sebagai GRK, sedangkan SGM setelah Studi IMO GRK Keempat menganggapnya dengan GWP₁₀₀ 900 [8][42]. Untuk semua inventori emisi tahunan yang dihasilkan SGM, karbon hitam termasuk di antara GRK maritim paling kuat kedua, yakni sekitar 9,5% dari total CO₂e untuk pelayaran domestik Indonesia.



Analisis sensitivitas

Bagian ini bertujuan untuk memperkirakan dampak inventori GRK akibat perbedaan FE yang digunakan antara inventori GRK Indonesia dan SGM untuk Indonesia. Untuk melakukan itu, analisis ini menggunakan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi pelayaran domestik pada 2018 – selain penangkapan ikan – dari SGM. Selanjutnya, Inventori Nasional Indonesia 2018 [40] akan digunakan sebagai pengganti yang dilaporkan (yaitu untuk tahun 2019) dalam Komunikasi ketiga Indonesia kepada UNFCCC [35] untuk menghindari melakukan transformasi data spasial yang dapat membawa ketidakpastian dalam perhitungan.

Indonesia melaporkan untuk kategori Navigasi Perairan (*Water-Borne Navigation*) domestik total 108 kt CO₂e untuk 2018, sementara SGM memperkirakan 7.677 kt CO₂e, yakni selisih -7.569 kt CO₂e.

Perkiraan konsumsi bahan bakar tahunan selama 2018 dari SGM untuk kegiatan domestik Indonesia – tidak termasuk penangkapan ikan – adalah 1.219,23 kt HFO, 911,75 kt MDO dan 44,17 kt LNG. Mengubah konsumsi bahan bakar ini menjadi energi menggunakan LHV bahan bakar³² menghasilkan 49.013,05 TJ untuk HFO, 38.931,73 TJ untuk MDO dan 2.120,16 TJ untuk LNG. Dengan menggunakan Nilai Inventori GRK Nasional Indonesia, FE CO₂ dan nilai FE menengah untuk CH₄ dan N₂O dari pedoman IPCC 2006 (dan tidak menghitung karbon hitam sebagai GRK), dan nilai GWP100 terbaru dari IPCC, emisi GRK tahunan dari pelayaran domestik adalah 6.797,39 kt CO₂, 0,63 kt CH₄ dan 0,27 kt N₂O. Mengubah besaran ini menjadi CO₂e menghasilkan total 6.886,65 kt CO₂e. Ini berbeda dengan proyeksi emisi GRK tahunan Indonesia pada 2018 sebesar 6.886,54 kt CO₂e, dan hanya -0,88% terhadap estimasi SGM tanpa memperhitungkan pengaruh karbon hitam sebagai GRK (yaitu 729,00 kt CO₂e). Jika menggunakan analisis dengan GWP100 yang digunakan Indonesia, selisih antara hasil tersebut adalah sebesar -0,76%.

Dari analisis sebelumnya dapat dikatakan bahwa akar penyebab utama perbedaan Inventori GRK Nasional dan inventori GRK SGM adalah:

- Sumber data *konsumsi bahan bakar navigasi perairan* pada Inventori Nasional berasal dari Buku Pegangan Statistik Energi dan Ekonomi Indonesia [39] yang untuk sektor maritim didasarkan pada penjualan bahan bakar tahunan [40].
- Data Inventori Nasional berdasarkan penjualan bahan bakar ke pelayaran internasional dan metode berbasis aktivitas juga memiliki perbedaan yang dapat dijelaskan. Penjualan bahan bakar hanya dicatat jika sebuah kapal melakukan bunkering (mengambil bahan bakar) di Indonesia. Dalam praktiknya, kapal yang singgah di Indonesia mungkin tidak perlu melakukan bunkering (beberapa kapal memiliki cadangan bahan bakar hingga tiga bulan sehingga tidak melakukan pengisian bahan bakar setiap kali berlayar) dan akan membeli bahan bakar di Indonesia hanya jika harganya bersaing dengan bahan bakar yang tersedia di pelabuhan lain. SGM merekam semua aktivitas pelayaran terlepas apakah terkait dengan pembelian bahan bakar atau tidak. Statistik yang diperkirakan di sini menunjukkan bahwa hanya sebagian dari bahan bakar yang terkait dengan aktivitas pelayaran Indonesia yang dibeli di Indonesia, sehingga metode berbasis aktivitas sangat membantu untuk memberikan perkiraan pasar penjualan bunker potensial – jika Indonesia ingin memperluas peluangnya, terutama untuk SZEK.

32 Untuk HFO, LHV yang digunakan adalah 40,2 TJ/kt, untuk MDO 42,7 TJ/kt, dan untuk LNG 48,0 TJ/kt [Faber et al., 2020].

- Metode yang digunakan dalam SGM adalah metode berbasis aktivitas sehingga termasuk emisi dari pelayaran domestik kapal internasional (misalnya dari satu pelabuhan Indonesia ke pelabuhan lain) yang tidak akan tercakup dalam statistik penjualan bahan bakar untuk keperluan domestik. Ketidaksesuaian GRK saat menghitung dengan kedua metode tersebut merupakan hal yang umum dan juga terjadi di negara lain (misalnya Inggris) yang telah beralih menggunakan metode berbasis aktivitas [43].
- Namun, basis data penjualan bahan bakar dapat menangkap bahan bakar yang dikonsumsi armada kapal kecil yang cenderung tidak memiliki sistem pelacakan di atas kapal (misalnya transponder AIS). Dalam kasus Indonesia, karena kebutuhan energinya, segmen ini memiliki peran yang relevan dan penting dalam emisi maritim nasional. Ini merupakan keterbatasan dari SGM, tetapi menunjukkan bahwa hasil SGM pada GRK pelayaran domestik dan polusi udara cenderung merupakan perkiraan yang konservatif.
- Sementara perbedaan FE besar antara CH_4 dan N_2O , kedua senyawa ini menyumbang sebagian kecil dari total emisi GRK. Penyumbang terbesar adalah CO_2 , yaitu 98,5% dari emisi GRK SGM 2018 – tanpa memperhitungkan karbon hitam sebagai GRK – dan FE CO_2 untuk HFO MDO dan LNG memiliki perbedaan masing-masing sebesar -0,02%, -1,33% dan 1,96% terhadap FE yang direkomendasikan IPCC. Ini menjelaskan sebagian besar perbedaan -0,88% yang diamati saat membandingkan FE kedua inventori menggunakan konsumsi bahan bakar SGM 2018, dan GWP_{100} yang direkomendasikan IPCC.
- Selisih antara GWP_{100} CH_4 dan N_2O yang digunakan dalam SGM dan Inventori Nasional Indonesia bertanggung jawab atas variasi -0,11% total emisi GRK. Walaupun perbedaan nilai GWP_{100} signifikan, dampaknya terhadap emisi GRK pelayaran domestik adalah kecil karena senyawa-senyawa ini merupakan sebagian kecil dari total, seperti dijelaskan di atas.
- SGM menganggap karbon hitam sebagai GRK yang merupakan gas yang paling berdampak dalam kuantifikasi total GRK setelah CO_2 . Namun GRK ini hanya memiliki pengaruh 9,5% – sekitar 730 kt CO_2e – terhadap total emisi GRK domestik tahun 2018. Akan tetapi, SGM dianggap berada pada spektrum konservatif untuk emisi GRK nasional.

Tes lebih lanjut dengan hasil SGM tidak dapat dilakukan karena Inventori Nasional Indonesia mungkin menggabungkan armada perikanan domestik ke dalam *Non-Specified and International maritime*, yang tidak dinyatakan.

Pembaca yang tertarik dapat melihat rincian lebih lanjut tentang data aktivitas maritim laporan ini di Faber et al. [8] subbagian 2.2.2 – 2.2.4 dengan perbaikan-perbaikan umum dalam Lampiran A.

Sumber ketidakpastian dalam analisis sensitivitas singkat ini adalah LHV bahan bakar yang digunakan karena pedoman IPCC 2006 tidak memberikan nilai-nilai ini untuk bahan bakar maritim. Namun, hal ini diperkirakan berdampak minimal pada inventori GRK tahunan.

About the Getting to Zero Coalition

The Getting to Zero Coalition is an industry-led platform for collaboration that brings together leading stakeholders from across the maritime and fuels value chains with the financial sector and other committed to making commercially viable zero emission vessels a scalable reality by 2030.

Learn more at:

www.globalmaritimeforum.org/getting-to-zero-coalition

2022 All rights reserved

