

Studi Literatur Pengoperasian Hemat Bahan Bakar untuk Rencana Pengelolaan Kapal Hemat Energi

MUHAMMAD ARIF BUDIYANTO, IVAN DEWANDA DAWANGI

ABSTRACT

Penelitian ini mengkaji beberapa literatur mengenai pengoperasian hemat bahan bakar untuk di aplikasikan pada pengembangan pelayaran ramah lingkungan baik di kapal maupun di pelabuhan. Penelitian dilakukan menggunakan metode tinjauan literature yang diselesaikan melalui siklus berulang mendefinisikan kata kunci pencarian yang sesuai, mencari literatur dan menyelesaikan analisis. Tahapan penelitian ini dimulai dari memilih topik yang akan ditinjau kemudian melacak dan memilih artikel yang relevan dan melakukan analisa serta sintesis literature. Hasil dari tiga jenis metode yang telah dikaji yaitu pelatihan kemampuan operator kapal, *voyage optimization*, dan *cold ironing* didapat factor yang mempengaruhi masing-masing metode berikut pengembangan yang dapat dilakukan kedepannya dan diaplikasikan pada pelabuhan Indonesia serta kemungkinan keuntungan implementasi pada pelabuhan berukuran sedang hingga kecil.

Keywords: hemat bahan bakar, kapal, pelabuhan

1. PENDAHULUAN

Pengembangan usaha operasi pelayaran yang ramah lingkungan masih merupakan tantangan yang cukup besar bagi negara berkembang karena kurangnya perhatian, sementara itu bertambahnya kegiatan perkapalan terutama pengantaran cargo berarti semakin bertambah juga emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan perkapalan (Budyanto, Huzaif, & Juanda Sirait). Konsumsi bahan bakar kapal dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti peraturan mengenai daerah pengendalian emisi, alokasi tempat berlabuh, cuaca dan kondisi hidrologi yang tidak teratur, harga bahan bakar, waktu pelayaran, dan kecepatan pelayaran (Yu, Fang, Liu, & Chen).

Di antara praktik yang tersedia, fuel efficient operation dipilih sebagai fokus pengembangan SEEMP dalam makalah ini karena lebih mudah untuk diadaptasi. Konsumsi bahan bakar yang optimal dapat mengurangi pengeluaran untuk bunkering, konsumsi energy, dan emisi CO₂ (Lashgari, AkbarAkbari, & Nasersarraf). Banyak faktor yang

dapat dipertimbangkan untuk fuel efficient operation seperti pengembangan perencanaan pelayaran yang dapat dicapai dengan menggunakan bantuan beragam software, weather routing untuk rute dan area perdagangan tertentu, tepat waktu atau komunikasi yang baik dengan pihak pelabuhan untuk memberi pemberitahuan yang maksimal mengenai ketersediaan tempat berlabuh dan memfasilitasi penggunaan kecepatan optimal untuk memaksimalkan efisiensi dan meminimalkan penundaan, optimalisasi kecepatan selagi berkoordinasi dengan ketersediaan tempat berlabuh untuk kegiatan bongkar muat, dan optimasi daya poros menggunakan sistem manajemen mesin otomatis untuk mengendalikan kecepatan dengan mudah dan efisien. Terdapat faktor-faktor lain yang dapat berkontribusi terhadap SEEMP dan perlu penelitian lebih lanjut seperti penanganan kapal yang dioptimalkan (trim, ballast, rudder, hull, dan sistempropulsi), jenis bahan bakar ramah lingkungan, dan bahkan umur operasional kapal. (MEPC 70/18/Add.1 Annex 10, 2016 Guidelines for the Development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)).

Kajian mengenai pengembangan Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) menggunakan pembelajaran mesin membahas beberapa opsi untuk meminimalkan emisi CO₂ selama manuver, di kolam pelabuhan, dan saat berlabuh atau bongkar muat yang terdiri dari operasi hemat bahan bakar. Meskipun cold ironing dapat mengurangi emisi CO₂ hingga 20%, tidak semua pelabuhan dapat menyediakannya sehingga perlu adanya kombinasi antara metode optimasi pelayaran yang dilengkapi dengan operator terlatih sangat penting untuk mencapai tingkat pengurangan emisi yang diperlukan. (Dewanda Dawangi & Budiyanto).

Makalah ini berusaha mengkaji beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai bermacam fuel efficient operation diantaranya yaitu pengembangan skill operator kapal, sistem optimasi pelayaran, serta implementasi cold ironing kemudian berusaha melihat tantangan yang dihadapi dalam pelaksanaannya berikut solusi yang tersedia dan potensi penelitian yang perlu dikembangkan untuk kedepannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) adalah rencana penggunaan energi kapal yang digunakan sebagai tonggak pengembangan efisiensi energi oleh pemilik kapal dan harus mencerminkan upaya untuk meningkatkan efisiensi energi kapal melalui empat langkah: perencanaan, pelaksanaan, pemantauan, evaluasi, dan peningkatan. Banyak perusahaan telah menerapkan sistem manajemen lingkungan di bawah ISO 14001, yang berisi prosedur untuk memilih ukuran terbaik untuk kapal tertentu dan kemudian menetapkan tujuan untuk pengukuran parameter, fitur kontrol, dan umpan balik yang relevan. (Witten, Frank, & Hall, 2011). Di antara banyak praktik yang tersedia, operasi hemat bahan bakar dipilih sebagai fokus pengembangan SEEMP dalam makalah ini karena lebih mudah untuk diadaptasi. Banyak faktor yang dapat dipertimbangkan untuk operasi hemat bahan bakar seperti perencanaan perjalanan yang lebih baik, yang dapat dicapai dengan menggunakan bantuan perangkat lunak yang berbeda, perutean cuaca untuk rute dan area perdagangan tertentu, tepat waktu, atau komunikasi yang baik dengan pelabuhan untuk

memberikan pemberitahuan maksimum tentang ketersediaan tempat berlabuh dan memfasilitasi penggunaan kecepatan optimal untuk memaksimalkan efisiensi dan meminimalkan penundaan, optimalisasi kecepatan sambil berkoordinasi dengan ketersediaan tempat berlabuh pemuatan atau pelepasan, dan daya poros yang dioptimalkan menggunakan sistem manajemen engine otomatis untuk mengontrol kecepatan. Ada juga faktor-faktor lain yang dapat berkontribusi terhadap SEEMP dan perlu penelitian lebih lanjut, seperti penanganan kapal yang dioptimalkan (trim, ballast, rudder, hull, dan sistem propulsi), jenis bahan bakar, dan bahkan umur operasional kapal. (MEPC 70/18/Add.1 Annex 10, 2016 Guidelines for the Development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP))

Optimasi pelayaran adalah konsep tentang pengurangan hambatan di bawah batasan yang ditentukan dengan mengoptimalkan perutean kapal, kecepatan, penjadwalan, pemberat, dan trim. Ini menggunakan penanganan yang aman, konsumsi bahan bakar, kelaikan laut, waktu yang dihabiskan di pelabuhan, rute dan jarak asal ke tujuan, dan juga waktu layanan yang tertulis dalam kontrak sebagai kendala utama (Xing, Spence, & Chen, 2020). Menggabungkan perutean cuaca dan optimalisasi kecepatan untuk bermanuver di pelabuhan dapat membantu mengurangi waktu yang dibutuhkan sehingga mengurangi emisi CO₂. Tidak seperti slow steaming, pengoptimalan kecepatan akan menyesuaikan kecepatan yang diperlukan untuk tiba di dermaga untuk kedatangan tepat waktu, sementara perutean cuaca menciptakan rute yang paling efisien daripada hanya mengurangi kecepatan sampai ke dermaga, yang tampaknya tidak terlalu diinginkan di tempat mana pun. Waktu memegang kepentingan yang lebih tinggi. Ini tidak hanya akan mengurangi emisi CO₂ tetapi juga mencegah waktu tunggu. Komunikasi dengan pihak pelabuhan dalam memberikan jadwal dan informasi mengenai kapan dan tempat berlabuh mana yang tersedia akan menjadi kunci utama rencana ini.

Cold ironing adalah praktik penyediaan sumber listrik dari pantai ke kapal saat proses sandar. Kapal dapat mematikan generator diesel selama proses sandar, yang memakan waktu paling lama di pelabuhan; ini akan sangat mengurangi emisi CO₂ oleh kapal itu

sendiri. Karena penyetrikaan dingin dapat dilakukan dengan menggunakan sumber energi rendah karbon atau nol karbon seperti energi angin dan matahari, bahkan berpotensi mengurangi emisi CO₂ kapal di pelabuhan hingga 40% (Sciberas, 2016).

Faktor manusia merupakan faktor non-teknis untuk operasi hemat bahan bakar. Keterampilan dan pengetahuan yang tepat diperlukan oleh awak kapal dan operator, tidak hanya untuk mengendalikan kapal dengan baik dalam setiap situasi tetapi juga untuk dapat sepenuhnya memanfaatkan sistem yang terpasang untuk tindakan operasi hemat bahan bakar. Pelatihan pengoperasian kapal terkini penting bagi operator yang ada dan yang akan datang setiap kali ada sistem baru yang akan diterapkan pada armada. Pemilik kapal juga harus dapat mengambil keputusan yang tepat untuk aktivitas kapal dan waktu yang dihabiskan di pelabuhan. Emisi CO₂ dapat dikurangi dengan meningkatkan kesadaran energi dan kemampuan operasi hingga 10% (Signe & L., 2018).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan metode tinjauan literature yang diselesaikan melalui siklus berulang mendefinisikan kata kunci pencarian yang sesuai, mencari literatur dan menyelesaikan analisis (Saunders, Mark, Lewis, & Thornhill, 2009). Sebelumnya (Ramdhani, Ramdhani, & Amin, 2014) telah menjelaskan bahwa terdapat empat tahap dalam membuat literatur review, diantaranya: (1). Memilih topik yang akan ditinjau (2). Melacak dan memilih artikel yang cocok/relevan (3). Melakukan analisa serta sintesis literature (4). Mengorganisasipenulisan review Tahap pertama adalah penentuan topic dan kata kunci untuk dimasukkan dalam pencarian literature. Sebagian besar pencarian dilakukan dalam Google scholar dan ScienceDirect, situs berita juga dimasukkan sebagai pertimbangan dalam mencari peristiwa yang berhubungan dengan kata kunci sebagai contoh kasus untuk ditelaah. Literatur yang diperiksa merupakan berbagai penelitian mengenai perkembangan dan berbagai kasus dalam pelatihan skill operator kapal, optimasi pelayaran, dan cold ironing. Setelah dilakukan penyaringan, didapat 23 artikel dengan topic yang sesuai

untuk digunakan sebagai referensi dimana diantaranya terdapat sebuah regulasi dari MEPC (Marine Environment Protection Committee) dan dua buah berita yang disunting langsung dari halaman pemberitaan NTSB (National Transportation Safety Board) milik pemerintah Amerika Serikat dan Seatrade Maritime News. Dari beragam artikel yang telah dipilih, ditemukan berbagai masalah yang dihadapi dalam pengembangan ketiga jenis fuel efficient operation berikut upaya yang dirumuskan demi mengatasinya dan mengembangkan metode tersebut lebih lanjut. Beragam hasil penelitian tersebut dirangkum untuk kemudian dilakukan analisa pada setiap kasus berikut diskusi hasil yang didapat kemudian ditarik kesimpulan mengenai perkembangan, masalah, kesenjangan penelitian, solusi, serta kemungkinan trend penelitian di masa yang akan datang. Penulisan review kemudian dilakukan dengan mengelompokkan beragam kasus berikut hasil analisisnya pada setiap fuel efficient operation yang berhubungan, kemudian dimasukkan hasil analisa secara keseluruhan untuk potensi pengembangan fuel efficient operation tersebut di masa depan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pelatihan Skill Operator Kapal

Perkembangan bidang IT (Teknologi Informasi) ke dalam peralatan navigasi dan operasi kapal sistem pendukung seperti AIS (Automated Identification System), ECDIS (Electronic Chart Display Information System), IBS (Integrated Bridge System) atau pengenalan sistem e-Navigasi membutuhkan penyertaan teknologi TI terkait kelautan di setiap program MET (Maritime Education and Training) (Albayrak & Ziarati). Pelatihan pengoperasian kapal terkini penting bagi operator yang ada dan yang akan datang setiap kali ada sistem baru yang akan diterapkan pada armada. Pemilik kapal juga harus dapat mengambil keputusan yang tepat untuk aktivitas kapal dan waktu yang dihabiskan di pelabuhan. Dimungkinkan untuk mengurangi emisi CO₂ dengan meningkatkan kesadaran energi dan kemampuan operasi hingga 10% (Signe & L., 2018)

Efektivitas sistem dan peralatan baru seperti AIS tergantung pada kompetensi mereka yang

mengoperasikannya. Namun demikian bukti menunjukkan bahwa awak kapal seringkali tidak cukup terlatih dalam penggunaan peralatan yang dipasang di atas kapal (Bailey, Ellis, & Sampson)). Pada bulan Januari 2008 dilaporkan bahwa daftar cedera dari kapal penumpang Crown Princess mencapai 298 penumpang pada tahun 2006, disebabkan oleh "pelatihan yang tidak memadai dari awak kapal dalam penggunaan sistem navigasi terintegrasi (Crew Mistakes Caused Heeling Of Crown Princess Cruise Ship, 2008). Isu lainnya disorot oleh sebuah artikel dalam MER [addressing automation, 2007] yang menyatakan bahwa bukan tidak mungkin untuk membawa insinyur pelayaran saat ini ke standar yang diperlukan jika pelatihan dapat dirancang untuk memasukkan sinkronisasi dan cyclo-converters, harmonik, dan lainnya sebagai tambahan untuk silabus IMO yang ada (Ziarati & Ziarati).

Salah satu tantangan yang dihadapi dalam peningkatan keahlian operator kapal adalah meningkatkan jumlah jam khusus masing-masing unit tidak hanya untuk pelatihan teori kelas tetapi juga untuk penggunaan simulator secara ekstensif untuk pengenalan dan peningkatan keterampilan. Namun, peluang pelatihan di atas kapal yang ditawarkan oleh perusahaan pelayaran telah berkurang secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir dan karena tekanan komersial dalam beberapa tahun terakhir menghasilkan tingkat awak minimum bersama dengan tingkat otomatisasi yang semakin meningkat, sifat dan kualitas pelatihan di kapal telah berubah secara signifikan menjadi lebih buruk (Holland & John, 1997)

Dalam konteks sosialisasi dan peningkatan keterampilan di atas kapal dan simulasi untuk meningkatkan kinerja awak kapal, program pelatihan singkat yang dibangun di atas Kurikulum MET yang seimbang tampaknya menjadi model yang paling efektif untuk memperbarui pengetahuan dan keterampilan pelaut. Program MET baru harus menentukan jumlah jam simulator dan mata pelajaran yang dapat menggantikan pelatihan laut dalam istilah tertentu dan mendefinisikan kembali periode pelatihan laut yang sesuai. Pelatihan simulator yang baik diharapkan mencakup serangkaian skenario realistis yang baik berdasarkan kecelakaan dan insidensebelumnya atau nyaris celaka. (Albayrak & Ziarati).

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah faktor tempat dan waktu pelatihan pada saat berlayar demi menghadapi kebijakan hukum dan lingkungan maritime yang berubah dengan cepat adalah dengan pembelajaran berkelanjutan menggunakan E-learning dengan online assessment berikut sertifikasi didalamnya. Poyek-proyek yang dilakukan oleh Uni Eropa merupakan contoh upaya yang berfokus pada asesmen dan sertifikasi online. Proyek di masa depan bertujuan untuk memperbesar konten kursus ke tingkat sertifikat yang lebih tinggi seperti ROC (Restricted Radio Operator), GOC (General Radio Operator) dan REO (Radio Electronic Operator) untuk menjadi pusat pengajaran dan ujian bersertifikat atas nama otoritas nasional (Albayrak & Ziarati).

Program pelatihan MET yang tepat secara online serta dilengkapi dengan asesmen dan sertifikasi perlu dibuat dan dilaksanakan secara internasional berikut standarisasinya. Perkembangan IT yang semakin maju telah meningkatkan ketergantungan terhadap internet demi kemudahan dan kecepatan dalam pertukaran informasi. Hal ini menunjukkan seberapa besarnya peluang pelatihan dan sertifikasi secara online untuk dikembangkan dan diterapkan oleh negara lainnya. Pengembangan materi

4.2. Voyage Optimization

Optimasi pelayaran adalah konsep tentang pengurangan hambatan di bawah batasan yang ditentukan dengan mengoptimalkan rute pelayaran kapal, kecepatan, penjadwalan, pemberat dan trim. Metode ini menggunakan penanganan keamanan, konsumsi bahan bakar, kelaikan laut, waktu yang dihabiskan di pelabuhan, rute dan jarak asal ke tujuan, dan juga waktu layanan yang tertulis dalam kontrak sebagai factor pertimbangan utama (Xing, Spence, & Chen, 2020) sehingga tidak hanya penting bagi kemandirian dalam berlayar tapi juga efisiensi waktu kegiatan pelayaran dan daya mesin yang dapat mempengaruhi jumlah emisi CO₂ kapal.

Keandalan dan penerapan rute optimal terkait dengan akurasi estimasi hidrodinamika, prakiraan cuaca yang tepat, dan kualitas algoritma optimasi (Lin, Fang, & Yeung, 2013). Optimalisasi pelayaran juga melibatkan pemasangan antara kru dan kapal yang paling cocok, minimalisasi ballast pelayaran,

optimalisasi pengisian bahan bakar dan bunker, kegiatan bongkar muat yang efisien, dan pemulihan yang cepat dari gangguan jadwal (Ballou, 2013). Memasang sensor dan perangkat lunak berbasis sistem pendukung keputusan menjadi pendekatan strategis dan direkomendasikan untuk membantu mengurangi waktu manuver (E. Bal Beşikçi, 2016) sehingga memiliki potensi pengurangan emisi CO₂ dari kapal hingga 10% (Xing, Spence, & Chen, 2020).

Masalah optimasi pelayaran berkaitan dengan masalah pemodelan geografis, teknologi, dan matematika yang saling terkait. Komponen geografis melibatkan pemantauan keadaan laut saat ini (yaitu, gelombang, es, dan arus) dan peramalan dinamika pada berbagai resolusi spatiotemporal. Masalah matematis yang dihadapi mengacu pada pemodelan pelayaran kapal yang memperhitungkan faktor lingkungan dan operasional. Komponen teknologi berhubungan dengan metodologi dan algoritma untuk menyelesaikan penentuan jalur yang optimal melalui kriteria yang dipilih dengan banyak kendala. Ada beberapa keterbatasan metode saat ini dalam menemukan pelayaran yang optimal. Misalnya, algoritma A* sangat bergantung pada parameter heuristik (Jeong, 2019)

Model yang digunakan saat ini sebagian besar dirumuskan dari perspektif optimasi dari suatu pelayaran. Mengoptimalkan beberapa pelayaran dalam jaringan pelayaran global berdasarkan perubahan lingkungan spatiotemporal dan variabilitas kecepatan merupakan tantangan yang dihadapi. Metode deterministik dan heuristik dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi pelayaran yang diusulkan dengan bantuan simulasi skenario. Namun, kokohnya dari optimasi pelayaran yang diusulkan dengan kedua tipe model dan pendekatan penyelesaian pada strategi pelayaran yang tidak pasti dan gangguan lingkungan perlu dikonfirmasi lebih lanjut. Virtual arrival adalah inisiatif baru yang menjanjikan dalam pelayaran maritim yang membutuhkan pembagian data secara tepat waktu dan prediksi akurat operasi dermaga antara pelabuhan dan kapal untuk menghindari "rush for waiting" dan mengurangi biaya bahan bakar sekaligus emisi. Perlu dilakukan pengembangan lanjutan mengenai virtual arrival berikut implementasinya demi mengatasi semua hambatan teknis dan budaya untuk penerapan penanggulangan

pengendalian emisi kapal (Yu, Fang, Liu, & Chen).

Penelitian untuk mengembangkan model optimasi pelayaran dengan mempertimbangkan beragam faktor tertentu telah banyak dilakukan. Salah satunya (Wang, Lang, & Mao) mengusulkan metode optimasi perjalanan yang menggabungkan manfaat dari algoritma genetika dan konsep pemrograman dinamis untuk memungkinkan optimasi perjalanan tiga dimensi dalam hal konsumsi bahan bakar minimum dan emisi udara. Keuntungan dan kontribusi dari metode yang diusulkan adalah dapat memberikan rekomendasi rute berlayar dan pengaturan tenaga mesin di sepanjang perjalanan sebagai output langsung untuk memandu navigasi kapal yang praktis sehingga didapat penghematan bahan bakar dan pengurangan emisi rata-rata 5,6% dibanding rute berlayar sebenarnya dan 3,4% ke rute heuristic. Selain itu (Lashgari, Akbar Akbari, & Nasersarraf) juga mengembangkan model pemrograman integer linier stokastik berbasis skenario untuk bunkering bersama, kecepatan, dan masalah optimasi rute yang bertujuan untuk merencanakan rute berikut operasi bunker. Model tersebut tidak hanya dapat mengurangi emisi CO₂ akibat optimasi pelayaran namun juga dapat memberi pertimbangan finansial untuk pengeluaran biaya bahan bakar kapal. Masih diperlukan penelitian lanjutan mengenai pengamatan model tersebut dalam kondisi tidak stabil seperti bencana alam, perubahan cuaca extreme, kerusakan kapal, dan ketika pelabuhan penuh. Penelitian ini juga belum berfokus pada pengaruhnya terhadap lingkungan seperti jumlah emisi gas CO₂ yang dihasilkan.

Pengembangan model optimasi pelayaran masih terus berlanjut mengingat seberapa pentingnya sistem ini bagi perusahaan pemilik kapal dalam menghemat biaya bahan bakar sekaligus mengurangi emisi CO₂ agar dapat mengikuti regulasi yang berlaku. Penelitian mengenai peningkatan efisiensi dari sistem optimasi pelayaran yang sudah ada akan tetap menjadi focus topic ini di masa depan, penambahan berbagai variabel dan penggunaan beragam kasus sebagai objek pengamatan perlu untuk terus dilakukan. Pengembangan virtual arrival demi pelayaran yang tepat waktu dan lebih hemat bahan bakar memerlukan kerja sama yang presisi dalam pertukaran informasi antara kapal dan pihak

pelabuhan, pengembangan metode pertukaran data secara cepat berikut sistem pengolahan data yang akurat diperlukan untuk prediksi kedatangan kapal yang akurat.

4.3. Cold Ironing

Cold ironing adalah praktik penyediaan sumber listrik dari darat (pihak pelabuhan) ke kapal saat proses sandar. Kapal dapat mematikan diesel generator selama proses bongkar muat yang dapat memakan waktu paling lama di pelabuhan, hal ini akan sangat mengurangi emisi CO₂ dari kapal itu sendiri (Dewanda Dawangi & Budiyanto). Karena Cold ironing dapat dilakukan dengan menggunakan sumber energi rendah karbon atau bahkan nol karbon seperti energi alternatif yaitu angin dan matahari, sehingga berpotensi mengurangi emisi CO₂ kapal saat di pelabuhan hingga 40% (Sciberas, 2016).

Indonesia termasuk salah satu negara yang tidak disarankan untuk memberi supply energy dari darat karena masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik sehingga dapat menderita kerugian transmisi yang signifikan hingga 12,3%. Namun, karena Indonesia terdiri dari sejumlah besar pulau, dampak dari pembangkit listrik di tepi pantai terhadap emisi CO₂ dapat bervariasi secara signifikan untuk setiap wilayah (William J.). Meski begitu, PT. Pelindo III telah dilaporkan meluncurkan rencana ambisius untuk memasang shoreside power di semua pelabuhan di seluruh negeri di bawah pengelolaannya pada tahun 2020 sebagai bagian dari upaya untuk mengurangi biaya logistik dan impor bahan bakar. Pelindo III telah menghabiskan sekitar \$4,9 juta untuk memasang 35 sistem Cold ironing di 13 pelabuhan dan terminal. Pelindo III berencana untuk menginstal lebih banyak sistem di 30 pelabuhan yang tersisa pada akhir tahun 2020 (Pelindo III install cold ironing across all Indonesian ports, 2020). Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai data efisiensi sistem cold ironing yang dijalankan PT. Pelindo III untuk menentukan keuntungan dalam penghematan biaya bahan bakar kapal berikut pengurangan emisi CO₂ setelah penggunaan sistem cold ironing di pelabuhan tersebut, hasil analisa tersebut dapat berfungsi sebagai referensi pengambilan keputusan dalam pengembangan cold ironing kedepannya di Indonesia.

Teknologi Cold ironing juga telah dibuktikan layak untuk digunakan di pelabuhan berukuran sedang untuk kapal-kapal yang lebih kecil daripada yang secara tradisional terhubung ke tenaga pantai. (Innesa & Monios) menyimpulkan dalam studi kasus mengenai pelabuhan Aberdeen bahwa jika semua kapal dapat terhubung ke pembangkit tenaga dari pantai, maka 108 ton NO_x, 2,7 ton PM, dan 4767 ton emisi CO₂ dapat dihemat setiap tahun, yang setara dengan £1,3m biaya eksternal.

Mengenai tantangan dari segi desain kabel pada pelabuhan berukuran kecil, sistem yang paling efisien dengan kehilangan tegangan paling sedikit adalah dengan cara memasang unit OPS individual untuk setiap tempat berlabuh. Sistem ini juga akan menghemat biaya dengan mengurangi kebutuhan kabel. Walaupun begitu, tetap diperlukan ruang yang cukup di dermaga untuk pemasangan gardu induk dan gulungan kabel yang dibutuhkan agar dapat berfungsi dengan baik (Innesa & Monios).

Penelitian mengenai pengaruh kebijakan antara tiap pihak stakeholder juga penting untuk lebih dikembangkan seperti yang telah dilakukan oleh (Xu, Di, Chen, Shi, & Yang) dimana pemilihan kebijakan mengenai sistem supply tenaga dari darat antara pihak pemerintah, pelabuhan, dan perusahaan pelayaran diamati menggunakan metode evolutionary game. Didapatkan bahwa tiap pihak dapat mengubah strategi dengan mengamati strategi yang diambil pihak lainnya dimana pihak pemerintah memiliki pengaruh yang cukup besar sehingga jika pemerintah mengambil kebijakan insentif maka pihak pelabuhan akan memilih untuk melakukan implementasi cold ironing lebih cepat, hal ini akan mempengaruhi perusahaan pelayaran untuk melakukan modifikasi agar dapat mengikuti strategi tersebut. Namun penelitian tersebut hanya mempertimbangkan jika tiap pihak seimbang dan dapat mengikuti strategi satu sama lain, selain itu terdapat pihak lain yang tidak kalah penting seperti perusahaan penyedia tenaga listrik dan manufaktur peralatan untuk cold ironing. Penelitian mengenai kebijakan pihak lainnya berikut model analisisnya dapat menjadi hal yang banyak diteliti di masa depan demi perkembangan implementasi cold ironing.

Besarnya modal yang dibutuhkan untuk membangun dan menjalankan sistem cold ironing masih menjadi masalah terutama untuk

pelabuhan berukuran sedang hingga kecil di negara berkembang. Partisipasi pemerintah atau pihak otoritas local dalam menjalankan kegiatan pelayaran ramah lingkungan dengan melakukan pembangunan bertahap melalui bantuan dana atau implementasi peraturan pelayaran ramah lingkungan dapat menjadi solusi untuk pengadaan sistem cold ironing bagi pelabuhan. Penelitian lebih lanjut mengenai sistem yang dapat menghubungkan sumber tenaga dari darat ke kapal dengan efisiensi sebaik mungkin dapat menjadi focus penelitian berikutnya mengenai cold ironing. Penelitian lebih lanjut mengenai pemasangan cold ironing untuk pelabuhan berukuran sedang hingga kecil juga dapat menjadi pertimbangan lebih lanjut.

5. KESIMPULAN

Pelatihan operator kapal untuk meningkatkan efisiensi pelayaran dan kesadaran untuk pelestarian lingkungan laut terhambat akan masalah waktu pelayaran sehingga kurangnya waktu untuk mengadakan pelatihan di darat. Penggunaan simulator di atas kapal dapat menjadi solusi namun jumlah perusahaan pelayaran yang menyediakan jasa tersebutlah berkurang dan mengakibatkan penurunan kualitas, sehingga solusi yang memiliki potensi cukup besar saat ini adalah dengan memanfaatkan perkembangan IT yaitu melalui program pelatihan MET yang tepat secara online yang dilengkapi dengan asesmen dan sertifikasi seperti yang telah dilakukan di Eropa. Diperlukan penelitian mengenai penerapan pelatihan online yang dapat ditiru oleh negara lainnya dengan standarisasi yang dapat menyesuaikan dengan standar internasional.

Optimasi pelayaran menggunakan sensor dan perangkat lunak berbasis sistem pendukung keputusan menjadi pendekatan strategis dan direkomendasikan untuk membantu mengurangi emisi CO₂ dengan meningkatkan efisiensi waktu manuver. Masalah yang dihadapi diantaranya pemodelan geografis dengan peramalan dinamika, masalah matematis dalam pemodelan pelayaran yang memperhitungkan faktor lingkungan dan operasional, serta komponen teknologi yang berhubungan dengan metodologi dan algoritma untuk menentukan jalur optimal melalui kriteria yang dipilih. Pengembangan model

optimasi pelayaran dengan mempertimbangkan beragam factor dilakukan seperti penggabungan manfaat dari algoritma genetika dan konsep pemrograman dinamis sertadengan mengembangkan model pemrograman integer linier stokastik berbasis scenario tidak hanya dapat mengurangi emisi CO₂ sebagai salah satu jenis fuel efficient operation namun juga dapat membantu penghematan biaya operasi kapal dengan mempertimbangkan lokasi dan waktu untuk bunkering. Pengembangan prediksi virtual arrival akan memiliki peran besar dalam penghematan biaya bahan bakar dan pengurangan emisi di wilayah pelabuhan sebagai bagian dari pengembangan SEEMP.

Cold ironing merupakan metode solusi fuel efficient operation dengan potensi besar namun pembangunan dan implementasinya terbentur masalah modal yang dibutuhkan untuk membangun dan menjalankan sistem cold ironing terutama untuk pelabuhan berukuran sedang hingga kecil di negara berkembang. Partisipasi pemerintah untuk menjalankan kegiatan pelayaran ramah lingkungan dengan melakukan pembangunan bertahap melalui bantuan dana atau implementasi peraturan pelayaran ramah lingkungan dapat menjadi solusi untuk pengadaan sistem cold ironing karena kebijakan pemerintah memiliki pengaruh yang cukup besar dalam memancing pihak stakeholder lainnya untuk mengambil strategi implementasi cold ironing. Kebijakan yang diambil oleh pihak lainnya seperti perusahaan penyedia tenaga listrik dan manufaktur serta pengembangan desain sistem cold ironing untuk dermaga berukuran sedang hingga kecil dapat menjadi topic untuk dikembangkan lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dapat menuliskan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian yang dipublikasikan dalam jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

Albayrak, T., & Ziarati, R. (n.d.). Training: Onboard And Simulation Based Familiarisation And Skill Enhancement

- To Improve The Performance Of Seagoing Crew.
- Bailey, N., Ellis, N., & Sampson, H. (n.d.). Training and Technology Onboard Ship: How seafarers learned to use the shipboard Automatic Identification System (AIS).
- Ballou, P. (2013). Ship energy efficiency management requires a total solution approach. *Mar. Technol. Soc. J.* 47 (1), 83–95.
- Budiyanto, M. A., Huzaif, M. H., & Juanda Sirait, S. (n.d.). Estimating Of CO2 Emissions In A Container Port Based On Modality Movement In The Terminal Area.
- Dewanda Dawangi, I., & Budiyanto, M. A. (n.d.). Ship Energy Efficiency Management Plan Development Using Machine Learning : Case Study of CO2 Emissions of Ship Activities at Container Port.
- E. Bal Beşikçi, O. A. (2016). An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations. *Computers & Operations Research* Volume 66, 393-401.
- Holland, & John, L. (1997). Making Vocational Choices: A Theory of Vocational Personalities and Work Environments, Psychological Assessment Resources Inc.
- Innesa, A., & Monios, J. (n.d.). Identifying the unique challenges of installing cold ironing at small and medium ports – The case of Aberdeen.
- Jeong, S. J. (2019). A voyage optimization model of LNG carriers considering boil-off gas . In: OCEANS 2019 MTS/IEEE SEATTLE, IEEE. , 1-7.
- Lashgari, M., Akbar Akbari, A., & Nasersarraf, S. (n.d.). A new model for simultaneously optimizing ship route, sailing speed, and fuel consumption in a shipping problem under different price scenarios Mahsa Lashgari, Ali Akbar Akbari , Saba .
- Lin, Y.-H., Fang, M.-C., & Yeung, R. W. (2013). The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multi-dynamic elements. *Applied Ocean Research*, Volume 43, 184-194.
- MEPC 70/18/Add.1 Annex 10, 2016 Guidelines for the Development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP). (n.d.).
- Ramdhani, A., Ramdhani, M., & Amin, A. (2014). Writing a Literature Review Research Paper : A step-bystep approach. *Insan Akademika Publications*, 03(01), 47-56.
- Saunders, Mark, Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research methods for business students*. Pearson education.
- Sciberas, E. A. (2016). Cold ironing and onshore generation for airborne emission reductions in ports. . Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment..
- Signe, J., & L., M. (2018). Energy-efficient operational training in a ship bridge simulator. *Journal of Cleaner Production* Volume 171, 175-183.
- Wang, H., Lang, X., & Mao, W. (n.d.). Voyage optimization combining genetic algorithm and dynamic programming for fuel/emissions reduction.
- William J., H. (n.d.). Assessment of CO2 and priority pollutant reduction by installation of shoreside power.
- Witten, I., Frank, E., & Hall, M. (2011). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*.
- Xing, H., Spence, S., & Chen, H. (2020). A comprehensive review on countermeasures for CO2 emissions from ships. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 134.
- Xu, L., Di, Z., Chen, J., Shi, J., & Yang, C. (n.d.). Evolutionary game analysis on behavior strategies of multiple stakeholders in maritime shore power system.
- Yu, H., Fang, Z., Liu, J., & Chen, J. (n.d.). Literature review on emission control-based ship voyage optimization.
- Ziarati, R., & Ziarati, M. (n.d.). Review of Accidents with Special References to Vessels with Automated Systems – A Forward.

PENULIS:

Muhammad Arif Budiyanto
Teknik Perkapalan, Departemen Teknik Mesin,
Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok
Jawa Barat, Indonesia
Email: arif@eng.ui.ac.id

Ivan Dewanda Dawangi

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas
Indonesia, Depok Jawa Barat, Indonesia