



Analisis Kebutuhan Kapal Tongkang dan Tugboat pada Distribusi *Crude Palm Oil* (CPO)

Shabrina Rifa^{1*}, Juang Akbardin², Dwi Novi Wulansari³

¹⁻³Teknik Logistik, Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

*Penulis Korespondensi: akbardien@upi.edu

Abstract. *This study aims to analyze the need for barges and tugboats in distributing Crude Palm Oil (CPO) in the West Papua region. The analysis is conducted based on three main aspects: the balance of supply and demand, ship operational costs, and shipping time, to determine the most efficient mode of sea transportation. The research method used is a quantitative approach by processing CPO distribution data owned by PT Kurhanz Trans in 2024. The results show that the combination of a 240-foot barge with a 5,000 HP tugboat is the most optimal alternative. This combination is able to balance cargo capacity, operational cost efficiency, and shipping time. The total operating cost of a 240-foot barge is recorded as lower than a 230-foot barge, with the same shipping time of 70 hours for a distance of 140 nautical miles. Thus, the 240-foot barge can be recommended as the best alternative to support the smooth distribution of CPO in the West Papua region efficiently and economically.*

Keywords: *Crude Palm Oil; Supply-Demand; Tug Barge; Tugboat; Vehicle Operating Costs.*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan kapal tongkang dan tugboat dalam mendistribusikan *Crude Palm Oil* (CPO) di wilayah Papua Barat. Analisis dilakukan berdasarkan tiga aspek utama yaitu keseimbangan *supply dan demand*, biaya operasional kapal, serta waktu tempuh pelayaran, guna menentukan moda transportasi laut yang paling efisien. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan pengolahan data distribusi CPO milik PT Kurhanz Trans pada tahun 2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kapal tongkang berukuran 240 *feet* dengan *tugboat* berkekuatan 5.000 HP merupakan alternatif yang paling optimal. Kombinasi ini mampu memberikan keseimbangan antara kapasitas muatan, efisiensi biaya operasional, dan waktu pelayaran. Total biaya operasional kapal tongkang 240 *feet* tercatat lebih rendah dibandingkan kapal tongkang 230 *feet*, dengan waktu tempuh pelayaran yang sama yaitu 70 jam untuk jarak pelayaran sejauh 140 mil laut. Dengan demikian, kapal tongkang berukuran 240 *feet* dapat direkomendasikan sebagai alternatif terbaik dalam mendukung kelancaran distribusi CPO di wilayah Papua Barat secara efisien dan ekonomis.

Kata kunci: Biaya Operasional Kendaraan; *Crude Palm Oil*; Kapal Tongkang; *Supply-Demand*; Tugboat.

1. LATAR BELAKANG

Crude Palm Oil (CPO) merupakan minyak mentah yang dihasilkan dari proses ekstraksi mesokarp buah kelapa sawit dan dikategorikan sebagai salah satu komoditas agribisnis strategis yang memiliki peranan penting dalam perdagangan internasional serta pengembangan industri hilir (1). Di Indonesia, CPO menjadi komoditas unggulan yang berkontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi nasional, terutama pada wilayah penghasil kelapa sawit di kawasan timur. Papua Barat merupakan salah satu provinsi yang memiliki kontribusi cukup besar terhadap produksi CPO nasional, sehingga membutuhkan sistem distribusi yang efektif dan efisien untuk menjamin kelancaran penyaluran produk dari lokasi produksi menuju pasar domestik maupun tujuan ekspor (2).

Karakteristik geografis Papua Barat sebagai wilayah kepulauan menjadikan transportasi laut sebagai moda utama dalam distribusi CPO. Moda transportasi laut dinilai memiliki keunggulan dalam hal kapasitas angkut yang besar dan jangkauan wilayah yang luas,

sehingga banyak digunakan untuk mendukung distribusi CPO baik di dalam maupun ke luar wilayah Papua. Beberapa jenis moda transportasi laut yang umum digunakan antara lain kapal tongkang, kapal tugboat, dan kapal tanker, yang secara terpadu berperan penting dalam menjaga kelangsungan rantai distribusi dari pelabuhan muat hingga ke titik akhir pengiriman (3). Namun demikian, kondisi perairan di Papua Barat yang didominasi oleh jalur pelayaran sempit serta perairan dangkal menuntut adanya pemilihan ukuran dan spesifikasi kapal yang tepat agar operasional pengiriman dapat berjalan optimal.

PT Kurhanz Trans yang berlokasi di Jakarta Barat merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang penyewaan dan pengoperasian moda transportasi laut untuk distribusi CPO di wilayah Papua Barat. Perusahaan ini menjadi pelopor dalam penerapan sistem pengiriman CPO menggunakan satu kapal tongkang yang ditarik oleh dua kapal tugboat secara bersamaan dalam satu kali perjalanan. Pola distribusi dimulai dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS), kemudian CPO diangkut menggunakan truk tangki menuju kapal tongkang yang bersandar di pelabuhan, selanjutnya dikirimkan ke kapal tanker hingga mencapai pabrik *refinery* sebagai tujuan akhir. Saat ini, PT Kurhanz Trans mengoperasikan kapal tongkang berukuran 270 *feet* dengan kapasitas angkut sekitar 6.000-6.500 metric ton per perjalanan atau setara dengan $\pm 6,67-7,22$ juta liter dengan total pengangkutan bulanan mencapai kurang lebih 45.000 metric ton.

Kapal tongkang tersebut memiliki dimensi panjang 82,3 meter, lebar 21,9 meter, kedalaman 5,5 meter, serta draft sekitar 4,3 meter. Dalam satu kali pengiriman, kapal tongkang ditarik oleh dua kapal tugboat dengan kekuatan masing-masing 5.000 HP dan melakukan sekitar lima perjalanan dalam satu bulan dengan waktu tempuh pelayaran berkisar antara lima hingga enam hari untuk setiap perjalanan. Rute pelayaran dimulai dari Pelabuhan Karekano, Kabupaten Sorong Selatan, Papua Barat, menuju kapal tanker melalui jalur utama yang memiliki beberapa titik perairan dangkal. Salah satu titik kritis berada pada sektor perairan dengan kedalaman sekitar 4,8 meter, yang relatif mendekati nilai draft kapal tongkang. Berdasarkan ketentuan keselamatan pelayaran, perbedaan antara kedalaman perairan dan draft kapal seharusnya tidak kurang dari 0,6 meter untuk meminimalkan risiko kandas atau terjadinya gesekan lambung kapal dengan dasar laut (4).

Kondisi tersebut meningkatkan potensi terjadinya kerusakan fisik pada kapal tongkang, terutama akibat gesekan dengan dasar laut yang mengandung batuan. Risiko ini dapat menyebabkan kebocoran kapal yang berujung pada pencemaran lingkungan laut, peningkatan biaya perawatan, serta potensi sanksi akibat pencemaran. Selain permasalahan teknis tersebut, perusahaan juga menghadapi permasalahan berupa penumpukan stok CPO

di lokasi produksi. Berdasarkan data pengiriman PT Kurhanz Trans tahun 2024, total produksi CPO tercatat sebesar 572.981.607 kg, sementara total penyaluran hanya mencapai 552.671.950 kg, sehingga terdapat sisa stok sekitar 144.694.935 kg atau sebesar 25,3% dari total penyaluran tahunan. Tingginya sisa stok ini mencerminkan adanya ketidakefisienan dalam sistem distribusi, yang salah satunya disebabkan oleh keterbatasan operasional kapal akibat kondisi rute pelayaran yang kurang mendukung.

Berdasarkan permasalahan tersebut, pemilihan ukuran kapal tongkang dan kombinasi kapal *tugboat* yang sesuai menjadi salah satu alternatif solusi untuk meningkatkan efisiensi distribusi CPO. Analisis kebutuhan kapal dilakukan dengan mempertimbangkan keseimbangan antara *supply* dan *demand*, karena besarnya volume distribusi atau *supply* akan berpengaruh langsung terhadap jumlah serta kapasitas kapal yang digunakan (5). Selanjutnya, perhitungan ulang Biaya Operasional Kendaraan (BOK) diperlukan sebagai dasar evaluasi dalam menentukan moda transportasi laut yang paling ekonomis dan layak digunakan (6). Selain itu, analisis waktu tempuh pelayaran juga menjadi faktor penting karena berkaitan erat dengan tingkat efisiensi distribusi dan biaya operasional secara keseluruhan (7). Dengan mempertimbangkan ketiga aspek tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam perencanaan distribusi CPO di wilayah Papua Barat.

2. KAJIAN TEORITIS

Pemilihan Moda Transportasi

Pemilihan moda transportasi merupakan tahapan dalam proses perencanaan sistem angkutan yang bertujuan untuk menentukan jenis moda yang paling sesuai dalam melayani pergerakan barang dari titik asal ke titik tujuan, sekaligus menentukan jumlah muatan yang dapat diangkut secara optimal (8). Pemilihan moda ini dipengaruhi oleh sistem transportasi yang terdiri atas sistem kegiatan, sistem jaringan, dan sistem pergerakan yang saling berkaitan dalam membentuk pola distribusi barang (9). Faktor utama dalam menentukan moda dan rute yang digunakan adalah karakteristik moda transportasi yang tersedia antara lokasi asal dan tujuan, seperti kapasitas angkut, fleksibilitas operasional, serta kesesuaian dengan kondisi wilayah. Selain itu, pemilihan moda juga dipengaruhi oleh tujuan perjalanan, jarak tempuh, dan karakteristik pelaku perjalanan, yang selanjutnya dipertimbangkan bersama faktor turunan lainnya, seperti biaya perjalanan dan waktu tempuh, sebagai dasar dalam menentukan moda transportasi yang paling efisien (10).

Kapal Tugboat

Kapal *tugboat* merupakan jenis kapal yang dirancang untuk melakukan manuver, khususnya menarik atau mendorong kapal lain baik di pelabuhan, perairan sungai, maupun laut lepas (11). Kapal ini umumnya digunakan untuk menarik kapal tongkang, kapal yang mengalami kerusakan, serta berbagai peralatan berat, dengan karakteristik utama berupa tenaga mesin yang besar dibandingkan dengan ukuran fisik kapal. Mesin utama pada kapal *tugboat* umumnya memiliki daya antara 750 hingga 3.000 HP atau setara dengan 500-2.000 kW, dan untuk operasi tertentu di laut lepas, kapasitas dayanya dapat mencapai hingga 25.000 HP atau sekitar 20.000 kW. Dalam sistem distribusi CPO di Papua Barat, kapal *tugboat* memiliki peran yang sangat penting dalam menarik kapal tongkang yang membawa muatan CPO dari pelabuhan muat menuju kapal tanker. Kombinasi penggunaan kapal *tugboat* dan tongkang dipilih karena dinilai lebih efisien dari sisi biaya operasional serta mampu beroperasi pada wilayah perairan dengan keterbatasan infrastruktur pelabuhan. Selain itu, fleksibilitas operasional kapal *tugboat* memungkinkan sistem distribusi tetap berjalan meskipun menghadapi keterbatasan kedalaman alur pelayaran dan kondisi geografis perairan, sehingga menjadikan sistem ini sebagai moda transportasi laut yang efektif dalam mendukung distribusi CPO di wilayah Papua Barat.

Kapal Tongkang

Kapal tongkang (*barge*) merupakan jenis kapal yang tidak dilengkapi dengan sistem mesin penggerak sendiri dan umumnya digunakan untuk mengangkut barang dari pelabuhan ke pelabuhan lain atau menuju kapal induk di perairan yang lebih dalam (12). Karena tidak memiliki sistem mesin pendorong, kapal tongkang harus ditarik atau didorong oleh kapal *tugboat* yang memiliki tenaga mesin besar agar dapat beroperasi di laut maupun di sungai (13). Desain lambung tongkang yang datar dengan nilai draft relatif pendek memungkinkan kapal ini beroperasi secara fleksibel di perairan dangkal, sementara dimensi panjang dan lebar yang besar memungkinkan pengangkutan muatan dalam jumlah besar dalam satu kali perjalanan (14). Selain itu, tongkang memiliki keunggulan dari sisi efisiensi biaya karena mampu membawa beban berat dengan konsumsi bahan bakar yang relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan kapal bermesin sendiri, bergantung pada kinerja kapal *tugboat* yang menariknya (15). Penelitian lain menunjukkan bahwa kapal tongkang sangat efektif digunakan pada wilayah dengan alur pelayaran sempit atau dangkal, sehingga mampu menjangkau pelabuhan-pelabuhan dengan keterbatasan fasilitas dan infrastruktur (16). Dalam distribusi CPO di Papua Barat, penggunaan kapal tongkang menjadi pilihan

utama karena mampu beroperasi di perairan sungai dan pesisir, mendukung proses bongkar muat melalui sistem pipa atau crane, serta menjangkau kapal tanker di perairan lepas secara efisien, sehingga sesuai dengan kondisi geografis dan karakteristik wilayah distribusi (17).

Supply and Demand

Supply (penawaran) mengacu pada jumlah barang yang ditawarkan oleh produsen pada tingkat harga dan periode waktu tertentu, sedangkan *demand* (permintaan) menggambarkan jumlah barang yang diminta atau dibeli oleh konsumen pada harga dan waktu tertentu (18). Proses penawaran dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain biaya produksi, teknologi yang digunakan, tujuan perusahaan, kebijakan pajak, ketersediaan serta harga barang pengganti atau pelengkap, serta ekspektasi harga di masa depan. Sementara itu, permintaan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti preferensi atau perilaku konsumen, tingkat pendapatan, harga barang substitusi dan komplementer, perkiraan harga di masa mendatang, serta tingkat kebutuhan konsumen. Dalam konteks distribusi CPO, konsep *supply-demand* menjadi sangat relevan untuk menentukan jumlah kapal tongkang dan kapal tugboat yang perlu dioperasikan. Permintaan terhadap moda transportasi laut bergantung pada volume CPO yang harus dikirim ke lokasi tujuan, sedangkan penawaran armada dipengaruhi oleh kapasitas kapal, biaya operasional, serta ketersediaan kapal pada periode tertentu (19). Oleh karena itu, perusahaan perlu menyeimbangkan antara kebutuhan pengiriman dan kemampuan operasional armada agar proses distribusi dapat berjalan secara efisien dan tepat waktu. Penelitian lain menyatakan bahwa optimasi jumlah dan kapasitas kapal dalam distribusi CPO didasarkan pada keseimbangan antara *supply* dan *demand* logistik, sehingga perusahaan dapat menentukan jumlah armada yang ideal sesuai dengan volume muatan dan frekuensi pengiriman yang dibutuhkan (20). Selain itu, harga atau biaya penggunaan moda transportasi juga dipengaruhi oleh kapasitas kapal dan biaya sewa yang berlaku, di mana kapasitas kapal sangat bergantung pada volume CPO yang harus diangkut (21).

Biaya Operasional Kendaraan

Biaya Operasional Kendaraan (BOK) merupakan seluruh biaya yang dikeluarkan untuk mengoperasikan kendaraan dalam menunjang kegiatan distribusi barang (22). Perhitungan BOK menjadi dasar penting dalam pemilihan moda transportasi, baik kendaraan milik perusahaan maupun kendaraan sewaan, karena dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi dan kelayakan biaya operasional (23). Menurut Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, BOK mencakup total biaya yang timbul selama kendaraan beroperasi dan dapat dihitung dengan berbagai pendekatan sesuai dengan tujuan perencanaan transportasi,

seperti penentuan tarif, analisis efisiensi biaya, serta perbandingan antar moda transportasi (24). Dalam penelitian ini, BOK yang digunakan meliputi perhitungan BOK kapal untuk moda transportasi laut serta BOK kendaraan darat berupa truk tangki.

Perhitungan BOK pada moda transportasi kapal umumnya terdiri atas dua komponen utama, yaitu biaya langsung dan biaya tidak langsung, yang masing-masing dikelompokkan ke dalam biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya tidak tetap atau variabel (*variable cost*) (25). Biaya tetap merupakan biaya yang relatif tidak berubah meskipun terjadi perubahan volume produksi jasa dalam batas tertentu, sedangkan biaya variabel akan berubah seiring dengan intensitas operasional kendaraan dan hanya dikeluarkan saat kendaraan beroperasi (26).

Biaya BOK Kapal tongkang biaya tetap terdiri dari biaya penyusutan kapal, biaya bunga dan modal, biaya asuransi, biaya ABK. Dan biaya tidak tetap terdiri

Pada transportasi darat, khususnya truk tangki, BOK digunakan untuk mengevaluasi efisiensi pengangkutan bahan cair, di mana setiap komponen biaya dihitung secara rinci berdasarkan satuan jarak tempuh atau satuan produksi kendaraan (27). Perhitungan BOK truk tangki mengacu pada ketentuan yang berlaku, yang mencakup biaya tetap dan biaya variabel sesuai dengan regulasi yang ditetapkan oleh Kementerian Perhubungan, sehingga hasil perhitungan dapat digunakan sebagai dasar perbandingan efisiensi antar moda transportasi dalam distribusi CPO (24).

Waktu Tempuh

Waktu tempuh kapal mengacu pada durasi yang diperlukan kapal untuk melakukan pelayaran dari titik keberangkatan hingga mencapai titik tujuan, dan merupakan salah satu parameter penting dalam perencanaan operasional transportasi laut (28). Dalam sistem distribusi yang melibatkan kapal tongkang dan tugboat, waktu tempuh memiliki keterkaitan erat dengan biaya operasional kapal, karena semakin lama durasi pelayaran maka semakin besar pula biaya yang harus dikeluarkan perusahaan, khususnya untuk bahan bakar, awak kapal, dan biaya operasional lainnya. Selain memengaruhi efisiensi perjalanan, waktu tempuh juga menjadi indikator kinerja moda transportasi dalam mendukung ketepatan waktu distribusi. Pramudhita dan Mirianto (29) menjelaskan bahwa waktu tempuh kapal terutama dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu jarak tempuh pelayaran dan kecepatan kapal. Jarak tempuh menunjukkan panjang lintasan yang harus dilalui kapal, sedangkan kecepatan kapal menentukan seberapa cepat kapal dapat bergerak di perairan.

Previous Research

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa distribusi *Crude Palm Oil* (CPO) sangat dipengaruhi oleh pemilihan moda transportasi, efisiensi biaya, serta karakteristik

operasional kapal. Penelitian awal menekankan pentingnya optimasi jaringan distribusi CPO melalui perbandingan moda kapal tanker dan tongkang, di mana kapal tongkang dinilai lebih ekonomis meskipun memiliki kecepatan lebih rendah dibandingkan kapal tanker (30). Studi lain berfokus pada efisiensi penggunaan kapal *tugboat* dalam menarik tongkang, khususnya terkait daya mesin, konsumsi bahan bakar, dan waktu tempuh, guna menentukan kombinasi kapal yang paling optimal (31). Aspek teknis pemilihan daya *tugboat* dan kesesuaian bollard pull terhadap kapal yang ditunda juga menjadi perhatian, terutama untuk meningkatkan efisiensi operasional dan pemerataan jam kerja armada di pelabuhan dengan aktivitas tinggi (32). Pendekatan pemodelan dinamik dan *supply chain management* digunakan untuk meminimalkan biaya transportasi CPO melalui penentuan kombinasi moda dan alokasi distribusi yang paling efisien (33). Penelitian lain menyoroti efisiensi konsumsi bahan bakar kapal *tugboat* melalui penerapan sistem monitoring berbasis flow meter, yang terbukti mampu menekan pemborosan BBM dan meningkatkan akurasi pengelolaan operasional (34). Dari sisi keselamatan dan teknis pelayaran, beberapa studi menekankan pentingnya penentuan draft dan lebar kapal yang ideal agar sesuai dengan kondisi alur pelayaran dan pasang surut laut guna menghindari risiko kandas (35). Variasi sarat tongkang juga terbukti memengaruhi stabilitas kapal, konsumsi bahan bakar *tugboat*, serta keuntungan operasional dalam pengangkutan muatan (36). Selain itu, efisiensi distribusi CPO juga dipengaruhi oleh skema penyewaan kapal, di mana perbandingan antara time charter dan voyage charter menunjukkan perbedaan signifikan terhadap pemanfaatan kapasitas dan biaya operasional (37). Pendekatan optimasi matematis seperti metode simplex dan program linier digunakan dalam perencanaan angkutan CPO multi-trip untuk meminimalkan biaya dan memaksimalkan pemanfaatan armada (38). Terakhir, kajian tarif angkutan berbasis Biaya Operasional Kendaraan (BOK) dan *Ability to Pay* (ATP) menunjukkan bahwa perhitungan biaya operasional menjadi dasar penting dalam penentuan tarif dan kelayakan layanan transportasi (39).

3. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain deskriptif kuantitatif untuk menganalisis data secara sistematis menggunakan pendekatan numerik dan statistik (40). Pendekatan ini bertujuan memberikan gambaran serta perbandingan yang objektif dalam pemilihan moda transportasi kapal tongkang dan *tugboat* pada distribusi CPO. Analisis difokuskan pada faktor keselamatan dan efisiensi pengiriman, meliputi kapasitas dan kecepatan *tugboat*,

ukuran kapal tongkang, serta keseimbangan *supply-demand* yang memengaruhi kebutuhan armada. Perhitungan biaya dilakukan menggunakan pendekatan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) untuk mengevaluasi biaya sewa dan operasional truk tangki, kapal tongkang, dan tugboat, sehingga diperoleh jumlah dan ukuran kapal yang paling optimal.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh data distribusi *Crude Palm Oil* (CPO) yang dikirim oleh PT. Kurhanz Trans dari PKS ke wilayah distribusi. Sampel merupakan bagian dari populasi yang dipilih untuk mewakili karakteristik populasi secara keseluruhan (41). Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *purposive sampling* yaitu pemilihan sampel berdasarkan kriteria tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian (41). Sampel penelitian ini adalah data distribusi CPO pada bulan Oktober 2024 yang dipilih karena memiliki volume permintaan tertinggi sehingga dinilai paling representatif dalam menggambarkan kondisi aktual distribusi CPO.

Prosedur Analisis Data

Tahapan penelitian diawali dengan studi pendahuluan melalui observasi, wawancara, dan telaah dokumen untuk memahami permasalahan distribusi *Crude Palm Oil* (CPO) di Papua Barat serta merumuskan fokus penelitian pada aspek *supply-demand*, biaya operasional kapal (BOK), dan waktu tempuh. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data sekunder dari dokumentasi internal perusahaan yang meliputi volume distribusi CPO tahun 2024, jarak pelayaran, dan biaya operasional. Analisis *supply-demand* dilakukan menggunakan pendekatan siklus *supply chain* untuk menentukan kebutuhan dan kapasitas moda transportasi darat dan laut. Tahap berikutnya adalah perhitungan BOK untuk truk tangki, kapal tongkang, dan *tugboat* serta analisis waktu tempuh pelayaran sebagai dasar evaluasi efisiensi operasional. Hasil perhitungan kemudian dievaluasi untuk menentukan kombinasi kapal tongkang dan *tugboat* yang paling optimal, yang selanjutnya dirumuskan dalam bentuk kesimpulan dan rekomendasi bagi perusahaan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan Ukuran Kapal Berdasarkan Kondisi Pelabuhan Karekano, Sorong Selatan

Pelabuhan Karekano yang berlokasi di Kabupaten Sorong Selatan merupakan pelabuhan regional dengan keterbatasan infrastruktur, baik dari sisi panjang dermaga maupun kedalaman perairan. Berdasarkan laporan teknis KSOP Sorong Selatan dan dokumen DLKR/DLKP Tahun 2020, panjang dermaga di pelabuhan ini berkisar antara

180-210 meter dengan kedalaman perairan rata-rata 8 hingga 9 meter. Kondisi tersebut secara teknis membatasi operasional kapal berukuran besar, khususnya kapal dengan panjang melebihi 270 feet, karena berpotensi menimbulkan risiko terhadap keselamatan pelayaran, stabilitas kapal saat sandar, serta kerusakan struktur dermaga.

Lebih lanjut, dalam dokumen DLKR/DLKP Tahun 2020 ditetapkan bahwa kapasitas kapal yang diizinkan beroperasi di Pelabuhan Karekano berada pada rentang muatan minimum 2.000-3.000 MT dan maksimum 7.000 MT. Dengan mempertimbangkan batasan tersebut, kapal tongkang berukuran 230 *feet* dan 240 *feet* dinilai paling sesuai secara teknis dan regulatif. Ukuran kapal ini memenuhi persyaratan panjang dan draft, mampu beroperasi dengan aman di perairan pelabuhan, serta mendukung proses bongkar muat yang lebih efisien dengan risiko minimal terhadap infrastruktur pelabuhan. Oleh karena itu, pemilihan kapal tongkang dengan ukuran tersebut menjadi solusi yang realistis dan optimal dalam mendukung distribusi CPO di Pelabuhan Karekano.

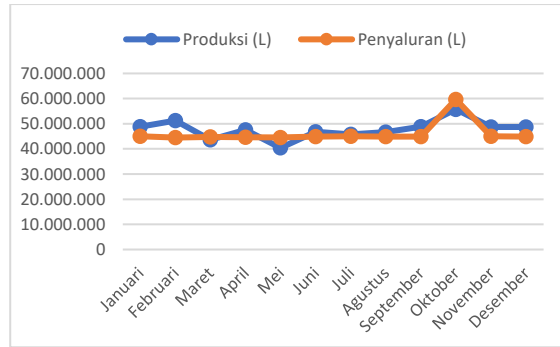
Analisis *Supply-Demand* Dengan Volume Pengiriman CPO Sebagai Penentuan Jumlah Kapal Tongkang

Untuk mendukung kelancaran distribusi CPO di Papua Barat, khususnya pada rute dari PKS menuju pelabuhan, dilakukan analisis terhadap keseimbangan antara volume produksi (*supply*) dan volume penyaluran (*demand*) sebagai dasar penentuan jumlah kapal tongkang yang dibutuhkan. Proses distribusi dimulai dari pengangkutan CPO menggunakan truk tangki dari PKS ke pelabuhan, kemudian dilanjutkan dengan pemuatan ke kapal tongkang untuk dikirim menuju kapal tanker. Analisis ini menggunakan data produksi dan penyaluran CPO yang bersumber dari laporan internal PT. Kurhans Trans tahun 2024, yang disajikan dalam bentuk tabel berisi volume pengiriman CPO oleh truk tangki dan kapal tongkang, sebagaimana dirangkum pada berikut.

Tabel 1. Data Pengiriman CPO Truk Tangki.

Periode	Ritase Pengiriman	Jumlah Truk	Tonase Truk	Rata – rata Pengiriman (MT)
Harian	11	18	30	5756
Mingguan	22	18	30	11.512
Bulanan	88	18	30	44.988

Selanjutnya, volume pengiriman CPO kapal tongkang menuju kapal tanker yang menjadi dasar perhitungan dalam menentukan jumlah kebutuhan kapal tongkang dapat dilihat pada diagram berikut.



Gambar 1. Produksi dan Penyaluran CPO 1 tahun 2024.

Analisis kebutuhan jumlah kapal tongkang dalam penelitian ini difokuskan pada penyaluran CPO dari kapal tongkang menuju kapal tanker dengan mengambil bulan Oktober 2024 sebagai periode acuan, karena pada bulan tersebut tercatat volume penyaluran tertinggi sebesar 59.685 ton. Konversi volume ke massa dilakukan menggunakan standar massa jenis CPO sebesar 1,0 kg/L, sehingga volume dalam liter dikalikan massa jenis dan kemudian dikonversi ke satuan ton. Tingginya volume penyaluran pada bulan Oktober menunjukkan beban distribusi yang lebih besar dibandingkan bulan lainnya, sehingga periode ini dianggap paling representatif untuk menentukan kebutuhan armada. Jumlah kapal yang diperlukan kemudian ditentukan dengan membagi total volume CPO yang harus disalurkan dengan kapasitas angkut masing-masing kapal tongkang, sehingga diperoleh jumlah kapal yang dibutuhkan untuk memenuhi permintaan distribusi secara optimal.

Kapal Tongkang 270 feet

Kapal tongkang berukuran 270 feet memiliki kapasitas angkut sekitar 6.500 ton per trip. Berdasarkan volume penyaluran CPO bulan Oktober sebesar 59.685.250 liter, dibutuhkan sebanyak 9 unit kapal tongkang untuk memenuhi kebutuhan distribusi. Dengan keterbatasan dermaga yang hanya dapat melayani dua kapal sekaligus, operasional dilakukan secara bertahap melalui enam kali trip. Setiap trip memerlukan waktu rata-rata lima hari, sehingga total waktu distribusi mencapai sekitar 30 hari dalam satu bulan operasional.

Kapal Tongkang 230 feet

Kapal tongkang berukuran 230 feet memiliki kapasitas angkut sekitar 5.000 ton per trip. Berdasarkan perhitungan kebutuhan distribusi pada bulan Oktober, diperlukan sebanyak 12 unit kapal tongkang. Sama seperti skema sebelumnya, keterbatasan kapasitas dermaga menyebabkan pengiriman dilakukan dalam enam kali trip, dengan durasi sekitar lima hari

per trip. Dengan demikian, total waktu operasional distribusi CPO juga mencapai sekitar 30 hari dalam satu bulan.

Kapal Tongkang 240 feet

Kapal tongkang berukuran 240 feet memiliki kapasitas angkut sebesar 5.700 ton per trip. Berdasarkan volume distribusi CPO bulan Oktober, jumlah kapal yang dibutuhkan adalah 10 unit. Dengan kapasitas dermaga yang hanya mampu melayani dua kapal sekaligus, pengiriman dilakukan dalam lima kali trip, dengan waktu operasional sekitar lima hingga enam hari per trip. Skema ini memungkinkan total waktu distribusi berada pada rentang 25-30 hari per bulan. Mengacu pada MPA Singapore 2025, kapal tongkang ukuran 230-240 feet dapat dioperasikan dengan dua kapal *tugboat*, sehingga dalam satu kali trip digunakan enam unit kapal tongkang beserta *tugboat* pendukungnya.

Analisis jumlah kapal berdasarkan volume distribusi CPO pada bulan Oktober memberikan gambaran awal mengenai kebutuhan armada yang diperlukan untuk mendukung kelancaran operasional logistik perusahaan. Namun, pemilihan skema pengiriman tidak dapat diputuskan hanya berdasarkan kuantitas kapal semata, melainkan juga harus mempertimbangkan aspek biaya yang ditimbulkan dari setiap alternatif.

Analisis Perhitungan BOK

Analisis Perhitungan BOK Truk

1) Perhitungan Biaya Tetap

Biaya tetap dalam perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) truk tangki meliputi biaya depresiasi kendaraan dan karoseri, biaya bunga bank, asuransi, perizinan, perlengkapan keselamatan, peralatan angkut, serta biaya overhead. Perhitungan dilakukan dengan membagi total biaya masing-masing komponen terhadap produksi truk per tahun (ton-km) sehingga diperoleh biaya satuan yang proporsional terhadap output angkutan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa komponen biaya tetap terbesar berasal dari biaya pembelian kendaraan dan bunga bank, sedangkan biaya perizinan dan pengawasan memberikan kontribusi paling kecil terhadap total biaya tetap.

Tabel 2. Rekapitulasi Biaya Tetap Truk Tangki.

No	Komponen Biaya Tetap	Biaya (Rp/ton-km)	Biaya (Rp/km)
1	Biaya Pembelian Truk	229,07	6.872
2	Biaya Pembelian Karoseri	30,58	917
3	Biaya Bunga Bank	156,25	4.688
4	Biaya Asuransi	44,63	1.339
5	Biaya Izin Pengangkutan B3	1,58	47
6	Biaya Izin Pengawasan	0,16	5
7	Biaya Perlengkapan Keselamatan	1,77	53,03
8	Biaya Peralatan Angkut Barang	12,63	378,7
9	Biaya Overhead (Gaji & Tunjangan)	27,99	839,65
Total	504,66	15.139,38	

Bagian ini memuat proses pengumpulan data, rentang waktu dan lokasi penelitian, dan hasil analisis data (yang dapat didukung dengan ilustrasi dalam bentuk tabel atau gambar, **bukan** data mentah, serta **bukan** dalam bentuk *printscreen* hasil analisis), ulasan tentang keterkaitan antara hasil dan konsep dasar, dan atau hasil pengujian hipotesis (jika ada), serta kesesuaian atau pertentangan dengan hasil penelitian sebelumnya, beserta interpretasinya masing-masing. Bagian ini juga dapat memuat implikasi hasil penelitian, baik secara teoritis maupun terapan. Setiap gambar dan tabel yang digunakan harus diacu dan diberikan penjelasan di dalam teks, serta diberikan penomoran dan sumber acuan. Berikut ini diberikan contoh tata cara penulisan subjudul, sub-subjudul, sub-sub-subjudul, dan seterusnya.

2) Perhitungan Biaya Tidak tetap

Biaya tidak tetap merupakan biaya operasional yang besarnya dipengaruhi langsung oleh intensitas penggunaan kendaraan. Dalam penelitian ini, biaya tidak tetap truk tangki meliputi biaya bahan bakar minyak, pelumas, ban, pemeliharaan dan penggantian suku cadang, serta biaya operasional perjalanan. Perhitungan biaya bahan bakar didasarkan pada konsumsi rata-rata 2,5 km/liter dengan penggunaan harian 88 liter dan harga solar industri sebesar Rp13.000 per liter, sehingga diperoleh biaya BBM sebesar Rp173,33 per ton-km. Biaya pelumas mencakup oli, fuel filter, dan grease dengan total biaya Rp4,35 per ton-km, sedangkan biaya ban dihitung berdasarkan penggunaan 10 ban per truk dengan daya tahan 50.000 km dan menghasilkan biaya Rp23,33 per ton-km. Biaya pemeliharaan dan penggantian suku cadang, yang meliputi lampu, minyak rem, dan karet lem, menghasilkan biaya sebesar Rp1,04 per ton-km. Selain itu, biaya operasional perjalanan yang terdiri dari komisi sopir dan biaya parkir menghasilkan biaya terbesar, yaitu Rp1.341,67 per ton-km. Seluruh komponen tersebut membentuk total biaya tidak tetap truk tangki yang signifikan dalam struktur BOK.

Tabel 3. Rekapitulasi Biaya Tidak Tetap Truk.

No	Komponen Biaya Tidak Tetap	Biaya (Rp/ton- km)
1	Biaya Bahan Bakar Minyak	173,33
2	Biaya Pelumas	4,35
3	Biaya Ban	23,33
4	Biaya Pemeliharaan dan Penggantian Suku Cadang	1,04
5	Biaya Operasional Perjalanan	1.341,67
	Total Biaya Tidak Tetap	1.543,73

Total biaya per ton-km sebesar Rp2.048,37, dengan margin keuntungan operator 10% sehingga biaya angkutan per ton-km menjadi Rp2.253. Total biaya operasional truk tangki untuk CPO Papua Sorong Selatan dihitung sebesar Rp1.427.633.131 per tahun dihasilkan dari Biaya Angkut per ton-km dikalikan dengan jumlah ton-km / tahun CPO.

Analisis Perhitungan Kapal Tongkang dan Tugboat

1) Analisis Perhitungan Kapal Tongkang 270 Feet

Berdasarkan seluruh komponen biaya yang telah dihitung, biaya operasional kapal tongkang 270 feet dan tugboat 5000 HP terdiri atas biaya langsung dan tidak langsung, baik yang bersifat tetap maupun tidak tetap. Biaya tidak tetap mencakup BBM mesin induk dan bantu, pelumas, gemuk, air tawar, biaya lingkungan pelabuhan, serta pemeliharaan dan perbaikan, yang secara keseluruhan memberikan kontribusi signifikan terhadap total BOK. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total BOK kapal tongkang 270 feet sebesar Rp1.022.371.200 per tahun. Dengan pengoperasian sembilan unit kapal tongkang dan delapan belas unit tugboat, maka total biaya operasional perusahaan secara keseluruhan mencapai Rp1.778.060.409.720 per tahun. Nilai ini menjadi dasar penting dalam evaluasi efisiensi operasional armada serta penetapan tarif angkutan CPO yang ekonomis dan berkelanjutan.

2) Analisis Perhitungan Kapal Tongkang 230 Feet

Berdasarkan seluruh komponen biaya langsung dan tidak langsung yang telah dihitung, maka total Biaya Operasional Kapal (BOK) untuk kapal tongkang 230 feet Rekapitulasi ini mencakup biaya langsung tetap, biaya langsung tidak tetap, serta biaya tidak langsung tetap dan tidak tetap. Nilai total BOK digunakan sebagai dasar dalam menilai efisiensi penggunaan kapal tongkang 230 feet dibandingkan ukuran kapal lainnya dalam pengangkutan CPO di wilayah Sorong Selatan. Jumlah perhitungan BOK dari biaya langsung dan tidak langsung ialah Rp206.201.757.209 per tahun, karena perusahaan menggunakan sembilan kapal tongkang dan delapan belas kapal Tugboat maka total keseluruhan biaya nya dalam satu tahun ialah Rp2.474.421.086.513

3) Analisis Perhitungan Kapal Tongkang 240 Feet

Analisis BOK kapal tongkang 240 feet menunjukkan bahwa penggunaan kapal ini memerlukan perhitungan biaya yang cukup besar namun masih layak dipertimbangkan sebagai alternatif distribusi CPO. Total biaya langsung tetap yang terdiri dari penyusutan kapal dan tugboat, bunga modal, asuransi, serta biaya ABK mencapai sekitar Rp2,51 miliar per tahun. Sementara itu, biaya langsung tidak tetap yang meliputi BBM, pelumas, gemuk, air tawar, biaya lingkungan pelabuhan, serta pemeliharaan dan perbaikan mendominasi struktur biaya dengan total sekitar Rp162,49 miliar per tahun. Biaya tidak langsung, baik tetap maupun tidak tetap, yang mencakup pegawai darat, pengelolaan dan manajemen, ATK, serta telepon, internet, dan listrik, mencapai sekitar Rp1,06 miliar per tahun. Dengan demikian, total BOK kapal tongkang 240 feet adalah sekitar Rp166,05 miliar per tahun.

Jika diimplementasikan dengan sembilan unit kapal tongkang dan delapan belas unit tugboat sesuai kebutuhan operasional, total biaya operasional tahunan perusahaan diperkirakan mencapai Rp1,66 triliun, yang selanjutnya menjadi dasar perbandingan efisiensi dengan alternatif ukuran kapal lainnya.

Analisis Perhitungan Waktu Tempuh

1) Analisis Perhitungan Kapal Tongkang 240 Feet

Kapal tongkang berukuran 270 feet yang dioperasikan dengan bantuan kapal tugboat berkekuatan 5.000 HP menempuh jarak pelayaran sejauh 140 mil laut. Dengan kecepatan operasi rata-rata sebesar 2 knots, waktu yang dibutuhkan kapal untuk menyelesaikan satu kali perjalanan distribusi CPO adalah sekitar 70 jam. Waktu ini merepresentasikan durasi pelayaran dari pelabuhan asal hingga pelabuhan tujuan dalam satu trip pengiriman. Dalam kondisi operasional, dua kapal tugboat digunakan secara bersamaan untuk menarik tongkang, masing-masing berada di bagian depan dan belakang guna menjaga stabilitas serta keselamatan pelayaran. Meskipun jumlah tugboat yang digunakan lebih dari satu, kecepatan operasi tetap konstan, sehingga waktu tempuh perjalanan tidak mengalami perubahan.

2) Analisis Perhitungan Waktu Tempuh Kapal 230 feet dan 240 feet

Analisis waktu tempuh untuk kapal tongkang berukuran 230 feet dan 240 feet menunjukkan durasi pelayaran yang sama dengan kapal tongkang 270 feet. Kedua jenis kapal tersebut menempuh jarak distribusi CPO sejauh 140 mil laut dengan kecepatan operasi rata-rata 2 knots. Dengan karakteristik operasional tersebut, waktu tempuh yang dibutuhkan untuk satu kali perjalanan adalah sekitar 70 jam. Dalam pelaksanaannya, masing-masing kapal tongkang ditarik oleh dua kapal tugboat yang bergerak secara beriringan untuk menjaga arah dan kestabilan selama pelayaran. Perbedaan ukuran tongkang maupun konfigurasi armada tidak memengaruhi kecepatan operasi, sehingga waktu tempuh total perjalanan tetap sama.

Pembahasan Temuan Hasil Penelitian

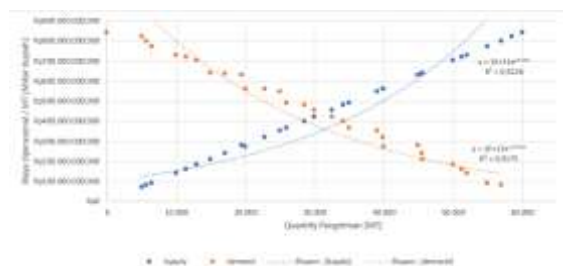
Berdasarkan hasil perbandingan pada tabel, dari aspek *supply-demand* kapal tongkang berukuran 240 feet mampu memenuhi kebutuhan distribusi CPO secara lebih efisien dengan komposisi armada yang lebih proporsional, yaitu 12 unit tongkang dan 24 unit tugboat. Sementara itu, kapal tongkang 230 feet meskipun tetap mampu memenuhi kebutuhan *supply-demand*, memerlukan jumlah armada dan frekuensi perjalanan yang lebih banyak. Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas angkut kapal 240 feet lebih

optimal dalam menyesuaikan volume muatan dengan kebutuhan distribusi tanpa menambah kompleksitas operasional.

Dari sisi Biaya Operasional Kendaraan (BOK), kapal tongkang 240 feet memiliki total biaya operasional yang lebih rendah, yaitu sebesar Rp1.660.542.230.610 per tahun, dibandingkan dengan kapal tongkang 230 feet yang mencapai Rp2.501.182.124.448 per tahun. Perbedaan ini menegaskan bahwa penggunaan kapal 240 feet lebih efisien secara ekonomi, karena mampu menekan biaya operasional meskipun tetap memenuhi target distribusi yang sama. Biaya yang lebih tinggi pada kapal 230 feet dipengaruhi oleh kebutuhan armada tambahan dan intensitas perjalanan yang lebih besar.

Ditinjau dari aspek waktu tempuh, kedua alternatif kapal menunjukkan kinerja yang sama. Baik kapal tongkang 240 feet maupun 230 feet membutuhkan waktu pelayaran sekitar 70 jam untuk menempuh jarak 140 mil laut dengan kecepatan operasi 2 knots. Kesamaan waktu tempuh ini disebabkan oleh kecepatan operasi dan kondisi pelayaran yang relatif seragam, sehingga ukuran kapal tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap durasi perjalanan.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa kapal tongkang 240 feet merupakan pilihan yang paling optimal untuk pengangkutan CPO. Kapal ini unggul dalam efisiensi pemenuhan *supply-demand*, memiliki biaya operasional yang lebih rendah, serta memiliki waktu tempuh yang setara dengan alternatif kapal lainnya. Dengan mempertimbangkan ketiga aspek tersebut, penggunaan kapal tongkang 240 feet dinilai lebih efektif dan ekonomis sebagai moda angkut CPO di wilayah kajian. Selanjutnya akan dilakukan analisis *supply demand* seperti yang tertera di gambar 2.



Gambar 2. Kurva *Supply-Demand* Kapasitas Pengangkutan CPO.

Analisis *supply-demand* dalam penelitian ini bertujuan untuk menilai keseimbangan antara kapasitas pengangkutan CPO yang disediakan armada kapal dan kebutuhan pengiriman perusahaan berdasarkan biaya operasional per MT, dengan harga CPO tahun 2025 sebesar Rp14.000.000 per MT. Kapasitas muatan kapal diposisikan sebagai sisi penawaran (*supply*), sedangkan kebutuhan pengiriman CPO sebagai sisi permintaan

(demand), sehingga interaksi keduanya dapat menggambarkan efisiensi pengangkutan CPO secara ekonomi.

Hasil analisis menunjukkan kurva *supply* berpola meningkat, di mana kapasitas pengiriman dan biaya operasional meningkat secara searah. *Supply* terendah terjadi pada kapasitas 5.000 MT dengan biaya Rp70 miliar, sedangkan *supply* tertinggi mencapai 60.000 MT dengan biaya Rp840 miliar. Sebaliknya, kurva *demand* berpola menurun, di mana permintaan tertinggi terjadi pada biaya operasional rendah dan terus menurun hingga mendekati nol seiring meningkatnya biaya pengangkutan. Pola ini mengindikasikan bahwa kenaikan biaya operasional menurunkan kemampuan pasar dalam menyerap jasa pengangkutan CPO.

Perpotongan kurva *supply* dan *demand* menunjukkan titik keseimbangan (*equilibrium*) pada kapasitas sekitar 32.000 MT dengan biaya operasional sekitar Rp455 miliar. Titik ini merepresentasikan kondisi optimal, di mana kapasitas angkut yang disediakan seimbang dengan kebutuhan pengiriman CPO tanpa surplus maupun kekurangan. Model regresi eksponensial yang digunakan menunjukkan hubungan yang sangat kuat, dengan nilai R^2 sebesar 0,9226 untuk *supply* dan 0,9175 untuk *demand*, menandakan bahwa variasi kapasitas pengiriman sangat dipengaruhi oleh biaya operasional.

Dikaitkan dengan hasil perbandingan kapal tongkang, analisis *supply-demand* berbasis nilai CPO ini menguatkan kesimpulan bahwa kapal 240 feet merupakan alternatif paling efisien. Kapal 240 feet mampu mencapai kapasitas *equilibrium* dengan jumlah armada yang lebih proporsional dan biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan kapal 230 feet. Dengan demikian, kapal 240 feet dinilai paling optimal dari sisi nilai muatan, efisiensi biaya, dan kecukupan kapasitas dalam mendukung distribusi CPO.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis keseimbangan antara kapasitas angkut dan kebutuhan distribusi *Crude Palm Oil* (CPO) di wilayah Papua Barat, diperoleh jumlah armada yang paling optimal untuk memenuhi kondisi *supply-demand*, yaitu sebanyak 12 unit kapal tongkang berukuran 240 feet yang dioperasikan dengan 24 unit kapal tugboat berkekuatan 5.000 HP. Kombinasi armada tersebut dinilai paling proporsional karena mampu mengakomodasi volume muatan yang dibutuhkan secara efektif, tanpa menimbulkan kelebihan kapasitas maupun keterlambatan dalam proses pengiriman, sehingga mendukung kelancaran rantai distribusi CPO.

Hasil perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) menunjukkan bahwa kapal tongkang berukuran 240 feet memiliki total biaya operasional sebesar Rp2.501.182.124.448 per tahun, sedangkan kapal tongkang berukuran 230 feet memiliki BOK sebesar Rp1.660.542.230.610 per tahun. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa kapal tongkang 240 feet memiliki tingkat efisiensi biaya yang lebih baik dibandingkan ukuran 230 feet, sehingga lebih ekonomis untuk digunakan dalam distribusi CPO. Hal ini menegaskan bahwa pemilihan ukuran kapal yang sesuai dengan kapasitas muatan dan karakteristik rute pelayaran berpengaruh signifikan terhadap efisiensi biaya operasional.

Berdasarkan hasil analisis waktu tempuh, diperoleh bahwa ketiga ukuran kapal tongkang yang dianalisis yaitu 230 feet, 240 feet, dan 270 feet, memiliki waktu pelayaran yang sama, yakni 70 jam untuk jarak tempuh 140 mil laut dengan kecepatan operasi 2 knots. Temuan ini menunjukkan bahwa perbedaan ukuran kapal maupun jumlah tugboat yang digunakan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap durasi pelayaran, karena faktor utama yang menentukan waktu tempuh adalah kecepatan operasi kapal itu sendiri.

DAFTAR REFERENSI

- Abdullah, A. (n.d.). Analisa efisiensi penggunaan kapal tug boat pada kapal tongkang 250 feet (Analysis on the efficiency of tug boat usage on 250 ft barges).
- Ali, M. M., Hariyati, T., Pratiwi, M. Y., & Afifah, S. (2022). Metodologi penelitian kuantitatif dan penerapannya dalam penelitian. *Education Journal*, 2(2), 1–6.
- Aryawan, W. (2010). Model pengangkutan crude palm oil (CPO) untuk domestik (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Atikah, N., & Sutopo, W. (2014). Simulasi model dinamik pengangkutan crude palm oil (CPO) di PT XYZ untuk meminimalkan biaya transportasi pengadaan bahan.
- Azharul, F., & Dharmanto, A. W. (2020). Standardisasi keamanan tongkang Alnair berukuran 320 × 90 × 20 feet muatan batubara pada kondisi perairan tropical fresh water di Indonesia. *TRAKSI: Majalah Ilmiah Teknik Mesin*, 20(1), 45–58.
- Brandan, A. (2021). Under keel clearance assessment for large vessels in shallow waters. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 147(3), 04021012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000612](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000612)
- Bujana, P. A., & Yuwono, Y. (2014). Studi penentuan draft dan lebar ideal kapal terhadap alur pelayaran (studi kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya). *Geoid*, 10(1), 59–64.
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). *The oil palm* (5th ed.). Wiley-Blackwell.

- Direktorat Jenderal Perhubungan Laut. (2020). Pedoman perhitungan biaya operasional kendaraan dan tarif angkutan laut. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2021). Statistik perkebunan sawit menurut provinsi [Data]. Katadata/Ditjenbun.
- Hensen, H. (2021). *Tug use in port: A practical guide* (4th ed.). The Nautical Institute.
- Hidayat, A., Socilato, F., & Tarigan, B. (2019). Pemetaan batimetri untuk alur pelayaran kapal di Pelabuhan Cirebon, Jawa Barat. Universitas Brawijaya.
- Hutcheson, M., & Morin, R. (2017). *Maritime transportation: An introduction to the study of shipping*. Cambridge University Press.
- Liao, W., & Chan, J. (2019). Optimizing cargo transportation with barges in constrained waterways. *Journal of Shipping and Port Engineering*, 14(2), 78–89.
- Mankiw, N. G. (2014). *Principles of economics*. Cengage Learning.
- Molle, F., & Thomas, R. (2021). The economics of barge transport in the logistics industry. *Maritime Logistics Review*, 8(1), 45–59.
- Mulyadi. (2015). *Akuntansi biaya*. UPP STIM YKPN.
- Premadi, A. (2020). Analisis perbandingan sewa kapal menggunakan model penyewaan time charter dan voyage charter oleh PT Minamas Plantation. *Journal Marine Inside*, 2(2), 14–30.
- Rachman, G., & Yuningsih, K. (2011). Pengaruh biaya distribusi dan saluran distribusi terhadap volume penjualan (studi pada Sari Intan Manunggal Knitting Bandung). *Jurnal Riset Akuntansi dan Bisnis*, 10, 151–175.
- Silalahi, U. M., Yudo, H., & Budiarto, U. (2016). Analisa pengaruh variasi sarat tongkang terhadap ekonomis pemasukan (income) pengangkutan muatan dan operasional tug boat. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1).
- Wibowo, M. A. (2021). *Upaya meningkatkan efektivitas pelaksanaan towing tongkang di Kapal Crest Gold 2* (Doctoral dissertation, Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran).
- Yuliani, A. (2012). Pola distribusi CPO di Provinsi Jambi. *Warta Penelitian Perhubungan*, 346–358.