

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pelabuhan merupakan infrastruktur kunci dalam sistem logistik maritim global karena berperan sebagai *hub* utama yang menghubungkan jalur distribusi barang melalui laut dan darat. Efisiensi operasional pelabuhan dan unit pelayanannya secara langsung memengaruhi waktu sandar, biaya transportasi, dan daya saing perdagangan suatu negara (Delfin-Ortega, 2025). Kapal tunda, kapal yang membantu manuver kapal besar, memegang peranan penting dalam menjaga kelancaran operasi pelabuhan seperti Tanjung Priok yang merupakan pelabuhan tersibuk di Indonesia (Raga et al., 2025).

Selain membantu manuver kapal, kapal tunda juga berfungsi untuk menjamin keselamatan pelayaran di wilayah perairan pelabuhan (Paulauskas et al., 2021). Pemerintah Indonesia melalui Peraturan Menteri Perhubungan (PM) No. 57 Tahun 2015 tentang Pemanduan dan Penundaan Kapal menetapkan bahwa setiap kapal dengan ukuran tertentu yang masuk atau keluar pelabuhan wajib menggunakan jasa pemanduan dan penundaan. Aturan ini bertujuan untuk menjamin keselamatan pelayaran, mencegah kecelakaan laut, serta memastikan kelancaran arus barang dan jasa di pelabuhan.

PT. Jasa Armada Indonesia Tbk, selaku anak perusahaan PT. Pelabuhan Indonesia (Persero), merupakan penyedia jasa pemanduan dan penundaan terbesar di Indonesia, yang mengoperasikan armada kapal tunda, khususnya *harbour tug*, di berbagai area operasi dengan intensitas lalu lintas kapal yang tinggi (IPC Marine, 2023). Menurut Krmac & Kaleibar (2022), efisiensi layanan pelabuhan, termasuk penundaan kapal, sangat menentukan daya saing dan keberlanjutan operasional maritim global. Sehingga efisiensi operasional armada kapal tunda menjadi hal yang krusial, karena berhubungan langsung dengan kelancaran arus kapal di pelabuhan (Arief & Kusumastuti, 2025).

Dalam penelitian efisiensi operasional, terdapat beberapa metode yang sering digunakan, yaitu *Data Envelopment Analysis* (DEA), *Stochastic Frontier Analysis* (SFA), dan *Malmquist Productivity Index* (MPI). *Data Envelopment Analysis* (DEA) merupakan metode nonparametrik yang dapat mengukur efisiensi relatif suatu unit pengambilan keputusan (*Decision Making Unit* / DMU) dengan menggunakan berbagai input dan output secara simultan tanpa memerlukan asumsi fungsi produksi tertentu (Pascoe et al., 2023). DEA telah diterapkan secara luas dalam konteks pelabuhan dan logistik maritim untuk menilai kinerja terminal maupun efisiensi penggunaan sumber daya. DEA mampu mengidentifikasi unit mana yang berada di *efisiensi frontier* serta mengukur seberapa jauh unit lain menyimpang dari kinerja terbaik tersebut (Nugraha et al., 2022).

Di sisi lain, terdapat metode *Stochastic Frontier Analysis* (SFA) yang merupakan pendekatan parametrik untuk mengukur tingkat efisiensi dengan membangun fungsi batas (*frontier function*) yang menggabungkan unsur inefisiensi dan kesalahan acak (*random error*) ke dalam model estimasi. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya membedakan penyimpangan akibat ketidakefisienan dengan penyimpangan yang disebabkan faktor eksternal seperti cuaca, kondisi pasar, maupun gangguan operasional sehingga banyak diterapkan dalam penelitian transportasi dan maritim. Namun, penggunaan SFA mengharuskan peneliti menentukan bentuk fungsi

produksi tertentu seperti *Cobb–Douglas* atau *Translog*, sehingga hasil pengukurannya sangat dipengaruhi oleh asumsi model yang digunakan (Makiela & Mazur, 2022).

Sementara itu, *Malmquist Productivity Index* (MPI) digunakan untuk mengukur perubahan produktivitas antarperiode waktu dengan menganalisis perubahan efisiensi (*efficiency change*) dan perubahan teknologi (*technological change*) secara simultan. Metode ini banyak digunakan pada sektor pelabuhan dan transportasi laut untuk mengevaluasi perkembangan produktivitas dari waktu ke waktu, terutama pada penelitian berbasis data panel. Akan tetapi, MPI cenderung lebih sesuai untuk analisis dinamis dibandingkan pengukuran efisiensi operasional pada satu periode pengamatan (Danladi et al., 2025).

Dari ketiga metode tersebut, *Data Envelopment Analysis* (DEA) menjadi metode yang paling banyak digunakan dalam penelitian efisiensi sektor maritim dan pelabuhan. DEA. Tinjauan sistematis terhadap berbagai penelitian efisiensi pelabuhan menunjukkan bahwa DEA menjadi metode dominan dalam pengukuran efisiensi operasional karena memiliki fleksibilitas tinggi dalam menangani karakteristik sistem operasional yang kompleks serta mampu mengidentifikasi unit yang berada pada *efficiency frontier* sebagai acuan bagi unit lain yang belum efisien (Krmac & Kaleibar, 2022).

Dalam konteks penelitian efisiensi operasional kapal tunda, DEA dipandang sebagai metode yang paling tepat dibandingkan metode lainnya. Hal ini disebabkan kegiatan operasional kapal tunda melibatkan banyak variabel *input* seperti konsumsi bahan bakar, daya mesin, jumlah awak kapal, biaya operasional, dan jam kerja kapal, serta berbagai variabel *output* seperti jumlah pelayanan kapal, jumlah perjalanan, waktu pelayanan, dan pendapatan operasional. DEA memiliki kemampuan mengolah seluruh variabel tersebut secara simultan tanpa perlu menyamakan satuan pengukuran. Selain itu, hubungan antara variabel operasional kapal tunda umumnya bersifat kompleks dan tidak selalu mengikuti pola matematis tertentu sehingga penggunaan metode parametrik seperti SFA dapat menghasilkan bias apabila spesifikasi fungsi yang dipilih kurang sesuai. DEA juga mampu menentukan kapal mana yang menjadi *benchmark* atau acuan terbaik sehingga perusahaan dapat mengidentifikasi sumber inefisiensi dan menentukan strategi peningkatan kinerja operasional secara lebih tepat. Penelitian pada sektor pelabuhan menunjukkan bahwa DEA secara efektif digunakan untuk evaluasi efisiensi teknis dan penentuan *benchmarking* dalam sistem operasi maritim yang kompleks (BAŠTUŠ, 2023).

Meski demikian, model DEA tradisional cenderung berhenti pada tahap pengukuran efisiensi tanpa menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi skor efisiensi tersebut. Oleh karena itu, pendekatan *Two-Stage* DEA berkembang untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Dalam model ini, tahap pertama mengukur skor efisiensi menggunakan DEA, sedangkan pada tahap kedua skor efisiensi tersebut dianalisis dengan metode statistik lanjutan untuk mengevaluasi pengaruh faktor luar seperti daya mesin, usia kapal, *bollard pull*, dan parameter teknis lainnya terhadap efisiensi operasional. Dua tahap ini memungkinkan pemahaman tidak hanya tentang berapa efisien unit tersebut, tetapi juga mengapa efisiensinya demikian (Atsunyo & Tetteh, 2025).

Regresi Tobit dipilih untuk tahap kedua analisis Data Envelopment Analysis (DEA) karena skor efisiensi yang dihasilkan DEA bersifat terbatas (*bounded*) pada interval tertentu, umumnya antara 0 dan 1, sehingga tidak memenuhi asumsi regresi linier biasa seperti *Ordinary Least Squares* (OLS). Dalam kondisi tersebut, penggunaan OLS

dapat menghasilkan estimasi parameter yang bias dan tidak konsisten karena tidak mampu menangani karakteristik data yang terpotong (*censored*). Penelitian empiris menunjukkan bahwa kombinasi dua tahap DEA–Tobit memungkinkan peneliti untuk terlebih dahulu mengukur efisiensi relatif unit pengambilan keputusan, kemudian menganalisis pengaruh variabel eksternal atau karakteristik teknis terhadap variasi skor efisiensi tersebut (Lin et al., 2021). Oleh karena itu, model Tobit digunakan untuk mengestimasi hubungan antara skor efisiensi DEA dengan faktor-faktor penentunya secara lebih tepat melalui pendekatan *maximum likelihood estimation* (Sun et al., 2025).

Penelitian oleh Wang et al. (2022) menunjukkan penerapan *Two-Stage* DEA untuk mengukur efisiensi operasional pelabuhan di Vietnam, di mana skor DEA pada tahap awal digunakan sebagai dasar untuk analisis lanjutan (metode statistik) dalam memahami performa efisiensi dan faktor pemicunya. Hal ini memperkuat relevansi dan ketepatan metode *Two-Stage* DEA dalam studi efisiensi maritim yang kompleks seperti pada armada kapal tunda di pelabuhan besar.

Fenomena nyata yang melatarbelakangi penelitian ini adalah seringnya terjadi *delay time* pelayanan pemanduan dan penundaan kapal akibat armada kapal tunda yang kurang efisien. Studi di Pelindo Banjarmasin menunjukkan bahwa keterlambatan pemanduan dan penundaan kapal sering terjadi akibat keterbatasan jumlah dan efisiensi kapal tunda, sehingga mengganggu kelancaran arus kapal masuk maupun keluar pelabuhan (Syaifullah et al., 2025). Kondisi serupa juga ditemukan di Alur Pelayaran Barat Surabaya, di mana waktu tunggu kapal meningkat akibat kinerja kapal tunda yang tidak optimal (Mansur et al., 2024). Hal ini menegaskan bahwa efisiensi kapal tunda tidak hanya berdampak pada aspek teknis, tetapi juga pada kualitas pelayanan pelabuhan secara keseluruhan.

Meskipun studi efisiensi pelabuhan menggunakan *Two-Stage* DEA telah berkembang, penelitian khusus pada armada kapal tunda di Indonesia masih terbatas, terutama integrasi faktor kondisi teknis (usia kapal, daya mesin, dan *bollard pull*) dengan analisis regresi untuk mengatasi *delay pilotage and towage service*. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengkaji efisiensi operasional armada kapal tunda milik PT. Jasa Armada Indonesia Tbk menggunakan DEA sebagai alat evaluasi kinerja berbasis *input* dan *output* teknis serta analisis regresi untuk menelusuri penyebab ketidakefisienan dari faktor kondisi teknis kapal tunda.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, dapat dirumuskan tiga masalah utama, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat efisiensi operasional armada kapal tunda di Pelabuhan Tanjung Priok berdasarkan *Data Envelopment Analysis* (DEA)?
2. Bagaimana penerapan regresi Tobit dalam mengidentifikasi faktor teknis kapal yang memengaruhi efisiensi operasional?
3. Bagaimana rekomendasi yang dapat dirumuskan untuk meningkatkan kinerja operasional armada kapal tunda?

1.3. Tujuan Penelitian

Selanjut dengan rumusan masalah di atas, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis tingkat efisiensi operasional armada kapal tunda di Pelabuhan Tanjung Priok dengan metode *Data Envelopment Analysis* (DEA).

2. Mengidentifikasi faktor yang memengaruhi perbedaan tingkat efisiensi antar kapal menggunakan metode regresi Tobit.
3. Merumuskan rekomendasi yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja operasional armada kapal tunda.
4. Memberikan kontribusi ilmiah dan rekomendasi praktis melalui analisis efisiensi operasional armada kapal tunda menggunakan metode DEA–Tobit untuk mendukung peningkatan kinerja dan layanan pelabuhan.

1.4. Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus dan kedalaman penelitian, beberapa batasan masalah ditetapkan:

1. Objek penelitian dibatasi pada armada kapal tunda berjenis *harbour tug* milik PT. Jasa Armada Indonesia Tbk yang beroperasi di Pelabuhan Tanjung Priok.
2. Analisis efisiensi operasional dilakukan menggunakan model *Data Envelopment Analysis*, dengan variabel *input* berupa jam operasi mesin dan konsumsi bahan bakar, serta variabel *output* berupa jumlah pelayanan penundaan kapal.
3. Analisis tahap kedua dibatasi pada penggunaan regresi Tobit untuk dengan faktor-faktor yang dianalisis dibatasi pada parameter teknis kapal, yaitu daya mesin, usia kapal, dan *bollard pull*.
4. Data yang digunakan merupakan data operasional dalam periode waktu tertentu sesuai ketersediaan data dari perusahaan.

1.5. Hipotesis

- **H₁ (Hipotesis Satu)**

Terdapat perbedaan tingkat efisiensi operasional pada armada kapal tunda yang beroperasi di Pelabuhan Tanjung Priok.

- **H₂ (Hipotesis Dua)**

Faktor teknis kapal yang meliputi usia kapal, daya mesin, dan *bollard pull* berpengaruh signifikan terhadap efisiensi operasional armada kapal tunda di Pelabuhan Tanjung Priok.

1.6. Luaran Penelitian

- **Hak Cipta (HAKI)**

“Modul Perhitungan Efisiensi Operasional Kapal Tunda” yang di Haki-kan.

- **Artikel Ilmiah**

Paper berjudul “Operational Efficiency Analysis of Tugboat Fleets at Tanjung Priok Port, Indonesia” yang sudah dalam status submitted pada *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*, Bangladesh.