

ABSTRAK

Pelabuhan memiliki peran vital sebagai penghubung antara moda transportasi laut dan darat, serta sebagai simpul utama dalam rantai pasok logistik global. PT XYZ sebagai operator di Pelabuhan Panjang menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan penyandaran kapal, khususnya terkait dengan keterlambatan yang menyebabkan peningkatan biaya operasional. Permasalahan ini seringkali timbul akibat alokasi dermaga yang tidak optimal, keterbatasan fasilitas pelabuhan, serta faktor eksternal seperti cuaca buruk dan keterbatasan kapal pemandu. Dalam konteks tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan alokasi dermaga dengan meminimalkan total biaya operasional kapal, yang mencakup biaya tunggu, biaya penanganan, dan biaya penalti, melalui pendekatan algoritma metaheuristik *Cuckoo Search Algorithm* (CSA).

Langkah awal penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data operasional kapal di Pelabuhan Panjang, meliputi waktu kedatangan, waktu sandar, waktu tunggu, waktu bongkar muat, serta biaya-biaya terkait. Data tersebut kemudian digunakan untuk membangun model optimasi berbasis pemrograman integer dengan pembatas dan fungsi tujuan yang mencerminkan realitas operasional pelabuhan. Model mempertimbangkan sejumlah kendala seperti panjang dermaga, waktu aman antar kapal, batasan slot dermaga, serta posisi sandar preferensi dari masing-masing kapal. Fungsi tujuan dirancang untuk meminimalkan total biaya operasional dengan menggabungkan komponen biaya tunggu, penanganan, penalti posisi sandar *non-optimal*, serta penalti keterlambatan keberangkatan kapal.

CSA diterapkan sebagai algoritma pencarian solusi optimal karena kemampuannya dalam menangani ruang pencarian besar dan kompleks. Dalam CSA, setiap solusi direpresentasikan sebagai “sarang” yang memuat kombinasi waktu sandar, posisi, dan dermaga bagi setiap kapal. Algoritma bekerja dengan mengiterasi solusi menggunakan prinsip lompatan *Lévy Flight* dan seleksi berdasarkan nilai *fitness* terendah (total biaya terkecil). Validasi dilakukan melalui simulasi pada 91 kapal selama periode observasi 10 hari, yang kemudian dibandingkan antara kondisi aktual dan hasil optimasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan CSA mampu mengurangi waktu tunggu secara signifikan dengan efisiensi lebih dari 90% pada kapal-kapal yang sebelumnya mengalami keterlambatan. Biaya tunggu yang semula mencapai Rp878 juta dapat ditekan hingga Rp0, dan total biaya penalti menurun hingga 74%. Secara keseluruhan, total biaya operasional kapal menunjukkan penurunan signifikan sebesar 40–60% tergantung pada karakteristik masing-masing kapal. Selain itu, visualisasi dengan *Gantt Chart* menunjukkan distribusi alokasi dermaga yang lebih merata dan minim tumpang tindih jadwal.

Uji sensitivitas terhadap variasi parameter biaya per jam memperkuat temuan bahwa model ini sangat responsif terhadap perubahan nilai biaya. Peningkatan biaya tunggu memaksa sistem untuk memprioritaskan alokasi yang lebih cepat, sementara peningkatan penalti keterlambatan mendorong percepatan keberangkatan kapal. Hal ini menunjukkan bahwa manajemen pelabuhan dapat mengatur kebijakan penjadwalan secara lebih adaptif dan efisien dengan menggunakan parameter biaya sebagai instrumen kendali strategi.

Dengan demikian, implementasi model optimasi CSA ini tidak hanya efektif dalam menyelesaikan permasalahan alokasi dermaga, tetapi juga memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan efisiensi operasional dan pengambilan keputusan berbasis data di lingkungan pelabuhan. Penelitian ini diharapkan menjadi acuan dalam pengembangan sistem pendukung keputusan untuk pengelolaan dermaga yang lebih adaptif, responsif, dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Pelabuhan, Alokasi Dermaga, Keterlambatan Kapal, Biaya Operasional, Cuckoo Search Algorithm, Optimasi.