

PERENCANAAN *STOWAGE PLANNING* KONTAINER *MULTI-PORT* DALAM KAPAL KARGO DI PELABUHAN PT. XYZ MENGGUNAKAN MODEL *INTEGER LINEAR PROGRAMMING* DENGAN METODE *INSERT-AND FIX ALGORITHM* UNTUK MINIMASI JUMLAH *REHANDLE* DALAM AKTIVITAS BONGKAR MUAT DI SETIAP PELABUHAN TUJUAN

1st Muhammad Zakki Dharmawan
Muly
Digital Supply Chain
Fakultas Rekayasa Industri
Bandung, Indonesia
zakkidharmawan@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Erlangga Bayu Setyawan
Digital Supply Chain
Fakultas Rekayasa Industri
Bandung, Indonesia
erlanggabs@telkomuniversity.ac.id

3rd Leo Rama Kristiana
Digital Supply Chain
Fakultas Rekayasa Industri
Bandung, Indonesia
leorama@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Pelabuhan PT. XYZ merupakan pelabuhan yang berada di Jakarta, Indonesia. Pada penelitian ini, studi kasus mengenai *Stowage Planning* berupa sebuah kapal yang bersandar di Pelabuhan PT. XYZ yaitu bertujuan ke Singapura dan Jepang mengalami jumlah *rehandle* ketika melakukan *Stowage Plan*. Hal ini dilakukan dengan menggunakan data historis di bulan Agustus 2024 yaitu berupa EDIFACT yang didapat dari kegiatan operasional kapal. Hal ini bisa menyebabkan KPI pada *Ship Planner* bisa menurun dan akan menyebabkan *rehandle* berlebih pada *Quay Crane* di pelabuhan selanjutnya. Penelitian ini mengidentifikasi spesifikasi kapal yang digunakan untuk mengantarkan seluruh kontainer. Setelah itu, penelitian ini juga harus mengidentifikasi apa saja jenis-jenis kontainer, Data yang dianalisis meliputi jenis kontainer, berat, dimensi, urutan pelabuhan tujuan, dan jumlah *rehandle* yang didapatkan dari hasil perekapan data historis sebelumnya.

Hasil yang didapatkan dari penyelesaian masalah adalah data kapal yang memiliki 4520 TEUs dan memiliki 11 destinasi untuk rute pelayaran kapal mengangkut kontainer yang dimuat dari Indonesia, kesimpulan yang bisa didapatkan adalah hasil perencanaan *Stowage Plan* menggunakan model *Integer Linear Programming* dengan pendekatan *Insert-and Fix Algorithm* bisa meminimasi *rehandle* sebesar 59-100% untuk setiap pelabuhan tujuannya. Hal ini dapat menurunkan jumlah *rehandle* untuk pelabuhan tujuan dalam rute pelayaran kapal, sehingga *Quay Crane* tidak melakukan *rehandle* berlebih.

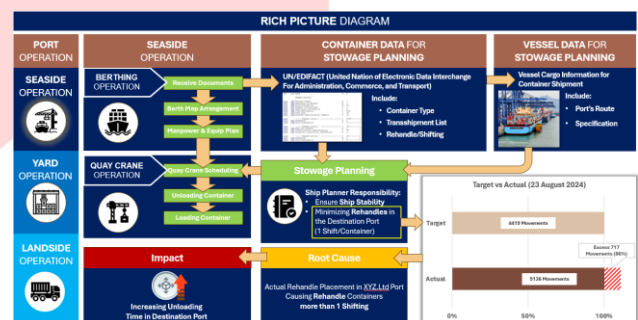
Kata kunci — Pelabuhan, *Stowage Plan*, *Rehandle*, *Integer Linear Programming*, *Insert-and-Fix Algorithm*.

I. PENDAHULUAN

PT. XYZ bergerak di bidang logistik dan pengiriman barang, menawarkan berbagai layanan lengkap yang meliputi pengiriman barang, logistik, dan operasi pelabuhan. Perusahaan ini berfokus pada pengangkutan kargo peti kemas dan non-peti kemas melalui layanan pengiriman dan keagenannya, sekaligus menyediakan solusi logistik terpadu yang mengelola rantai pasokan secara efektif. Selain itu, PT. XYZ mengelola fasilitas pelabuhan dan layanan penanganan kargo untuk memastikan operasi terminal yang efisien. Melalui segmen-segmen yang saling terhubung ini, perusahaan bertujuan untuk meningkatkan konektivitas global dan berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi sambil mempertahankan praktik bisnis yang berkelanjutan.

Salah satu studi kasus yang dikaji oleh peneliti adalah *Stowage Planning* pada salah satu kapal yang ditangani oleh

Pelabuhan PT. XYZ. Berikut merupakan *Rich Picture Diagram* untuk menjelaskan studi kasusnya:

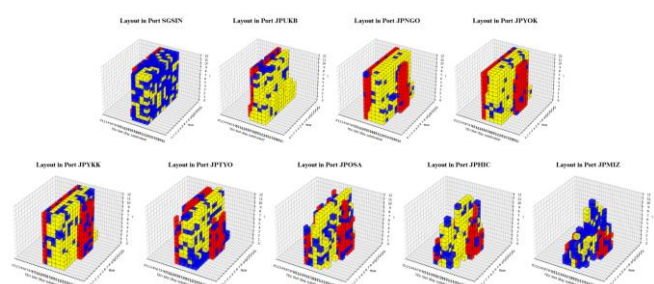


Gambar I. 1 Rich Picture Diagram

Secara keseluruhan, diagram ini menekankan adanya pengelolaan *rehandle* yang tidak efektif. Hal ini dapat menyebabkan hambatan operasional, seperti dampaknya

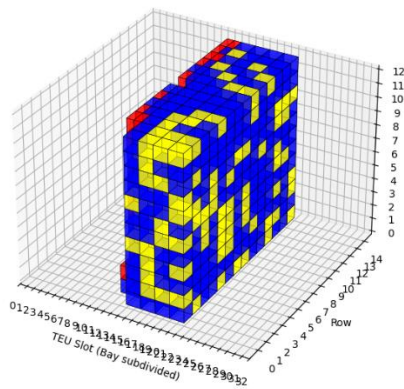
UN/EDIFACT (*United Nation of Electronic Data Interchange For Administration, Commerce, and Transport*) adalah alat administrasi dalam bisnis internasional yang terdiri dari serangkaian standar, direktori, dan pedoman yang disetujui secara internasional untuk pertukaran data terstruktur secara elektronik, antara sistem informasi terkomputerisasi yang independen. EDIFACT mencakup informasi seperti *container type*, *transshipment list*, dan *rehandle/shifting*. Dalam pengelolaan *rehandle*, terdapat target KPI yang harus dipenuhi, di mana pergeseran atau penataan ulang dalam kapal maksimal 1 pergerakan per kontainer. (*United Nations Economic Commission for Europe*., n.d.-a).

Berikut merupakan penggambaran layout kapal aktual yang mengalami pergerakan kontainer *rehandle* lebih dari KPI:



Gambar I. 2 3D Layout Kapal untuk Seluruh Pelabuhan Tujuan

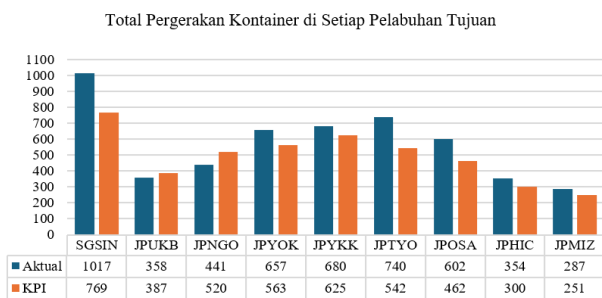
Berikut merupakan salah satu contoh penggambaran layout kapal aktual yang mengalami pergerakan kontainer rehandle lebih dari KPI:



Gambar I. 2 3D Layout Kapal untuk Pelabuhan SGSIN

Pada gambar diatas, layout kapal memiliki 3 sumbu yang menjadi keterangan Bay, Row, dan Tier dan setiap Cell memiliki 2 Slot. Jumlah Bay pada kapal adalah 16 Bay yang di kali 2 untuk mewakili Slot untuk setiap Cell nya. Jumlah Row sebesar 14 Row dan memiliki 12 Tier. Grafik tersebut memiliki 3 warna untuk mewakili keterangan kontainer dalam kapal. Kotak warna kuning merupakan representasi dari kontainer 40-feet yang tidak akan turun pada pelabuhan SGSIN. Kotak warna merah merupakan representasi dari kontainer 20-feet yang tidak akan turun pada pelabuhan SGSIN. Dan kotak warna biru merupakan seluruh kontainer yang akan turun pada pelabuhan SGSIN.

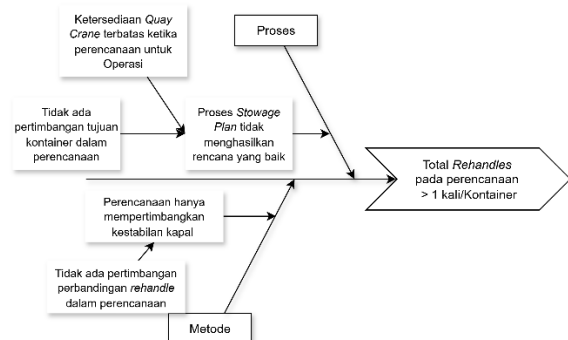
Berikut merupakan grafik dari total pergerakan kontainer untuk seluruh pelabuhan tujuan:



Gambar I. 5 Total Pergerakan Kontainer di Setiap Pelabuhan Tujuan

Pada permasalahan yang terpapar di tabel dan grafik di atas, menunjukkan bahwa pergerakan kontainer aktual melebihi batas jika dibandingkan dengan KPI. KPI pada pergerakan kontainer adalah 50% dari total kontainer On-board, karena jika seluruh kontainer dalam kapal bergerak ketika operasi bongkar, hal ini dapat mengakibatkan kemungkinan naiknya Unloading Time pada Quay Crane yang melakukan operasi muat di pelabuhan tujuan. Pada kelebihan pergerakan kontainer yang melebihi 11% dari 111%, hal tersebut disebabkan oleh penyusunan kontainer pada pelabuhan sebelumnya tidak tersusun dengan baik,

sehingga jumlah rehandle yang diekspetasikan melebihi jumlah kontainer yang tidak akan di bongkar saat kapal bersandar ke pelabuhan tujuan.



Gambar I. 5 Fishbone Diagram

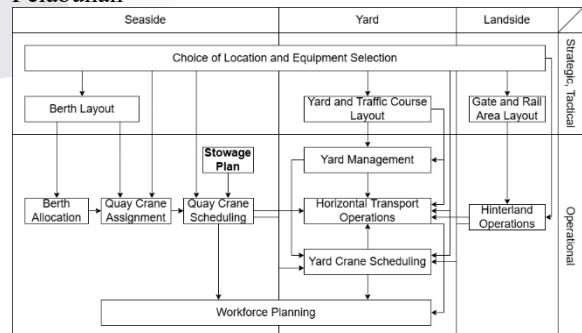
Diagram *fishbone* ini menggambarkan permasalahan terkait jumlah *rehandle* pada perencanaan di kapal lebih dari 1 kali. Diagram ini mengidentifikasi dua kategori penyebab utama, yaitu metode dan proses. Dari sisi metode, terdapat masalah pertimbangan penyusunan kontainer ke kapal hanyalah keseimbangan pada kapal, tidak ada perbandingan rehandle dalam perencanaan. Pada kategori proses, penyebab utama proses *Stowage Plan* tidak menghasilkan rencana dengan baik karena terbatasnya *Quay Crane* dalam operasi dan tidak ada pertimbangan tujuan kontainer dalam perencanaan. Dengan memahami akar permasalahan dari diagram ini, langkah perbaikan dapat difokuskan pada optimasi metode dan penjadwalan prediktif untuk *Quay Crane* dermaga.

II. KAJIAN TEORI

A. Logistik Maritim

Logistik maritim disebut sebagai proses perencanaan, penerapan, dan pengelolaan pergerakan barang dan informasi yang terlibat dalam pengangkutan laut. Logistik maritim dapat dibedakan dari transportasi laut baik dalam fokus maupun fungsi manajerialnya. Karena logistik maritim merupakan konsep yang dikembangkan dari studi transportasi maritim dalam konteks logistik, maka tiga pelaku utama transportasi maritim berikut ini membentuk sistem logistik maritim: pengiriman, pengoperasian pelabuhan/terminal, dan pengiriman barang. [1]

B. Pelabuhan



Sumber: (Parreño-Torres., 2020)

Gambar II. 1 Proses Perencanaan dan Operasional pada Terminal Kontainer

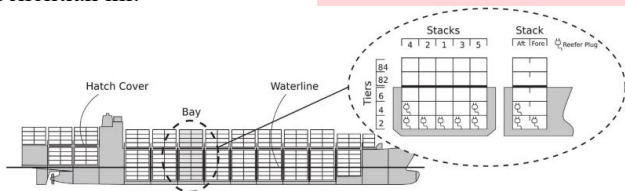
Terminal kontainer berfungsi sebagai penghubung antara berbagai moda transportasi, seperti transportasi kereta api atau truk domestik dan pengiriman lepas. Layanan dibagi menjadi tiga tahap: kedatangan peti kemas, penyimpanan peti kemas, dan keberangkatan peti kemas. [1]

C. UN/EDIFACT

UN/EDIFACT (Peraturan Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk Pertukaran Data Elektronik untuk Administrasi, Perdagangan, dan Transportasi) terdiri dari serangkaian standar, direktori, dan pedoman yang disepakati secara internasional untuk pertukaran data terstruktur secara elektronik, antar sistem informasi terkomputerisasi yang independen. [7]

D. Kapal Kontainer

Berikut adalah visualisasi kapal yang digunakan dalam penelitian ini:



Sumber: (Parreño-Torres., 2016)

Gambar II. 2 Layout Kapal

Berikut merupakan penjelasan dari bagian kapal untuk mengangkut kontainer:

1. Bays

Bays terdiri dari sejumlah sel, yang masing-masing menunjukkan posisi penyimpanan yang memungkinkan. [5]

2. Cell

Cell biasanya memiliki kapasitas dua TEU (*Twenty-Foot Equivalent Units*), yang berarti bahwa sel tersebut dapat menyimpan dua kontainer 20-foot atau satu kontainer 40-foot. Setiap posisi TEU dalam sel disebut sebagai slot. [5]

3. Slot

Slot merupakan bagian dari cell yang memiliki 2 tempat dalam satu cell. [5]

E. Container Stowage Planning Problem

Dalam dunia praktis terutama pada sektor pelabuhan, CSPP (*Container Stowage Plan Problem*) untuk kapal peti kemas maritim biasanya terdiri dari dua fase, Fase pertama, rencana penyimpanan berdasarkan kelas dibuat oleh perencana kapal, di mana jenis peti kemas ditetapkan ke posisi kapal untuk setiap bagian rute; tipologi mengacu pada berat dan ukuran. Sasaran perencana kapal adalah untuk mencapai stabilitas, sekaligus memaksimalkan pemanfaatan kapal dan meminimalkan penyimpanan berlebih. Fase kedua, terminal dapat memutuskan kecocokan antara jenis peti kemas dan peti kemas sebenarnya dengan tujuan meminimalkan waktu penanganan untuk memuat dan membongkar peti kemas. [2]

F. Model Pemrograman Integer: *Base Size Weight*

Pada bagian ini, model pemrograman integer BSW (*Base Size Weight*) yang mengidentifikasi penempatan kontainer dalam kapal berdasarkan besar dan beratnya. [6]

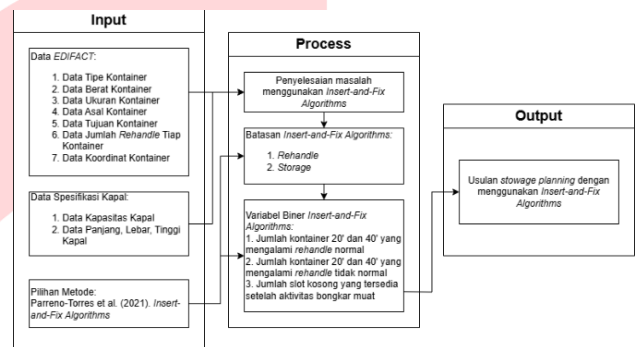
G. Insert-and-Fix Algorithm

Insert-and-Fix merupakan algoritma iteratif yang memecahkan, pada setiap iterasi, masalah linear integer (ILP), yang merepresentasikan nilai untuk masalah sebenarnya. Dalam setiap iterasi, variabel yang telah dideklarasikan sebagai biner pada iterasi sebelumnya ditetapkan ke nilai yang diperoleh dan batasan baru ditambahkan bersama dengan variabel biner di dalamnya. [6]

III. METODE

A. Kerangka Berpikir

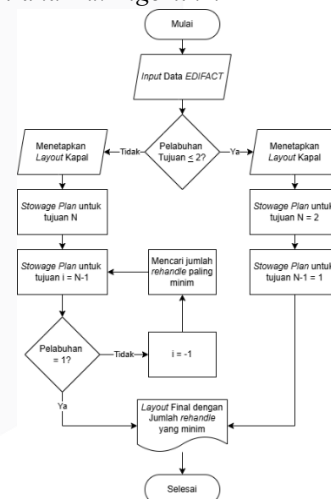
Kerangka berpikir adalah sebuah struktur konseptual yang berfungsi untuk menyusun dan mengaitkan berbagai gagasan dalam suatu penelitian. Berikut merupakan kerangka berpikir pada penelitian ini:



Gambar II. 2 Kerangka Berpikir

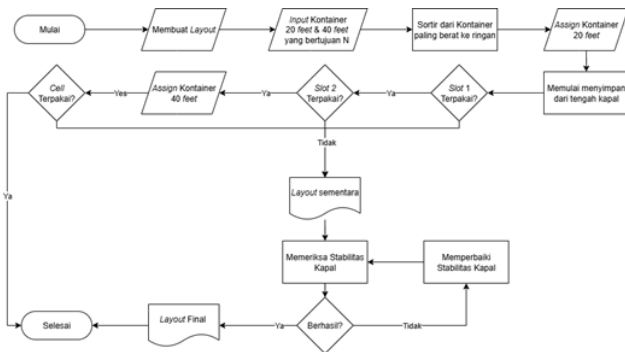
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penyelesaian Masalah *Stowage Plan* menggunakan *Insert-and-Fix Algorithm*



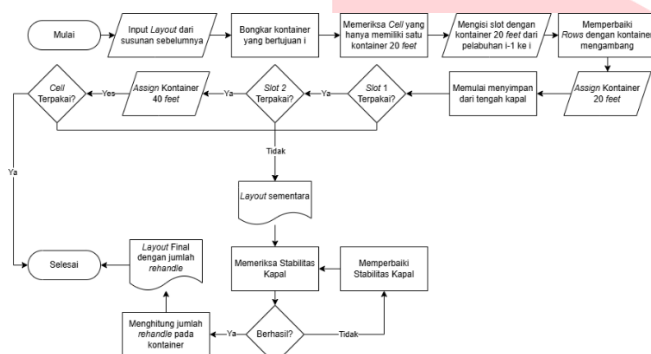
Gambar III. 3 Diagram Alur *Insert-and-Fix Algorithm*

B. *Stowage Plan* untuk Tujuan Pelabuhan Akhir



Gambar III. 2 Diagram Alur *Stowage Plan* untuk Tujuan Pelabuhan Akhir

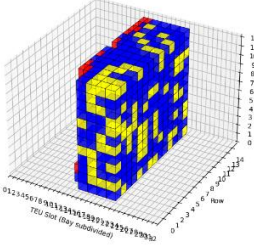
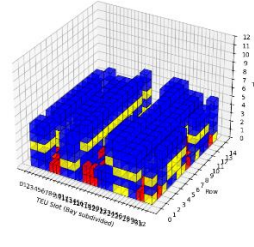
C. *Stowage Plan* untuk Tujuan Pelabuhan Sebelum Akhir



Gambar III. 3 Diagram Alur *Stowage Plan* untuk Tujuan Pelabuhan Sebelum Akhir

D. Analisis Hasil

Tabel III-1. Perbandingan Hasil *Stowage Plan* untuk Pelabuhan SGSIN dari Pelabuhan IDJKT

Visualisasi	Keterangan
	Total Container On Board From Port 1 to 2: - Total 20Ft = 268, Total Rehandle 20Ft = 45 - Total 40Ft = 676, Total Rehandle 40Ft = 117 - Empty Slots = 3756
	Total Container On Board From Port 1 to 2: - Total 20Ft = 268, Total Rehandle 20Ft = 48 - Total 40Ft = 676, Total Rehandle 40Ft = 126 - Empty Slots = 3756

Tabel III-2. Perbandingan antara Total *Rehandle Existing* dan Usulan

Pelabuhan	Jumlah <i>Rehandle Existing</i> (Shift)	Jumlah <i>Rehandle Usulan</i> (Shift)	Penurunan Jumlah <i>Rehandle</i> (%)
SGSIN	423	174	59%
JPUKB	248	128	48%
JPNGO	349	203	42%
JPYOK	518	216	58%
JPYKK	413	215	48%
JPTYO	497	133	73%
JPOSA	358	74	79%
JPHIC	223	37	83%
JPMIZ	134	0	100%
Total	3136	1180	

Penurunan jumlah *rehandle* di tabel atas menunjukkan bahwa perancangan *Stowage Plan* menggunakan *Insert-and-Fix Algorithm* menghasilkan jumlah *rehandle* dibawah dari total kontainer yang dimuat dari setiap pelabuhan bisa mencapai sekitar 59% sampai dengan 100%. Maka, bisa dilihat bahwa usulan menghasilkan jumlah *rehandle* di bawah *rehandle* maksimum dan aktual yang menjadi kondisi sebelumnya.

E. Analisis Sensivitas

Analisis sensitivitas adalah cara untuk mengecek bagaimana perubahan asumsi atau alternatif analisis mempengaruhi jawaban dari pertanyaan penelitian yang sudah ditentukan sebelumnya [3]. Pada penelitian ini, dilakukan analisis sensitivitas untuk melihat pengaruh dari *input* untuk melihat hasil dari Perencanaan *Stowage Planning* Usulan.

Pada tahap ini, dilakukan perubahan kapasitas untuk melihat beberapa hasil yang berpengaruh pada penempatan kontainer ketika di muat ke kapal. Berikut merupakan hasil dari perubahannya:

Tabel III-3. Analisis Sensivitas Penurunan Kapasitas Kapal Terhadap *Rehandle*

Skenario	Bays	Rows	Tiers	Total <i>Rehandle</i>
1	15	13	11	1139
2	14	12	10	1208

Tabel III-4. Analisis Sensivitas Penambahan Kapasitas Kapal Terhadap *Rehandle*

Skenario	Bays	Rows	Tiers	Total <i>Rehandle</i>
1	17	15	13	994

2	18	16	14	960
3	19	17	15	929
4	20	18	16	715
5	21	19	17	637

Pada tahap ini, dilakukan perubahan kapasitas untuk melihat pengaruh pada perbandingan jumlah tipe kontainer ketika di muat ke kapal dengan jumlah *rehandle*. Hal ini dilakukan untuk melihat perubahan *rehandle* yang terjadi jika seandainya kondisi masing-masing jumlah tipe kontainer yang di muat ke kapal di setiap pelabuhan tujuan diputarbalikkan.

Tabel III-5. Skenario Perubahan Perbandingan Jumlah Tipe Kontainer

Pelabuhan	Perbandingan Tipe Kontainer (Persentase)		Jumlah <i>Rehandle</i> (Shift)
	20-feet	40-feet	
SGSIN	72%	28%	162
JPUKB	59%	41%	131
JPNGO	56%	44%	204
JPYOK	54%	46%	216
JPYKK	54%	46%	193
JPTYO	57%	43%	141
JPOSA	49%	51%	116
JPHIC	52%	48%	46
JPMIZ	53%	47%	0
Total			1209

Hasil analisis di atas menunjukkan bahwa rasio perbandingan tipe kontainer dalam *Stowage Plan* sangat berpengaruh dalam jumlah *rehandle*. Hal ini dipaparkan bahwa jumlah tipe kontainer 40-feet yang lebih besar akan menaikkan jumlah *rehandle* dibandingkan dengan tipe kontainer 20-feet, karena 20-feet menggunakan 1 *Slot* dalam 1 *Cell* dalam arti lebih sedikit memanfaatkan ruang kosong dibandingkan 40-feet yang harus menggunakan 2 *Slot* sekaligus dalam 1 *Cell*.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan untuk minimasi jumlah *rehandle* yang akan dilakukan dalam aktivitas bongkar muat di pelabuhan tujuan yang dilakukan perencanaannya di Pelabuhan PT. XYZ. Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan dengan data kapal yang memiliki 4520 TEUs dan memiliki 11 destinasi untuk rute pelayaran kapal mengangkut kontainer yang dimuat dari Indonesia, kesimpulan yang bisa didapatkan adalah hasil perencanaan *Stowage Plan* menggunakan model *Integer Linear Programming* dengan pendekatan *Insert-and Fix Algorithm* bisa meminimasi *rehandle* sebesar 59-100% untuk setiap pelabuhan tujuannya.

REFERENSI

- [1] Dong-Wook Song, & Photis M Panayides. (2015). *Maritime Logistics - A Guide to Contemporary Shipping and Port Management*. Kogan Page.
- [2] Monaco, M. F., Sammarra, M., & Sorrentino, G. (2014). The terminal-oriented ship stowage planning problem. *European Journal of Operational Research*, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.05.030>
- [3] Mowbray, F. I., Manlongat, D., & Shukla, M. (2022). Sensitivity Analysis: A Method to Promote Certainty and Transparency in Nursing and Health Research. *Canadian Journal of Nursing Research*, 54(4), 371–376. <https://doi.org/10.1177/08445621221107108>
- [4] Parreño, F., Pacino, D., & Alvarez-Valdes, R. (2016). A GRASP algorithm for the container stowage slot planning problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 94, 141–157. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.07.011>
- [5] Parreño Torres, C. (2020). Improving container terminal efficiency: new models and algorithms for Premarshalling and Stowage Problems. <https://producciocientifica.uv.es/documentos/5f9a1773299952794a377178?lang=gl>
- [6] Parreño-Torres, C., Çalık, H., Alvarez-Valdes, R., & Ruiz, R. (2021). Solving the generalized multi-port container Stowage Planning problem by a matheuristic algorithm. *Computers and Operations Research*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105383>
- [7] United Nations Economic Commission for Europe. (n.d.-a). Introducing UN/EDIFACT | unece. <https://unece.org/trade/uncefact/introducing-unedifact>