



Optimasi Alokasi Lapangan Penumpukan Petikemas Ekspor Pelabuhan: Studi Kasus Terminal Peti Kemas Banjarmasin

Setyo Nugroho*, Achmad Mustakim, Dwi Wahyu Baskara, Alwi Sina Khaqiqi

Departemen Teknik Transportasi Laut, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, 60111, Indonesia

Diterima 16 Januari 2020, diperiksa 18 Mei 2020, disetujui 29 Juni 2020

Abstrak

Perencanaan alokasi penumpukan petikemas memiliki pengaruh yang besar untuk meminimalkan waktu sandar kapal dan biaya operasional terminal. Model alokasi lapangan penumpukan bertujuan mengurangi jarak tempuh truk dalam kegiatan muat dan menyeimbangkan jumlah pada setiap blok. Alokasi lapangan penumpukan petikemas yang belum optimal di Terminal Petikemas Banjarmasin merupakan salah satu permasalahan yang harus diselesaikan. Dalam upaya penyelesaian permasalahan tersebut digunakan metode evaluasi dan optimasi dalam perencanaan alokasi lapangan penumpukan petikemas. Setelah mendapatkan hasil evaluasi dan optimasi, kemudian dilakukan simulasi untuk mengetahui waktu muat kapal. Dari hasil evaluasi dan optimasi di dapatkan pada Bulan Februari 2019, jarak tempuh truk dapat berkurang hingga 4% atau 539 km dari 13.941 km, selisih petikemas pada blok kapal sebesar 74% atau 4.863 box dari 6.546 box. Selain itu didapatkan selisih petikemas pada seluruh blok penumpukan sebesar 55% atau 2.452 box dari 4.446 box, penghematan waktu kegiatan muat sebesar 13% atau 4.749 menit dari 36.129 menit. Kemudian untuk penghematan biaya bahan bakar keseluruhan dari truk, RTG, dan container crane sebesar 16% atau sebesar Rp 236.723.498 dari Rp 1.508.369.508. Dengan hasil optimalisasi ini pengelola pelabuhan dapat mengisi container Yard lebih banyak lagi.

Kata Kunci: Evaluasi dan Optimasi, Alokasi Lapangan Penumpukan, Simulasi Waktu Muat.

Abstract

Port Allocation Optimization of Export Container Yard: Case Study of Banjarmasin Container Terminal; Container stack allocation planning has a major impact on minimizing ship berth time and terminal operating costs. The yard allocation model aims to reduce the distance traveled by trucks in loading activities and to balance the number in each block. The sub-optimal allocation of the container yard at the Banjarmasin Container Terminal is one of the problems that must be resolved. For solving these problems, evaluation and optimization methods are used in planning the container stacking field allocation. After getting the results of evaluation and optimization, a simulation is carried out to determine the loading time of the ship. From the results of evaluation and optimization obtained in February 2019, the truck's mileage can be reduced by 4% or 539 km from 13.941 km, while the difference of containers in the ship block is 74% or 4.863 boxes from 6.546 boxes. In addition, the difference between the containers in the entire stacking block was 55% or 2.452 boxes from 4.446 boxes, saving time for loading activities was 13% or 4.749 minutes from 36.129 minutes. Then for the overall fuel cost savings from truck, RTG, and container crane by 16% or Rp 236.723.498 from Rp 1.508.369.508. With this optimization, port operator could allocate more containers in container yard.

Keywords: Evaluation, Stacking Field Allocation, Optimization, Simulation

1. Pendahuluan

Tren meningkatnya globalisasi ekonomi dunia dan perkembangan hubungan perdagangan internasional yang tiada henti telah menghasilkan ledakan besar di banyak industri transportasi, terutama dukungan dari rantai pasok maritim (Koilo & Grytten, 2019). Dalam rantai pasokan yang mencakup dunia, terminal peti kemas maritim sangat penting. Dalam hal volume, lebih dari 80% perdagangan barang dunia ditangani oleh pelabuhan pada tahun 2017 17,1% volume perdagangan global diangkut dalam peti kemas (Grzelakowski, 2019). Selain itu lalu lintas peti kemas menyumbang sebagian besar perdagangan internasional karena keefektifan biayanya dan oleh karena itu transportasi laut sangat penting bagi kesehatan ekonomi banyak negara (Kotachi, et al., 2018).

* Corresponding author 0813 3526 0040
E-mail: snugroho@seatrans.its.ac.id

Indonesia yang merupakan negara kepulauan sebagian besar wilayahnya terdiri dari laut (Putra & Djalante, 2016). Untuk membuat Indonesia semakin maju dalam sektor transportasi salah satunya harus dapat memberikan konektivitas antar pulau. Salah satu infrastruktur yang berguna untuk menghubungkan antar pulau untuk mengangkut sumber daya di Indonesia dengan membangun pelabuhan (Vinata, 2017). Pelabuhan Banjarmasin diarahkan untuk menjadi pusat pertumbuhan wilayah nasional yang berorientasi pada upaya untuk mendorong perkembangan sektor perkebunan, kehutanan, pertambangan, agroindustri dan industri pengolahan (Pratiwi, 2018). Dalam tiga tahun terakhir arus petikemas yang terdapat di Terminal Petikemas Banjarmasin tercatat meningkat pada setiap tahunnya.

Tabel 1. Arus Petikemas Pelabuhan Banjarmasin

Satuan	Tahun			
	2015	2016	2017	2018
Boxes	371.64	346.089	357.782	366.91
Teus	413.737	388.419	407.688	421.808

Sumber: Pelindo III Banjarmasin, 2019

Jumlah arus petikemas di Pelabuhan Banjarmasin dari tahun 2015-2018 ditampilkan pada Tabel 1. Terminal petikemas merupakan komponen terpenting dalam transportasi petikemas (Ahmad Putra, 2016). Terminal peti kemas harus berjalan dengan lancar dan hemat biaya baik untuk ekonomi tergantung pada barang yang diangkut dan pemilik terminal untuk tetap bersaing. Oleh karena itu, pengoperasian terminal peti kemas telah menjadi bidang penelitian yang aktif sejak lama (Gharehgozli, et al., 2016). Selain itu terminal petikemas memiliki pengaruh yang besar dalam efisiensi operasional transportasi petikemas baik kegiatan bongkar, penumpukan dan muat (Witjaksono & Rahardjo, 2016). Lapangan penumpukan petikemas terdiri dari beberapa blok. Setiap blok berisi sejumlah *row* dan *bay*. Sedangkan setiap *row* dan *bay* terdapat tier. Naiknya arus petikemas setiap tahunnya tentunya menjadi suatu keuntungan dan bisa menjadi masalah ketika pelabuhan tersebut belum siap dalam menangani peningkatan petikemas tersebut (Fahirah, 2020).

Salah satu yang menjadi tolok ukur kinerja pelabuhan salah satunya adalah waktu yang dihabiskan oleh kapal ketika berlabuh di dermaga (Banks, et al., 2010). Lama waktu yang dihabiskan kapal untuk berkegiatan di areal pelabuhan sebagian besar dihabiskan oleh kegiatan bongkar muat di pelabuhan. Dalam proses operasional di Terminal Petikemas Banjarmasin (TPKB) terbagi menjadi beberapa bagian diantaranya penjadwalan dan alokasi sandar kapal, penjadwalan dan alokasi container crane (CC), pemindahan petikemas dari lapangan penumpukan menuju kapal dan sebaliknya serta penumpukan petikemas dan penggunaan *Rubber Tyred Gantry Crane* (RTG) di lapangan penumpukan. Dalam operasional tersebut penentuan lokasi petikemas di lapangan penumpukan memegang peranan yang paling penting bagi keseluruhan kinerja operasional di terminal petikemas.

Penentuan lokasi petikemas pada lapangan penumpukan menjadi penting dikarenakan alokasi ini berhubungan dengan semua kegiatan pada terminal petikemas (Said & El-Horbaty, 2015). Pada dasarnya yang menjadi acuan adalah jadwal sandar kapal dan jumlah muatan yang akan di muat. Dari jadwal tersebut sebenarnya sudah dapat diketahui blok mana yang paling dekat dengan lokasi kapal sandar, namun pada kenyataannya tidak semua petikemas dapat diletakkan dekat dengan kapal yang akan dimuat dikarenakan oleh keterbatasan lapangan penumpukan. Selain jarak, penentuan lokasi petikemas juga mempertimbangkan beban kerja CC dan RTG. Hal ini dikarenakan CC dan RTG memiliki kemampuan kerja yang disebut produktifitas. Dengan adanya batasan tersebut maka penentuan lokasi petikemas tidak hanya mempertimbangkan jarak dari dermaga ke CY tapi juga mempertimbangkan beban kerja dari setiap alat tersebut. Dengan menyeimbangkan beban kerja pada setiap blok lapangan penumpukan maka akan berpengaruh terhadap antrian truk pada saat kegiatan *haulage*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat model operasional yang optimum agar bisa melayani proses bongkar muat kapal dengan cepat dan efisien.

2. Metode

Dalam penelitian ini digunakan beberapa metode sebagai penunjang untuk melakukan alokasi penataan petikemas secara optimum.

Metode Time Series Forecast

Metode digunakan sebagai cara untuk memroyeksikan jumlah petikemas yang akan dilayani kedepannya. Metode ini dilakukan dengan menggunakan data historis dan pendekatan perekonomian dalam beberapa tahun terakhir dengan asumsi faktor yang memengaruhi peramalan tetap dan hasil peramalan cenderung naik dari tahun ke tahun. Metode *time series forecast* ini dapat digunakan untuk menganalisis kelayakan dari perencanaan penembangan pelabuhan (Mustakim & Khaqiqi, 2020).

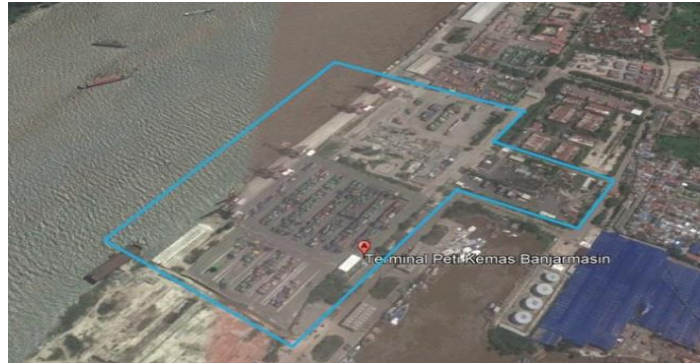
Metode Optimasi

Metode optimasi digunakan untuk menentukan alokasi penataan petikemas untuk menghasilkan hasil yang optimum (Eliyi, et al., 2013). Kriteria yang di gunakan untuk menjadi optimum adalah dalam hal biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penataan petikemas di lapangan penumpukan. Dari hasil optimasi tersebut kemudian akan dilakukan permodelan dengan menggunakan *software* lingo. Dimana tujuan dari pemodelan adalah untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penataan petikemas di lokasi penumpukan petikemas.

Metode Simulasi

Metode simulasi digunakan untuk melakukan simulasi hasil dari optimasi yang telah didapatkan dari hasil optimasi, agar hasil yang didapatkan bisa menjadi relevan saat dilakukan implementasi (Mourtzis, 2019). Zhou et al.

(2018) mendefinisikan pengoptimalan berbasis simulasi sebagai metode "untuk mengevaluasi kinerja sistem untuk konfigurasi tertentu, sedangkan algoritma pengoptimalan mengeksplorasi konfigurasi alternatif dalam ruang solusi dan mengidentifikasi pengaturan optimal" (Zhou, et al., 2018). Metode simulasi dapat menggabungkan keacakan untuk mencerminkan stokastisitas dari sistem dunia nyata. Menurut VDI (2000) dalam Kernbaum et al. (2009) Ini melampaui skema evaluasi deterministik sederhana yang dapat dievaluasi dalam hitungan detik (Kernbaum, et al., 2009). Metode simulasi ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software arena*.



Gambar 1. Terminal Peti Kemas Banjarmasin Sumber: (Google Maps, 2019)

Dengan menggunakan bantuan *software arena* ini akan didapatkan perbandingan perencanaan alokasi lapangan penumpukan petikemas eksisting dengan model alokasi lapangan penumpukan petikemas dengan menggunakan hasil dari optimasi. Menurut Watson et al. (2006) dengan menggunakan algoritma simulasi dapat memberikan kemudahan dalam memecahkan permasalahan (Watson, et al., 2006).

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam melakukan optimasi alokasi lapangan penumpukan petikemas dengan menggunakan metode optimasi dan simulasi menggunakan tahapan pada sub bagian metodologi.

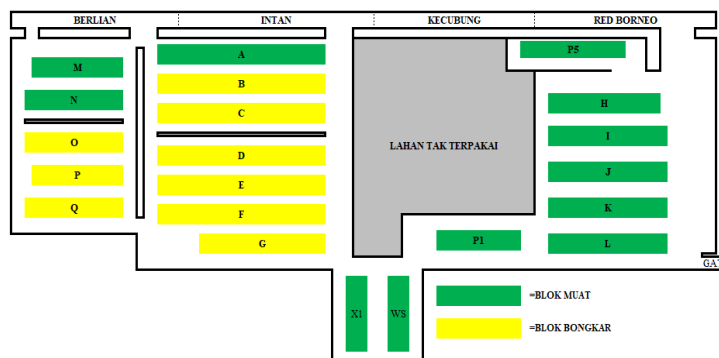
Gambaran Umum

Lokasi yang menjadi objek penelitian adalah Terminal Petikemas Banjarmasin yang merupakan salah satu terminal yang dimiliki oleh Pelabuhan Trisakti Banjarmasin yang dikelola oleh PT Pelabuhan Indonesia III Cabang Banjarmasin.

Gambar 1 Terminal Peti Kemas Banjarmasin memiliki kapasitas per tahun sebesar 605.592 teus. Pada terminal ini, lapangan penumpukan dibagi menjadi 2 yaitu untuk petikemas ekspor dan untuk petikemas impor. Untuk lebih jelasnya ilustrasi gambaran lapangan penumpukan dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari hasil pengamatan lapangan, lapangan penumpukan pada TPKB yang ditunjukkan pada Gambar 2 terbagi menjadi empat lokasi yaitu lokasi Berlian, Intan, Kecubung dan Red Borneo. Untuk petikemas ekspor dilayani oleh 12 blok penumpukan dengan kapasitas hariannya sebesar 4.589 teus dan untuk petikemas impor dilayani 9 blok penumpukan dengan kapasitas harian sebesar 3.759 teus. Dalam perencanaan alokasi lapangan penumpukan, jarak menjadi pertimbangan untuk mengurangi waktu dalam kegiatan haulage. Untuk lebih jelasnya terkait jarak lapangan penumpukan petikemas ekspor dengan tambatan dapat dilihat pada Tabel 2.

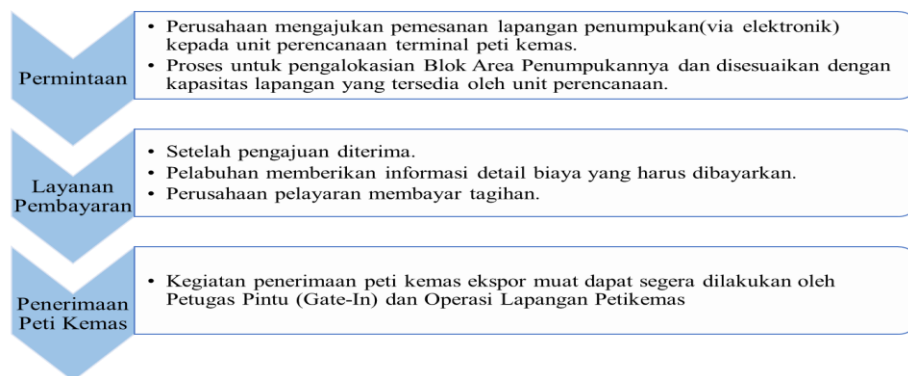
Jarak dari setiap blok lapangan penumpukan petikemas ekspor ke setiap tambatan. Jarak teempuh tersebut yang nantinya akan digunakan oleh truk pelabuhan untuk beroperasi. Perencanaan alokasi lapangan penumpukan dilakukan oleh unit perencanaan terminal petikemas sesuai dengan pesanan perusahaan pelayaran. Hasil alokasi petikemas yang di buat oleh divisi perencana adalah berupa slot petikemas setiap kapal dengan jadwal kedatangan dan keberangkatan. Untuk lebih jelasnya terkait prosedur permintaan untuk melakukan kegiatan di terminal petikemas dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Layout Lapangan Penumpukan TPKB

Tabel 2. Jarak Lapangan Penumpukan dan Tambatan

No.	Blok	Satuan	Jarak CY - Tambatan			
			Berlian	Intan	Kecubung	Red Borneo
1	A	meter	252	243	393	543
2	H	meter	855	1.005	1.040	880
3	I	meter	1.105	975	1.010	850
4	J	meter	1.080	950	980	820
5	K	meter	1.050	920	960	800
6	L	meter	1.030	900	935	775
7	M	meter	197	347	497	647
8	N	meter	250	400	550	700
9	P1	meter	667	547	727	877
10	P5	meter	790	640	490	340
11	WS	meter	760	640	820	970
12	A	meter	252	243	393	543

Gambar 3. Prosedur Permintaan *Open Stack*

Gambar 3 dijelaskan untuk prosedur untuk kegiatan *open stack* di Terminal Peti Kemas Banjarmasin. Untuk urutannya terdiri dari permintaan proses *open stack* kemudian melakukan layanan pembayaran dan proses *open stack* dapat dilakukan. Ketika merencanakan perluasan atau modifikasi terminal, berbagai aspek terminal menjadi perhatian. Diantara yang harus diperhatikan yaitu tata letak dermaga, tata letak halaman, tata letak gerbang dan area rel (Kotachi, et al., 2018).

Gambaran Model Alokasi Lapangan Penumpukan

Alokasi lapangan penumpukan petikemas ekspor ini juga dikenal sebagai *Yard Allocation Problem (YAP)*. YAP ini diselesaikan dengan *rolling horizon strategy* atau penyelesaian berdasarkan waktu tanggal, hal ini dikarenakan *Rolling horizon* adalah metode dimana model diselesaikan dalam beberapa submodels. Strategi ini dapat digunakan ketika waktu komputasi dari model membutuhkan waktu lama dalam penyelesaiannya. Dengan menyelesaikan beberapa submodels yang lebih kecil, total waktu komputasi dapat dikurangi. Dalam pelaksanaan evaluasi alokasi petikemas ekspor pada penelitian ini, evaluasi dilakukan pada bulan Februari dengan rentang waktu yang tanggal 1 Februari 2019 hingga 28 Februari 2019.

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan alokasi muatan ekspor setiap kapal yang telah dibuat oleh divisi perencanaan dengan hasil model alokasi lapangan penumpukan melalui optimasi. Evaluasi dilakukan dalam satu bulan untuk melihat secara keseluruhan perencanaan dan perbandingan antara alokasi saat ini dengan model alokasi lapangan penumpukan melalui optimasi.

Model Matematis Lapangan Penumpukan

Dalam model alokasi lapangan penumpukan ini terdapat variabel keputusan, fungsi tujuan, dan batasan. Uraian dari ketiga komponen tersebut yaitu Variabel Keputusan yang terdiri atas (A_{ijt}) merupakan alokasi blok i untuk kapal j , variabel biner yang bernilai 1 jika terdapat petikemas yang dialokasikan pada blok i , dan 0 jika tidak, ($aN2$) merupakan Jumlah alokasi petikemas 20 kaki, dan ($aN4$) merupakan Jumlah alokasi petikemas 40 kaki. Terdapat tiga fungsi tujuan dalam model alokasi lapangan penumpukan ini, yang ditunjukkan pada persamaan matematis (1)-(3).

$$f_1 = \text{Min} \sum_{t=1}^{tp} \sum_{j \in VPt} \sum_{i=1}^{NA} (D_{ijt} \cdot A_{ijt} \cdot N2_{ijt}) + (D_{ijt} \cdot A_{ijt} \cdot N4_{ijt}) \quad (1)$$

Fungsi pada persamaan (1) bertujuan untuk meminimalkan selisih total jumlah petikemas pada blok pada setiap periode.

$$f_2 = \text{Min} \left\{ \left(\text{Max} \sum_{k=1}^{K_k} (N2_{ijt} + N4_{ijt}) A_{ijt} \right) - \left(\text{Min} \sum_{k=1}^{K_k} (N2_{ijt} + N4_{ijt}) A_{ijt} \right) \right\} \quad (2)$$

Fungsi pada persamaan (2) bertujuan untuk meminimalkan selisih total jumlah petikemas pada blok pada setiap periode.

$$f_3 = \text{Min} \left\{ \sum_{t=1}^{TP} \left(\text{Max} \sum_{j \in VP_t} (N2_{ijt} + N4_{ijt}) A_{ijt} \right) - \left(\text{Min} \sum_{j \in VP_t} (N2_{ijt} + N4_{ijt}) A_{ijt} \right) \right\} \quad (3)$$

Fungsi pada persamaan (3) bertujuan untuk meminimalkan selisih jumlah petikemas pada blok untuk kapal j. Fungsi multi objektif untuk menyatukan beberapa fungsi objektif.

$$\min(\omega_1 \cdot f_1, \omega_2 \cdot f_2, \omega_3 \cdot f_3) \quad (4)$$

Selanjutnya terdapat fungsi batasan, yang ditunjukkan pada persamaan (4)-(12)

$$bN2_{jt} = \sum_{i=1}^B N2_{ijt} A_{ijt} \quad (5)$$

Batasan pada persamaan (5) digunakan memastikan untuk jumlah petikemas 20 kaki yang akan di muat mendapatkan alokasi di lapangan penumpukan.

$$bN4_{jt} = \sum_{i=1}^B N4_{ijt} A_{ijt} \quad (6)$$

Batasan pada persamaan (6) digunakan untuk memastikan jumlah petikemas 40 kaki yang akan di muat mendapatkan alokasi di lapangan penumpukan.

$$\sum_{i=1}^B A_{ijt} = 2 \text{ Kran} \quad (7)$$

Batasan pada persamaan (7) digunakan untuk memastikan bahwa satu unit CC akan di layani oleh dua blok lapangan penumpukan.

$$\sum_{j=1}^K (2 \cdot N4_{ijt} + N2_{ijt}) A_{ijt} < K_i \quad (8)$$

Batasan pada persamaan (8) digunakan untuk memastikan bahwa jumlah petikemas yang dialokasikan pada blok tidak melebihi kapasitas blok tersebut.

$$N4_{ijt} + N2_{ijt} < 1000, N4_{ijt} + N2_{ijt} \geq A_{ijt} \quad (9)$$

Batasan pada persamaan (9) digunakan untuk memastikan bahwa blok yang dialokasikan terdapat petikemas.

$$\sum_{i=1}^B A_{ijt} = 1 \quad (10)$$

Batasan pada persamaan (10) digunakan untuk memastikan bahwa setiap blok hanya dialokasikan untuk satu kapal.

$$A_{ijt} \in \{0,1\} \quad (11)$$

Batasan pada persamaan (11) digunakan untuk memastikan bahwa variabel ini berisi bilangan biner. Bernilai 1 untuk blok petikemas yang dialokasikan untuk petikemas, dan 0 untuk yang tidak.

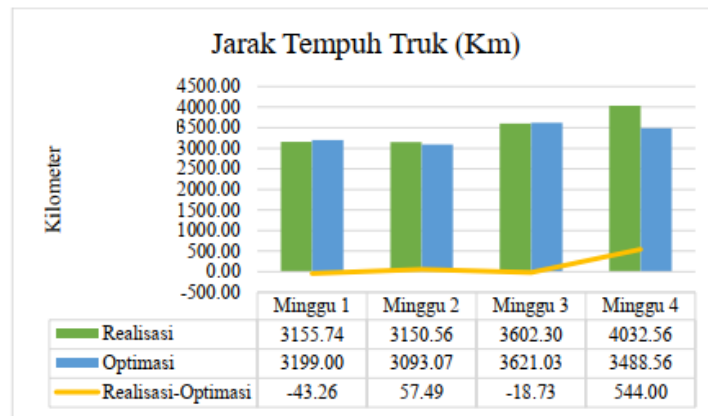
$$N4_{ijt} \in \{0,1,2,3, \dots, n\}, N2_{ijt} \in \{0,1,2,3, \dots, n\} \quad (12)$$

Batasan pada persamaan (12) digunakan untuk memastikan bahwa jumlah petikemas ukuran 20 kaki maupun 40 kaki bernilai bilangan bulat.

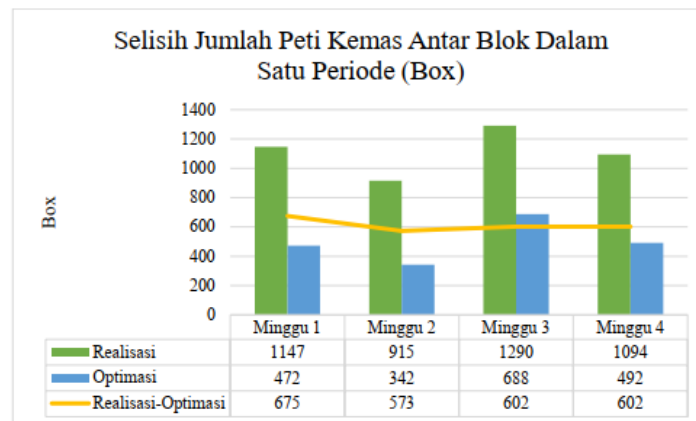
Hasil Alokasi Lapangan Penumpukan

Selanjutnya pada bagian ini akan dibandingkan alokasi lapangan eksisting dengan hasil model alokasi lapangan penumpukan pada Bulan Februari 2019 berdasarkan 3 parameter pada fungsi tujuan yang ada, yaitu Total jarak tempuh truk (*haulage*).

Salah satu parameter yang di gunakan adalah terkait jarak tempuh truk. Dari hasil perhitungan didapatkan perbandingan jarak tempuh yang dilakukan dalam pengamatan selama empat minggu. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Jarak Tempuh Truk



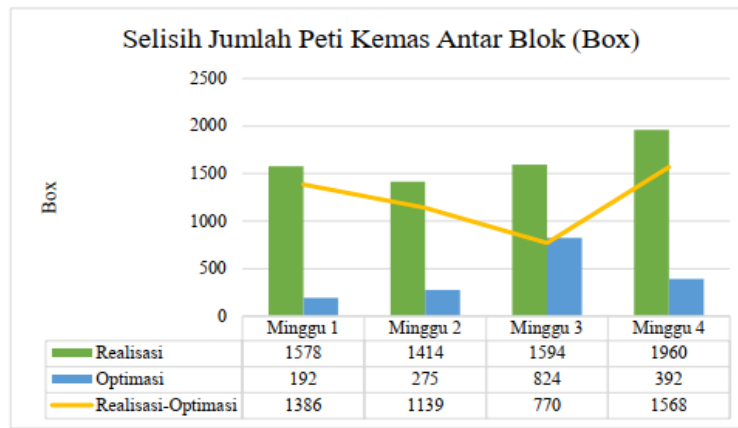
Gambar 5. Perbandingan Selisih Jumlah Petikemas Dalam Satu Periode

Perbandingan jarak tempuh total truk dari alokasi petikemas realisasi atau eksisting sebesar 13.941,166 km dan jarak tempuh total yang dihasilkan melalui optimasi sebesar 13.401,656 km yang ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini menandakan bahwa model yang digunakan dapat memperkecil jarak tempuh truk pada Bulan Februari 2019 sebesar 539,509 km atau 3,9% dari perencanaan data realisasi.

Selisih jumlah petikemas milik seluruh kapal pada blok penumpukan Untuk kriteria yang kedua yaitu menilai selisih jumlah petikemas dalam satu kali periode layanan. Untuk hasil yang didapatkan dari perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.

Grafik perbandingan dari alokasi petikemas realisasi atau eksisting dengan alokasi petikemas hasil optimasi ditampilkan lebih jelas pada Gambar 5. Pada minggu pertama menunjukkan selisih sebesar 675 box, minggu ke 2 sebesar 573 box, minggu ke 3 sebesar 602 box dan pada minggu empat sebesar 602 box. Berdasarkan data tersebut, hasil dari optimasi dapat meminimalkan selisih jumlah petikemas pada Bulan Februari 2019 sebesar 2.452 box atau 55% dari perencanaan realisasi pelabuhan. Hal ini menunjukkan bahwa keseimbangan petikemas dapat dioptimalkan menggunakan model optimasi alokasi lapangan penumpukan petikemas.

Selisih petikemas milik satu kapal pada blok penumpukan merupakan kriteria bagian yang ketiga, hal ini berbeda dengan fungsi kedua. Jika pada fungsi tujuan kedua melihat petikemas milik seluruh kapal dalam satu periode, pada fungsi tujuan ketiga ini hanya melihat dari selisih jumlah petikemas pada blok penumpukan hanya milik satu kapal saja.

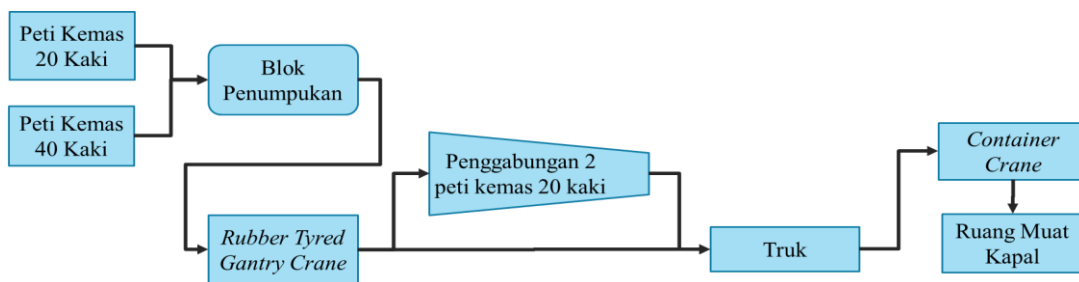


Gambar 6. Perbandingan Selisih Jumlah Petikemas Antar Blok

Ditunjukkan pada Gambar 6 hasil selisih dari realisasi atau eksisting dengan hasil optimasi pada minggu pertama sebesar 1.380 box. Kemudian menurun hingga pada minggu ke 3 menjadi 770 box dan naik kembali pada minggu ke empat dengan selisih realisasi dengan model optimasi sebesar 1.568 box. Dengan hasil semua ini model alokasi ini dapat mengurangi selisih jumlah petikemas antar blok sebesar 75% atau 4.863 box.

Simulasi Waktu Muat

Hasil perbandingan antara kondisi eksisting atau realisasi selama ini dengan hasil optimasi menunjukkan bahwa jarak tempuh truk dalam kegiatan muat hanya menurunkan jarak sebesar 3,9%, namun pada fungsi objektif kedua dan ketiga sangat besar yaitu 74% dan 55%. Dalam membuat model simulasi maka perlu mengetahui proses dan kegiatan pada saat kegiatan muat. Hal ini bertujuan untuk menyesuaikan model dengan kondisi nyata.

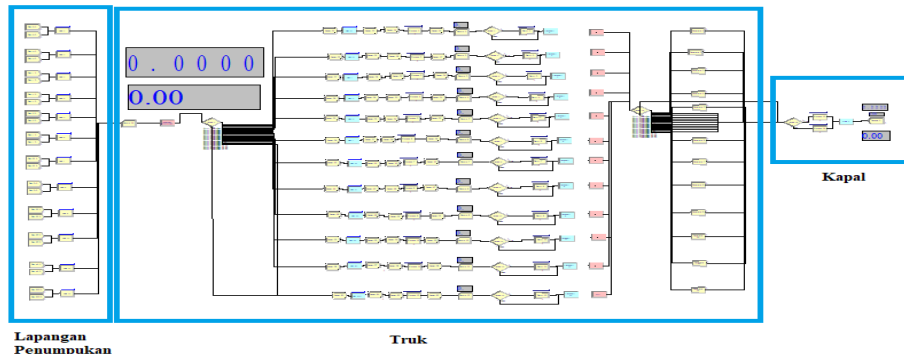


Gambar 7. Model Konseptual Kegiatan Muat Petikemas

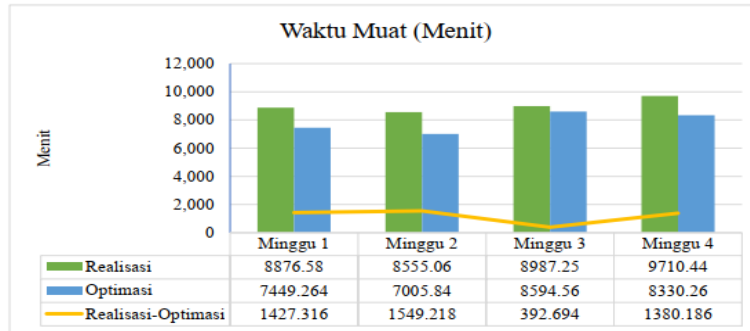
Gambar 7 menunjukkan diagram alir tahapan dalam kegiatan muat petikemas hasil desain konseptual proses dalam kegiatan muat pada terminal petikemas. Petikemas yang akan dimuat berada pada blok penumpukan sesuai dengan perencanaan, setiap blok petikemas terdapat 1 RTG yang menangani petikemas dari blok penumpukan hingga dimuat di chasis truk dan selanjutnya truk akan membawa petikemas pada kapal dengan ketentuan petikemas ukuran 20 kaki akan dibawa 2 box per truk dalam sekali jalan menuju ke dermaga dan selanjutnya petikemas akan dimuat di kapal menggunakan CC.

Berdasarkan model konseptual simulasi kegiatan muat tersebut maka diperlukan data input, antara lain (1) Data jumlah petikemas ekspor (20 kaki dan 40 kaki), merupakan data jumlah muatan yang digunakan adalah data alokasi petikemas ekspor yang di rencanakan oleh pihak pelabuhan dan data alokasi petikemas dari hasil optimasi. (2) Data jarak Haulage dari masing masing blok ke tambatan, dimana data jarak yang digunakan adalah data jarak dari lapangan penumpukan ke dermaga dan data jarak dari dermaga kembali ke lapangan penumpukan. (3) Jumlah truk yang digunakan sesuai dengan jumlah container crane yang di gunakan, yaitu 1 container crane menggunakan 6 truk dan 2 container crane menggunakan 12 truk. (4) Produktivitas dari masing masing peralatan dari Container crane, Rubber tyred gantry crane, dan Truk. Dari model konseptual simulasi tersebut maka dibuat simulasi menggunakan perangkat lunak optimasi ARENA.

Desain pada Gambar 8 menunjukkan model simulasi tersebut terbagi menjadi 3 bagian pada proses muat dimana terdapat lapangan penumpukan, truk dan kapal. Berikut adalah waktu muat dari perencanaan alokasi realisasi atau eksisting dan optimasi.



Gambar 8. Pengerjaan Simulasi Pada Software ARENA

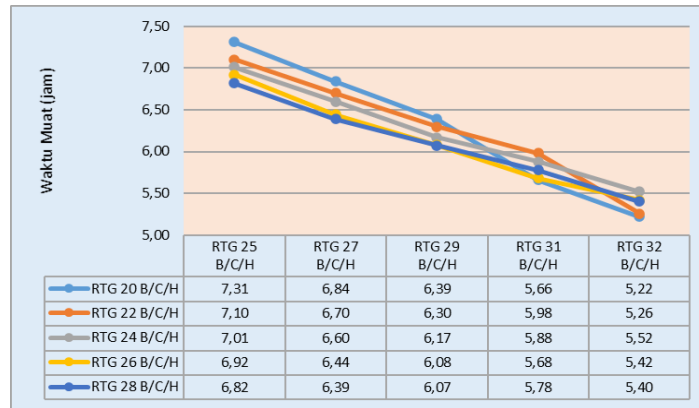


Gambar 9. Grafik keseluruhan lama waktu kegiatan muat

Hasil dari desain menggunakan software sebagai alat bantu ditampilkan pada Gambar 9, yang menunjukkan lama waktu kegiatan muat petikemas dengan melalui perencanaan menggunakan model optimasi alokasi lapangan penumpukan dapat mempersingkat waktu muat sebesar 79 jam atau 13% dari waktu muat yang dihasilkan oleh kondisi realisasi selama ini.

Analisis Sensitivitas

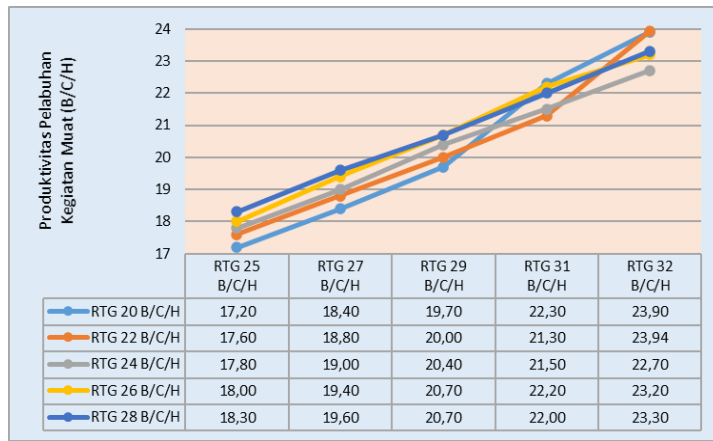
Untuk mengetahui dampak dari adanya penambahan atau pengurangan produktivitas alat bongkar muat *container crane* dan *rubber tyred gantry crane* maka perlu dilakukan analisis sensitivitas dengan meningkatkan produktivitasnya.



Gambar 10. Grafik Sensitivitas Waktu Muat

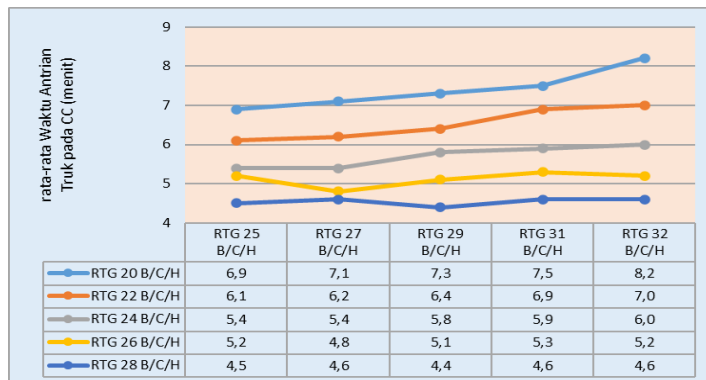
Hasil analisis sensitivitas dari waktu muat merupakan penambahan produktivitas alat bongkar muat terhadap waktu muat yang ditampilkan pada Gambar 10 menunjukkan bahwa terdapat pengurangan waktu muat jika produktivitas pada setiap alat RTG maupun CC ditingkatkan. Pada analisis sensitivitas perubahan produktivitas *container crane* dan produktivitas RTG terhadap waktu muat menunjukkan bahwa setiap terjadi peningkatan produktivitas sebesar 2 petikemas per jam pada CC maka waktu muat menurun sebesar 7%, dan jika terjadi peningkatan produktivitas pada RTG sebesar 2 box per jam maka waktu muat menurun sebesar 1%. Dari analisis sensitivitas tersebut didapatkan waktu paling singkat ketika produktivitas CC sebesar 32 B/C/H dan RTG sebesar 20 B/C/H.

hasil analisis sensitivitas penambahan produktivitas alat bongkar muat terhadap produktivitas pelabuhan (*Box/Crane/Hour*).



Gambar 11. Grafik Sensitivitas Produktivitas Pelabuhan

Terdapat peningkatan kinerja pelabuhan jika produktivitas pada setiap alat RTG maupun CC ditingkatkan, ditunjukkan pada Gambar 11. Pada analisis sensitivitas perubahan produktivitas container crane dan produktivitas RTG terhadap produktivitas pelabuhan dalam kegiatan muat menunjukkan bahwa setiap terjadi peningkatan produktivitas sebesar 2 petikemas per jam pada CC maka produktivitas pelabuhan pada kegiatan muat meningkat sebesar 7%, dan jika terjadi peningkatan produktivitas pada RTG sebesar 2 box per jam maka produktivitas pelabuhan pada kegiatan muat meningkat sebesar 1%. Dari analisis sensitivitas tersebut didapatkan waktu paling singkat ketika produktivitas CC sebesar 32 B/C/H dan RTG sebesar 22 B/C/H.

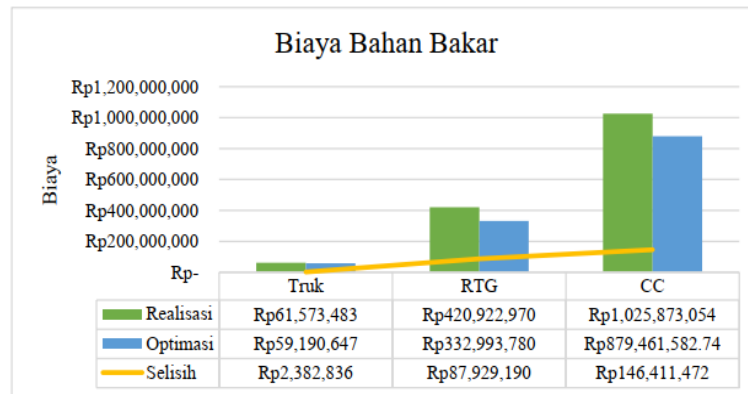


Gambar 12. Grafik Sensitivitas Rata-rata Waktu Antrian Truk

Hasil analisis sensitivitas penambahan produktivitas alat bongkar muat terhadap rata-rata waktu antrian truk pada CC ditampilkan pada Gambar 12, yang menunjukkan bahwa waktu antrian truk untuk menunggu kegiatan muat juga dipengaruhi oleh produktivitas alat bongkar muat. Pada analisis sensitivitas tersebut diketahui bahwa keseimbangan produktivitas alat bongkar muat dapat mempengaruhi waktu antrian, jika produktivitas RTG tinggi namun tidak diimbangi oleh produktivitas CC yang tinggi maka akan terjadi penumpukan di CC untuk menunggu kegiatan muat petikemas ke kapal. Rata-rata waktu antrian truk tersingkat terjadi jika produktivitas RTG sebesar 24 B/C/H dengan produktivitas CC sebesar 32 B/C/H. Pada waktu antrian truk terdapat peningkatan waktu antrian sebesar 2,1% jika produktivitas meningkat sebesar 2 B/C/H, namun jika terjadi peningkatan pada CC sebesar 2 B/C/H terjadi penurunan waktu sebesar 13%.

Biaya Bahan Bakar Alat Bongkar Muat

Dalam proses muat petikemas, terdapat beberapa biaya yang timbul antara lain adalah biaya bahan bakar truk, biaya bahan bakar RTG, dan biaya bahan bakar *container crane*. Formula perhitungan bahan bakar berdasarkan peralatan (1) Biaya bahan bakar Truk merupakan (jarak tempuh : rasio bahan bakar) \times harga bahan bakar. (2) Biaya bahan bakar Gantry Crane = SFR \times Daya mesin \times Waktu \times Harga bahan bakar. (3) Harga bahan bakar CC = SFR \times Daya mesin \times Waktu \times Harga bahan bakar.



Gambar 13. Perbandingan Biaya Bahan Bakar

Dengan menggunakan formula tersebut maka didapatkan biaya bahan bakar truk, RTG, dan CC pada Gambar 13 menunjukkan biaya bahan bakar yang diperlukan dalam kegiatan muat dengan perencanaan alokasi lapangan penumpukan realisasi adalah Rp 1.508.369.508 dan dengan hasil optimasi sebesar Rp 127.646.010 dengan adanya biaya tersebut maka didapatkan penghematan biaya sebesar Rp 236.723.498 atau sebesar 16%.

Berdasarkan hasil optimasi dan simulasi pada penelitian ini didapatkan produktivitas pada alat bongkar muat di pelabuhan berperan penting dalam penentuan alokasi penumpukan petikemas ekspor dan waktu sandar kapal. Dengan menggunakan model alokasi lapangan penumpukan yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan hasil yang lebih baik sehingga waktu sandar kapal dapat berkurang. Dengan cara meningkatkan 2 B/C/H produktivitas RTG, waktu muat berkurang sebesar 1%, produktivitas pelabuhan bertambah sebesar 1% dan untuk antrian truk pada CC bertambah 2,1%. Kemudian dengan meningkatkan produktivitas CC sebesar 2 B/C/H, waktu muat berkurang sebesar 7%, produktivitas pelabuhan bertambah sebesar 7% dan untuk antrian truk pada CC berkurang 13%. Untuk jarak tempuh truk berkurang hingga 4% atau 539 Km dari 13.941 Km. Kemudian total selisih petikemas suatu kapal pada blok penumpukan berkurang sebesar 74% atau 4.863 box dari 6.546 box. Total selisih petikemas pada seluruh blok berkurang sebesar 55% atau 2.452 box dari 4.446 box. Waktu kegiatan muat sebesar berkurang sebesar 13% atau 4.749 menit dari 36.129 menit. Selain itu terjadi penghematan biaya bahan bakar truk, RTG dan CC sebesar 16% senilai Rp 236.723.498 dari Rp 1.508.369.508 dengan rincian bahan bakar truk berkurang 4% senilai Rp 2.382.836 dari Rp 61.573.483, bahan bakar RTG berkurang 21% senilai Rp 87.929.190 dari Rp 420.922.970 dan bahan bakar CC berkurang sebesar 14% sebesar Rp 146.411.472 dari Rp 1.025.873.054.

4. Kesimpulan

Dengan menggunakan metode optimasi untuk mengalokasikan lapangan penumpukan, didapat model alokasi yang sesuai dengan karakteristik di pelabuhan Trisakti Banjarmasin. Beberapa faktor yang mempengaruhi kegiatan bongkar muat petikemas adalah produktivitas peralatan pelabuhan seperti truk, RTG, *container crane*, dan *gentry crane*. Dari hasil evaluasi dan optimasi didapatkan efisiensi pada *Container Yard* di beberapa bagian, diantaranya jarak tempuh truk berkurang hingga 4%, efisiensi alokasi petikemas pada blok penumpukan (CY) sebesar 55% dan blok kapal sebesar 74%, penghematan waktu muat sebesar 13%, dan penghematan biaya bahan bakar total dari truk, RTG, dan *container crane* sebesar 16%.

Pernyataan

Kontribusi penulis

Semua penulis memberikan kontribusi yang setara sebagai kontributor utama makalah ini. Semua penulis membaca dan menyetujui makalah akhir.

Pernyataan pendanaan

Penelitian ini tidak menerima hibah khusus dari lembaga pendanaan di sektor publik, komersial, atau nirlaba.

Konflik kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Informasi tambahan

Tidak ada informasi tambahan yang tersedia untuk makalah ini.

Daftar Pustaka

Ahmad Putra, D. (2016). Pengembangan Infrastruktur Pelabuhan Dalam Mendukung Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*.

- Banks, J., Carson, J., Nelson, B., & Nicol, D. (2010). *Discrete-Event System Simulation*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Eliiyi, D. T., Mat, G., & Özmen, B. (2013). Storage Optimization for Export Containers In The Port of Izmir. *PROMET-Traffic & Transportation*, 359-367.
- Fahirah, A. (2020). *Analisis Waktu Bongkar Muat Peti Kemas di Container Yard (Studi Kasus di Makassar New Port)*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Gharehgozli, A., Roy, D., & De Koster, R. (2016). Sea container terminals: New technologies and OR models. *Maritime Economics & Logistics*, 103-140.
- Google Inc. (2020, 01 21). *google maps*. Retrieved from google web site: <https://www.google.com/maps>
- Grzelakowski, A. (2019). Global Container Shipping Market Development and Its Impact on Mega Logistics System. *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 529-535.
- Kernbaum, S., Heyer, S., Chiotellis, S., & Seliger, G. (2009). rocess planning for IT-equipment remanufacturing. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 13-20.
- Koilo, V., & Grytten, O. (2019). Maritime financial instability and supply chain management effects. *Problems and Perspectives in Management*, 62-79.
- Kotachi, M., Rabadi, G., Seck, M., Msakni, M., Al-Salem, M., & Diabat, A. (2018). Sequence-Based Simulation Optimization: An Application to Container Terminals. *IEEE Technology and Engineering Management Conference (TEMSCON)*. Evanston, IL: IEEE.
- Mourtzis, D. (2019). Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends. *International Journal of Production Research*, 1-23.
- Mustakim, A., & Khaqiqi, A. (2020). Desain Pelabuhan untuk Pengangkutan Kapal Ternak: Studi kasus Sistem Bongkar Muat Pelabuhan Dungkek, Madura. *Jurnal Penelitian Transportasi Laut*, 21-32.
- Pratiwi, M. (2018). Disparitas & Transformasi Struktural Antar Kabupaten/Kota Di Kalimantan. *INOVASI PEMBANGUNAN – JURNAL KELITBANGAN*, 239-260.
- Putra, A., & Djalante, S. (2016). Pengembangan Infrastruktur Pelabuhan Dalam Mendukung Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 433-443.
- Said, G.-N., & El-Horbaty, E.-S. (2015). An Intelligent Optimization Approach for Storage Space Allocation at Seaports: A case study. *IEEE Seventh International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS'15)* (pp. 66-72). Cairo: IEEE.
- Vinata, R. (2017). Power of Sharing Sumber Daya Kelautan Republik Indonesia. *Jurnal Ilmiah Hukum*, 213-223.
- Watson, J., Howe, A., & Whitley, L. (2006). Deconstructing Nowicki and Smutnicki's i-TSAB tabu search algorithm for the job-shop scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 2623-2644.
- Witjaksono, A., & Rahardjo, S. (2016). Pengelolaan Waktu Endap dan Tingkat Kepadatan Lapangan Penumpukan Peti Kemas di PT Jakarta International Container Terminal. *The Asian Journal of Technology Management*, 11-35.
- Zhou, C., Li, H., Liu, W., Stephen, A., Lee, L., & Chew, E. (2018). Challenges and opportunities in integration of simulation and optimization in maritime logistics. *2018 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 2897-2908). Gothenburg, Sweden: IEEE.

