



DISERTASI

**KERJASAMA PEMANFAATAN PRASARANA DAN
SARANA TERMINAL DALAM UPAYA MENGURANGI
WAKTU PELAYANAN KAPAL DI TERMINAL PETI
KEMAS**

ADI BUDIPRIYANTO
02411360010001

PROMOTOR

Prof. Dr.Ir. Budisantoso Wirjodirdjo, M.Eng
Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D
Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D

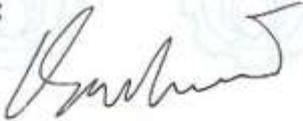
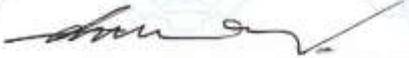
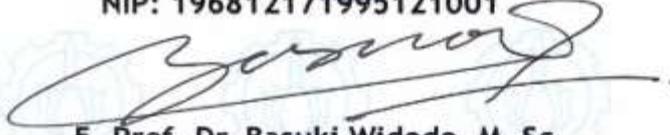
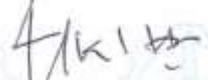
**PROGRAM DOKTOR
BIDANG KEAHLIAN LOGISTIK & REKAYASA RANTAI PASOK
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

Disertasi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Doktor (Dr.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh:

ADI BUDIPRIYANTO
NRP. 0241136001001

Tanggal Ujian : 6 Februari 2018
Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh:

- 
1. Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirdjo, M. Eng. (Pembimbing 1)
NIP : 195503081979031001
- 
2. Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M. Eng, Ph. D. (Pembimbing 2)
NIP : 196901071994121001
- 
3. Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph. D (Pembimbing 3)
NIP : 197107201995121001
- 
4. Dr. Eng. Suprayogi, S.T, M. Eng (Penguji)
NIP: 196812171995121001
- 
5. Prof. Dr. Basuki Widodo, M. Sc. (Penguji)
NIP: 196506051989031002
- 
6. Nurhadi Siswanto, S.T, M.S.I.E., Ph. D. (Penguji)
NIP. 196812171995121001

Dekan Fakultas Teknologi Industri


Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M. T.
NIP. 196905071995121001

KOLABORASI ANTAR TERMINAL CONTAINER DALAM KONDISI KETIDAKPASTIAN KEDATANGAN KAPAL

Nama Mahasiswa : Adi Budipriyanto
NRP : 2513301001
Bidang Keahlian : Logistik & Rekayasa Rantai Pasok
Promotor : Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirdjodirdjo, M. Eng.
Co-Promotor : Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M. Eng, Ph.D.
: Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Berth allocation problem merupakan permasalahan yang kompleks karena adanya faktor ketidakpastian (*uncertainty*) yang menyebabkan kedatangan kapal di pelabuhan sulit untuk diprediksi dan seringkali terlambat dari jadwal yang telah ditentukan. Keterlambatan kedatangan kapal mengakibatkan sumber daya yang sudah dipersiapkan menjadi menganggur. Operator terminal harus menyusun jadwal ulang untuk mengalokasikan kapal yang mengalami keterlambatan. Apabila sumber daya tidak tersedia maka kapal harus menunggu (antri) sampai dermaga tersedia. *Berth allocation* tidak semata-mata hanya mengalokasikan kapal ke dermaga, tetapi juga mengalokasikan sumber daya lainnya seperti *crane*, *yard*, *RTG*, dan alat transportasi. Untuk pelabuhan yang memiliki lebih dari satu terminal yang dioperasikan oleh operator berbeda dimana setiap terminal menerapkan sistem *windows slot*, setiap terminal memiliki potensi pada saat yang sama di satu terminal terjadi kekurangan (*shortage*) dan terminal lain terjadi kelebihan (*surplus*) sumber daya. Oleh karena itu dibutuhkan strategi untuk menghadapi kondisi tersebut. Salah satu strategi yang diusulkan adalah dengan melakukan kerja sama atau kolaborasi. Pada kondisi eksisting *shipping lines* yang memiliki *windows slot* di satu terminal hanya bisa *berthing* dan bongkar muat menggunakan sumber daya yang dimiliki terminal tersebut. Apabila seluruh dermaga dan sumber daya di terminal tersebut sedang digunakan, maka kapal yang datang harus menunggu dan antri sampai dermaga tersedia, meskipun di terminal lain terdapat dermaga yang tidak digunakan, demikian juga sebaliknya. Strategi kolaborasi memungkinkan setiap kapal bisa *berthing* di setiap terminal meskipun kapal tersebut memiliki *windows* di terminal yang berbeda. Dalam penelitian ini dikembangkan model *simultaneous berth allocation problem* dengan strategi kolaborasi. Karena sistem yang dimodelkan relatif kompleks dan mengandung unsur ketidakpastian maka dalam studi ini digunakan permodelan *discrete event simulation*. Beberapa skenario diusulkan dan dipilih skenario terbaik yang terbaik. Skenario ditentukan berdasarkan kombinasi empat faktor, yaitu *service order*, *berth-yard*, *crane* dan

strategy, dimana setiap faktor memiliki 2 level. Dengan menggunakan konsep *full factorial design* (2^k *factorial design*) dihasilkan sebanyak 16 skenario. Skenario pertama merupakan kondisi eksisting yang dijadikan sebagai *baseline* untuk menentukan skenario terbaik yang ditentukan berdasarkan dua respon, yaitu waktu (*waiting time*, *handling time*, *turnaround time*) dan jumlah kapal yang menunggu. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh skenario terbaik dengan kombinasi *service order* secara menggunakan sistem prioritas, *berth-yard* secara *independent*, alokasi *crane* secara *fixed*, dan strategi yang digunakan adalah kolaborasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kolaborasi dapat menciptakan keseimbangan operasi di terminal dengan *load* tinggi dan terminal dengan *load* rendah. *Waiting time* dan *turnaround time* di terminal dengan *load* tinggi menjadi lebih pendek, sedangkan di terminal dengan *load* rendah menjadi lebih panjang. Strategi kolaborasi dapat mengurangi jumlah kapal menunggu hingga 43.82 % per tahun, menurunkan *waiting time* sebesar 46.82%, dan menurunkan *turnaround time* sebesar 10.60% per kapal per kedatangan. Kolaborasi menimbulkan terjadinya *shifting* kapal dan *container* dari terminal *load* tinggi ke terminal *load* rendah. Pergeseran kapal dan *container* menyebabkan terjadinya perubahan performa finansial bagi kedua terminal. Untuk menghindarkan terjadinya kerugian bagi salah satu pihak, maka dibuat skema *profit sharing* atau *profit redistribution*.

Keywords: *Berth allocation, collaboration, uncertainty*

**PORT COLLABORATION UNDER UNCERTAINTY :
JOINT PLANNING AND OPERATION**

Nama Mahasiswa : Adi Budipriyanto
NRP : 2513301001
Bidang Keahlian : Logistik & Rekayasa Rantai Pasok
Promotor : Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirdjodirdjo, M. Eng.
Co-Promotor : Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M. Eng, Ph.D.
: Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Berth allocation problem is a complex problem because of the uncertainty factor that causes the arrival of the ship in the port is difficult to predict and often the arrival of the ship is late from the schedule. The ship's delays result in the resources already allocated for the vessel cannot be utilized. If the ship comes out of schedule, the terminal operator should re-schedule the ship, so the ship must wait until the berth is available. Berth allocation does not solely allocate ships to berth, but also allocates other resources such as cranes, yards, RTG and transportation. For ports that have more than one terminal operated by different operators and each terminal implements a windows system, each terminal has the potential at the same time in one terminal to have a shortage of resources and another terminal overload (surplus). Strategy is needed to deal with the condition. One of the proposed strategies is to collaborate between terminals. In the existing condition of shipping lines that have windows in one terminal can only berthing, loading and unloading using resources in the terminal. If all the resources at the terminal are in use, the arriving vessel will have to wait and queue until the berth is available, even in other terminals there are unused docks, and vice versa. The collaboration strategy allows each ship to berthing in every terminal even though it has windows in different terminals. The allocation of berth, crane and yard is an interrelated process so that the allocation cannot be done partially or gradually (multiphase). Partial and multiphase solutions are generally accomplished by completing the berth allocation in the first phase, and continued with the crane or yard allocation in the next phase. Multiphase solutions have drawbacks because they do not always result in optimal completion. The allocation of berth, crane and yard is an interrelated process so

that the allocation cannot be done partially or gradually (multiphase). Partial and multiphase solutions are generally accomplished by completing the berth allocation in the first phase, and continued with the crane or yard allocation in the next phase. Multiphase solutions have drawbacks because they do not always result in optimal completion. The optimal crane allocation in the second phase can change the optimal berth allocation in the first phase. This research develops simultaneous berth allocation problem model with collaboration strategy. Because the modeled system is relatively complex and contains uncertainty factor, this study uses discrete event simulation model. In this simulation, 16 scenarios were obtained using the full factorial design concept (2^k factorial design) from a combination of four factors: service order, berth-yard, crane and strategy, each factor has two levels. The first scenario is an existing condition that is used as a baseline to determine the best scenario. The best scenario is determined based on two responses, namely time (waiting time, handling time, turnaround time) and the number of ships waiting. Simulation results show that collaboration can create a balance of operations in terminals with high load and terminals with low load. Waiting time and turnaround time in terminals with high load becomes shorter, while in terminals with low load becomes longer. The collaboration strategy can reduce the number of ships waiting up to 43.82% per year, while the waiting time is reduced by 46.82%. Turnaround time decreased by 10.60% per ship per arrival. Collaboration creates unavoidable consequences of shifting ships and containers from high load terminals to low load terminals. Shifting vessels and containers leads to changes in financial performance for both terminals. In this research also created profit sharing scheme or profit redistribution to avoid losses for either party.

Keywords: *Berth allocation, collaboration, uncertainty*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa kami panjatkan kehadiran Allah S.W.T yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga buku disertasi dengan *judul* “Kerjasama Pemanfaatan Prasarana dan Sarana Terminal Dalam Upaya Mengurangi Waktu Pelayanan Kapal di Terminal Peti Kemas” dapat diselesaikan.

Penyusunan disertasi ini tidak terlepas dari doa, bimbingan, arahan, masukan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu ijin dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berjasa mulai dari tahap awal hingga penyelesaian studi ini.

Secara khusus saya ingin mengucapkan terima kasih yang tak terhingga dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirdjo, M. Eng., sebagai promotor, Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M. Eng, Ph. D. dan Bpk. Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph. D selaku co-promotor. Dengan jiwa yang besar, dengan segenap perhatiannya, dan dengan kesabarannya membimbing, mengarahkan dan menuntun dari awal hingga selesainya disertasi ini.

Terima kasih saya ucapkan kepada tim penguji, Bpk. Dr. Eng. Suprayogi, S.T, M. Eng, Prof. Dr. Basuki Widodo, M. Sc., dan Bpk. Nurhadi Siswanto, S.T, M.S.I.E., Ph. D, yang telah memberi banyak masukan dan saran untuk perbaikan disertasi ini.

Terima kasih saya sampaikan kepada Ketua Jurusan Teknik Industri, Bpk Nurhadi Siswanto, S.T, M.S.I.E, Ph. D, Ketua Program Pasca Sarjana Teknik Industri Bpk. Erwin Widodo, S.T, M. Eng, Dr. Eng dan Ibu Dyah Santhi Dewi, S.T, M. Eng, Ph. D, serta Kaprodi periode sebelumnya Prof. Ir. I Nyoman Pujawan M. Eng, Ph. D, yang telah memberikan fasilitas untuk mendukung penyelesaian studi.

Terima kasih kepada seluruh dosen di Program Pascasarjana Teknik Industri yang telah memberikan bekal dan ilmunya selama menempuh program doktor di Teknik Industri. Terima kasih kepada seluruh staf dan karyawan di Prodi Teknik Industri yang telah membantu kelancaran proses administrasi yang dibutuhkan selama menempuh studi.

Terima kasih saya sampaikan kepada Rektor Universitas Bakrie, Ibu Prof Ir. Sofia W. Alisjahbana, M. Sc. Ph. D, Bpk. Achmad Reza Widjaja, Ph. D, selaku Wakil Rektor, Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Bpk. Ir. Esa Haruman M. Sc. Eng, Ph. D, Ketua Jurusan Teknik Industri, Bpk. Ir. Gunawarman Hartono M. Eng, yang telah memberikan ijin dan kesempatan untuk menempuh program doktor Teknik Indutri di ITS. Terima kasih kepada rekan-rekan dosen di Universitas Bakrie yang selalu memberikan dukungan dan dorongan selama saya menempuh studi.

Terim kasih juga saya sampaikan kepada Bpk. Kartiko Yuwono dan Bpk. Estiadi, selaku Manager Operasi Terminal Koja, Bpk Dony Budiono Manager Operasi terminal JICT. Terima kasih saya sampaikan kepada Bpk Paulus

Cahyandaru dan Ibu Yola atas segala bantuannya selama saya melakukan riset di Terminal Koja dan JICT.

Terima kasih kami sampaikan kepada kedua orang tua, Ayahanda Suwarno (alm) dan Ibunda Rochatun, istri tercinta Nurbaiti, anak-anak tersayang Amalia dan Rizky, dan seluruh keluarga besar H. Adam Hasan (alm), kakak, adik, dan semua handai taulan, yang selalu memberikan doa, motivasi, dan semangat selama saya melaksanakan studi.

Terima kasih kepada rekan angkatan 2013 atas kekompakan, kebersamaan dan rasa kekeluargaannya. Terima kasih kepada ibu Meitha yang sering mentraktir makan, bu Endang yang sering membawakan makanan ke residen, pak Eko yang selalu menyediakan mobilnya untuk kuliner, pak Irwan yang sering menjadi imam, pak Jery yang memberikan solusi apabila ada kesulitan mengakses jurnal, pak Rony yang selalu menghibur dengan kelakarnya. Saya bangga menjadi bagian dari angkatan 2013 yang selalu kompak dan penuh kekeluargaan.

Terima kasih kepada seluruh teman-teman seperjuangan mahasiswa S-3 tempat saya berdiskusi, bertukar pikiran dan pendapat, yang selalu memotivasi dan saling mendorong untuk segera menyelesaikan setiap tahapan disertasi. Terima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa S3 yang tidak dapat saya sebut namanya satu per satu, atas dukungan, motivasi dan semangat yang diberikan. Terima kasih kepada para alumni yang telah menjadikan teladan bagi kami semua.

Terima kasih kepada mas Junda yang telah membantu membuat model simulasi, serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah berjasa dan membantu penyelesaian disertasi ini.

Segala saran, kritik, dan masukan terhadap substansi maupun teknis penulisan saya terima dengan tangan terbuka seraya mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang berkenan menyampaikannya.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Judul.....	i
Halaman Pengesahan	iii
Abstrak	v
Abstract	vii
Kata Pengantar.....	ix
Daftar Isi.....	xi
Daftar Tabel.....	xv
Daftar Gambar	xix
Daftar Istilah	xxi
Daftar Singkatan	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	11
1.3. Tujuan	12
1.4. Kontribusi.....	12
BAB 2 LITERATUR REVIEW	13
2.1. Kolaborasi	13
2.2. Kolaborasi Pelabuhan	21
2.3. <i>Supply Chain</i> Pelabuhan	25
2.4. Karakteristik Pelabuhan	26
2.5. <i>Port Uncertainty</i>	28
2.6. <i>Berth Allocation Problem</i>	29
2.6.1. <i>Berth Allocation Problem</i> dengan pendekatan deterministik.....	31
2.6.2. <i>Berth Allocation Problem</i> dengan pendekatan stokastik	39
2.6.3. Berth template dan cylinder system.....	40
BAB 3 RESEARCH FRAMEWORK DAN METODE PENELITIAN	43
3.1. Definisi Masalah.....	43
3.2. <i>Framework</i>	47
3.3. Metodologi	49

3.3.1.	Pengembangan Model Simulasi	50
3.3.2.	Tahapan Penyusunan Simulasi	52
3.3.3.	Kondisi <i>Existing</i> : Sistem Bongkar Muat dan Pelayanan Kapal	54
3.3.4.	<i>Windows slot</i> dan Kedatangan Kapal.....	55
3.3.5.	<i>Simultan berth, crane and yard allocation problem</i>	58
3.3.6.	Berth collaboration	60
3.3.7.	Karakteristik dan Batasan Model	61
3.3.8.	<i>Port Performance</i>	62
3.3.9.	Skenario	63
3.3.10.	Simulasi dengan ARENA 14.0.....	64
3.3.11.	Validasi Model	65
BAB 4 ALOKASI DERMAGA DENGAN KETIDAKPASTIAN KEDATANGAN KAPAL MENGGUNAKAN STRATEGI KOLABORASI.....		69
4.1.	Deskripsi Sistem	69
4.2.	Pengembangan Model.....	74
4.2.1.	<i>Flow chart</i>	74
4.2.2.	<i>Windows slot</i>	77
4.2.3.	Distribusi Antar Kedatangan Kapal.....	79
4.2.4.	<i>Quay Crane</i> dan <i>RTG</i>	80
4.2.5.	<i>Container Loading dan Unloading</i>	81
4.2.6.	<i>Container Inbound dan Outbound</i>	82
4.3.	Skenario (Non Kolaborasi dan Kolaborasi Terbatas)	82
4.4.	Verifikasi	82
4.5.	Validasi Model	87
4.6.	Analisis Hasil.....	89
4.7.	Kesimpulan.....	97
BAB 5 ALOKASI BERTH, CRANE, YARD SECARA SIMULTAN		99
5.1.	Deskripsi Sistem	99
5.2.	Rancangan Eksperimen	100
5.3.	Hasil dan Pembahasan	103
5.3.1.	Uji Signifikansi Faktor dengan Respon Waktu Tunggu	103
5.3.2.	Uji Signifikansi Faktor dengan Respon Jumlah Kapal yang Menunggu.....	108

5.3.3.	Penentuan Skenario Terbaik.....	111
5.3.4.	<i>Ship Calls</i> dan <i>Queuing Time</i>	123
5.3.5.	<i>Handling Time</i>	124
5.3.6.	<i>Turnaround time</i>	125
5.3.7.	<i>Shifting Container</i> dan Kapal.....	126
5.4.	Kesimpulan.....	128
BAB 6 SKEMA <i>PROFIT SHARING</i> DALAM KOLABORASI.....		131
6.1.	Pengaruh <i>Shifting</i> Kapal dan <i>Container</i> Terhadap <i>Profit</i>	131
6.2.	Model <i>Profit Sharing</i>	131
6.3.	<i>Profit Sharing</i> Dengan Skema Proporsional.....	133
6.4.	Asumsi dan Perhitungan <i>Profit Redistribution</i>	135
6.4.1.	<i>Profit sharing</i> dengan biaya pokok di terminal 1 lebih rendah di bandingkan biaya pokok di terminal 2.....	137
6.4.2.	<i>Profit Sharing</i> dengan biaya pokok di terminal 1 sama dengan biaya pokok di terminal 2.....	140
6.4.3.	<i>Profit Sharing</i> dengan biaya pokok di terminal 1 lebih tinggi di bandingkan biaya pokok terminal 2.....	142
6.5.	Analisis Hasil.....	144
6.6.	Kesimpulan.....	147
BAB 7 RINGKASAN DAN KESIMPULAN.....		149
7.1.	Ringkasan.....	149
7.2.	Kesimpulan Hasil Penelitian.....	151
7.3.	Keterbatasan Penelitian.....	152
7.4.	Penelitian Lanjutan (<i>Future Research</i>).....	153
REFERENCES.....		155

Lampiran

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Pengiriman Barang Menggunakan Transportasi Laut	2
Tabel 3.1 Infrastruktur dan <i>Handling Equipment</i>	55
Tabel 3.2 Skenario Simulasi.....	64
Tabel 4.1 <i>Windows Slot</i> Terminal JICT	79
Tabel 4.2 <i>Windows Slot</i> TPK Koja	79
Tabel 4.3 <i>Distribution Fitness</i> Waktu Antar Kedatangan di JICT	80
Tabel 4.4 <i>Distribution Fitness</i> Waktu Antar Kedatangan di TPK Koja	80
Tabel 4.5 <i>Distribution Fitness Container Loading</i> dan <i>Unloading</i> JICT	81
Tabel 4.6 <i>Distribution Fitness Container Loading</i> dan <i>Unloading</i> TPK Koja	81
Tabel 4.7 Pola Kedatangan <i>Container Outbound</i>	82
Tabel 4.8 Waktu Kedatangan-Keberangkatan Hasil Simulasi	85
Tabel 4.9 Uji Beda (t-Test) Waktu <i>Handling</i> Empirik dan Hasil Simulasi	88
Tabel 4.10 Waktu Tunggu di Terminal Koja	90
Tabel 4.11 Waktu Tunggu di Terminal JICT	91
Tabel 4.12 <i>Handling Time</i> di Terminal Koja	92
Tabel 4.13 <i>Handling Time</i> di Terminal JICT	92
Tabel 4.14 <i>Ship Turnaround Time</i> di Terminal Koja	93
Tabel 4.15 <i>Ship Turnaround</i> di Terminal JICT	94
Tabel 4.16 <i>Ship Call</i> Terminal Koja dan JICT.....	96
Tabel 4.17 <i>Container Shifting</i> Koja dan JICT	96
Tabel 5.1 Perbedaan Karakteristik Kolaborasi Terbatas dan Kolaborasi Simultan.	100
Tabel 5.2 Faktor dan Level	101
Tabel 5.3 Skenario Menggunakan <i>Full Factorial Design</i>	101
Tabel 5.4 Waktu Handling Hasil Smulasi.....	103
Tabel 5.5 Anova untuk Respon Waktu Tunggu Kapal	104
Tabel 5.6 Anova untuk Respons Banyaknya Kapal yang Menunggu	108
Tabel 5.7 Output Berdasarkan Waktu Tunggu.....	111
Tabel 5.8 Perbandingan Strategi Kolaborasi dan Non Kolaborasi untuk Respon Waktu Tunggu	112

Tabel 5.9 Perbandingan Strategi Kolaborasi dan Non Kolaborasi untuk Respon Jumlah Kapal yang Menunggu	112
Tabel 5.10 Perbandingan <i>Service Order FCFS</i> dengan <i>Priority</i> untuk Respon Waktu Tunggu	112
Tabel 5.11 Perbandingan <i>Service Order FCFS</i> dengan <i>Priority</i> untuk Respon Jumlah Kapal yang Menunggu	113
Tabel 5.12 Perbandingan <i>Berth-Yard Allocation Independent</i> dan <i>Dependent</i> untuk Respon Waktu Tunggu	114
Tabel 5.13 Perbandingan <i>Berth-Yard Allocation Independent</i> dan <i>Dependent</i> untuk Respon Jumlah Kapal yang Menunggu	114
Tabel 5.14 Perbandingan <i>Quay Crane Allocation Fixed</i> dan <i>Flexible</i> untuk Respon Waktu Tunggu.....	114
Tabel 5.15 Perbandingan Quay Crane Allocation Fixed dan Flexible untuk Respon Jumlah Kapal yang Menunggu	115
Tabel 5.16 Komparasi Waktu Menunggu dengan Kondisi Eksisting	115
Tabel 5.17 Komparasi Jumlah Kapal Menunggu Terhadap Skenario 1	116
Tabel 5.18 <i>Output</i> dengan Respon Waktu Tunggu.....	119
Tabel 5.19 Perbandingan dengan Kondisi Eksisting (Skenario 1) untuk Respon Waktu Tunggu	120
Tabel 5.20 Output dengan Respons Jumlah Kapal yang Menunggu	121
Tabel 5.21 Perbandingan dengan Kondisi Eksisting (Skenario 1) untuk Respon Jumlah Kapal Menunggu	122
Tabel 5.22 Jumlah <i>Ship Calls</i> (Strategi Kolaborasi dan Non Kolaborasi)	123
Tabel 5.23 Waktu Tunggu Kapal (Strategi Kolaborasi dan Non Kolaborasi)	124
Tabel 5.24 <i>Handling Time</i>	125
Tabel 5.25 <i>Turnaround Time</i>	125
Tabel 5.26 <i>Shifting</i> Kapal.....	126
Tabel 5.27 <i>Container Unloading</i> dan <i>Loading</i> dengan Strategi Non Kolaborasi	127
Tabel 5.28 <i>Container Unloading</i> dan <i>Loading</i> dengan Strategi Kolaborasi.....	128
Tabel 6.1 Komponen dan Tarif <i>Berthing</i>	136
Tabel 6.2 Rasio <i>Profit</i> Non Kolaborasi Terminal 1 dan 2	136
Tabel 6.3 <i>Profit</i> dengan c_1 (\$45) < c_2 (\$60)	138

Tabel 6.4 <i>Profit</i> dengan c_1 (\$45) < c_2 (\$65)	139
Tabel 6.5 <i>Profit</i> dengan c_1 (\$60) < c_2 (\$65)	139
Tabel 6.6 <i>Profit</i> dengan c_1 (\$45) = c_2 (\$45)	141
Tabel 6.7 <i>Profit</i> dengan c_1 (\$60) = c_2 (\$60)	141
Tabel 6.8 <i>Profit</i> dengan c_1 (\$65) = c_2 (\$65)	142
Tabel 6.9 <i>Profit</i> dengan c_1 (\$60) > c_2 (\$45)	143
Tabel 6.10 <i>Profit</i> dengan c_1 (\$65) > c_2 (\$45)	144
Tabel 6.11 <i>Profit</i> dengan c_1 (\$65) > c_2 (\$60)	144

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pertumbuhan Penggunaan <i>Container</i> (juta <i>TEUs</i>)	1
Gambar 2.1 Model Kolaborasi <i>Buyer-supplier</i>	16
Gambar 2.2 Karakteristik Proses di Pelabuhan	28
Gambar 2.3 Alokasi Dermaga dan Pergerakan <i>Quay Crane</i>	37
Gambar 2.4 <i>Cylinder Home Berth Design Problem</i>	40
Gambar 3.1 Waktu Kedatangan Kapal KTX-3 di TPK Koja.....	45
Gambar 3.2 <i>Framework</i> Penelitian.....	48
Gambar 3.3 Waktu Pelayanan Kapal.....	57
Gambar 3.4 Proses Bongkar Muat dan Proses Penumpukkan	58
Gambar 4.1 Proses Operasi di Terminal <i>Container</i>	71
Gambar 4.2 Model Eksisting.....	73
Gambar 4.3 Model Konseptual Kolaborasi Antar Terminal	73
Gambar 4.4 <i>Flow Chart</i> untuk <i>Loading</i> dan <i>Unloading</i> Kapal Kondisi Eksisting 75	
Gambar 4.5 <i>Flow Chart</i> untuk <i>Loading</i> dan <i>Unloading</i> Kapal Strategi Kolaborasi	76
Gambar 4.6 Keterkaitan Proses dan Aspek Finansial	78
Gambar 4.7. Waktu Kedatangan-Keberangkatan Kapal.....	86
Gambar 4.8 Grafik <i>Ship Turnaround Time</i>	94
Gambar 5.1 Grafik Pengaruh Utama dari Faktor	105
Gambar 5.2. Grafik Interaksi Dua Faktor untuk Respon Waktu Tunggu	107
Gambar 5.3. Grafik Pengaruh Utama dari Faktor	109
Gambar 5.4 Grafik Interaksi Dua Faktor denga Respon Jumlah Kapal Menunggu	110
Gambar 6.1 <i>Mean error profit sharing</i> untuk $c_1 < c_2$	145
Gambar 6.2 <i>Mean error profit sharing</i> untuk $c_1 = c_2$	146
Gambar 6.3 <i>Mean error profit sharing</i> untuk $c_1 > c_2$	146

DAFTAR ISTILAH

- Berth* : Berth adalah dermaga tempat kapal sandar dan melakukan kegiatan bongkar muat. Dermaga biasanya memiliki lebar dan kedalaman tertentu.
- Berth Allocation Problem (BAP)* : Permasalahan atau pembahasan yang terkait dengan alokasi kapal ke dermaga dan alokasi peralatan lainnya seperti *crane* dan *yard*.
- Container inbound/outbound* : *Container import/ekspor*
- Container Yard* : *Container yard* atau *yard* adalah sebuah tempat di pelabuhan/terminal yang berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan/menumpuk *container*.
- Lift on/off* : Kegiatan mengangkat/menurunkan *container* dari/ke kapal, truk, atau dari/ke tempat penumpukkan dengan menggunakan *crane/RTG*.
- Quay Crane* : *Quay Crane* atau *crane* adalah alat untuk melakukan kegiatan bongkar dan muat *container* dari dan menuju kapal.
- RTG* : *Rubber Tyred Granty* adalah jenis *crane* yang digunakan untuk *lift on/off container* dari truk dan digunakan dalam proses penumpukkan (*stacking*)
- Ship Calls* : Frekuensi kunjungan kapal di suatu terminal.
- Stacking* : Proses penumpukkan *container* di *container yard* untuk disimpan sementara sebelum dikirim ke tujuan.
- Windows Slot* : *Windows slot* adalah estimasi jadwal kedatangan dan keberangkatan kapal. *Windows slot* ditentukan berdasarkan kontrak antara *shipping lines* dan operator terminal dan berlaku jangka panjang.

DAFTAR SINGKATAN

BAP	: <i>Berth Allocation Problem</i>
BTP/BTAP	: <i>Berth Template Problem/Berth Template Allocation Problem</i>
C-B&CAP	: <i>Coupling Problem of Berth and Quay Crane Allocation</i>
CDBAP	: <i>Continuous Dynamic Berth Allocation Problem</i>
CTP	: <i>Collaborative Transportation Planning</i>
CY	: <i>Container Yard</i>
DBAP	: <i>Dynamic Berth Allocation problem</i>
DDBAP	: <i>Dynamic Discrete Berth Allocation Problem</i>
ETA	: <i>Expected Time Arrival</i>
ETD	: <i>Expected Time Departure</i>
FCFS	: <i>First Come First Service</i>
HPGA	: <i>Hybrid Parallel Genetic Algorithm</i>
HVRPTW	: <i>Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time Windows</i>
IDM	: <i>Integrated Device Manufacturers</i>
IOTP	: <i>Integrated Operation Transportation Planning</i>
ITV	: <i>Internal Transport Vehicle</i>
JICT	: <i>Jakarta International Container Terminal</i>
MDVRPTW	: <i>Multiple Depots Vehicle Routing Problem With Time Windows</i>
MILP	: <i>Mixed Integer Linear Program</i>
MUT	: <i>Multi User Terminal</i>
(M)CMWP	: <i>(Multi-commodity) Capacitated Multi-source Weber Problem</i>
PGA	: <i>Parallel Genetic Algorithm</i>
QC/CC	: <i>Quay Crane/Container Crane</i>
QCAP	: <i>Quay Crane Assignment Problem</i>
QCSP	: <i>Quay Crane Scheduling Problem</i>
RBV	: <i>Resources Base View</i>
RDT	: <i>Resources Dependences Theory</i>
RTG	: <i>Rubber Tire Gantry</i>
SBAP	: <i>Static Berth Allocation Problem</i>

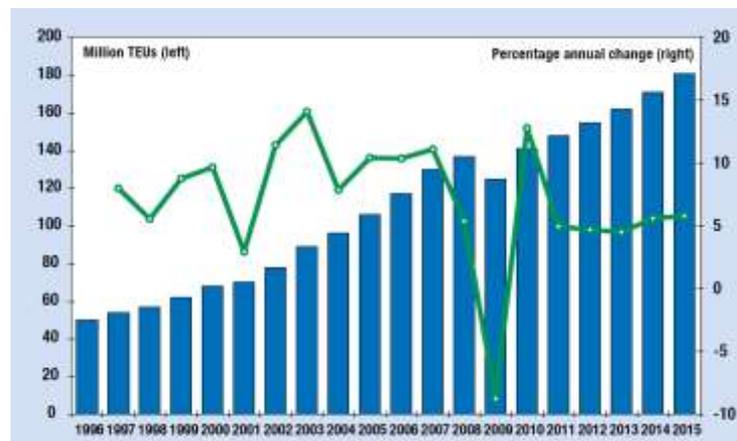
TEUs : *Twenty-foot Equivalen Units*
TOC : *Theory of Constraint*
TPK : *Terminal Peti Kemas*
UNCTAD : *United Nations Conference on Trade and Develpoment*
VRP : *Vehicle Routing Problem*

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pelabuhan memiliki peran dan fungsi penting sebagai mata rantai utama dalam sistem distribusi dan transportasi serta dalam aktivitas *supply chain* (Tongzon et al., 2009; Lasse, 2012). Dalam beberapa tahun terakhir lebih dari 80 persen barang dikirim menggunakan transportasi laut (Feng et al., 2011; Asgari et al., 2013; Mason & Nair, 2013). Menurut Raa et al. (2011) yang dikutip dari laporan *Dwery Shipping Consultants* (2007, 2008) dikatakan bahwa pengiriman barang menggunakan *container* pada tahun 2000 sebesar 69,9 juta *TEUs* dan tahun 2007 mencapai 141,2 juta *TEUs* atau mengalami peningkatan sebesar dua kali lipat (Raa et al., 2011). Peningkatan pengiriman barang tersebut berpengaruh langsung terhadap peningkatan penggunaan *container*. Berdasarkan data dari (UNCTAD, 2015) penggunaan *container* tahun 2014 mencapai 171 juta *TEUS*. Penggunaan *container* tahun 2007-2014 mengalami peningkatan rata-rata sebesar 9% per tahun (UNCTAD, 2015). Gambar 1.1 menunjukkan data penggunaan *container* tahun 1996-2015. Berdasarkan data tersebut, penggunaan *container* cenderung mengalami peningkatan, kecuali tahun 2009 yang disebabkan imbas dari krisis moneter. Tabel 1.1 menunjukkan data jumlah pengiriman barang menggunakan transportasi laut tahun 1980-2014 yang dikelompokkan dalam empat kategori, yaitu *container*, *dry cargo (minor bulk)*, *major bulk*, serta *oil & gas*.



Gambar 1.1 Pertumbuhan Penggunaan *Container* (juta *TEUs*)
Sumber : (UNCTAD, 2015)

Tabel 1.1 Pengiriman Barang Menggunakan Transportasi Laut
(dalam juta ton)

Tahun	Container	Dry Cargo	Five Major Bulk	Oil & Gas
1980	102	1123	608	1871
1985	152	819	900	1459
1990	234	1031	988	1755
1995	371	1125	1105	2050
2000	598	1928	1295	2163
2005	969	2009	1709	2422
2006	1076	2112	1814	2698
2007	1193	2141	1953	2747
2008	1249	2173	2065	2742
2009	1127	2004	2085	2642
2010	1280	2022	2335	2772
2011	1393	2112	2486	2794
2012	1464	2150	2742	2841
2013	1544	2218	2923	2829
2014	1631	2272	3112	2826

Sumber : (UNCTAD, 2015)

Data di atas menunjukkan bahwa pertumbuhan penggunaan container mengalami peningkatan yang lebih signifikan dibandingkan dengan tiga jenis lainnya. Tingginya jumlah barang yang dikirim melalui transportasi laut menunjukkan bahwa peran pelabuhan bukan lagi hanya sebagai komponen integral dari sistem transportasi, tetapi juga merupakan sub-sistem utama dari sistem produksi dan logistik. Pelabuhan juga memiliki peran sentral dan strategis dalam sistem perekonomian suatu negara (Woo et al. 2013). Oleh karena itu, pengelolaan pelabuhan yang efektif dan efisien dapat memberikan kontribusi positif terhadap daya saing produk suatu negara. Pernyataan tersebut juga diperkuat oleh Mason et al. (2005), bahwa transportasi memiliki fungsi yang strategis karena kontribusi yang signifikan dari biaya transportasi terhadap harga barang (Mason et al., 2005).

Dengan peran dan fungsi yang strategis, pelabuhan dituntut untuk mampu beradaptasi dengan tuntutan kebutuhan dan perkembangan *global supply chain* (*global production, global sourcing, dan global market*) (Buhrkal et al. 2011). Sebagai bagian dari jaringan logistik dan transportasi global, pelabuhan juga berfungsi sebagai pintu gerbang keluar masuknya barang (Creazza & Dallari,

2010). Pelabuhan merupakan penghubung (*interface*) antar moda transportasi, menyediakan tempat dan ruang untuk berlabuh, menyediakan tempat penyimpanan sementara, serta menyediakan infrastruktur dan superstruktur untuk kegiatan bongkar muat (Valentina & Marcella, 2003; Hendriks et al., 2013). Dalam kegiatan operasional, fungsi-fungsi tersebut dijalankan oleh terminal *container*.

Terminal *container* memiliki fungsi dan peran sebagai konsolidator antar moda transportasi (Song & Panayides, 2008). Terminal *container* merupakan tempat yang menjadi titik sentral dalam jaringan transportasi global yang melibatkan berbagai fungsi dan operasi (Jin et al., 2015). Kegiatan operasi di terminal *container* merupakan operasi yang paling kompleks dari seluruh pergerakan *container* (Hsu, 2013). Oleh karena itu, pelabuhan dituntut untuk meningkatkan efektifitas pelayanan kapal dan penanganan *container*.

Menurut Souza et al. (2003) agar sukses dalam memainkan peran dalam *global supply chain* diperlukan kerjasama (kolaborasi) antar seluruh elemen yang terlibat dalam operasi di pelabuhan. Kolaborasi dapat dikonseptualisasikan sebagai hubungan internal antar individu dan antar departemen serta hubungan eksternal antar perusahaan (Wiengarten et al. 2012). Kolaborasi dalam *supply chain* didefinisikan sebagai kolaborasi dari dua atau lebih entitas yang bekerja bersama dalam merencanakan dan mengimplementasikan operasi *supply chain* untuk menciptakan *competitive advantage* dan mencapai keuntungan yang lebih besar dibandingkan dengan apabila bekerja sendiri (Simatupang & Sridharan, 2005). Kolaborasi dalam *supply chain* mengacu pada hubungan yang lebih kompleks, lebih menekankan pada usaha bersama sebagai struktur kerja kolaboratif dalam menyusun perencanaan, penetapan tujuan, pengukuran kinerja dan pemecahan masalah (Wiengarten et al. 2012). Song dan Panayides (2008), mendefinisikan kolaborasi sebagai upaya untuk membangun sistem untuk melakukan fungsi yang relevan sebagai bagian integral dari *supply chain*.

Woo et al. (2013) mendefinisikan strategi kolaborasi pelabuhan dalam *supply chain* sebagai strategi yang dilakukan untuk mengintegrasikan berbagai fungsi dan organisasi untuk menjadi bagian integral dari *supply chain*. Kolaborasi dapat digunakan sebagai salah satu strategi untuk menciptakan daya saing yang lebih kompetitif. Menurut Valentina dan Marcella (2003), kolaborasi di pelabuhan

bertujuan untuk menciptakan sinergi untuk mengkonversi kepentingan diantara *stakeholder* pelabuhan dalam menjamin keandalan (*reliability*) dan keberlanjutan (*sustainability*) pelayanan. Kolaborasi bertujuan untuk meningkatkan utilitas sumber daya yang dimiliki pelabuhan agar dapat dimanfaatkan secara optimal (Donk et al. 2008). Menurut Cousins dan Menguc (2013), kolaborasi dalam *supply chain* memiliki tujuan untuk menurunkan biaya dan meningkatkan utilitas sumber daya melalui pemanfaatan sumber daya secara bersama-sama (*resources sharing*).

Terminal *container* memiliki sumber daya utama terdiri dari *berth* (dermaga), *container crane* atau *quay crane*, *RTG (rubber tire gantry)*, *straddle carrier* atau *internal transport vehicle*, *container yard*, serta peralatan pendukung lainnya. Menurut Kim dan Moon (2003) *berth* merupakan sumber daya yang paling penting dalam operasi pelayanan kapal dan kegiatan bongkar muat. Sumber daya yang dimiliki terminal merupakan faktor penentu dalam memberikan pelayanan kepada *shipping lines*.

Indikator yang digunakan untuk menilai efektivitas dan efisiensi pelayanan kapal diantaranya ditentukan oleh waktu yang dibutuhkan kapal berada di pelabuhan untuk melakukan proses bongkar muat (waktu *handling*, waktu *delay/idle*, dan waktu menunggu). Waktu yang dibutuhkan sangat tergantung dari jumlah *container inbound* dan *container outbound*, jumlah *quay crane* yang dialokasikan pada kapal, jumlah armada transportasi internal yang dikerahkan, serta jarak antara dermaga dengan *container yard*.

Pada sisi lain, efisiensi penggunaan sumber daya dan efektivitas pelayanan kapal dipengaruhi oleh ketepatan jadwal kedatangan kapal. Kedatangan kapal di pelabuhan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor yang paling umum dan sering terjadi adalah (1) adanya keterlambatan pemberangkatan kapal dari pelabuhan sebelumnya; (2) adanya gangguan teknis atau kerusakan kapal selama dalam pelayaran; (3) gangguan yang disebabkan karena cuaca. Wang dan Meng (2012) membagi ketidakpastian kapal menjadi dua, yaitu ketidakpastian di laut dan ketidakpastian di pelabuhan. Ketidakpastian di laut disebabkan oleh cuaca buruk seperti hujan, salju, angin, tornado, badai, dan arus laut. Ketidakpastian di pelabuhan disebabkan oleh sistem perencanaan yang kurang baik, produktivitas

dan efektivitas pengoperasian *container crane*, serta fluktuasi jumlah *container* yang harus dilayani.

Ketidakpastian dan variabilitas waktu kedatangan kapal dapat menimbulkan kerugian bagi *shipping lines* maupun operator terminal. Bagi *shipping lines*, keterlambatan waktu kedatangan kapal menyebabkan terganggunya kegiatan bongkar muat, kehilangan waktu karena harus menunggu sampai mendapat jadwal *berthing*, serta gangguan jadwal kapal secara keseluruhan sampai ke pelabuhan tujuan akhir. Ketidak pastian kedatangan kapal menyebabkan *shipping lines* juga harus mengeluarkan biaya ekstra untuk biaya operasional dan biaya-biaya tambahan lainnya yang timbul akibat adanya keterlambatan tersebut. Bagi operator terminal, keterlambatan waktu kedatangan kapal menyebabkan fasilitas yang sudah dialokasikan menjadi menganggur karena tidak termanfaatkan (*idle*).

Keterlambatan satu kapal dapat menyebabkan gangguan terhadap seluruh pelayanan kapal lainnya, Keterlambatan waktu kedatangan kapal juga mengakibatkan utilitas sumber daya pelabuhan menjadi rendah. Dengan kata lain, di satu sisi kualitas pelayanan kapal menurun, sedangkan pada sisi lainnya sumber daya yang dimiliki tidak dapat dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu diperlukan cara untuk meningkatkan *service level* dan utilisasi sumber daya secara bersamaan.

Analisis terhadap utilitas sumber daya diperlukan untuk mendukung pengambilan keputusan yang tepat khususnya ketika mempertimbangkan untuk meningkatkan kapasitas melalui strategi ekspansi. Tidak semua terminal dapat menambah atau meningkatkan kapasitas sumber daya melalui ekspansi (penambahan panjang dermaga, penambahan *crane* dan memperluas *container yard*). Untuk menambah atau memperpanjang dermaga atau memperluas *container yard* banyak kendala yang harus dipertimbangkan. Pertama, dibutuhkan biaya investasi yang besar (Hendriks et al., 2010). Kedua, tidak tersedianya lahan dipelabuhan (Raa et al., 2011). Salah satu langkah strategis yang dapat dilakukan adalah memberdayakan sumber daya yang ada secara optimal. Agar penggunaan sumber daya lebih optimal perlu disusun rencana alokasi yang efektif, dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses perencanaan dan implementasinya.

Proses penyusunan rencana *berthing* (jadwal *berthing*) paling tidak harus melibatkan dua pihak yaitu pengelola terminal dan *shipping lines*, dan harus disepakati oleh keduanya. Hasil kesepakatan tersebut berupa *windows* atau *windows slot* (Imai et al., 2014). *Windows slot* merupakan manifestasi dari jadwal (kedatangan, pelayanan kapal, keberangkatan) yang disepakati bersama oleh *shipping lines* dan operator terminal (Hendriks et al., 2010). Dalam menyusun *windows*, *shipping lines* menyampaikan data-data estimasi berupa estimasi waktu kedatangan (*estimate time arrival-ETA*), estimasi waktu keberangkatan (*estimate time departure-ETD*), dan estimasi jumlah *container*. Nilai-nilai yang diestimasi harus diperhitungkan dengan baik dan matang, karena *slot* waktu yang ditentukan harus mampu mengakomodir jika terdapat perbedaan antara nilai yang diestimasi dengan nilai yang sesungguhnya. Meskipun nilai-nilai yang dipertimbangkan bersifat estimasi, tetapi nilai-nilai tersebut mempengaruhi proses pengambilan keputusan.

Meskipun *windows slot* telah ditetapkan dan disepakati, tetapi dalam pelaksanaannya masih terjadi perbedaan antara *windows slot* dan *actual berthing* (Imai et al., 2005; Legato et al., 2008; Zhen et al., 2011; Golias et al., 2014). Hendriks et al. (2010) membagi ketidaksesuaian antara jadwal *berthing* dengan *actual berthing* menjadi dua, yaitu ketidaksesuaian yang masih di dalam *window* (*in within the windows*) dan ketidaksesuaian yang di luar *windows* (*outside the windows*). Ketika terjadi keterlambatan waktu kedatangan kapal tetapi masih di dalam *window*, operator terminal harus memperhitungkan *slot* waktu yang tersisa. Keputusan harus diambil untuk menentukan apakah waktu yang tersisa cukup untuk melakukan bongkar muat dengan sumber daya yang direncanakan sebelumnya. Permasalahan menjadi lebih kompleks ketika waktu yang tersedia tidak cukup untuk melakukan bongkar muat, sehingga keputusan berikutnya yang harus diambil apakah harus menambah sumber daya atau menunda pelayanan kapal lainnya. Operator terminal harus menentukan apakah terdapat *slot* yang bisa mengakomodir kapal yang terlambat untuk *berthing*, atau harus menunda (*reschedule*) seluruh jadwal kapal yang sudah ada. Keputusan yang diambil menimbulkan konsekuensi terhadap waktu, biaya, dan kualitas pelayanan. Keterlambatan waktu kedatangan kapal di luar *windows* menyebabkan dermaga dan peralatan seperti *quay container*

crane, *RTG*, *container yard* dan peralatan lain yang sudah dialokasikan menjadi menganggur.

Perencanaan alokasi kapal ke dermaga (*ship-to-berth*) atau *berth allocation problem (BAP)* masih fokus pada level strategis dan taktis (Hendriks et al., 2013; Mason & Nair, 2013; Imai et al., 2014; Jin et al., 2015). Sedangkan ketidakpastian waktu kedatangan kapal, fluktuasi jumlah *contaiier*, serta keterbatasan sumber daya menyebabkan masalah pada level operasional. Beberapa peneliti mengembangkan strategi untuk mengatasi ketidakpastian dengan menambahkan *allowance* atau *buffer time*.

Penelitian terkait dengan alokasi (*berth allocation problem*) telah banyak dilakukan baik secara independen (hanya membahas alokasi *ship-to-berth*) maupun pembahasan secara simultan antara *berth allocation problem* dengan alokasi *quay crane*, serta *berth allocation problem* dengan *container yard*. Beberapa peneliti telah mengembangkan berbagai model dan pendekatan. *Berth allocation* dapat dibedakan berdasarkan kedatangan kapal yaitu *static berth allocation problem* dan *dynamic berth allocation problem*. *Berth allocation* juga dapat dibedakan berdasarkan kondisi spasial dermaga yaitu *discrete berth allocation problem* dan *continuous berth allocation problem*. Sebagian besar peneliti mengembangkan model berdasarkan kombinasi dari keduanya. Kombinasi tersebut menghasilkan empat model yang sudah lazim ditemukan, yaitu *static discrete berth allocation problem*, *static continuous berth allocation problem*, *dynamic discrete berth allocation problem*, *dynamic continuous berth allocation problem*.

Imai et al. (1997) dan Xu et al. (2012) mengembangkan model *static discrete berth allocation*. Mereka menggunakan pendekatan *first come first service* sebagai dasar dalam pengembangan model. Menurut Imai (2008) dan Imai et al. (2014), *static berth allocation problem* dengan pendekatan *first come first service* hanya cocok diterapkan pada pelabuhan dengan tingkat kesibukkan yang tinggi. Song et al. (2012) mempertegas bahwa pendekatan *first come first service* yang biasa digunakan pada model *static berth allocation* tidak menjamin menghasilkan penyelesaian yang optimal. Song et al. (2012) mengembangkan model *static berth allocation* dan alokasi *quay crane* yang dilakukan secara simultan. Mereka memformulasikan sebagai model *bi-level programming* dimana *berth allocation*

sebagai *upper-level* dan *crane allocation* sebagai *lower-level*. Fungsi tujuannya adalah meminimalkan waktu menunggu dan waktu *handling*. Untuk *lower-level problem* diselesaikan dengan metode *mixed integer linier programming* dan untuk *upper-level problem* diselesaikan dengan metode *algoritma genetik*.

Peneliti yang mengembangkan model *dynamic discrete berth allocation problem* diantaranya adalah Imai et al., 2001, 2007, Hansen et al., 2008, Golias et al., 2009, 2010, Lalla-Ruiz et al., 2012, Oliveira et al., 2012 dan Ting et al., 2014. Perbedaan model yang dikembangkan terletak pada metode penyelesaian model matematisnya. Imai et al. (2003) mengembangkan model *dynamic discrete* dengan menambahkan skala prioritas. Xu et al. (2012) mengembangkan model *dynamic discrete* dengan mempertimbangkan *variable water depth* dan *tidal*. Lee et al. (2010), Zhen et al. (2011) dan Zhen & Chang (2012) melakukan penelitian dengan pendekatan *continuous berth allocation*.

Model yang mempertimbangkan ketidakpastian waktu kedatangan kapal dikembangkan oleh Cordeau et al. (2005), Peng-fei & Hai-gui (2008), Han et al. (2010), Zhen et al. (2011), Zhen & Chang (2012), Legato et al. (2014), dan Golias et al. (2014). Strategi yang mereka usulkan adalah memberikan *allowance time* atau *buffer time*. Hendriks et al. (2010) mengembangkan model untuk mengatasi keterlambatan kedatangan kapal yang bersifat *in within the windows* dengan cara realokasi *quay crane*. Dasar pemikiran mereka adalah apabila waktu kedatangan kapal mengalami keterlambatan, maka untuk mempercepat proses bongkar muat perlu ada penyesuaian jumlah *crane*.

Imai et al. (2008) mengembangkan model *dynamic discrete berth and quay crane allocation problem* secara simultan dengan asumsi bahwa untuk mencapai optimal, *quay crane* dapat dipindahkan sesuai kebutuhan meskipun pelayanan terhadap satu kapal belum selesai. Raa et al. (2011) melengkapi penelitian Imai et al. (2008) dengan menyempurnakan asumsi bahwa *quay crane* hanya dapat dipindahkan pada waktu tertentu, seperti misalnya pada waktu istirahat (*break time*).

Beberapa model yang dikembangkan cenderung lebih pada upaya untuk mencari solusi optimal hanya berdasarkan sumber daya yang dimiliki di suatu terminal tertentu, tanpa mempertimbangkan potensi sumber daya yang dimiliki di

terminal lain (sumber daya eksternal). Operator terminal memiliki kendala dalam meningkatkan kapasitas internalnya terutama melalui strategi ekspansi. Oleh karena itu, operator terminal harus mampu menjalin kerjasama atau berkolaborasi dengan terminal lain. Seperti yang disampaikan oleh Donk et al (2008) merujuk pada Van Donk and Van der Vaart (2004) menyatakan bahwa keterbatasan sumber daya menjadi salah satu pendorong perusahaan untuk melakukan kolaborasi. Kolaborasi memungkinkan perusahaan untuk berbagi sumber daya dan kemampuan untuk menciptakan hasil yang saling menguntungkan (Tongzon et al., 2009; Bahinipati & Deshmukh, 2012; Lin et al., 2013).

Model konseptual dan *framework* kolaborasi di pelabuhan telah dikembangkan oleh beberapa peneliti seperti Cullinane et al (2006), Paixao & Marlow (2003), Valentina & Marcella (2003), Bichou & Gray (2004), Tongzon & Heng (2005), Notteboom & Winkelmanns (2001), Song & Panayides (2008). Peneliti lainnya melakukan analisis terhadap faktor yang menentukan dalam integrasi dan kolaborasi, diantaranya dilakukan oleh Valentina & Marcella (2003), Song & Panayides (2008), Tongzon et al. (2009), Woo et al (2013). Hoshino (2010) dan Asgari et al (2013) melakukan penelitian terkait dengan analisis antara *competition*, *cooperation*, dan *coopetition* yang terjadi dalam kolaborasi *horizontal* antar pelabuhan. Sedangkan penelitian tentang *performance* kolaborasi dilakukan oleh Hsu (2013), Lorentz (2008), Pramartari & Papakiriakopoulos (2010), Yeo et al (2011), Feng et al (2011).

Cordeau et al. (2005), Peng-fei & Hai-gui (2008), Han et al. (2010), Zhen et al. (2011), Zhen & Chang (2012), Legato et al. (2014), dan Golias et al. (2014) melakukan penelitian dengan mempertimbangkan adanya *uncertainty*, namun mereka hanya mempertimbangkan faktor ketidakpastian kedatangan kapal. Selain ketidakpastian waktu kedatangan kapal, ketidakpastian lainnya adalah variabilitas waktu *handling* (Han et al., 2010). Variabilitas waktu *handling* dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu fluktuasi jumlah *container* loading dan *container* unloading, jumlah *crane* yang dialokasikan, produktivitas *crane*, waktu dan jarak perpindahan dari dermaga ke *container yard* (Giallombardo et al., 2010; Han et al., 2010; Hendriks et al., 2010). Jumlah *container* berpengaruh secara langsung terhadap waktu *handling*, semakin besar jumlah *container* semakin besar waktu *handling*

yang diperlukan. Jumlah *container* yang harus dilayani juga mempengaruhi jumlah alokasi *quay crane* dan jumlah armada transportasi yang dikerahkan.

Beberapa peneliti telah berupaya untuk menyelesaikan *berth allocation problem* secara simultan, namun masih terbatas antara *berth allocation* dengan *quay crane* atau antara *berth allocation* dengan *container yard*. Imai (2008), Liang et al. (2009), Chang et al. (2010), Raa et al. (2011), Han et al. (2010), Yang et al. (2012), Song et al. (2012), Türkogulları et al. (2014), merupakan peneliti yang membahas kombinasi antara *berth allocation* dengan *quay crane*. Elwany et al. (2013) membedakan antara *berth allocation* dengan *berth assignment*. Peneliti yang membahas kombinasi antara *berth allocation* dengan *container yard* dilakukan oleh Hendriks et al. (2013). Penelitian *berth allocation*, *quay crane allocation* dan *container yard* dilakukan oleh Giallombardo et al. (2010), akan tetapi tidak mempertimbangkan faktor *uncertainty*. Jin et al. (2015) mempertimbangkan *berth allocation*, *quay crane allocation* dan *container yard* secara simultan, tetapi penelitian mereka lebih fokus untuk kapal *transshipment*. Pada kegiatan *transshipment* lebih menitikberatkan pada kesesuaian penjadwalan dua kapal atau lebih untuk menghasilkan total pergerakan *container* yang paling minimal.

Penyelesaian *berth allocation* dan *crane allocation* secara umum memiliki dua pendekatan yaitu penyelesaian secara terpisah (*separated*) dan penyelesaian secara terintegrasi (*simultaneous*). Pendekatan terpisah atau dikenal dengan pendekatan *multiphase* dilakukan dengan mengalokasikan kapal ke *berth* (dermaga) terlebih dahulu, setelah alokasi optimal selanjutnya baru mengalokasikan *crane*. Pendekatan ini diperbaiki oleh Raa et al. (2011) dan Yang et al. (2012) yang menyatakan bahwa waktu *handling* sangat tergantung pada lokasi *berthing*, jumlah *container* yang di tangani dan jumlah *crane* yang dikerahkan. Oleh karena itu penyelesaian antara *berth planning* dan *crane planning* harus dilakukan secara simultan. Menurut Türkogulları et al. (2014), penyelesaian *berth allocation multiphase* bisa menimbulkan penyelesaian yang tidak efektif, karena alokasi *crane* yang optimal pada *phase* kedua dapat merubah alokasi *berth* yang sudah optimal di *phase* pertama. Menurut Hendriks et al. (2013), selain dipengaruhi oleh alokasi *berth* dan *crane*, waktu *handling* juga dipengaruhi oleh alokasi *yard*. Alokasi *yard* mempengaruhi pergerakan *container* dari dan menuju ke kapal.

1.2. Perumusan Masalah

Ketidakpastian kedatangan kapal menyebabkan kerugian bagi operator terminal maupun *shipping lines*. Operator terminal tidak dapat mengalokasikan sumber daya secara optimal, sumber daya yang sudah disiapkan menjadi menganggur atau *idle*, melakukan penjadwalan ulang (*rescheduling*). *Shipping lines* tidak dapat melakukan kegiatan bongkar muat sesuai jadwal yang telah ditetapkan, harus mengeluarkan biaya ekstra untuk biaya operasional dan biaya lainnya.

Model *berth allocation* yang telah dikembangkan masih memiliki beberapa kelemahan. Pertama, sebagian besar model menggunakan asumsi bahwa waktu kedatangan bersifat *deterministic*, sedangkan dalam sistem yang sesungguhnya waktu kedatangan bersifat stokastik. Kedua, penyelesaian model *berth allocation*, *crane allocation* dan *yard allocation* masih bersifat parsial. Keempat, alokasi *berth*, *crane*, *yard* tidak diselesaikan secara simultan. Keempat, model *berth allocation problem* masih terbatas hanya mempertimbangkan sumber daya internal.

Hasil pengamatan pendahuluan yang dilakukan di Jakarta International Terminal *Container* dan Terminal Peti Kemas Koja, kedua terminal menghadapi masalah ketidakpastian waktu kedatangan yang menyebabkan pada saat yang bersamaan sumber daya di satu terminal memiliki potensi menganggur dan tidak termanfaatkan (*idle*), sementara di terminal lainnya terjadi kekurangan (*shortage*).

Berdasarkan latar belakang sebagaimana diuraikan di atas dan literatur *review* dari berbagai referensi dan hasil penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa ada dua *research gap* yang dapat diidentifikasi dan sejauh pengetahuan dan pemahaman kami belum dibahas oleh peneliti sebelumnya. Pertama belum adanya penelitian untuk mengalokasikan *berth*, *crane*, dan *yard allocation* secara simultan yang mempertimbangkan ketidakpastian waktu kedatangan kapal dan waktu *handling*. Kedua belum adanya model kolaborasi antar terminal *container*.

Berdasarkan gap riset atas, rumusan masalah pada penelitian ini diarahkan untuk menjawab pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana model alokasi dermaga (*berth*), *crane* dan *yard* dalam menghadapi faktor ketidakpastian dengan pendekatan kolaborasi?

2. Apa pengaruh strategi simultan-kolaborasi terhadap *waiting time* dan *turnaround time*?
3. Apa pengaruh simultan-kolaborasi terhadap performa finansial?

1.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan permasalahan di atas, maka tujuan penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Mengembangkan model alokasi *berth*, *crane* dan *yard* secara simultan dengan pendekatan kolaborasi.
2. Membuat analisis pengaruh alokasi *berth*, *crane* dan *yard* secara simultan dengan strategi kolaborasi terhadap waktu pelayanan kapal (*waiting time*, *handling time*, *turnaround time*).
3. Membuat analisis pengaruh strategi simultan-kolaborasi terhadap performa finansial.

1.4. Kontribusi

Penelitian ini diharapkan memberi kontribusi dalam pengembangan keilmuan dan pengetahuan, khususnya berkaitan dengan permasalahan *berth allocation* dan kolaborasi antar terminal *container*. Secara lebih rinci kontribusi dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat model alokasi *berth*, *crane* dan *yard* secara simultan yang mempertimbangkan kedatangan kapal yang bersifat stokastik (*uncertainty*) dan mempertimbangkan strategi kolaborasi antar terminal *container*.
2. Memberikan strategi alternative untuk meningkatkan kemampuan pelayanan dan meningkatkan fleksibilitas pelayanan melalui kolaborasi.
3. Mengupayakan terciptanya sistem pelayanan kapal dan pergerakan *container* di terminal yang optimal dengan mengurangi waktu menunggu, dan meningkatkan fleksibilitas pelayanan.
4. Memberikan kerangka konseptual dan operasional berkaitan dengan kolaborasi antar terminal *container*.
5. Memberikan alternatif model *profit/revenue sharing* sebagai konsekuensi logis dari kolaborasi.

BAB 2

LITERATUR REVIEW

2.1. Kolaborasi

Menurut Fugate et al. (2009), kolaborasi didasarkan pada tiga teori yaitu *resources dependences theory (RDT)*, *resources base view (RBV)* dan *theory of constraint (TOC)*. Menurut teori *resources base view* untuk menciptakan *competitive advantage* serta untuk membangun dan meningkatkan kapabilitas, perusahaan harus fokus pada kemampuan dan sumber daya yang dimiliki. Menurut pandangan *theory of constraint* bahwa sumber daya perusahaan memiliki keterbatasan (*constraint*). Menurut teori ini, *constraint* yang paling dominan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap *output*, dengan demikian jika *constraint* tersebut diatasi maka dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *output*. *TOC* berusaha untuk mengidentifikasi *constraint* yang paling signifikan di dalam sistem, mengeksploitasi dan menjadikan *constraint* untuk meningkatkan *performance output* (Tu et al., 2014; Golmohammadi, 2015). *Performance TOC* salah satunya diukur berdasarkan *throughput*, yaitu besarnya kemampuan untuk memanfaatkan sumber daya yang dimilikinya (Gupta & Boyd, 2008; Costas et al., 2015; Golmohammadi, 2015). *RBV* menitikberatkan pada sumber daya internal, sedangkan *RDT* lebih menekankan sumber daya yang bersifat eksternal (Nemati et al., 2010). Berdasarkan pandangan dari *resources dependences theory* bahwa ketika sumber daya atau kompetensi yang dibutuhkan tidak tersedia, perusahaan tidak bisa lagi hanya mengandalkan sumber daya yang dimiliki (internal) tetapi harus memanfaatkan sumber daya eksternal.

Seiring dengan perkembangan, strategi bersaing perusahaan juga mengalami perubahan. Persaingan tidak lagi hanya mengandalkan sumber daya yang dimiliki, tetapi bisa mengandalkan dan memanfaatkan sumber daya eksternal (Sheppard, 1995; Fugate et al., 2009; Assi, 2013). Menurut Li et al. (2011) persaingan saat ini bukan hanya antar perusahaan dengan perusahaan, tetapi antar *supply chain*. Persaingan antar *supply chain* memperkuat pemahaman dan kesadaran terhadap penggunaan sumber daya eksternal. Salah satu strategi yang bisa dilakukan agar

dapat memanfaatkan sumber daya eksternal adalah menciptakan kolaborasi dengan pihak eksternal.

Beberapa peneliti melakukan studi tentang kolaborasi, seperti faktor yang menjadi pendorong terjadinya kolaborasi, tujuan serta manfaat kolaborasi. Menurut Wang et al. (2014) faktor pendorong perusahaan melakukan kolaborasi diantaranya adalah karena tingginya biaya investasi yang dibutuhkan untuk ekspansi. Selain dapat menurunkan biaya, kolaborasi juga dapat membuat perusahaan menjadi lebih fleksible, memungkinkan penggunaan sumber daya dan kemampuan dalam skala ekonomis, meningkatkan utilisasi penggunaan *asset* (Mason et al., 2005; Juan et al., 2014), meningkatkan kualitas dan fleksibilitas pelayanan (Leitner et al., 2011; Adenso-Diaz et al., 2014), meningkatkan kecepatan distribusi dan pelayanan konsumen (Juan et al., 2014), menurunkan biaya logistik (Yilmaz & Savaseneril, 2012; Lozano et al., 2013). Menurut Cousins & Menguc (2013), kolaborasi dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan *resources sharing* dan *knowledge sharing*. Menurut Lorentz (2008), terdapat faktor yang memungkinkan terjadinya hubungan kolaborasi, diantaranya adalah keterlibatan dalam perencanaan, pengendalian operasi, serta berbagi keuntungan dan resiko. Kolaborasi dilakukan untuk meningkatkan respon terhadap pelanggan dengan mengidentifikasi cara-cara untuk mengurangi atau menghilangkan biaya berlebihan, meningkatkan kualitas dan keandalan, serta meningkatkan kecepatan dan fleksibilitas pelayanan (Tongzon et al., 2009).

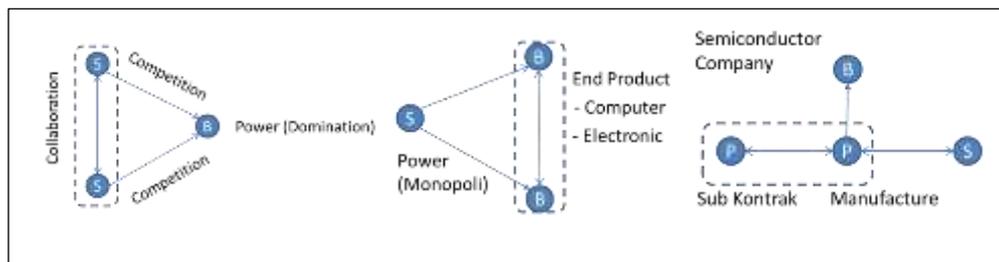
Naesens et al. (2009) dan Adenso-Diaz et al. (2014), membagi kolaborasi menjadi dua kategori, yaitu kolaborasi vertikal dan kolaborasi horizontal. Kolaborasi vertikal terjadi apabila perusahaan berupaya untuk membentuk kemitraan dan membentuk hubungan dengan beberapa pihak dalam *supply chain* pada level yang berbeda. Cruijssen et al. (2007) dalam Adenso-Diaz et al. (2014) mendefinisikan kolaborasi horizontal sebagai kerjasama antara dua atau lebih perusahaan pada level yang sama dalam *supply chain*. Kolaborasi horizontal merupakan kesepakatan bisnis antara dua atau lebih perusahaan yang berada dalam level *supply chain* yang sama untuk mempermudah kerja sama dalam mencapai tujuan bersama (Cousins et al., 2008; Bahinipati et al., 2009).

Beberapa penelitian fokus pada kolaborasi horizontal antar perusahaan *supplier*, atau antar perusahaan *buyer*. Menurut Fugate et al., (2009) dan Hingley et al., (2011), dalam kolaborasi antar *buyer* dan antar *supplier* terjadi adanya ketidakseimbangan dan dominasi power. Beberapa penelitian berikut memperkuat penelitian Fugate et al., (2009) dan Hingley et al., (2011). Wilhelm (2011) melakukan penelitian tentang kolaborasi horizontal antara *supplier* dengan *supplier* pada industri otomotif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perusahaan *focal company* (industri otomotif) lebih dominan dan sangat berpengaruh terhadap kolaborasi antar *supplier*. Kontribusi penting dari penelitian mereka adalah bahwa *buyer* (*focal company*) bisa mengambil peran dalam melakukan inisiasi serta dapat menggunakan “power” dalam menciptakan perilaku kooperatif antar *supplier*. Kontribusi lainnya adalah bahwa kolaborasi horizontal dapat difungsikan untuk memicu persaingan diseluruh jaringan *supply chain*. Kolaborasi horizontal antar *supplier* mempengaruhi dan menentukan hubungan kolaborasi vertikal antara *supplier* dengan *buyer* (*focal company*), dan menciptakan kompetisi yang memberikan pengaruh positif bagi *buyer* (Wilhelm 2011). Toyota merupakan salah satu perusahaan yang berhasil mengaplikasikan konsep kolaborasi horizontal (Wilhelm 2011).

Ouardighi dan Kim (2010) melakukan penelitian kolaborasi horizontal antar perusahaan *buyer*, dimana beberapa perusahaan *buyer* disuplai oleh perusahaan *supplier* yang sama. Perusahaan *supplier* bisa memiliki sifat monopoli (misalnya produk, teknologi) untuk mensuplai komponen tertentu kepada beberapa perusahaan *buyer*. Perusahaan-perusahaan *buyer* saling bersaing antar satu dengan yang lain (secara duopoli, misalnya dalam harga dan kualitas produk akhir). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *supplier* lebih banyak menerapkan kebijakan diskriminatif pada setiap perusahaan. Dalam kondisi dimana *supplier* bersifat monopoli, *resources sharing* tidak cocok diaplikasikan (Ouardighi & Kim 2010).

Wu et al. (2014) secara spesifik meneliti mengenai kolaborasi horizontal pada industri yang menerapkan kebijakan sub kontrak, dimana industri ini memiliki karakteristik yang berbeda dengan karakteristik hubungan *buyer-supplier*. Antara *focal company* dan sub kontrak membuat kesepakatan *quantity contract*. Kontrak antara perusahaan *focal company* (*IDM*) dengan perusahaan sub kontrak (*foundry*)

dilakukan dengan *vertical collaboration*. Hubungan yang menarik antara keduanya adalah perusahaan yang berfungsi sebagai *IDM* selain bisa melakukan sub kontrak ke *foundry* juga memiliki kemampuan untuk dapat membuat produksi sendiri. Dengan demikian, antara *IDM* dan *foundry* adalah perusahaan yang memiliki level yang sama, sehingga kolaborasi bersifat horizontal, namun antara *IDM* dan *foundry* tidak bersaing dalam produk akhir. Jumlah order yang diterima *foundry* tergantung pada order dari *IDM*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolaborasi horizontal memberikan keuntungan yang lebih besar untuk keduanya. Ketiga jenis hubungan kolaborasi antara *buyer-supplier* secara skema dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Model Kolaborasi *Buyer-supplier*

Model kolaborasi lainnya adalah kolaborasi dalam penggunaan armada transportasi (*fleet management*). Kolaborasi dilakukan dengan cara penggunaan armada transportasi secara bersama antara *focal company* dengan *focal company*, antara perusahaan *focal company* dengan perusahaan *transporter*, serta antar perusahaan *transporter*.

Lozano et al. (2013) mengembangkan model matematik untuk menentukan biaya transportasi yang optimal melalui kolaborasi horizontal antara perusahaan yang memiliki armada transportasi sendiri dengan perusahaan *transporter*. Fokus penelitian ditekankan pada estimasi *cost saving* serta menyusun metode untuk distribusi dan alokasi *cost saving* pada masing-masing pihak (*profit redistribution*). Untuk menghitung potensi *cost saving* digunakan model program matematik, sedangkan untuk alokasi *cost saving* digunakan pendekatan *cooperative game theory*. Penelitian ini memberikan *managerial impact* yang besar dimana apabila perusahaan tidak ingin menggunakan armada yang dimiliki, maka perusahaan bisa menggunakan hasil analisis sebagai *bargaining power* dalam melakukan negosiasi. Kesimpulan yang disampaikan Lozano et al. (2013), yaitu semakin banyak pihak

yang menjalin kolaborasi maka *cost saving* akan semakin meningkat, walaupun dalam prakteknya pihak-pihak yang berkolaborasi terbatas.

Juan et al. (2014) mengembangkan model matematik dari Goetschalckx & Jacobs-Blecha (1989) dan model *vehicle routing problem* dengan *backhauling problem* dari Fisher & Jaikumar (1978) untuk meminimumkan biaya dan meminimumkan emisi karbon yang disebabkan aktivitas distribusi dan transportasi. Juan et al. (2014) menyimpulkan bahwa *horizontal collaboration* merupakan strategi yang efektif untuk mengurangi biaya total yang didasarkan pada pertimbangan jarak perpindahan serta biaya emisi yang ditanggung sebagai akibat dari aktivitas distribusi dan transportasi.

Krajewska dan Kopfer (2009) dalam Wang et al. (2014) mengembangkan model perencanaan transportasi operasional terpadu (*integrated operation transportation planning-IOTP*) untuk mengoptimalkan penggunaan armada yang dimiliki oleh *forwarder* dengan armada milik operator lain. *IOTP* dilakukan dengan mengintegrasikan penjadwalan. Wang et al. (2014) menyatakan bahwa kolaborasi horizontal sebagai perencanaan transportasi kolaboratif (*collaborative transportation planning-CTP*) dilakukan dengan tujuan untuk mencapai realokasi permintaan di antara *partner* melalui pertukaran permintaan, dengan biaya total lebih kecil dibandingkan dengan jika tidak melakukan kerja sama. *IOTP* dapat dilakukan tidak hanya dengan *partner* yang satu level, tetapi bisa dilakukan dengan *partner* dari kolaborasi vertikal. *IOTP* sudah banyak didiskusikan khususnya dalam *vehicle routing problem (VRP)*.

Wang et al. (2014) mengembangkan model matematik kombinasi antara kolaborasi vertikal (dengan sub kontak) dan kolaborasi horizontal (dengan *forwarder*) untuk alokasi armada truk. Dalam rangka pemanfaatan sumber daya secara lebih efisien, *forwarder* harus meningkatkan hubungan eksternal dengan operator lain dengan membangun kolaborasi horizontal terutama dalam menyusun perencanaan kolaboratif. Menurut Stadtler (2009) dalam Wang et al. (2014), perencanaan kolaboratif merupakan proses pengambilan keputusan bersama untuk menyesuaikan rencana setiap anggota kolaborasi agar tercapai informasi yang bersifat simetri.

Adenso-Diaz et al. (2014) mengembangkan model matematis dengan tujuan untuk meminimumkan biaya transportasi pada kolaborasi horizontal antara perusahaan yang memiliki armada transportasi dengan perusahaan penyedia jasa transportasi (*transporter*). Model dikembangkan dengan pertimbangan untuk menghindari reposisi armada dan jarak perpindahan armada yang kosong. Model dibangun dengan menggabungkan dan mengkonsolidasikan rute dan armada yang dimiliki perusahaan dan transporter. Mereka menyimpulkan bahwa model kolaborasi horizontal antara perusahaan yang memiliki armada transportasi dan perusahaan transporter dapat menghemat biaya, tergantung pada besarnya kontribusi perusahaan dalam kolaborasi. Besarnya manfaat yang diperoleh tidak selalu proporsional dengan kontribusi yang diberikan.

Ankersmit et al. (2014) meneliti penerapan strategi kolaborasi horizontal pada pelayanan transportasi kargo internal di bandara oleh *freight forwarder*. Ada dua alasan yang menjadi latar belakang penelitian, yaitu meningkatnya daya saing dalam pelayanan jasa industri kargo udara yang menyebabkan margin operasi menurun sehingga perusahaan *forwarder* sulit untuk mempertahankan kinerja transportasi, dan munculnya *integrator* atau penyedia layanan logistik *integratif* (selain *forwarder*) yang memberikan tekanan besar terhadap daya saing pelayanan kargo menjadi semakin dinamis dan kompleks. Transportasi *cargo* dalam bandara merupakan transportasi jarak pendek dengan frekuensi pengiriman yang sangat tinggi, dan dengan jadwal pengiriman yang ketat. Berdasarkan studi kasus dan simulasi disimpulkan bahwa kolaborasi horizontal pelayanan transportasi pelayanan kargo bandara memberikan manfaat seperti (1) meningkatkan jumlah pengiriman, (2) mengurangi jumlah pergerakan truk, (3) meningkatkan frekuensi pengiriman tanpa peningkatan biaya transportasi, (4) meningkatkan rata-rata *throughput*, (5) mengurangi biaya transportasi, (6) meningkatkan penggunaan dan pemanfaatan waktu transportasi.

Ghisi et al. (2008) melakukan penelitian tentang paradigma kolaborasi horizontal dengan obyek riset *small retailer* di Brazil. Terdapat kriteria atau aspek minimum yang harus di penuhi untuk membentuk kolaborasi horizontal, yaitu adanya persepsi untuk memperoleh manfaat dari kolaborasi, adanya kesamaan budaya dan karakteristik umum, adanya kesamaan visi, arah dan perspektif, adanya

komitmen bersama untuk memanfaatkan peluang dan melakukan tindakan secara bersama, serta adanya komitmen investasi untuk inovasi dan modernisasi. Untuk mewujudkan kolaborasi horizontal, Ghisi et al. (2008) mengusulkan langkah yang harus dilakukan, yaitu menentukan tujuan dan ruang lingkup kolaborasi, melakukan pengujian rencana bisnis secara cermat, memilih mitra yang memiliki keahlian dan pengalaman yang saling melengkapi dan dalam skala bisnis yang sama, menentukan dimensi hubungan antar anggota, menentukan tindakan untuk mengurangi ketidakpastian serta mengelola dan memfasilitasi pertumbuhan dan ekspansi bersama, mengembangkan *pilot project* untuk mendapatkan pengetahuan dan pengalaman dalam kegiatan kolaborasi, fokus pada hasil jangka panjang dan bukan pada keuntungan jangka pendek, melakukan konsolidasi antara anggota dan memperkuat *best practice*, fokus pada *continuous improvement* (memasukkan kegiatan baru, memodernisasi proses dan teknologi), melakukan evaluasi terhadap perkembangan dan kinerja kolaborasi dan melakukan penyesuaian yang diperlukan.

Alvarez-sanjaime et al. (2013) mengungkapkan bahwa terdapat kecenderungan kompetisi antara transportasi darat dan transportasi laut. Kedua moda transportasi tersebut semula dianggap sebagai moda transportasi yang saling melengkapi satu dengan yang lainnya. Dengan mengambil studi kasus rute *Valencia-Antwerp* dan *Valencia-Genoa* kolaborasi dapat dilakukan antar perusahaan dengan moda transportasi yang berbeda. Kolaborasi dilakukan antara perusahaan transportasi darat dan transportasi laut. Perusahaan transportasi darat melakukan pengiriman dari dan keluar pelabuhan, sedangkan pengiriman antar pelabuhan dilakukan oleh *shipping company*. Disimpulkan bahwa kolaborasi horizontal lebih menguntungkan untuk keduanya, baik *shipping company* maupun perusahaan transportasi darat.

Steinicke et al. (2012) secara khusus melakukan penelitian kolaborasi horizontal pada industri jasa. Seperti disampaikan oleh banyak pihak bahwa kolaborasi horizontal dapat meningkatkan utilisasi *asset* serta meningkatkan pelayanan. Namun di satu sisi proses inovasi pada industri jasa mudah sekali untuk diduplikasi oleh pesaing dan juga terutama oleh perusahaan yang saling berkolaborasi secara horizontal. Steinicke et al. (2012) mengidentifikasi dilema dan

hambatan dalam menerapkan kolaborasi horizontal. Pertama, kesulitan dalam koordinasi operasional dan penyesuaian tujuan strategis perusahaan. Kedua, proses inovasi bergantung pada *knowledge sharing*, ketakutan pada perilaku *oportunistik*, sehingga perusahaan merasa enggan untuk berbagi pengetahuan dengan mitra mereka, keengganan ini dapat mempengaruhi proses inovasi. Selain itu, karena hak kekayaan intelektual tidak berlaku untuk *industry service*, inovasi layanan dapat dengan mudah ditiru oleh pesaing terutama oleh perusahaan-perusahaan dalam kerjasama horizontal, mereka dapat mengadopsi dan mengambil alih *knowledge* secara cepat. Berbeda dengan industri manufaktur, hak kekayaan intelektual dapat diproteksi secara mudah dengan hak paten. Mereka mengusulkan mekanisme pengelolaan perbaikan service dalam kerangka kolaborasi horizontal di industri services. Ada dua mekanisme pengelolaan yang diusulkan, yaitu pengelolaan operasional dan struktural. Pengelolaan operasional mencakup mekanisme pengelolaan formal dan relasional yang mengacu pada fase pasca pembentukan kerjasama, ditandai dengan aturan-aturan umum, perjanjian, dan kontrak. Pengelolaan relasional didasarkan pada mekanisme antar pribadi yang bertujuan untuk membina kepercayaan. Kedua bentuk pengelolaan operasional dipercaya dapat memfasilitasi koordinasi dan mengurangi perilaku oportunistik (Steinicke et al. 2012). Sebaliknya, pengelolaan struktural mengacu pada fase desain, di mana struktur diwakili oleh kontrak dan model kepemilikan. Dengan demikian, pengelolaan struktural mempengaruhi model partisipasi mitra, risiko dari oportunistik, dan koordinasi.

Berdasarkan penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa kolaborasi horizontal memiliki bentuk dan karakteristik yang sangat luas, tergantung pada tingkatan dan jenis perusahaan yang menjalin kolaborasi. Hal ini menjelaskan bahwa jenis hubungan kolaborasi berbeda antar satu perusahaan dengan perusahaan lainnya, dimana setiap kolaborasi memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Demikian halnya dengan kolaborasi horizontal antar terminal di pelabuhan, memiliki karakteristik yang berbeda dengan kolaborasi horizontal antar perusahaan *buyer* atau *supplier*, juga berbeda dengan kolaborasi horizontal antar perusahaan transporter. Pelayanan di terminal *container*, dapat digolongkan dalam industry jasa, akan tetapi jasa operator terminal memiliki karakteristik yang unik dan

khusus, seperti sarana infrastruktur dan superstruktur, letak geografis dan kepemilikan, sehingga penerapan strategi kolaborasi sulit untuk ditiru atau diduplikasi oleh *competitor* (Steinicke et al., 2012).

Kolaborasi antar terminal *container* juga memiliki karakteristik yang berbeda dengan karakteristik kolaborasi horizontal antara *buyer-supplier*. Adanya dominasi atau power seperti yang disampaikan oleh Wu et al. (2014), Wilhelm (2011), dan Ouardighi & Kim (2010) tidak mudah terjadi. Posisi antar terminal, dengan karakteristik yang dimiliki masing-masing dapat dinilai sebagai hubungan yang ada pada level yang sama. Perbedaan yang paling menonjol adalah proporsi sumber daya yang dimiliki oleh masing-masing terminal. Demikian juga halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Lozano et al. (2013), Juan et al. (2014), Wang et al. (2014), Adenso-Diaz et al. (2014), dan Ankersmit et al. (2014), dimana penelitian mereka lebih bersifat pengerahan armada yang dimiliki oleh masing-masing pihak (*fleet management*) dan kombinasi dengan *vehicle routing problem (VRP)*. Kolaborasi antar terminal *container* lebih menekankan pada penggunaan asset secara bersama melalui penyusunan rencana dan operasi secara bersama (*joint planning and operation*).

2.2. Kolaborasi Pelabuhan

Menurut Hall et al. (2013) kolaborasi antar *stakeholders* pelabuhan merupakan salah satu strategi inovative dalam upaya memberikan pelayanan kepada *shipping lines* khususnya terkait dengan aliran barang dalam *supply chain*. Pelabuhan dan *shipping lines* memiliki kepentingan yang sama dalam memperlancar aliran barang, sehingga pelabuhan berupaya untuk memberikan pelayanan semakin kompetitif, efektif, efisien dan fleksible. Kemampuan dalam memberikan pelayanan sesuai dengan kebutuhan *customer* menjadi daya tarik *shipping lines*. Pelayanan yang efektif dan efisien dapat meningkatkan daya saing pelabuhan, sedangkan kemampuan dalam memberikan pelayanan secara fleksible dapat dijadikan sebagai *competitive advantage* (Tongzon et al., 2009). Menurut Tongzon et al. (2009), keberhasilan pelabuhan dalam menerapkan kolaborasi ditentukan oleh seberapa besar orientasi pelabuhan dan operator terminal untuk melakukan kolaborasi.

Meskipun beberapa penulis sependapat bahwa kolaborasi dapat memberikan manfaat, terutama dalam memberikan pelayanan terhadap *shipping lines* (Leitner et al., 2011; Yilmaz & Savasaneril, 2012; Cousins & Menguc, 2013; Lozano et al., 2013; Mason & Nair, 2013; Adenso-Diaz et al., 2014; Juan et al., 2014), akan tetapi belum ada peneliti yang secara spesifik membahas kolaborasi antar terminal dalam pelabuhan. Beberapa penulis hanya membahas konstruksi dan konsep integrasi pelabuhan dalam *supply chain*, seperti yang dilakukan oleh Valentina & Marcella (2003), Song & Panayides (2008), Tongzon et al. (2009), dan Woo et al. (2013).

Song dan Panayides (2008) dalam penelitiannya terhadap 32 operator terminal *container*, menemukan empat variable penting yang signifikan menggambarkan integrasi terminal *container*. Keempat variable tersebut adalah *information and communication systems, value-added services, multimodal systems and operations, supply chain integration practices*. Tongzon (2009) menguji variable yang telah di validasi oleh Song & Panayides (2008) dengan melakukan sedikit modifikasi variable. Variable yang telah divalidasi dikelompokkan menjadi empat yaitu, *relationship with users, value-added services, inter-connecting inter-modal infrastructure, and channel integration practices*. Perbedaan dari kedua studi adalah terletak pada *case study* yang digunakan. Song dan Panayides (2008) menggunakan operator terminal *container* sebagai *case study* sedangkan Tongzon (2009) menggunakan pelabuhan sebagai *case study*. Menurut Radhika (2012) terdapat parameter integrasi *port supply chain* yang terdiri dari *information and communication systems, value added services, multi-modal systems and operations, dan supply chain integration practices*. Woo et al. (2013) melakukan konstruksi dan validasi terhadap lima faktor yang mempengaruhi integrasi *port*, yaitu *information and communication systems, long-term relationships, value-added logistics services, inter-modal transport services, and supply chain integration practices*.

Penelitian lainnya fokus pada penentuan faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam pemilihan pelabuhan. Tongzon (2009) melakukan penelitian untuk mengetahui faktor yang dipertimbangkan dalam memilih pelabuhan oleh *freight forwarding* atau *independen shipper*. Penelitian dilakukan dengan mengambil obyek di Thailand dan Malaysia. Dari hasil penelitian ditemukan tujuh faktor yang

dipertimbangkan oleh *freight forwarding* atau *independen shipper* dalam memilih *port*. Ketujuh faktor tersebut secara berturut-turut dari ranking tertinggi sampai terendah adalah frekuensi kunjungan kapal (*frequency of ship visits*), efisiensi *port* (*port efficiency*), infrastruktur yang memadai (*adequate infrastructure*), lokasi (*location*), tarif *port* (*port charges*), kecepatan merespon kebutuhan customer (*quick response to port users needs*), reputasi pelabuhan terhadap kerusakan cargo (*port's reputation for cargo damage*). Hsu (2013) melakukan studi terhadap operasional *terminal container* dari perspektif *customer*. Studi ini menghasilkan lima atribut yang mempengaruhi customer dalam memilih terminal, yaitu ketersediaan tempat penyimpanan *container*, proaktif terhadap pelanggan, intensitas jadwal pengiriman, ketepatan dalam menangani keluhan pelanggan, fleksibilitas prosedur operasi.

Penelitian lainnya berkaitan dengan *performance* pelabuhan. Yeo et al. (2011) mengidentifikasi tujuh faktor yang mempengaruhi performa terminal *container*, yaitu pelayanan pelabuhan (*port service*), kondisi *hinterland* (*hinterland condition*), ketersediaan (*availability*), kenyamanan (*convenience*), biaya logistik (*logistics cost*), pusat konektivitas regional (*regional centre and connectivity*). Feng et al. (2011) melakukan penelitian dengan membandingkan performa pelabuhan di Eropa Barat dan dan Asia Timur. Faktor yang digunakan sebagai indikator performa pelabuhan yaitu: ketersediaan rute pengiriman (tujuan, frekuensi, dan lain-lain), tarif jasa pengiriman, biaya penanganan pelabuhan, biaya pergudangan, koneksi *feeder* untuk *deep-seaport* dan jalur pelayaran utama, pelayanan pengiriman pada rute termurah, kecepatan penanganan kargo pelabuhan, risiko kemacetan dan risiko lainnya, keselamatan dan keamanan pelabuhan, infrastruktur pelabuhan, kedekatan pelabuhan dengan *customer* dan/atau sumber pasokan, ketersediaan karyawan yang terampil, kualitas jaringan transportasi (keterkaitan antar moda), ketersediaan dan kualitas jasa logistik (pergudangan, pengiriman barang, penanganan kargo, dan lain-lain), dukungan pemerintah untuk kegiatan logistik dan perkembangan di wilayah baru, dan kedalaman alur pelayaran.

Talley dan Ng (2013) melakukan penelitian pemilihan jaringan transportasi yang dilakukan oleh *shipper, carrier dan port*. *Carrier* bisa berperan sebagai *freight forwarding* atau *shipping company*. Masing-masing pihak dapat menentukan

pilihannya secara independen. *Shipper* menentukan keputusan untuk memilih *carrier* atau *port* yang digunakan. *Carrier* dapat memilih pelabuhan mana yang akan digunakan sebagai mitra. *Shipper* dapat menentukan *freight forwarding* atau *shipping company* yang dipilih sebagai *partner* untuk mendistribusikan produknya. Demikian juga *freight forwarding* atau *shipping company* dapat memilih pelabuhan yang dijadikan sebagai *partner*. Talley dan Ng (2013) mengembangkan model untuk menentukan kondisi optimal secara bersama pada *shipper, carrier dan port*. Kondisi optimal dari sudut pandang *carrier* adalah mencari *profit* yang maksimum. Dari sudut pandang *port* kondisi optimal adalah jumlah *throughput* yang maksimal. Optimal dari sisi *shipper* adalah mencari biaya logistik yang paling rendah. Karena adanya independensi dalam menentukan keputusannya, maka ada suatu kondisi dimana untuk mencapai maksimum *profit, carrier* juga harus dapat menentukan *shipper* mana yang bisa memberikan *profit* maksimal. Demikian juga halnya dengan *port operator*, untuk mencapai maksimal *throughput port* bisa menentukan atau memilih *carrier* atau *shipper* mana yang sehingga diperoleh *throughput* yang maksimal.

Hoshino (2010) melakukan penelitian tentang kolaborasi antar terminal *container* di beberapa pelabuhan utama di Jepang. Penelitian tersebut dilatar belakangi oleh menurunnya daya saing pelabuhan *container* di Jepang dan perkembangan terminal *container* di China, Korea dan negara berkembang lainnya. Hampir seluruh pelabuhan *container* di Jepang mengalami penurunan *throughput*, salah satu penyebabnya adalah adanya kebijakan peningkatan biaya investasi. Peningkatan biaya investasi menyebabkan sebagian industri memindahkan kegiatan produksinya dari Jepang ke China, Korea, dan negara berkembang lainnya. Dengan adanya perpindahan kegiatan produksi maka aktivitas perpindahan barang tidak lagi melalui pelabuhan di Jepang, akibatnya pelabuhan di Jepang bersaing untuk tetap bertahan. Akibatnya tingkat persaingan antar pelabuhan *container* menjadi semakin meningkat dan masing-masing menerapkan strategi untuk mempertahankan *customer*. Kondisi inilah yang menimbulkan kesadaran untuk menciptakan kolaborasi, terutama antar pelabuhan yang saling berdekatan dengan menciptakan daya saing pada level regional.

Dari beberapa penelitian tentang kolaborasi pelabuhan dapat disimpulkan bahwa kolaborasi dapat dilakukan untuk meningkatkan pelayanan kapal, dengan mengusahakan untuk memberikan pelayanan yang cepat dan maksimal kepada *shipping lines*. Kolaborasi juga dapat meningkatkan daya saing dan fleksibilitas pelayanan. Dalam pengetahuan kami sampai dengan saat ini belum ada peneliti yang menyampaikan model hubungan kolaborasi, terutama kolaborasi antar terminal *container* dalam satu pelabuhan.

2.3. Supply Chain Pelabuhan

Pelabuhan merupakan *interface* antara transportasi laut dan transportasi darat dengan menyediakan tempat untuk berlabuh, penyimpanan sementara dan penyediaan superstruktur dan infrastruktur untuk pelayanan kapal dan penanganan *cargo* di pelabuhan (Valentina & Marcella, 2003; Hendriks et al., 2013). Menurut Song dan Panayides (2008), pelabuhan merupakan bagian yang terintegrasi dalam *supply chain* dan memiliki peran yang sangat penting dalam menciptakan *value added*. Oleh karena itu pelabuhan dan terminal dituntut untuk terus meningkatkan efisiensi dan performa internal, serta memfasilitasi efisiensi dan performa dalam jaringan *supply chain* (Tongzon et al. 2009). Kegiatan operasi dan pelayanan di pelabuhan berpengaruh secara langsung terhadap *performance supply chain*, penurunan biaya dan mempercepat waktu distribusi (Tongzon & Heng, 2005; Cullinane et al., 2006).

Peran dan fungsi pelabuhan dalam *global supply chain* menjadi semakin meningkat (Robinson, 2002; Valentina & Marcella, 2003; Bichou & Gray, 2004b; Rodrigue & Notteboom, 2012). Konsekuensi yang paling signifikan dari globalisasi adalah peningkatan jumlah lalu lintas dan pergerakan barang. Dengan meningkatnya aliran pergerakan barang, berarti juga meningkatkan jumlah kunjungan kapal (*ship call*). Pelabuhan sebagai pihak yang memberikan pelayanan terhadap kapal membutuhkan kemampuan untuk mengelola dan melayani kapal agar arus pergerakan barang dari sumber ke tujuan menjadi lebih baik dan waktu yang semakin singkat, meminimalkan atau menghilangkan waktu menunggu (*delay*) dan meminimalkan waktu bongkar muat di pelabuhan (Harrison & Fichtinger, 2013).

Integrasi pelabuhan dalam *supply chain* muncul sebagai strategi penting dalam mengembangkan operasi pelabuhan (Woo et al., 2013). Pelabuhan menghadapi tantangan dengan meningkatnya tekanan dari berbagai tingkat kompetisi yang harus di hadapi. Tekanan ini muncul akibat dari adanya sejumlah besar kekuatan pendorong seperti tingkat pertumbuhan industri, inovasi produk yang harus dilakukan secara cepat karena konsumen menghendaki *time to market* yang semakin cepat, perkembangan teknologi, dan globalisasi industri (Paixao & Marlow, 2003). Sebab lainnya adalah adanya perubahan dalam biaya dan efisiensi, kebutuhan untuk mengelola rantai pasokan yang lebih efisien, pergeseran *market* dari standarisasi produk ke diferensiasi produk, kebijakan dan peraturan baru, dan meningkatnya ketidakpastian.

2.4. Karakteristik Pelabuhan

Tantangan utama yang dihadapi pelabuhan adalah secara alami pelabuhan memiliki kompleksitas operasi, sebagai konsekuensi dari banyaknya pihak yang terkait serta kompleksitas operasi yang terjadi diantara proses operasional pelabuhan (Cullinane et al., 2006). Dengan demikian perlu dilakukan inovasi dan perbaikan secara terus menerus (*continuous improvement*) untuk menghindari kegiatan operasi dengan biaya tinggi dan menghindari penggunaan sumber daya yang tidak optimal (Cordeau et al., 2005). Inovasi perlu dilakukan dari menyusun perencanaan hingga tahap operasional (Harrison & Fichtinger, 2013).

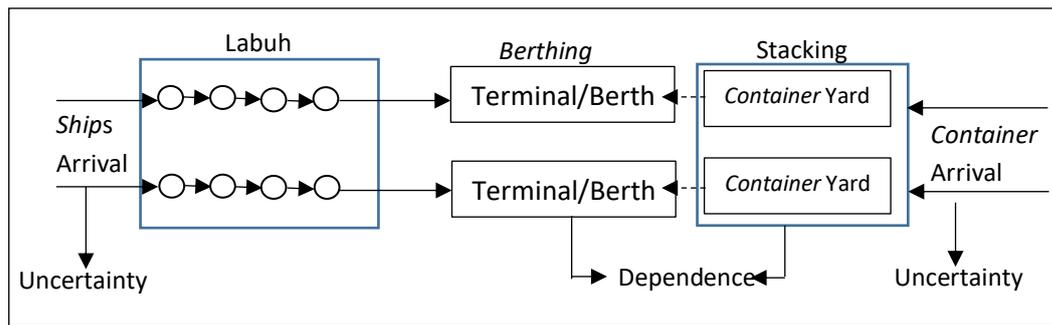
Menurut Song dan Panayides (2008), *terminal container* merupakan salah satu entitas sentral dalam *supply chain*, yang ditunjukkan dengan jumlah pengiriman barang melalui terminal *container* (Feng et al., 2011; Asgari et al., 2013; Mason & Nair, 2013). Meningkatnya jumlah barang melalui pelabuhan mengakibatkan persaingan antara *shipping line* atau industri jasa pengiriman (*carriers*) meningkat secara signifikan (Asgari et al. 2013). Agar mampu bersaing dalam persaingan yang semakin ketat, *shipping lines* berusaha untuk mengurangi biaya operasional, dengan merubah kegiatan bongkar muat dari yang semula dilakukan melalui *dedicated terminal* beralih ke *multi user terminal* (Imai et al., 2008). Perubahan strategi operasi yang dilakukan *shipping lines* memberikan tantangan bagi operator terminal untuk memberikan pelayanan yang optimal dan

secara bersamaan menggunakan sumber daya yang ada secara maksimal (Lalla-ruiz et al., 2014). Tantangan lainnya yang dihadapi operator terminal adalah bagaimana memberikan pelayanan pada sejumlah kapal secara optimal dengan keterbatasan sumber daya yang dimiliki. Fungsi dan tujuan utama dalam bisnis operator terminal adalah untuk memberikan kualitas pelayanan kapal dan pelayanan bongkar muat yang efektif dan efisien, agar dapat memelihara pelanggan yang sudah ada serta menarik minat calon pelanggan baru (Legato et al., 2014).

Kegiatan bongkar muat di terminal secara umum terdiri dari beberapa fase kegiatan yang saling terkait (Lalla-ruiz et al., 2014). Legato et al. (2014) membagi kegiatan di terminal *container* menjadi tiga kegiatan utama, yaitu (i) penerimaan kapal, *maneuver* dan *berthing*; (ii) operasi bongkar muat *container*; (iii) penumpukkan dan penyimpanan di *container yard*.

Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik operasi di pelabuhan. Dalam kegiatan bongkar muat ada dua aliran *container* yaitu *container* ekspor (*outbound container*) dan *container* impor (*inbound container*). *Container* ekspor harus sudah berada di pelabuhan sebelum kapal tiba. *Container* yang datang ditumpuk (*stacking*) di *container yard* yang telah ditentukan. Karena jumlah *container* yang tidak sedikit dan untuk menghindari kemacetan di pelabuhan, maka kegiatan *stacking* dimulai beberapa hari sebelum kedatangan kapal. Ketika kapal datang, kapal selanjutnya diarahkan ke terminal atau dermaga tertentu. Penentuan lokasi sandar di dermaga dilakukan dengan mempertimbangkan ketersediaan dermaga, *quay crane* dan lokasi *container yard* dimana *stacking* dilakukan. *Container* yang di bongkar selanjutnya dibawa dari dermaga ke *container yard* dengan menggunakan transportasi internal pelabuhan (*internal transportation vehicle* atau *ITV*) untuk disimpan sementara sebelum di lanjutkan ke moda transportasi lain atau untuk proses *transshipment*. Kegiatan loading baru bisa dimulai setelah seluruh proses unloading selesai dilakukan. *Container* ekspor dibawa dari *container yard* menuju dermaga.

Penentuan lokasi sandar menjadi semakin kompleks karena banyaknya kapal yang harus dilayani dan ketidakpastian waktu kedatangan kapal. Selain ketidakpastian waktu kedatangan kapal, *container* yang harus di bongkar dan di muat jumlahnya bervariasi di setiap periode. Jumlah *container* dan jumlah *quay crane* yang dialokasikan mempengaruhi lamanya waktu bongkar muat.



Gambar 2.2 Karakteristik Proses di Pelabuhan

2.5. Port Uncertainty

Ketidakpastian yang terjadi di pelabuhan atau terminal *container* dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu ketidakpastian waktu kedatangan dan ketidakpastian waktu pelayanan (*handling time*). Ketidakpastian waktu kedatangan disebabkan oleh beberapa faktor seperti keterlambatan pemberangkatan dari pelabuhan sebelumnya dan gangguan teknis atau kerusakan kapal selama pelayaran. Gangguan selama pelayaran juga dapat disebabkan oleh cuaca atau sebab lain. Menurut Legato et al. (2014), waktu pelayanan kapal dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu (1) rata-rata jumlah *container* yang harus di tangani dalam proses *discharging* dan *loading*, (2) jarak antara dermaga dengan *container yard*, (3) jumlah armada transportasi internal yang dikerahkan. Oleh karena itu ketiga faktor tersebut harus dipertimbangkan secara simultan agar menghasilkan waktu *handling* yang optimal.

Dalam menyusun alokasi kapal (*ship-to-berth*) beberapa peneliti telah mempertimbangkan adanya ketidakpastian kedatangan kapal atau deviasi antar waktu kedatangan dengan menentukan besarnya *allowance time* atau *buffer time*. Tetapi penambahan *buffer time* dapat mengakibatkan peningkatan *idle time*.

Peng-fei dan Hai-gui (2008) serta Han et al. (2010) mengembangkan model *berth allocation problem* dengan mempertimbangkan waktu kedatangan kapal dan waktu *handling* sebagai parameter yang memiliki sifat stokastik. Zhen et al. (2011) dan Golias et al. (2014) secara spesifik mempertimbangkan *uncertainty* dan *variabilitas* waktu kedatangan kapal serta *variabilitas handling time*. Zhen dan Chang (2012) menggunakan strategi *reactive* dengan memasukkan *buffer time* dalam *berth allocation problem*. Sedangkan Legato et al. (2014)

mempertimbangkan *time windows* dalam menyusun *model berth allocation problem*.

2.6. Berth Allocation Problem

Berth allocation problem (BAP) merupakan pengalokasian kapal pada dermaga tertentu pada waktu tertentu selama periode waktu perencanaan tertentu agar kapal dapat melakukan aktivitas bongkar muat (Zhen & Chang, 2012). *Berth allocation problem* umumnya terjadi di terminal dengan karakteristik *multi user terminal (MUT)*, yaitu terminal yang digunakan secara bersama-sama oleh beberapa *shipping lines* untuk melakukan kegiatan bongkar muat (Imai et al., 2008). Penggunaan *multi user terminal* oleh *shipping lines* disebabkan oleh tingkat persaingan antar *shipping lines* yang semakin ketat. Persaingan yang semakin ketat menyebabkan *shipping lines* harus mengurangi biaya operasional. Salah satu strategi yang dilakukan agar mereka tetap bisa bersaing adalah dengan merubah kegiatan bongkar muat dari yang semula dilakukan melalui *dedicated terminal* beralih ke *multi user terminal*.

Karena satu terminal digunakan oleh lebih dari satu *shipping lines*, maka tantangan yang dihadapi oleh pengelola terminal adalah bagaimana mengalokasikan sumber daya yang dimiliki terminal agar mampu memberikan pelayanan yang optimal. Pengelola terminal selain dituntut untuk melakukan kegiatan operasi dan memberikan pelayanan kepada *shipping lines* secara efisien, pengelola terminal juga dituntut untuk dapat mengalokasikan sumber daya yang dimiliki secara optimal.

Untuk menghasilkan alokasi *ship-to-berth* yang optimal, perlu diketahui karakteristik dan permasalahan *berth allocation*. Berdasarkan kedatangan kapal, *BAP* dikelompokkan dalam dua kategori, yaitu *static* dan *dynamic* (Imai et al., 2001). *Static berth allocation problem (SBAP)* merupakan suatu metode dimana alokasi dilakukan berdasarkan kapal yang telah datang atau sudah berada di pelabuhan. Sedangkan *BAP* dinamis (*dynamic berth allocation problem*) adalah alokasi kapal yang dapat dilakukan tanpa mengharuskan kapal telah berada di pelabuhan.

Selain berdasarkan kedatangan kapal, *BAP* juga di dasarkan pada kondisi spasial dermaga, yaitu bisa bersifat *discrete* dan *continuous* (Imai et al., 2005; Lallaruiz et al., 2014). *BAP* diskret (*discrete berth allocation problem*) merupakan alokasi *ship-to-berth* yang dilakukan dengan membagi panjang dermaga menjadi beberapa bagian atau segmen. Satu kapal menempati satu bagian atau segmen tertentu. Pada *BAP* kontinu (*continuous berth allocation problem*) kapal dapat dialokasikan dimana saja di sepanjang dermaga yang tersedia.

Pembahasan *BAP* dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu dilakukan secara terpisah dan terintegrasi (simultan). Pembahasan *BAP* terintegrasi dilakukan dengan cara menggabungkan antara *BAP* dan alokasi sumber daya lainnya seperti alokasi *quay crane* (*quay crane allocation problem-QCAP* atau *quay crane schedule problem-QCSP*) (Imai, 2008). Disamping integrasi antara *berth allocation problem* dan *quay crane allocation problem*, juga diintegrasikan dengan *container yard*.

Untuk menghadapi ketidakpastian Zhen et al. (2011) dan Zhen & Chang (2012) mengusulkan dua strategi, yaitu *proactive strategy* dan *reactive strategy*. *Proactive strategy* merupakan strategi yang dilakukan dengan cara memasukkan faktor ketidakpastian ketika menyusun jadwal (*baseline schedule*), sedangkan *reactive strategy* merupakan strategi yang dilakukan dengan cara melakukan penyesuaian terhadap *baseline schedule*. Yang et al. (2012) membagi cara penyelesaian *BAP* dan *QCAP* menjadi dua kelompok, yaitu pendekatan independen dan pendekatan terintegrasi. Pendekatan independen dilakukan dimana penyelesaian *BAP* dan *QCAP* diselesaikan dengan cara terpisah, sedangkan pendekatan terintegrasi penyelesaian dilakukan secara simultan.

Sebagian besar *shipping lines* menggunakan jadwal kedatangan kapal (*ship call*) dengan periode tetap dan berulang setiap minggu. Moorthy dan Teo (2006) menggunakan istilah penjadwalan dengan karakteristik tetap dan berulang dengan terminologi *cylinder home berth design problem*. Menurut mereka salah satu masalah utama dalam perencanaan alokasi *ship-to-berth* adalah menyusun jadwal kapal setiap minggu (*ship call*). Jadwal kapal menjadi dasar perencanaan sumber daya lainnya seperti *quay crane*, *straddle carrier*, dan *container yard*. Moorthy dan Teo (2006) menyusun model *home berth* dengan menggunakan bentuk persegi

panjang. Sisi horizontal menunjukkan waktu (waktu kedatangan, waktu menunggu, waktu *handling*, waktu keberangkatan). Sedangkan sisi vertikal menunjukkan panjang *berth* atau panjang kapal. Horizon waktu perencanaan umumnya menggunakan siklus yang tetap dan akan berulang. Dengan demikian horizon waktu perencanaan dianalogikan seperti silinder. Penyelesaian model dilakukan dengan metode *Sequence Pair Based Simulated Annealing Algorithm*.

Imai et al. (2014) mengembangkan konsep *cylinder home berth design problem* menjadi *berth template allocation problem (BTP)*. Model ini bertujuan untuk menentukan dan mengatur kapal yang dilayani berdasarkan *time windows*. Horizon waktu perencanaan berlangsung secara periodik dengan siklus waktu satu minggu. Konsep ini dilandasi adanya kontrak antara *shipping lines* dan operator terminal untuk menyusun jadwal kedatangan dan keberangkatan kapal per minggu. Keputusan yang diambil bukan semata-mata terkait *berth allocation*, tetapi juga terkait dengan penggunaan fasilitas dan peralatan lain yang dibutuhkan seperti *quay crane*, *berthing slot*, *internal vehicle transport (straddle carrier)*, dan *container yard*. Dalam model ini, diasumsikan bahwa *quay crane*, *internal vehicle transportation*, dan *container yard* dianggap sudah ditetapkan di awal periode pada waktu pembahasan kontrak. Dengan demikian waktu yang diperlukan untuk kegiatan *handling* dan waktu yang dibutuhkan untuk *container movement* antara lokasi *berthing* dengan *container yard* sudah ditetapkan sebelum alokasi kapal diputuskan. Keputusan strategis yang harus dibuat adalah menentukan kapal mana yang bisa dilayani sesuai dengan *windows slot* yang diminta pada waktu tertentu dalam horizon waktu perencanaan. Fungsi tujuan model ini adalah meminimalkan waktu *handling* dan meminimalkan biaya kapal yang tidak bisa dilayani. Penyelesaian model dengan menggunakan metode *Subgradient Optimization Procedure*.

2.6.1. Berth Allocation Problem dengan pendekatan deterministik

Menurut Imai et al. (2001), *BAP* mulai di bahas oleh Lai & Shih (1992) yang melakukan studi dengan pendekatan *first come first service (FCFS)*. Brown (1994, 1997) dalam Imai et al. (2001) melakukan studi pada pelabuhan non komersil (pelabuhan angkatan laut) dan mengidentifikasi bahwa untuk melakukan

penugasan kapal yang optimal dapat dilakukan dengan menggeser kapal yang lain yang sedang berada di dermaga. Hal ini tentu tidak sesuai dengan kondisi saat ini dan terutama untuk pelabuhan komersil dimana kapal harus mendapatkan pelayanan di dermaga sampai selesai tanpa harus dipindahkan ke dermaga lainnya (Imai et al., 2001).

Imai et al. (1997) dalam Imai et al. (2001) melakukan studi pada pelabuhan komersial, dimana sebagian besar pelayanan menggunakan pendekatan *first come first service*. Studi yang mereka lakukan menggunakan pendekatan *static berth allocation problem*. Mereka menyimpulkan bahwa untuk mengalokasikan kapal ke dermaga yang optimal pelabuhan harus menemukan cara selain *first come first service*. Pendekatan statis dengan sistem pelayanan kapal *first come first service* hanya cocok diterapkan untuk pelabuhan yang sangat sibuk atau di pelabuhan dengan tingkat kompetisi yang sangat tinggi (Imai, 2008; Imai et al., 2014).

Imai et al. (2001) mengembangkan pendekatan *static* menjadi pendekatan *dynamic*, dimana penjadwalan dilakukan tanpa harus menunggu kapal tiba di pelabuhan. Penyelesaian dilakukan dengan pendekatan *heuristic* menggunakan metode *Sub Gradient Lagrangian Relaxation*. Nishimura et al. (2001) mengembangkan pendekatan *dynamic discrete berth allocation problem (DDBAP)*. Mereka juga mempertimbangkan kondisi dermaga yang memiliki kedalaman berbeda-beda. Penyelesaian dilakukan dengan pendekatan *Heuristic Genetic Algorithm*.

Imai et al. (2003) mengembangkan model *dynamic discrete berth allocation problem (DDBAP)* dengan memasukkan skala prioritas. Model ini dikembangkan berdasarkan pada model Imai et al (2001). Penetapan skala prioritas bisa didasarkan dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti panjang/pendek kapal, besar/kecil kapal, jumlah dan jenis muatan, dan sebagainya. Penyelesaian model ini dilakukan dengan pendekatan *Heuristic Genetic Algorithm*.

Imai et al. (2007) mengembangkan model *dynamic discrete berth allocation problem (DDBAP)* dengan *multi objective*. Terdapat dua tujuan yaitu meminimumkan waktu *delay* dan meminimumkan waktu pelayanan (*service time*). Model ini dikembangkan berdasarkan dua sudut pandang, yaitu sudut pandang *customer (shipping lines)* yang bertujuan untuk meminimumkan waktu *delay* dan

sudut pandang operator terminal untuk memaksimalkan utilisasi infrastruktur dan superstruktur. Menurut Imai et al., (2007), utilitas terminal dapat ditingkatkan dengan memberikan waktu pelayanan yang lebih cepat. Penyelesaian model ini dilakukan dengan pendekatan *Sub Gradient Optimization Procedure* menggunakan *Lagrangean Relaxation* dan *Genetic Algorithm*.

Golias et al. (2009) mengembangkan model *multi objective berth allocation problem* dengan pendekatan *dynamic discrete berth allocation problem (DDBAP)*. Mereka juga mempertimbangkan adanya pembobotan atau skala prioritas. Penyelesaian model dilakukan dengan pendekatan *Genetic Algorithm*.

Hansen et al. (2008) mengembangkan *model dynamic discrete berth allocation problem (DDBAP)* dengan tujuan untuk meminimalkan total biaya yang disebabkan *delay time* dan *handling time*. Penyelesaian model dilakukan dengan menggunakan metode *Variable Neighborhood Search (VNS) Heuristic*.

Lalla-Ruiz et al. (2012) mengembangkan model *dynamic discrete berth allocation problem (DDBAP)* dengan tujuan untuk meminimalkan total waktu kapal berada di dermaga (waktu *delay*, waktu menunggu, dan waktu *handling*). Penyelesaian model dilakukan dengan pendekatan *Hybrid Metaheuristic*.

Golias et al. (2010) mengusulkan model untuk menyelesaikan permasalahan *dynamic discrete berth allocation problem (DDBAP)* dengan pendekatan *lamda optimal (λ -opt)*. Penyelesaian menggunakan model *λ -opt* adalah untuk mempercepat proses iterasi dan menghasilkan penyelesaian yang mendekati global optimal. Oliveira et al. (2012) mengembangkan model yang didasarkan pada sifat *discrete dynamic berth allocation problem*. Penyelesaian model ini dengan menggunakan pendekatan yang berbeda, yaitu *Clustering Search* dengan *Annealing Simulation*.

Xu et al. (2012) mengembangkan model *discrete berth allocation problem (DBAP)* dengan mempertimbangkan perbedaan kedalaman dermaga (*variable water depth*) dan kondisi pasang surut (*tidal condition*). Menurut mereka, dalam praktek banyak dijumpai terminal dengan kedalaman dermaga yang berbeda-beda dan pengaruh pasang surut, sehingga tidak seluruh kapal dapat ditempatkan di setiap segmen. Kapal dengan ukuran tertentu hanya bisa *berthing* pada dermaga dengan kedalaman tertentu. Oleh karena itu dibutuhkan model yang bisa

memfasilitasi kondisi tersebut. Fungsi tujuannya adalah meminimumkan total waktu *handling* dan waktu menunggu. Model dikembangkan dengan menggunakan dua sifat kedatangan yaitu *static* dan *dynamic* dengan penyelesaian menggunakan pendekatan *Heuristic*.

Cordeau et al. (2005) mengusulkan model *multiple depots vehicle routing problem with time windows (MDVRPTW)* dalam permasalahan *DDBAP*. Buhrkal et al. (2011) mengembangkan model *DDBAP* yang dikembangkan dengan pendekatan *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time Windows (HVRPTW)*. Pendekatan *HVRPTW* didasarkan atas model *Multiple Depots Vehicle Routing Problem with Time Windows (MDVRPTW)* yang dikembangkan oleh Cordeau et al. (2005).

Ting et al. (2014) mengembangkan pendekatan *Particle Swam Optimization (PSO)* untuk menyelesaikan model *DDBAP*. Tujuan model ini adalah untuk meminimalkan total waktu menunggu dan total waktu *handling*. Ting et al. (n.d.) mengembangkan model *dynamic berth allocation problem* dengan tujuan untuk meminimalkan total waktu pelayanan untuk seluruh kapal. Penyelesaian model dilakukan dengan metode *Annealing Simulation*.

Legato et al. (2014) mengusulkan konsep *BAP* yang berbeda dengan pendekatan taktikal dan operasional secara terintegrasi tetapi dengan dua model yang terpisah. Model *mathematical programming* pada *tactical level* dan model simulasi pada *operational level*. Model ini dikembangkan berdasarkan kondisi di *Gioia Tauro Container Terminal*, dimana *shipping lines* dan terminal pelabuhan telah melakukan kesepakatan formal untuk melakukan kegiatan bongkar muat sesuai dengan *time windows* dan pengerahan infrastruktur dan superstruktur yang telah disepakati. Fungsi tujuan dari model adalah untuk meminimalkan biaya *penalty* yang timbul karena adanya selisih antara posisi *actual berthing* dengan posisi *ideal berthing*, serta biaya *pinalty* akibat keterlambatan kedatangan kapal.

Selain model *static discrete allocation problem* dan *dynamic discrete allocation problem*, beberapa penulis juga mengembangkan model *continuous dynamic berth allocation problem (CDBAP)*. Lee et al. (2010) mengembangkan model *continuous dynamic berth allocation problem* dengan tujuan untuk

meminimalkan *total weighted flow time*. Penyelesaian model ini dilakukan dengan menggunakan metode *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP)*.

Zhen et al. (2011) mengembangkan model *continuous dynamic berth allocation problem* dengan memasukkan unsur *uncertainty*, yaitu deviasi waktu kedatangan kapal dan ketidakpastian lamanya waktu operasi pelayanan. Dua strategi sekaligus diterapkan, yaitu *proactive strategy* dan *reactive strategy*. Penyelesaian model dilakukan dengan pendekatan *Meta Heuristic*.

Zhen dan Chang (2012) mengembangkan model *continuous dynamic berth allocation problem* dengan dua tujuan yaitu meminimalkan biaya dan memaksimalkan *robust schedule* (di ukur berdasarkan *time buffer*). Untuk mengantisipasi ketidakpastian mereka menggunakan strategi *proactive* dengan memasukkan *time buffer* dalam penjadwalan. Penyelesaian model dilakukan dengan pendekatan *Heuristic*.

Imai (2008) melakukan studi integrasi *BAP-QCAP*. Model disusun dengan mempertimbangkan *dynamic discrete berth allocation problem*. Tujuan model ini adalah untuk meminimalkan total waktu pelayanan (*handling time dan delay time*). Penyelesaian model ini dilakukan dengan *Genetic Algorithm* berbasis *heuristic*.

Liang et al. (2009) mengembangkan model simultan *BAP-QCAP* dengan tujuan untuk meminimalkan waktu *handling*, waktu menunggu dan waktu *delay*. Penyelesaian model ini dilakukan dengan pendekatan *Hybrid Genetic Algorithm*. Model yang di kembangkan berdasarkan sifat *dynamic discrete berth allocation problem*.

Chang et al. (2010) membahas *BAP-QCAP* secara simultan berdasarkan karakteristik *discrete dynamic berth allocation problem*. Solusi dari model dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Hybrid Parallel Genetic Algorithm (HPGA)* yang merupakan kombinasi antara pendekatan *Parallel Genetic Algorithm (PGA)* dan *Heuristic Algorithm*.

Giallombardo et al. (2010) mengembangkan model yang mengintegrasikan antara *berth allocation* dan *yard allocation*. Model secara khusus untuk mengoptimalkan kegiatan *loading* dan *unloading* pada terminal *transshipment*. Tujuannya adalah untuk memaksimalkan total *revenue* dan meminimalkan *housekeeping cost*. Dalam model ini *housekeeping cost* dibedakan berdasarkan

jarak perpindahan *container*. Penyelesaian model dilakukan dengan metode *Heuristic Algorithm* kombinasi antara *Tabu Search Methods* dan *Mathematical Programming*. Lee & Jin (2013) secara spesifik membahas optimasi pergerakan *cargo* di terminal *transshipment* antara *mother vessel* dengan *feeders* dengan mempertimbangkan *handling time* dan *yard allocation* secara simultan. Penyelesaian model dilakukan dengan metode *Memetic Heuristic*.

Raa et al. (2011) mengembangkan model simultan *BAP* dan *QCAP*. Model didasarkan pada *dynamic discrete berth allocation problem*. Mereka berpendapat bahwa ada korelasi dan saling mempengaruhi antara *berth allocation* dengan *crane assignment*. Fungsi tujuan dari model yang mereka kembangkan di dasarkan pada tiga komponen, yaitu *handling time* dan *delay time*, lokasi *berthing*, dan pergerakan *quay crane*. Dalam model ini, diasumsikan bahwa *quay crane* dapat dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lain, meskipun pelayanan terhadap satu kapal belum selesai. Perpindahan dapat dilakukan pada waktu *break*. Model diselesaikan dengan menggunakan pendekatan *Mixed Integer Linier Programming*.

Yang et al. (2012) mengembangkan model dengan terminology *coupling problem of berth and quay crane allocation (C-B&CAP)*. Pendekatan yang digunakan dalam model ini adalah *continuous dynamic berthing allocation problem (CDBAP)*. Model ini melihat permasalahan *BAP* dan *QCAP* sebagai satu kesatuan yang saling mempengaruhi dan berinteraksi satu dengan yang lain sehingga harus diselesaikan dengan pendekatan yang terintegrasi. Fungsi tujuan dari model adalah meminimalkan jumlah *quay crane* yang dialokasikan pada setiap kapal yang *berthing*. Penyelesaian model ini dilakukan dengan pendekatan *Inner* dan *Outer Algorithm*.

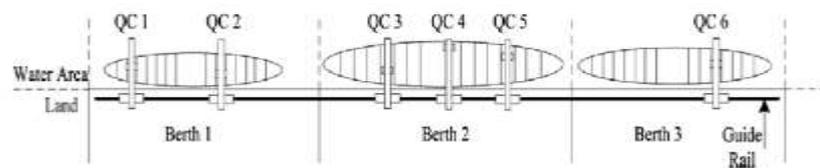
Song et al. (2012) mengembangkan model *static berth allocating problem (SBAP)* dan *quay crane scheduling problem (QCSP)* secara simultan. Tujuan model ini adalah meminimumkan *service time* dan *ship waiting time*. Model ini diselesaikan dengan dua tahap, yaitu *Genetic Algorithm* untuk menyelesaikan tahap *upper-level problem (BAP)* dan metode *Branch-and-Bound* untuk menyelesaikan *lower-level problem (QCAP)*.

Elwany et al. (2013) mengembangkan model integrasi *BAP* dan *QCAP* menggunakan terminologi *BACAP (berth allocation and crane assignment*

problem). Mereka mengembangkan model dengan menggunakan *dynamic arrival* pada *continuous spatial* dan mempertimbangkan perbedaan kedalaman dermaga (*variable water depth*). Model diselesaikan dengan menggunakan pendekatan *Heuristic*.

Hendriks et al. (2013) mengembangkan model *berth allocation problem* dan *yard planning problem* secara simultan dengan metode (*Multi-commodity*) *Capacitated Multi-source Weber Problem (M)CMWP*. Tujuannya adalah untuk meminimalkan transportasi *container* dari kapal menuju *container yard* dan dari *container yard* menuju kapal penghubung. Dalam model ini, mereka membedakan *type container* yang di pindahkan, yaitu *reefer*, *dangerous goods*, *empty containers*, *full containers*. Penyelesaian model dilakukan dengan pendekatan *Heuristic*.

Türkogulları et al. (2014) mengembangkan model *berth allocation problem and quay crane assignment specific problem (BACASP)*. Model ini merupakan integrasi antara *BAP* dan *QCAP*. Perbedaan model ini terletak pada alokasi *quay crane* yang bersifat spesifik. Ketika dua kapal *berthing* dalam waktu yang bersamaan, *quay crane* dapat dialokasikan pada kapal dengan berbagai cara, namun tidak bisa saling bertukar. Penyelesaian model dilakukan dengan pendekatan *Cutting Plane Algorithm*. Imai 2008 menjelaskan pengalokasian *QC* yang tidak bisa dilakukan secara bebas. *QC* bergerak pada satu rel sehingga tidak bisa saling silang. Gambar 2.3 menunjukkan terminal dengan tiga dermaga yang memiliki enam *QC*. Alokasi *QC1* sampai *QC6* harus dilakukan secara berurutan.



Gambar 2.3 Alokasi Dermaga dan Pergerakan *Quay Crane*
Sumber : Imai (2008)

Lalla-ruiz et al. (2014) membahas *tactical level* dari *BAP-QCAP* dengan mempertimbangkan kegiatan *transshipment*. Kegiatan *transshipment* membutuhkan dua kali pergerakan, pertama *container* dibongkar dari kapal untuk di bawa ke *container yard*, selanjutnya dari *container yard* dibawa kembali menuju kapal penghubung. Biaya pergerakan berbeda-beda tergantung dari posisi *container yard*

dan posisi *berthing* kapal yang membawa masuk maupun kapal yang mengangkut ke luar. Biaya pergerakan dari *container yard* ke *container yard* lainnya digunakan terminology *housekeeping cost*. *Housekeeping cost* berbeda-beda tergantung dari posisi atau lokasi kapal melakukan *berthing* dan *letak container yard*. Selain *transshipment*, faktor lain yang dipertimbangkan adalah penugasan *quay crane*, dimana setiap penugasan *quay crane* pada kapal yang berbeda akan menghasilkan *value* yang berbeda. Fungsi tujuan dari model ini adalah memaksimalkan *value* dari *quay crane* yang dialokasikan dan secara simultan meminimumkan *housekeeping cost*. Untuk menyelesaikan model, Lalla-ruiz et al. (2014) mengusulkan menggunakan metode *Bias Random Genetic Algoritm*.

Jin et al. (2015) mengembangkan model yang secara spesifik membahas permasalahan *transshipment*. Mereka mengusulkan model yang secara simultan mempertimbangkan tiga keputusan yang saling terkait, yaitu *berth template*, *schedule template*, dan *yard template*. *Berth template* dan *yard template* untuk mengoptimalkan pergerakan aliran *container transshipment* dari kapal menuju ke *container yard* dan dari *container yard* menuju kapal penghubung. Tujuannya adalah menentukan posisi *berthing* dan lokasi *container yard* untuk menentukan jarak perpindahan *container* yang paling minimal. *Schedule template* merupakan strategi dari pendekatan *proactive* yang secara spesifik untuk mengalokasikan waktu pelayanan per periode waktu (*weekly calling vessel*). Tujuannya adalah untuk meminimalkan waktu pelayanan kapal. Penyelesaian model ini digunakan pendekatan *Column Generation Base Approach*.

Hendriks et al. (2010) mengembangkan model *robust mixed integer linear program (MILP)*. Model ini dikembangkan untuk mengakomodir dan mengatasi kapal yang datang terlambat dari jadwal yang ditentukan. Seperti disampaikan sebelumnya bahwa keterlambatan kedatangan kapal bisa terjadi dalam dua kemungkinan *in within the windows* dan *outside the windows*. Untuk kapal yang terlambat namun masih dalam *windows* dapat diatasi dengan cara menambah atau merelokasi *quay crane*. Tujuannya adalah untuk menyeimbangkan dan memaksimalkan beban kerja dari *quay crane* dan meminimalkan *quay crane* yang dibutuhkan.

Hendriks et al. (n.d.) mengembangkan model yang berbeda dari peneliti sebelumnya. Dalam praktek dijumpai bahwa satu operator mengelola lebih dari satu terminal di dalam satu pelabuhan. Dibandingkan dengan *single* terminal, permasalahan multi terminal menjadi lebih kompleks. Pembahasan dilakukan untuk menyelesaikan komposisi dan alokasi kapal di setiap terminal dan penugasan *quay crane*. Tujuannya adalah menyeimbangkan beban kerja *quay crane* dan disaat yang bersamaan meminimalkan transportasi antar terminal.

2.6.2. Berth Allocation Problem dengan pendekatan stokastik

Beberapa peneliti menggunakan asumsi kedatangan kapal diketahui dan konstan (deterministik). Pada kondisi aktual, asumsi ini sulit untuk dipenuhi karena waktu kedatangan kapal sangat bervariasi. Demikian juga dengan *container* yang jumlahnya bervariasi pada setiap kedatangan. Dalam *windows contract*, operator terminal menetapkan jumlah *crane* yang dialokasikan pada setiap kapal. Akan tetapi karena waktu kedatangan kapal bervariasi dan jumlah *container* yang dilayani berubah-ubah, maka operator terminal berusaha untuk melakukan penyesuaian terhadap jumlah *crane* yang digunakan. Operator terminal mengerahkan *crane* sesuai dengan jumlah *container* yang harus di layani dan waktu *handling* yang tersedia. Waktu kedatangan kapal yang tidak pasti, jumlah *container* yang berubah-ubah, dan waktu *handling* yang bervariasi memiliki sifat dan karakteristik stokastik.

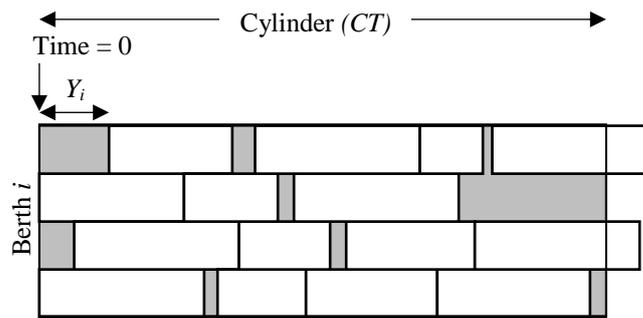
Peng-fei dan Hai-gui (2008) mengembangkan model *BAP-QCAP* untuk meminimalkan waktu menunggu (*delay time and handling time*) dimana *arrival time* dan *handling time* bersifat stokastik. Penyelesaian dilakukan dengan pendekatan *Genetic Algorithm*.

Han et al. (2010) mengembangkan model *proactive* integrasi *BAP-QCAP* dengan mempertimbangkan sifat stokastik pada kedatangan kapal dan waktu *handling* serta menggunakan asumsi bahwa *quay crane* dapat berpindah dari satu dermaga ke dermaga lain secara terbatas meskipun pelayanan terhadap satu kapal belum selesai. Penyelesaian model ini dengan menggunakan pendekatan *Genetic Algorithm*.

Golias et al. (2014) mengembangkan model *DDBAP* dimana waktu kedatangan kapal dan waktu *handling* tidak diketahui dengan pasti. Tujuannya adalah menentukan total waktu pelayanan yang minimal. Penyelesaian model ini dilakukan dengan pendekatan *Heuristic Algorithm*.

2.6.3. Berth template dan cylinder system

Imai et al. (2001) dan Imai et al. (2014) merupakan peneliti yang mengembangkan model *berth allocation* dengan metode *berth template allocation problem (BTP)*. Penekanan model ini terletak pada siklus penjadwalan dengan sistem silinder, dimana *ship calls* terjadi pada periode waktu tertentu secara berulang. Moorthy dan Teo (2006) mengembangkan konsep yang hampir sama dengan menggunakan terminologi *home berth* dengan basis *ship calls* per minggu.



Gambar 2.4 *Cylinder Home Berth Design Problem*

Sumber : (Imai et al., 2014)

Meskipun penjadwalan dibuat untuk jangka waktu panjang, waktu kedatangan kapal (*ship call*) terjadi dalam periode tetap dan berulang (umumnya setiap minggu). Karena *ship calls* bersifat berulang dengan periode tetap, maka penjadwalan hanya perlu dibuat dalam periode tertentu (Moorthy & Teo, 2006). Moorthy dan Teo (2006) menggunakan terminologi *cylinder home berth design problem*.

Pada Gambar 2.4, penjadwalan digambarkan dalam segi empat, dimana sisi horizontal menunjukkan waktu (waktu kedatangan, waktu menunggu, waktu *handling*, waktu keberangkatan), sedangkan sisi vertikal menunjukkan panjang dermaga dan panjang kapal. Horison waktu perencanaan umumnya menggunakan

siklus yang tetap dan berulang, dengan demikian horizon waktu perencanaan dianalogikan seperti silinder.

BAB 3

RESEARCH FRAMEWORK DAN METODE PENELITIAN

3.1. Definisi Masalah

Operator terminal, khususnya terminal *container* internasional, mengatur jadwal pelayanan kapal dengan menetapkan *windows slot*, yaitu jadwal kedatangan dan keberangkatan kapal setiap periode waktu tertentu (setiap minggu, setiap 10 hari, atau setiap dua minggu). *Windows slot* ditentukan berdasarkan kesesuaian antara kebutuhan *shipping lines* dan ketersediaan sumber daya yang dimiliki terminal. Penetapan *windows slot* diawali dengan penyampaian estimasi volume bongkar muat, estimasi waktu kedatangan (*expected time arrival-ETA*) dan estimasi waktu keberangkatan kapal (*expected time departure-ETD*) dari *shipping lines* kepada operator terminal. Estimasi jumlah *container* digunakan sebagai dasar untuk menghitung *slot* waktu yang dibutuhkan kapal untuk melakukan bongkar muat. *Slot* waktu yang dibutuhkan selanjutnya digunakan sebagai dasar operator terminal untuk menyusun alokasi dermaga serta peralatan bongkar muat lainnya seperti *quay crane*, *transporter*, dan penggunaan *container yard*. Apabila *slot* yang dibutuhkan dapat dipenuhi dan disetujui oleh kedua pihak, maka kedua pihak akan membuat kontrak (*windows contract*).

Penentuan *windows contract* merupakan proses yang sangat penting karena keputusan dibuat untuk jangka panjang. Keputusan yang diambil harus mempertimbangkan dan mengakomodir kebutuhan *shipping lines* yang memiliki kecenderungan berubah-ubah dari waktu ke waktu. Variabilitas waktu antar kedatangan dan waktu bongkar muat (waktu yang dibutuhkan tergantung pada jumlah *container* yang dibongkar/dimuat) harus mampu diantisipasi dari awal ketika proses negosiasi berlangsung. Hal yang sulit dalam menetapkan *windows slot* adalah bagaimana agar *windows slot* dapat mengakomodir dan menyesuaikan kebutuhan *shipping lines* dalam jangka panjang, meskipun setiap waktu terjadi perubahan-perubahan. Pada sisi lain, kapasitas dan sumber daya yang dimiliki terminal relatif tidak mengalami perubahan atau cenderung tetap.

Selain bertujuan untuk mengatur jadwal pelayanan kapal, *windows contract* juga berfungsi dalam memberikan kepastian bagi *shipping lines* dan operator terminal. *Shipping lines* mendapatkan jaminan kepastian untuk *berthing* sesuai waktu yang telah disepakati, sedangkan operator terminal mendapatkan jaminan kepastian pemanfaatan sumber daya yang dimiliki. *Windows contract* juga membawa konsekuensi bagi operator terminal untuk memberikan pelayanan kepada *shipping lines* dalam melakukan kegiatan bongkar muat meskipun kedatangan kapal tidak sesuai dengan *windows slot*. Apabila waktu yang dibutuhkan untuk bongkar muat melebihi waktu yang ditentukan atau berada di luar *window slot*, maka *shipping lines* harus mengeluarkan biaya ekstra untuk operasional dan membayar biaya *penalty* karena harus menambah waktu sandar (*over mooring*) di luar *slot* yang telah ditentukan. Variabilitas waktu kedatangan kapal mengakibatkan dermaga dan fasilitas lain yang sudah di alokasikan menjadi mengganggu dan tidak dapat dimanfaatkan. Kondisi tersebut menimbulkan kerugian seperti kerugian finansial, gangguan operasional, dan gangguan pelayanan seluruh kapal.

Berdasarkan pengamatan pendahuluan yang dilakukan di dua terminal *container* terbesar di Indonesia, yaitu di *JICT (Jakarta International Container Terminal)* dan TPK Koja (Terminal Peti Kemas Koja), waktu kedatangan kapal di kedua terminal *container* tersebut sangat bervariasi. Ketidakpastian waktu kedatangan kapal memperkuat pernyataan dari beberapa peneliti sebelumnya yang mengatakan bahwa meskipun jadwal waktu kedatangan kapal sudah ditentukan akan tetapi faktanya waktu kedatangan kapal tidak selalu sesuai dengan jadwal (Imai et al., 2005; Legato et al., 2008; Zhen et al., 2011; M. Golias et al., 2014). Gambar 3.1 menunjukkan salah satu contoh waktu kedatangan kapal KTX-3 di TPK Koja pada periode Januari-Juli 2014.

Ketidapastian kedatangan kapal mengakibatkan sumber daya yang sudah dialokasikan menjadi tidak termanfaatkan (*idle*). Hampir setiap terminal menerapkan sistem yang sama (*ship calls system, windows slot system*), sehingga kondisi yang sama (keterlambatan waktu kedatangan kapal) bisa terjadi di setiap terminal. Hal ini mempertegas bahwa pada satu terminal terjadi kekurangan sumber daya (*shortage*), dan pada waktu yang sama di terminal lainnya mengalami

kelebihan (*surplus*). Meskipun suatu terminal membutuhkan sumber daya, sementara di terminal lain sumber daya yang ada menganggur, tetapi antar terminal belum bisa saling memanfaatkan sumber daya yang menganggur karena antara satu terminal dengan terminal lainnya tidak saling bekerja sama.



Gambar 3.1 Waktu Kedatangan Kapal KTX-3 di TPK Koja (Januari-Juli 2014)

Menurut Paixao dan Marlow (2003), persaingan antar pelabuhan semakin meningkat dari waktu ke waktu, sehingga untuk dapat memenangkan persaingan pelabuhan dituntut untuk memberikan fleksibilitas pelayanan kepada *shipping lines*. Fleksibilitas pelayanan merupakan kemampuan operator terminal dalam memberikan waktu pelayanan yang lebih baik sesuai dengan kebutuhan *shipping lines* (Moorthy & Teo, 2006). Fleksibilitas dapat memberikan dampak terhadap peningkatan kualitas pelayanan kepada *shipping lines*. Dengan adanya fleksibilitas, *shipping lines* mendapat jaminan bahwa mereka tetap mendapat pelayanan tanpa harus mengorbankan waktu untuk menunggu terlalu lama, meskipun waktu kedatangan kapal mengalami keterlambatan. Fleksibilitas pelayanan dapat dicapai salah satunya dengan saling memanfaatkan sumber daya yang dimiliki oleh terminal lain. Agar dapat saling memanfaatkan sumber daya yang dimiliki oleh masing-masing terminal, maka harus ada kerjasama atau kolaborasi antar terminal.

Seperti disampaikan oleh beberapa peneliti bahwa kolaborasi dapat digunakan sebagai strategi untuk meningkatkan utilitas sumber daya (Steinicke et al., 2012), meningkatkan kualitas pelayanan (Tongzon, 2009; Reniers et al., 2010; Steinicke et al., 2012; Ankersmit et al., 2014), meningkatkan *profit* (Tongzon et al., 2009), meningkatkan *competitive advantage* (Mena et al., 2009), meningkatkan

fleksibilitas pelayanan dan menurunkan biaya operasional (Reniers et al., 2010; Ankersmit et al., 2014)

Kedatangan kapal, volume cargo, waktu *handling* dan produktivitas *crane* bersifat stokastik. Dari beberapa model *berth allocation* yang sudah dikembangkan, pendekatan stokastik belum banyak dieksplorasi di dalam model. Pendekatan stokastik diharapkan mampu untuk menyempurnakan model yang telah dikembangkan sebelumnya, dimana hampir sebagian besar model menggunakan asumsi deterministik. Dengan menggunakan pendekatan stokastik, model yang dibangun bisa lebih merepresentasikan masalah yang sesungguhnya.

Ketidaksesuaian jadwal *berthing* umumnya terjadi karena keterlambatan waktu kedatangan kapal. Untuk mengatasi keterlambatan kapal yang masih dalam *windows (in within the windows)* salah satu strategi yang bisa dilakukan adalah dengan menambah atau merelokasi *quay crane*. Strategi lain yang dapat dilakukan adalah menggeser seluruh jadwal yang terkait. Pergeseran jadwal memiliki potensi risiko terjadinya gangguan pada seluruh jadwal. Untuk mengurangi resiko, kedua strategi dapat dilakukan secara simultan untuk menghasilkan waktu *handling* dan waktu menunggu yang paling optimal.

Selain bersifat deterministik, model *berth allocation* yang sudah dikembangkan hanya mempertimbangkan dua entitas, yaitu antara *berth allocation* dan *quay crane allocation*, atau antara *berth allocation* dengan *yard allocation*, dengan sebagian besar penyelesaian dilakukan secara parsial atau *multi-phase*. Penelitian yang membahas model simultan antara *berth allocation* dengan *quay crane* diantaranya adalah Imai (2008), Peng-fei & Hai-gui (2008), Liang et al. (2009), Han et al. (2010), Chang et al. (2010), Raa et al. (2011), Yang et al. (2012), Song et al. (2012), Elwany et al. (2013), Türkogulları et al. (2014). Beberapa peneliti lain seperti Giallombardo et al. (2010), Lee & Jin (2013), Hendriks et al. (2013), Lalla-ruiz et al. (2014), Jin et al. (2015) membahas *berth allocation* secara simultan dengan *quay crane* dan *container yard*. Para peneliti umumnya menggunakan horizon waktu perencanaan yang panjang (*long term planning*).

Dalam penelitian ini dikembangkan model dimana *arrival time* dan *handling time* bersifat stokastik. Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan kolaborasi antar terminal untuk mengatasi ketidakpastian waktu kedatangan kapal. Apabila waktu

kedatangan kapal tidak sesuai dengan *windows slot* dan waktu yang dibutuhkan untuk bongkar muat tidak mencukupi, maka operator terminal dapat melakukan *transfer berth* ke terminal lain. Agar penggunaan terminal optimal dan dapat dikontrol, maka proses perencanaan dan operasi harus dilakukan secara bersama (*joint planning and operation*). Konsekuensinya biaya yang timbul seperti biaya *mooring* dan biaya transportasi dari dermaga ke *container yard* tidak bisa diabaikan.

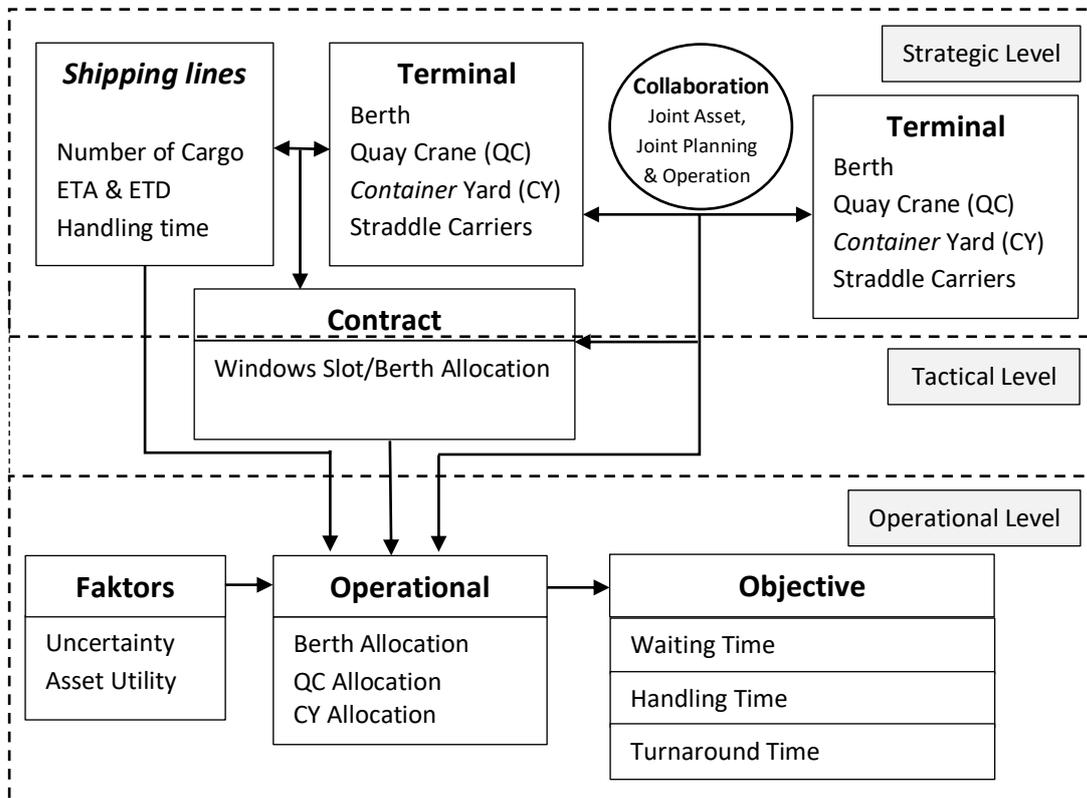
3.2. Framework

Perencanaan operasi terminal dibagi dalam tiga level keputusan yaitu strategis, taktis dan operasional (Moorthy & Teo, 2006; Golias et al., 2010; Hendriks et al., 2013; Imai et al., 2014). Kerjasama antara operator terminal dengan *shipping lines* merupakan salah satu keputusan yang bersifat strategis. Alokasi *ship-to-berth* dan alokasi peralatan lainnya merupakan keputusan yang bersifat taktis, sedangkan pengaturan kapal untuk kegiatan bongkar muat merupakan kegiatan yang bersifat operasional.

Gambar 3.2 menunjukkan tiga bagian pada masing-masing level. Pada level strategis *shipping lines* dan operator terminal melakukan negosiasi dan menyusun kesepakatan penentuan *windows slot*. *Shipping lines* memberikan informasi berupa estimasi jumlah *container*, estimasi waktu kedatangan dan keberangkatan, dan estimasi waktu *handling* kepada operator terminal. Operator terminal memenuhi permintaan *shipping lines* dengan mempertimbangkan ketersediaan sumber daya yang dimiliki. Operator terminal mempertimbangkan beberapa faktor dalam memutuskan pemberian *slot* kepada *shipping lines* diantaranya adalah proyeksi *throughput*, frekuensi *ship calls*, kontinuitas *ship calls*, serta *sustainability* dari *shipping lines*.

Jumlah *container* yang harus dilayani (*discharging* dan *loading*) bervariasi dalam setiap periode, semakin banyak jumlah *container* yang dilayani semakin lama waktu yang dibutuhkan. Waktu kedatangan dan waktu keberangkatan di terminal tidak bisa ditentukan secara bebas, tetapi tergantung pada pelabuhan asal dan pelabuhan tujuan. Waktu kedatangan dan waktu keberangkatan di suatu terminal harus disesuaikan dengan waktu keberangkatan dari pelabuhan

sebelumnya dan waktu kedatangan di pelabuhan berikutnya, serta harus memperhitungkan lamanya waktu pelayaran. Estimasi waktu kedatangan dan keberangkatan kapal serta estimasi jumlah *container* mempengaruhi jumlah *crane* dan sumber daya lain yang dialokasikan.



Gambar 3.2 *Framework* Penelitian

Apabila tercapai kesepakatan, operator terminal menyusun jadwal *berthing*. Dalam level ini, operator terminal berupaya untuk memenuhi kebutuhan *shipping lines* dengan mempertimbangkan seluruh sumber daya yang dimiliki. Operator terminal harus mempertimbangkan kemungkinan terjadinya fluktuasi jumlah *container*, dan estimasi ketidaksesuaian waktu kedatangan kapal dan variabilitas waktu *handling*. Ketidaksesuaian antara *windows slot* dan *actual berthing* menimbulkan masalah di level operasional.

Kolaborasi antar terminal merupakan strategi alternatif untuk meningkatkan utilitas penggunaan sumber daya dan peningkatan fleksibilitas pelayanan. Variabilitas waktu kedatangan kapal menimbulkan dua permasalahan secara bersamaan, yaitu menyebabkan sumber daya yang sudah dialokasikan menjadi

mengganggu, dan pada saat yang bersamaan terminal membutuhkan sumber daya untuk mengalokasikan kapal yang terlambat. Apabila waktu yang dibutuhkan lebih besar dari *slot* yang tersedia, maka kapal yang *berthing* berikutnya menjadi terganggu, demikian juga kapal yang datang berikutnya, dan seterusnya.

Kolaborasi antar terminal dapat digunakan sebagai upaya untuk meningkatkan fleksibilitas pelayanan. Operator terminal dapat memanfaatkan sumber daya yang *idle* pada terminal lain untuk memenuhi sumber daya yang dibutuhkan, demikian juga sebaliknya. Kolaborasi antara terminal satu dengan yang lainnya dapat digunakan sebagai sarana untuk meningkatkan dan memanfaatkan sumber daya yang ada. Tujuan dari kolaborasi adalah memberikan keuntungan bagi semua pihak, yang diukur berdasarkan waktu *handling (waiting time dan delay time, handling time)* yang minimal, serta menurunkan sumber daya yang menganggur (*idle*). *Outcome* yang diharapkan adalah meningkatnya kemampuan operasi pelabuhan yang ditunjukkan dengan meningkatnya utilitas sumber daya dan fleksibilitas pelayanan. Dengan meningkatnya utilitas *sumber daya*, maka *service level* menjadi semakin meningkat. Flexibilitas operasi dapat meningkatkan kepuasan customer yang pada akhirnya akan meningkatkan kepercayaan *shipping lines*. Dengan meningkatnya kepercayaan maka diharapkan akan dapat menarik *shipping lines* lainnya sebagai *customer*.

3.3. Metodologi

Pada bagian ini dijelaskan secara khusus terkait pengembangan model simulasi mulai dari tahapan penyusunan model, *real problem*, karakteristik dan batasan model, skenario simulasi dan penggunaan *software Arena*. Gambaran tentang sistem bongkar muat dan pelayanan kapal di dermaga diuraikan menjadi beberapa bagian yang terdiri dari *windows slot* dan kedatangan kapal, *discharging* dan *loading container, container movement, idle time dan handling time*, alokasi *crane* dan armada transportasi. Dalam bagian ini juga di uraikan mengenai *simultaneous berth, crane dan yard allocation problem*.

3.3.1. Pengembangan Model Simulasi

Simulasi biasa digunakan sebagai pendekatan untuk menggambarkan sistem yang kompleks dan dinamis, seperti yang terjadi di pelabuhan. Simulasi dapat membantu membuat imitasi operasi pelabuhan dan memperkirakan performa dan *outcome* melalui beberapa skenario yang berbeda (Kotachi et al., 2013). Karena permasalahan operasi di pelabuhan yang kompleks, maka metode analitik sulit diterapkan (Adam, 2009; Tahar & Hussain, 2013), dan untuk melihat perilaku dan performa sistem harus dilakukan dengan simulasi (Kia et al., 2002; Adam, 2009; N. Park & Dragovic, 2009; Kotachi et al., 2013; Tahar & Hussain, 2013; Kamrani et al., 2014). Simulasi menawarkan *tools* yang *powerful* untuk digunakan dalam mendesain dan menganalisis pelabuhan.

Simulasi telah diaplikasikan dan digunakan secara luas dalam perencanaan dan sistem manajemen di pelabuhan (Tahar & Hussain, 2013). Simulasi di pelabuhan dapat digunakan untuk berbagai tujuan yang berbeda, seperti desain, perencanaan, peningkatan kapasitas dan produktivitas (Adam, 2009). Beberapa peneliti menggunakan metode simulasi untuk menyelesaikan permasalahan *berth allocation problem*, *crane allocation problem*, *yard planning*, *multimodal*, dan analisis terkait dengan *bottleneck* di terminal *container*. Beberapa peneliti yang telah membuat model simulasi diantaranya adalah Zeng & Yang (2009), Zhen et al. (2011), Kulak et al. (2013), Tahar & Hussain (2013), Kim & Moon (2003), Chang et al. (2008) Ting et al. (n.d.). Legato et al. (2008), Arango et al. (2011), dan Legato et al. (2014).

Kotachi et al. (2013) menggunakan metode simulasi untuk menganalisis operasional multi moda di pelabuhan dimana sumber daya dan type pekerjaan yang berbeda saling berinteraksi. Sistem multimoda di pelabuhan tergolong sistem yang kompleks sehingga tidak mudah untuk memperkirakan perilaku dari sistem tersebut sehingga perlu dilakukan simulasi. Tujuan simulasi adalah untuk menganalisis skenario dari perubahan input terhadap *throughput*, utilisasi sumber daya, dan waktu tunggu kapal. Kotachi et al. (2013) membandingkan berbagai skenario seperti jumlah *crane*, RTG, dan *yard truck* yang dikerahkan, dengan *existing* model.

Zeng & Yang (2009) menggunakan metode integrasi antara simulasi dengan metode optimasi untuk menentukan *schedule loading dan discharging* di terminal

container. Algoritma optimisasi digunakan untuk mencari solusi optimal, sedangkan metode simulasi digunakan untuk mengevaluasi solusi optimal yang dihasilkan dari algoritma optimasi. Zeng & Yang (2009) menyimpulkan bahwa integrasi antara optimasi dengan simulasi meningkatkan *schedule loading* dan *discharging* serta meningkatkan penggunaan peralatan (*crane, truck, yard*) yang lebih baik.

Kulak et al. (2013) menggunakan metode simulasi untuk menentukan strategi dalam meningkatkan performa terminal *container* jangka panjang. Tujuan simulasi adalah untuk mengidentifikasi *bottleneck* yang menjadi penyebab terjadinya proses yang tidak efisien, mengidentifikasi perubahan konfigurasi terminal dalam pengalokasian sumber daya, dan menerapkan strategi yang tepat untuk mengatasi *bottleneck*. Dua strategi diterapkan, yaitu mengganti *yard truck* dengan *strade carrier*, dan menambah *container crane* menjadi dua kali lipat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggantian *yard truck* dengan *straddle carrier (self-loading vehicle)* dapat meningkatkan jumlah *container handling* sekitar 50% (penambahan sekitar 30.000 TEUs), namun *container crane* berubah menjadi sumber *bottleneck*. Penambahan jumlah *container crane* menjadi dua kali lipat, dapat meningkatkan alokasi dua sumber daya sekaligus, yaitu *container yard* dan *yard truck*.

Tahar & Hussain (2013) melakukan simulasi untuk menentukan *schedule berthing* di Kelang Terminal Container (KTC) dengan pendekatan *first come first service* dengan dua skenario prioritas yaitu berdasarkan type kapal (*mainline, feeder, coastal, ro-ro*) dan berdasarkan jumlah *container*. Simulasi meliputi *berth allocation, yard allocation* dan peralatan utama untuk pemindahan *container (prime mover)*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ada peningkatan penggunaan *crane* dari 36% menjadi 39%, utilisasi *berth* meningkat sekitar 12%, sedangkan penggunaan *prime mover* meningkat sekitar 2,4%.

Park & Dragovic (2009) melakukan simulasi untuk menganalisis permasalahan antrian dan *bottleneck, container handling, internal transporter, schedule* kapal, utilisasi *container yard*, dan *throughput* di pelabuhan. Tujuannya adalah mencari keseimbangan kepentingan dari dua pihak yang berbeda, yaitu *shipping lines* yang menginginkan *service time* yang minimal dan *port management* yang menginginkan utilitas dermaga yang tinggi.

Arango et al. (2011) melakukan simulasi *berth allocation planning* di *Seville inland port* yang berlokasi di *Guadalquivir River Seville* Spanyol dengan sistem pelayanan *first come first service*. Berbeda dengan peneliti lainnya, Arango et al. (2011) menggunakan metode yang mengintegrasikan antara *Genetic Algorithm* dengan simulasi (ARENA). *Genetic Algorithm* di ciptakan (dengan menggunakan program VBA) untuk mendapatkan *berth scheduling* yang optimal (*VBA module*). *VBA module* diintegrasikan dan digunakan sebagai input dalam simulasi. Ilati & Sheikholeslami (2014) membuat model simulasi untuk mengalokasikan sumber daya pelabuhan secara terintegrasi dengan metode kombinasi *meta-heuristic* dengan metode simulasi.

Kia et al. (2002) melakukan simulasi dengan membandingkan antara lokasi *container yard* yang berada di area pelabuhan (*existing*) dengan *container yard* berada di luar area pelabuhan (*purpose*). Pada kondisi *existing*, pergerakan *container (ibound dan outbond)* 85% dilakukan dengan menggunakan truk dan sisanya menggunakan kereta api. Penggunaan truk menyebabkan kemacetan dan keruwetan di area pelabuhan. Kia et al. (2002) mengusulkan untuk memindahkan *container yard* di luar area pelabuhan dengan kapasitas tambahan 50%. *Container* yang *unloading* dari kapal langsung dibawa dengan kereta api. Dari hasil simulasi diperoleh hasil yang signifikan terhadap kelancaran perpindahan *container* dan waktu pelayanan kapal serta keuntungan financial.

Abadi et al. (2009) melakukan simulasi untuk mengetahui pengaruh *ship turnaround* dan biaya transportasi yang disebabkan adanya pemeriksaan truk sebelum memasuki pelabuhan. Penelitian dilakukan di pelabuhan *Long Beach* dan *Los Angeles*. Kebijakan pemeriksaan truk dilakukan hampir diseluruh pelabuhan di Amerika pasca serangan teroris 11 September. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa apabila waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengecekan setiap truk berturut-turut sebesar 10, 30, dan 60 detik, maka pelabuhan harus menambah jam kerja sebesar 195 jam, 1430 jam dan 2080 jam dari jam kerja biasa.

3.3.2. Tahapan Penyusunan Simulasi

Menurut Altiok & Melamed (2010), penyusunan simulasi dapat dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Analisis masalah dan pengumpulan informasi.

Langkah pertama dalam membangun model simulasi adalah untuk menganalisis masalah itu sendiri. Model disusun berdasarkan pada orientasi masalah yang mendasarinya dan solusi yang ingin dicapai. Untuk memperoleh solusi, pertama perlu melakukan analisis dengan mengumpulkan struktur informasi terkait dengan masalah. Kegiatan ini meliputi identifikasi parameter *input*, ukuran kinerja (*performance*), hubungan antara parameter dan variabel, aturan yang mengatur operasi komponen sistem, dan sebagainya. Informasi ini kemudian direpresentasikan dalam *logic flow diagram*, narasi, atau cara lain yang mudah dan representatif. Setelah informasi yang mendasari sistem, masalah dapat dianalisis dan solusi dapat dipetakan.

2. Pengumpulan data.

Pengumpulan data diperlukan untuk memperkirakan parameter *input* dari model. Analisis dapat dilakukan untuk merumuskan atau menduga distribusi variabel acak dalam model. Pengumpulan data juga diperlukan untuk validasi model. Artinya, data statistik yang dikumpulkan pada output sistem dibandingkan dengan model prediksi.

3. Konstruksi model.

Setelah masalahnya jelas dan data yang diperlukan dikumpulkan, analisis dapat dilanjutkan untuk membangun model dan menerapkannya sebagai program komputer atau software yang sesuai (misalnya, Arena, Promodel, dll).

4. Verifikasi model.

Tujuan dari verifikasi model adalah untuk memastikan bahwa model tersebut dibangun dengan benar. Verifikasi memastikan bahwa model yang dibuat sudah sesuai dengan spesifikasi. Verifikasi model dilakukan dengan melakukan inspeksi, membandingkan model dengan spesifikasi. Jika terdapat perbedaan diperbaiki dengan melakukan modifikasi.

5. Validasi model.

Setiap model awalnya hanya dilihat sebagai usulan, oleh karenanya model harus divalidasi. Validasi model dilakukan untuk menguji kesesuaian antara model dengan data empiris (pengukuran dari sistem nyata yang dimodelkan). Validasi hanya mungkin jika ada sistem yang nyata. Apabila terdapat perbedaan yang

signifikan, menunjukkan bahwa model yang diusulkan tidak sesuai. Dalam prakteknya, tidak cukup untuk membangun model sekali jadi, tetapi dilakukan secara berulang (konstruksi model, verifikasi, validasi, dan modifikasi).

6. Mendesain dan melakukan eksperimen.

Setelah melakukan justifikasi bahwa model dinyatakan valid, dapat dilanjutkan dengan merancang satu set percobaan untuk memperkirakan performa model. Analisis dapat menyusun sejumlah skenario dan menjalankan simulasi. Untuk mencapai keandalan statistik dari kinerja setiap skenario, masing-masing skenario direplikasi (dijalankan beberapa kali secara random), agar variabilitas hasil rata-ratanya menurun (rendah).

7. Analisis output.

Ukuran kinerja yang diperkirakan dikenakan analisis logis dan statistik menyeluruh. Masalah yang khas adalah menentukan desain (skenario) terbaik di antara sejumlah alternatif. Analisis statistik dapat dilakukan untuk menentukan inferensi statistik dalam menentukan salah satu skenario alternatif memiliki performa terbaik sehingga harus dipilih sebagai skenario terbaik.

8. Rekomendasi.

Merumuskan rekomendasi akhir untuk masalah sistem yang mendasari berdasarkan hasil analisis output, biasanya merupakan bagian dari laporan tertulis.

3.3.3. Kondisi Existing: Sistem Bongkar Muat dan Pelayanan Kapal

Untuk lebih memahami kondisi permasalahan yang sesungguhnya secara *comprehensive* tentang proses bongkar muat di pelabuhan, dalam bagian ini diuraikan sistem bongkar muat dan pelayanan kapal mulai dari kedatangan hingga keberangkatan di Pelabuhan Tanjung Priok Jakarta. Pelabuhan Tanjung Priok merupakan pelabuhan terbesar dan tersibuk di Indonesia. Berfungsi sebagai pintu gerbang arus keluar masuk barang ekspor-impor maupun barang antar pulau. Pelabuhan Tanjung Priok memiliki lima terminal peti kemas yaitu Terminal Petikemas Regional Harbour (atau dikenal dengan Dermaga 009), Dermaga 300, Terminal 3, Terminal Peti Kemas Koja, dan *Jakarta International Terminal Container (JICT)*. Dalam penelitian ini penulis mengambil obyek penelitian di

terminal *container* internasional, yaitu *JICT* dan *TPK Koja*. Infrastruktur dan peralatan yang dimiliki oleh kedua terminal dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Infrastruktur dan *Handling Equipment*

Description	TPK Koja	JICT 1	JICT 2
Berth			
<i>Length</i>	650 m	1640 m	510 m
<i>Width</i>	40 m	26,5-34,9 m	16 m
<i>Draught</i>	-14 m	-11 s.d -14 m	-8,6 m
Container Yard			
<i>Area</i>	25,72 Ha	45,50 Ha	9,24 Ha
<i>Capacity</i>		39.884 TEUs	7056 TEUs
Ground Slot			
<i>Export</i>	7696 TEUs	1027 TEUs	104 TEUs
<i>Import</i>	7560 TEUs	693 TEUs	200 TEUs
<i>Reefer</i>	310 plug	564 plug	78 plug
Equipment			
<i>Quay Crane Container</i>	7 bh	16 bh	3 bh
<i>Rubber Tyred Gantry Crane</i>	25 bh	63 bh	11 bh
<i>Head Truck</i>	48 bh	128 bh	13 bh
<i>Chasis</i>	60 bh	128 bh	21 bh

(Sumber: IPC 2, Annual Report 2013)

3.3.4. *Windows slot* dan Kedatangan Kapal

Setiap kapal yang melakukan kegiatan bongkar muat memiliki estimasi waktu kedatangan (*ETA*) dan estimasi waktu keberangkatan (*ETD*) yang biasa disebut dengan *windows slot*. *Windows slot* ditetapkan di awal ketika *shipping lines* membuat kesepakatan kontrak dengan operator terminal. Dengan adanya *windows slot*, kapal dijadwalkan datang dan meninggalkan dermaga diantara *slot* waktu yang ditetapkan. Apabila kapal diproyeksikan akan datang lebih awal, maka kapal dapat mengatur dan menyesuaikan kecepatan pelayaran sehingga kapal datang di pelabuhan tepat waktu. Pengaturan kecepatan kapal juga dilakukan untuk mencapai kecepatan ekonomis, sehingga biaya penggunaan bahan bakar lebih efisien. Demikian juga sebaliknya, apabila diperkirakan kapal akan mengalami keterlambatan, kapal berusaha untuk menambah kecepatan sehingga bisa memperkecil keterlambatan waktu kedatangan (Laine & Vepsäläinen, 1994; Du et al., 2011; Wang et al., 2013; Hu et al., 2014; Bierwirth & Meisel, 2015).

Waktu kapal berada di terminal adalah total waktu keseluruhan, mulai dari waktu kedatangan di tambah dengan waktu bongkar muat sampai kapal meninggalkan pelabuhan. Selisih antara waktu kedatangan dengan *ETA* yang terlalu

signifikan menyebabkan dermaga menjadi *idle* sehingga utilitas dermaga menjadi rendah. Keterlambatan yang sangat signifikan juga menyebabkan waktu keberangkatan kapal menjadi tertunda. Penundaan waktu keberangkatan dapat mempengaruhi pelayanan kapal lain.

Untuk mengoptimalkan pelayanan dan meningkatkan utilisasi sumber daya, maka harus ditentukan toleransi besarnya waktu keterlambatan. Dengan adanya batas toleransi, maka operator terminal dapat menentukan keputusan untuk memberikan kesempatan kepada kapal atau terminal lain untuk memanfaatkannya.

Discharging dan Loading

Waktu yang dibutuhkan kapal untuk proses bongkar muat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah (1) banyaknya *container* yang harus di bongkar dan dimuat, (2) jumlah *container crane* yang dialokasikan, (3) produktivitas setiap *container crane* yang digunakan, (4) waktu yang dibutuhkan untuk pemindahan *container* dari kapal ke *container yard*, (5) jumlah armada transportasi yang digunakan. Semakin banyak jumlah *container*, semakin besar waktu yang dibutuhkan. Jumlah *quay crane* yang dialokasikan berpengaruh secara linier terhadap waktu bongkar muat, semakin banyak *crane* yang digunakan semakin pendek waktu yang dibutuhkan. Demikian juga produktivitas *crane*, semakin besar produktivitas *crane*, semakin cepat waktu yang diperlukan. Akan tetapi karena alasan teknis dan operasional, *crane* yang dialokasikan ke setiap kapal jumlahnya terbatas, artinya untuk mencapai kinerja *crane* yang maksimal, jumlah *crane* yang dialokasikan pada setiap kapal harus dibatasi. Alokasi *crane* yang terlalu banyak bisa mempersulit dan mempengaruhi kinerja *crane*, sehingga produktivitas *crane* menurun.

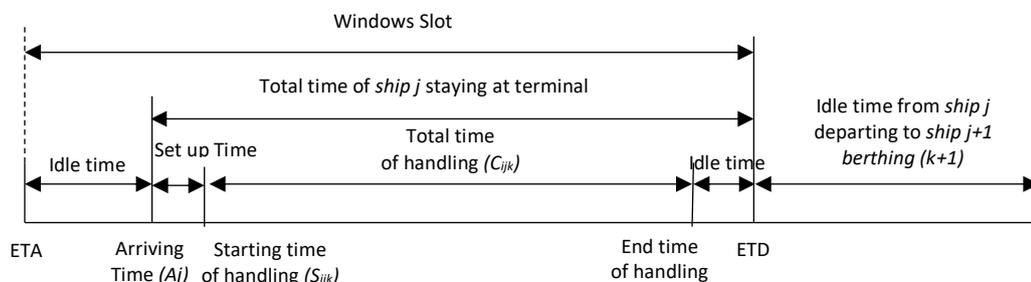
Container Movement

Container yang dibongkar dari kapal dipindahkan ke *container yard* untuk proses penyimpanan sementara. Pemindahan *container* dari kapal ke *container yard* dilakukan dengan menggunakan armada transportasi internal (*internal vehicle transport*). Armada transportasi yang dikerahkan jumlahnya harus sesuai untuk melayani laju *container* yang dihasilkan oleh *quay crane*. Waktu yang dibutuhkan oleh armada transportasi untuk memindahkan *container* dari dermaga ke *container yard* dan kembali ke dermaga harus sinkron dengan laju dari *quay crane*.

Armada transportasi melaju dengan kecepatan tertentu untuk menempuh jarak dari dermaga ke *container yard* dan kembali ke dermaga. Armada transportasi juga membutuhkan waktu untuk melakukan proses pembongkaran di *container yard*. Proses *discharging* di *container yard* dilakukan dengan menggunakan *rubber tyre gantry (RTG)*. Waktu yang dibutuhkan oleh armada transportasi dari dermaga ke *container yard*, ditambah dengan waktu bongkar di *container yard*, sampai kembali ke dermaga disebut dengan waktu siklus. Agar laju bongkar muat kapal menjadi optimal dan tidak terganggu (*quay crane* tidak perlu menunggu) maka waktu siklus harus sinkron dengan laju dari *quay crane*. Apabila waktu siklus lebih besar dari waktu bongkar setiap *container* (jarak tempuh dari dermaga ke *container yard* dan kecepatan armada transportasi dianggap konstan), maka jumlah armada transportasi yang dibutuhkan menjadi lebih banyak. Untuk proses *loading container* dari *container yard* ke kapal prosesnya hampir sama tetapi dengan urutan proses yang terbalik.

Idle Time dan Handling Time

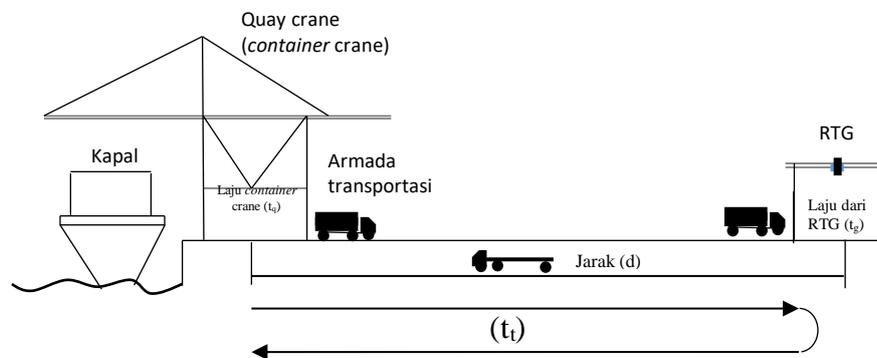
Selain kedatangan kapal yang bersifat tidak pasti, jumlah *container* yang dibongkar dan dimuat juga bervariasi di setiap waktu. Hal ini menyebabkan waktu selesainya proses bongkar muat bisa lebih cepat, atau bahkan melebihi waktu yang diestimasikan (*ETD*). Secara skematis waktu kedatangan kapal hingga waktu keberangkatan kapal dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pada Gambar 3.3, terdapat tiga kondisi dimana dermaga dalam kondisi menganggur (*idle*) yaitu (1) ketika waktu kedatangan kapal lebih besar dari *ETA* ($A_j \geq ETA$), (2) waktu selesainya kegiatan bongkar muat kapal lebih kecil dari *ETD* ($C_{ijk} < ETD$), (3) terdapat selisih waktu antara waktu keberangkatan dan waktu kedatangan kapal berikutnya.



Gambar 3.3 Waktu Pelayanan Kapal
Sumber : (Chang et al., 2010)

Alokasi *Crane* dan Armada Transportasi

Proses bongkar muat dan proses pemindahan *container* berlangsung secara simultan. Kecepatan proses pemindahan *container* dari kapal ke *container yard* harus sinkron dengan kecepatan dan produktivitas *crane*. Apabila kecepatan pemindahan *container* lebih rendah dari kecepatan kinerja *crane*, maka kinerja *crane* menjadi terganggu. *Crane* harus menunggu sampai armada transportasi tersedia. Demikian juga sebaliknya, apabila kecepatan pemindahan *container* lebih besar dari kecepatan kinerja *crane*, maka beberapa armada transportasi harus menganggur atau menunggu. Armada transportasi yang dikerahkan, pada dasarnya adalah untuk melayani kinerja *crane*. Penambahan jumlah armada transportasi yang melebihi dari jumlah yang dibutuhkan tidak dapat mempercepat kinerja *crane*. Sebaliknya, apabila jumlah armada transportasi yang tersedia kurang dari jumlah yang dibutuhkan maka berpengaruh terhadap waktu bongkar muat. Faktor lain yang menentukan besarnya waktu bongkar adalah jarak tempuh dan kecepatan sarana transportasi internal, serta produktivitas RTG dalam melakukan proses bongkar muat di *container yard*. Secara skematis proses di atas dapat digambarkan secara skematis seperti terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Proses Bongkar Muat dan Proses Penumpukan

3.3.5. *Simultan berth, crane and yard allocation problem*

Dermaga merupakan sumber daya utama di pelabuhan, tetapi antara dermaga dengan infrastruktur lainnya merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan. Oleh karena itu untuk mencapai pelayanan yang optimal, alokasi dermaga dan sumber daya lain seperti *crane*, penggunaan armada transportasi dan *container yard* harus diselesaikan secara simultan.

Terdapat dua pendekatan penyelesaian *berth allocation* dan *crane allocation*, yaitu penyelesaian secara terpisah (*multiphase*) dan penyelesaian secara terintegrasi (*simultaneous*). Pendekatan *multiphase* dilakukan secara bertahap dengan mengalokasikan kapal ke dermaga terlebih dahulu, setelah alokasi optimal dilanjutkan dengan mengalokasikan *crane*. Raa et al. (2011) dan Yang et al. (2012) memperbaiki pendekatan *multiphase* dengan pendekatan *simultaneous*. Penyelesaian simultan juga diperkuat oleh Türkogulları et al. (2014) yang menyatakan bahwa penyelesaian *berth allocation multiphase* bisa menimbulkan penyelesaian yang tidak efektif, karena alokasi *crane* yang optimal pada *phase* kedua dapat merubah alokasi *berth* yang sudah optimal di *phase* pertama.

Penyelesaian *berth allocation* dan *crane* secara simultan diantaranya dilakukan oleh Song et al. (2012), Imai et al. (2008), Liang et al. (2009), Han et al. (2010), Chang et al. (2010), Türkogulları et al. (2014), Elwany et al. (2013), Yang et al. (2012). Beberapa peneliti menggunakan pendekatan matematik untuk menyelesaikan permasalahan *berth* dan *crane* secara simultan, seperti Song et al. (2012), Imai et al. (2008), Liang et al. (2009), Han et al. (2010), Chang et al. (2010), Giallombardo et al. (2010), Türkogulları et al. (2014), Elwany et al. (2013), Yang et al. (2012), Hendriks et al. (2013), Raa et al. (2011), Meisel & Bierwirth (2009). Menurut Legato et al. (2014) model matematik hanya cocok diaplikasikan pada level taktikal. Giallombardo et al. (2010) dan Hendriks et al. (2013) membuat model *berth allocation* dengan *container yard* dengan penyelesaian secara simultan.

Menurut Imai et al., (2008) *berth allocation* dapat diklasifikasikan sebagai *cutting-stock problem*. Park & Kim, (2003) mengklasifikasikan *crane scheduling* sebagai *two-dimensional stock-cutting problem*. *Two-dimensional stock-cutting problem* merupakan kategori *NP-hard problem*. Dengan demikian permasalahan *berth scheduling* dan *crane scheduling* dapat di klasifikasikan sebagai masalah *NP-hard* (Park & Kim, 2003). Merujuk pada Park & Kim, (2003), maka permasalahan *berth allocation*, *crane allocation* dan *yard allocation* dapat diklasifikasikan sebagai permasalahan *NP-hard*. Menurut Homayouni et al., (2014), permasalahan *NP-hard* sulit untuk diselesaikan dengan metode analitik, terutama untuk entitas dalam jumlah yang besar, karena membutuhkan waktu penyelesaian yang lama (Homayouni et al., 2014). Kegiatan operasi di pelabuhan yang melibatkan satu atau

beberapa terminal, melibatkan pengaturan beberapa sumber daya seperti *quay crane*, *rubber tyred gantry*, dan *internal transporter*, dikategorikan sebagai permasalahan yang sangat kompleks (Kia et al., 2002; Abadi et al., 2009; Kotachi et al., 2013; Kamrani et al., 2014).

3.3.6. Berth collaboration

Berth collaboration dalam penelitian ini mencakup kerjasama penggunaan sumberdaya yang dimiliki oleh masing-masing terminal. Tujuannya adalah untuk memaksimalkan pelayanan kapal dan meningkatkan utilisasi sumber daya terminal. Secara khusus kolaborasi bertujuan untuk meningkatkan pemanfaatan sumber daya terminal yang menganggur yang disebabkan oleh ketidakhadiran kedatangan kapal. Sistem *windows* memungkinkan terjadinya di satu terminal mengalami kekurangan sumber daya (*shortage*) dan di terminal lainnya mengalami surplus. Sumber daya yang surplus terjadi karena adanya sumber daya yang tidak dimanfaatkan (tidak dialokasikan) atau karena sumber daya sudah dialokasikan tidak dimanfaatkan karena kapal tidak datang sesuai *slot* waktu yang ditentukan. Kekurangan sumber daya terjadi karena kapal yang datang tidak sesuai dengan *slot* waktu yang telah ditentukan.

Kolaborasi antar terminal memperbolehkan kapal untuk *berthing* di terminal lain meskipun pada terminal tersebut kapal tidak memiliki *slot*. Penggunaan terminal yang berbeda mengakibatkan jarak perpindahan antara dermaga dan *container yard* perlu dipertimbangkan, semakin jauh jarak pergerakan *container* waktu perpindahan menjadi lebih lama. Agar produktivitas *crane* tetap terjaga, maka perlu ditentukan jumlah armada transportasi yang dibutuhkan. Semakin jauh jarak perpindahan *container* semakin lama waktu yang dibutuhkan serta semakin banyak jumlah armada transportasi yang dibutuhkan. Dengan demikian jarak perpindahan *container* dari lokasi *berthing* (dermaga) ke lokasi penumpukkan *container* (*container yard*) memberi pengaruh yang besar terhadap waktu yang dibutuhkan kapal untuk kegiatan *loading* dan *unloading*.

Sumber daya yang terbatas, menjadi hambatan operator terminal dalam memberikan pelayanan terutama untuk menghadapi keterlambatan waktu kedatangan kapal. Waktu kedatangan kapal tidak bisa dikontrol oleh operator

terminal. Terminal juga tidak dapat menghindari atau menolak kapal yang akan *berthing*. Operator terminal menjamin kapal mendapatkan pelayanan meskipun waktu kedatangan kapal tidak sesuai dengan *slot* yang ditentukan. Operator terminal menghadapi dua tantangan besar yang harus diatasi dalam waktu yang bersamaan. Operator terminal harus menentukan kapan dan dimana kapal harus dilayani

Kolaborasi antar terminal di pelabuhan, khususnya kolaborasi dalam penggunaan sumber daya secara bersama, membutuhkan beberapa persyaratan teknis, diantaranya adalah (1) untuk penggunaan dermaga dan *crane* secara bersama hanya bisa dilakukan apabila dermaga berada dalam satu garis pantai yang sama dan terhubung dengan *rail* yang memungkinkan untuk perpindahan (movement) *crane* dari satu terminal ke terminal lain; (2) area pelabuhan memungkinkan untuk dilakukannya perpindahan *container* dari dermaga yang satu ke *container yard* di terminal lain dan sebaliknya tanpa harus keluar dari gerbang (*gate*) terminal; (3) utilisasi sumber daya utama di setiap terminal (*berth, crane, yard*) masih belum maksimal.

3.3.7. Karakteristik dan Batasan Model

Dalam penelitian ini digunakan beberapa pendekatan dan karakteristik dari model untuk memperjelas dan mempermudah dalam penyusunan model dan penyelesaiannya. Karakteristik dan batasan yang digunakan tidak mengurangi substansi masalah. Berikut adalah karakteristik dan batasan yang digunakan dalam model:

1. Kedatangan kapal bersifat *dynamic*, waktu antar kedatangan mengikuti pola distribusi tertentu. Beberapa *software* simulasi sudah dilengkapi dengan kemampuan untuk menentukan distribusi waktu antar yang sesuai.
2. Dermaga dibagi dalam beberapa segmen dimana satu kapal hanya boleh menempati satu segmen. Setiap kapal bisa dilayani disemua dermaga tanpa adanya kendala fisik seperti panjang kapal dan kedalaman dermaga. Kedalaman dermaga dianggap sama dan dapat ditempati oleh setiap kapal.
3. Horison waktu perencanaan menggunakan *cylinder system*, dimana kedatangan kapal terjadi secara periodik selama satu minggu (*weekly ship calls*).

4. Dermaga, *quay crane* dan *container yard* tersedia di awal periode perencanaan.
5. *Quay crane* dapat dipindahkan sesuai kebutuhan, pemindahan crane ditentukan pada periode yang sama (*break time*).
6. Waktu *set up crane* tidak dipertimbangkan.
7. Kapal tidak datang lebih awal dari estimasi waktu kedatangan yang tertera dalam *windows*.
8. Kapal mendapat pelayanan sampai selesai dan tidak ada interupsi selama *loading* dan *unloading*.
9. Panjang dermaga, jumlah *container crane*, jumlah armada transportasi (*head truck* dan *chasis*), jumlah RTG dan peralatan lainnya, diasumsikan tidak mengalami perubahan.
10. Kecepatan armada transportasi dianggap sama dan konstan.
11. Waktu tempuh dan jarak perpindahan *container* dari dermaga ke *container yard* dianggap tetap.
12. Produktivitas setiap *quay crane* dianggap sama dan konstan.
13. Setiap *crane* bekerja secara simultan dan independen antara satu dengan yang lainnya.
14. *Container* tidak dibedakan dalam jenis (*reefer, dangerous, full, empty*) dan ukuran (20 feet, 40 feet).

3.3.8. Port Performance

Menurut Bichou (2007), belum ada konsensus mengenai indikator yang digunakan secara umum untuk menentukan *port performance*. *Port performance* biasanya ditentukan berdasarkan tujuan dan kepentingan atau sudut pandang tertentu (Bichou, 2007). Sudut pandang yang berbeda menyebabkan adanya perbedaan yang fundamental terkait dengan definisi dan taksonomi yang digunakan seperti efisiensi, produktivitas, utilitas, efektivitas, dan sebagainya. Perbedaan juga terjadi pada persepsi antara beberapa *stakeholder* pelabuhan, seperti regulator, operator, *user/customer*, dan lain-lain. Kompleksitas dan batasan yang menjadi cakupan operasional pelabuhan, seperti tipe cargo yang dilayani, jenis dan pelayanan kapal, pengaturan terminal, sistem yang digunakan, dan lain-lain sangat tergantung pada kepentingan dan sudut pandang pembahasan. Faktor lainnya adalah terkait dengan

karakteristik kondisi spasial seperti cluster, pelabuhan, terminal, *quay system*, *yard system*, dan sebagainya. Perbedaan lainya juga terkait dengan struktur operasi, cakupan fungsi, model institusi dan strategi orientasi.

Meskipun belum ada konsensus, beberapa peneliti menggunakan indikator yang sering digunakan yaitu berdasarkan besarnya *throughput* (Bichou & Gray, 2004b; Bergantino et al., 2013; Tongzon, 2013). Menurut Tongzon (2013) ada beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya *throughput* seperti lokasi pelabuhan, frekuensi *ship calls*, tarif pelabuhan, aktivitas ekonomi, dan efisiensi terminal. Lebih lanjut Tongzon, (2013) mengemukakan tentang faktor-faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi, yaitu *container mix* (antara *container* 20 dan 40 TEUs), durasi waktu kerja (antara *gross working* dan *net working*), efisiensi *crane*, ukuran kapal dan pertukaran cargo.

Menurut Bergantino et al. (2013), *port performance* dipengaruhi oleh variable internal dan eksternal. Variable internal terdiri dari dimensi kualitas, jumlah terminal (dermaga), area yang digunakan untuk kegiatan *handling*, peralatan *handling* (*crane*, *lifter*, *RTG*, dan lain-lain). Sedangkan variable eksternal adalah variable yang berasal dari luar dan tidak bisa dikontrol.

Bichou dan Gray (2004a), mengusulkan pendekatan yang lebih terintegrasi untuk menentukan *performance port* yaitu dengan pendekatan *logistic* dan *supply chain*. Pendekatan ini esensinya adalah mengintegrasikan antara beberapa proses dan fungsi yang berbeda di dalam perusahaan dengan membentuk *network* dengan tujuan untuk mengurangi biaya dan memuaskan konsumen (Bichou & Gray, 2004b). Pendekatan logistik dan *supply chain* memungkinkan untuk mengakomodir *trade off* antara biaya atau waktu dari analisis fungsi, proses dan *supply chain*. Dalam penelitian ini, penentuan *port performance* dilakukan dengan pendekatan *supply chain*.

3.3.9. Skenario

Beberapa skenario dibuat untuk membandingkan *performance* total *handling time* dan total *waiting time* (*delay time*) antara kolaborasi dan non kolaborasi. Skenario dibuat berdasarkan kombinasi antara disiplin pelayanan, alokasi *berth* dan *yard*, alokasi *crane*, dan strategi yang digunakan. Disiplin pelayanan ada dua jenis

yaitu *first come first service (FCFS)* dan pelayanan dengan sistem prioritas. *FCFS* melayani kapal yang datang dahulu untuk mendapatkan pelayanan yang pertama. Sedangkan pelayanan berdasarkan prioritas, pelayanan yang mendapat prioritas adalah kapal yang datang sesuai dengan *windows slot*. Alokasi *berth* dan *yard* dibagi menjadi dua, yaitu *independent* dan *dependent*. Alokasi secara *independent* mengacu pada alokasi yang bisa dilakukan secara bebas tanpa memperhatikan jarak antara *berth* dan *yard*, sedangkan pada *dependent allocation* kapal dialokasikan di dermaga terdekat dengan lokasi *yard*. Crane bisa dialokasikan dengan dua cara yaitu *fixed* dan *flexible*. Alokasi *crane* yang *fixed* dilakukan dengan mengalokasikan jumlah *crane* yang tetap di setiap dermaga. Alokasi *crane* secara fleksible dilakukan dengan mengalokasikan *crane* sesuai dengan kebutuhan. Strategi yang digunakan ada dua, yaitu *non collaboration* dan *collaboration*. Kombinasi untuk masing-masing faktor dapat dilihat pada Tabel 3.2. Sebagai contoh, untuk skenario pertama adalah disiplin pelayanan: *FCFS*, *berth-yard: independent*, *crane allocation: fixed*, *strategy: non collaboration*. Skenario kedua adalah disiplin pelayanan: *FCFS*, *berth-yard allocation: independent*, *crane allocation: fixed*, *strategy: collaboration*. Skenario ketiga adalah disiplin pelayanan: *FCFS*, *berth-yard allocation: independent*, *crane allocation: flexible*, *strategy: non collaboration*, dan seterusnya. Berdasarkan Tabel 3.2, maka total terdapat 16 skenario (2 x 2 x 2 x 2)

Tabel 3.2 Skenario Simulasi

Disiplin Pelayanan	<i>Berth-Yard Allocation</i>	<i>Crane Allocation</i>	<i>Strategy</i>
<i>FCFS</i>	<i>Independent</i>	<i>Fixed</i>	<i>Non Collaboration</i>
<i>Priority</i>	<i>Dependent</i>	<i>Flexible</i>	<i>Collaboration</i>

3.3.10. Simulasi dengan ARENA 14.0

ARENA merupakan *software* yang mudah digunakan (*user friendly*) dan memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi untuk memodelkan banyak persoalan seperti *scheduling* dan perencanaan yang kompleks (Tahar & Hussain, 2013). *Software ARENA* juga lebih mudah dalam *data entry* dan penyusunan *flow chart* dalam menyusun model (Shawki et al., 2015). *Software ARENA* juga digunakan

secara luas oleh banyak peneliti karena memiliki kemampuan untuk memodelkan berbagai persoalan (Kamrani et al., 2014). Kotachi et al. (2013) menggunakan *software ARENA* untuk menganalisis interaksi antar moda di terminal *container*. Kulak et al. (2013) menggunakan *software ARENA* untuk menganalisis *performance container terminal*. Tahar & Hussain (2013) melakukan simulasi *berth allocation problem* dengan menggunakan simulasi Arena. Adam (2009) menggunakan *Software ARENA* untuk menganalisis *bottleneck* di terminal *container* di Male.

3.3.11. Validasi Model

Bagian ini menjelaskan berbagai teknik validasi dan uji yang digunakan dalam verifikasi dan validasi model. Sebagian besar teknik yang dijelaskan di sini ditemukan dalam literatur, meskipun beberapa dapat digambarkan sedikit berbeda. Sargent (2006) menyampaikan teknik yang bisa digunakan untuk melakukan verifikasi dan validasi model. Teknik tersebut disajikan dalam uraian berikut ini.

1. *Animation*: Perilaku operasional model ditampilkan secara grafis untuk menggambarkan model yang bergerak berdasarkan waktu.
2. *Comparison to Other Model*: Berbagai hasil (misalnya: output) dari model simulasi divalidasi dibandingkan dengan hasil model lain yang sudah valid. Misalnya, (1) kasus sederhana dari model simulasi dibandingkan dengan hasil diketahui dari model analitik, dan (2) model simulasi dibandingkan dengan model simulasi lain yang telah divalidasi.
3. *Degenerate Test*: Degenerasi dari perilaku model diuji dengan pilihan yang tepat dari nilai-nilai input dan parameter internal. Misalnya, apakah jumlah rata-rata dalam antrian *server* tunggal terus meningkat dari waktu ke waktu ketika tingkat kedatangan lebih besar dari tingkat layanan.
4. *Event Validity*: Kejadian yang muncul dalam model simulasi dibandingkan dengan kejadian dari sistem nyata untuk menentukan apakah kejadian tersebut serupa. Misalnya, membandingkan jumlah kebakaran dalam simulasi pemadam kebakaran.
5. *Extreme Condition Test*: Struktur model dan *output* harus masuk akal untuk setiap kombinasi ekstrim dan faktor yang tidak mungkin dalam sistem.

6. *Face Validity*: Menanyakan kepada orang yang memiliki pengetahuan tentang sistem apakah perilaku atau model wajar. Misalnya, apakah logika dalam model konseptual benar, apakah hubungan *input output* wajar, dan sebagainya.
7. *Historical Data Validation*: Membandingkan antara data historis (data yang digunakan untuk membangun model) dengan data yang dihasilkan dari model simulasi.
8. *Historical Method*: Tiga metode *historical method* yang sering digunakan adalah *rationalism*, *empiricism*, dan *positive economics*. *Rationalism* mengasumsikan bahwa semua orang tahu apakah asumsi yang mendasari model benar. Logika *deduction* digunakan untuk memvalidasi model. *Empiricism* mengharuskan setiap asumsi dan hasil menjadi empiris dan valid. *Positive economic* hanya memerlukan bahwa model dapat memprediksi masa depan dan tidak peduli dengan asumsi model atau struktur hubungan sebab akibat atau mekanismenya.
9. *Internal Validation*: Beberapa replikasi dari model *stochastic* dibuat untuk menentukan jumlah variabilitas stokastik internal pada model. Variabilitas yang besar (kurangnya konsistensi) dapat menyebabkan hasil dari model dipertanyakan.
10. *Multistage Validation*: Naylor dan Finger (1967) mengusulkan menggabungkan tiga metode *historical method* (*rationalism*, *empiricism*, *positive economics*) sebagai satu proses validasi *multistage*. Metode ini terdiri dari (1) mengembangkan asumsi model berdasarkan teori, observasi, dan pengetahuan umum, (2) melakukan validasi asumsi yang mungkin dengan pengujian empiris, dan (3) membandingkan hubungan input-output dari model dalam sistem nyata.
11. *Operational Graphics*: Nilai dari berbagai ukuran kinerja, (seperti jumlah dalam antrian, persentase *server* sibuk), ditunjukkan secara grafik agar dapat dilihat perilakunya secara dinamis sehingga dapat memastikan apakah model berperilaku dengan benar.
12. *Parameter Variability – Sensitivity Analysis*: Teknik ini terdiri dari perubahan nilai-nilai input dan parameter internal model untuk menentukan efek pada perilaku model atau output. Hubungan yang sama harus terjadi dalam model seperti dalam sistem nyata. Teknik ini dapat digunakan baik secara kualitatif

dan kuantitatif. Parameter yang sensitif yang menyebabkan perubahan signifikan dalam perilaku model atau *output*, harus dibuat secara akurat.

13. *Predictive Validation*: Model ini digunakan untuk memprediksi perilaku sistem, dan kemudian membandingkan antara perilaku sistem dan perkiraan model untuk menentukan apakah memiliki perilaku yang sama.
14. *Traces*: Menelusuri perilaku entitas tertentu dalam model untuk menentukan apakah logika model adalah benar dan apakah diperoleh tingkat akurasi diperlukan.
15. *Turing Test*: Individu yang memiliki pengetahuan tentang operasi sistem yang dimodelkan ditanya apakah mereka dapat membedakan antara sistem dan model *output*.

BAB 4

ALOKASI DERMAGA DENGAN KETIDAKPASTIAN KEDATANGAN KAPAL MENGGUNAKAN STRATEGI KOLABORASI

4.1. Deskripsi Sistem

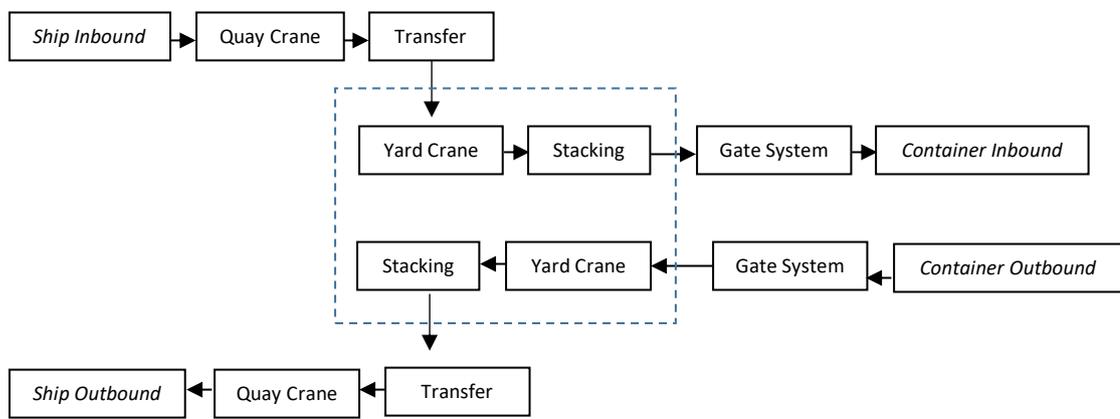
Secara umum proses operasi di terminal *container* terdiri dari: *ship inbound-outbound*, *quay crane system*, *transfer container (container movement)*, *yard system*, *stacking system*, *gate system*, *inbound-outbound container*. *Ship inbound* merupakan proses kapal sejak mulai masuk pelabuhan, proses sandar di terminal hingga kapal siap untuk melakukan proses *unloading* dan *loading*. *Ship outbound* merupakan proses kapal meninggalkan terminal dan meninggalkan pelabuhan. Proses ini dimulai setelah kegiatan *unloading* dan *loading* selesai. *Ship inbound-outbound* diikuti dengan proses lainnya seperti proses labuh, pandu, tambat dan kepil. Kapal yang berlabuh di terminal merupakan kapal yang memiliki *windows slot* atau kapal yang sudah terjadwal secara rutin. Sebelum memasuki pelabuhan, setiap kapal harus melalui prosedur standar seperti pengecekan dokumen kelengkapan kapal dan dokumen muatan. Jika seluruh dokumen dinyatakan lengkap, selanjutnya kapal menuju ke kolam dan menunggu sampai dermaga tersedia. Kapal diasumsikan bersedia menunggu sampai dermaga tersedia, dan kapal tidak meninggalkan dermaga tanpa melakukan kegiatan bongkar muat (*balking & reneging*). Proses selanjutnya adalah proses *berthing* atau penyandaran kapal di dermaga. Proses *berthing* berkaitan dengan menentukan di dermaga mana kapal dialokasikan, berapa jumlah *quay crane* yang dialokasikan, berapa jumlah alat transportasi yang dikerahkan, dan dimana lokasi untuk menyimpan *container*. Alokasi *quay crane* harus disesuaikan dengan kebutuhan dan ketersediaan. Ketersediaan *quay crane* bukan hanya semata-mata mempertimbangkan jumlahnya, tetapi juga posisi atau lokasi *quay crane*. *Quay crane* tidak bisa dialokasikan secara bebas karena *quay crane* harus berpindah melalui satu rel yang sama, sehingga urutannya selalu tetap dan tidak bisa saling silang.

Apabila dermaga dan semua peralatan yang dibutuhkan sudah disiapkan, dilanjutkan dengan proses *discharging* dan *loading* dengan menggunakan *quay crane*. Proses *unloading* dimulai dengan menjangkau *container* yang berada di kapal, *lifting container*, dilanjutkan dengan membawa *container* menuju ke alat transportasi (*truck*). Proses *loading* berulang sampai seluruh *container unloading* dan *loading* selesai dikerjakan. Proses *loading* dilakukan dengan *lifting container* menuju kapal.

Proses transfer adalah proses memindahkan *container* dari kapal ke *container yard*. Alat transportasi yang digunakan untuk memindahkan *container* adalah truk. Truk membawa *container* dari kapal ke *container yard* dan kembali ke dermaga untuk mengangkut *container* berikutnya. Waktu yang dibutuhkan truk dari dermaga menuju *container yard* dan kembali lagi ke dermaga disebut dengan waktu siklus. Jumlah truk yang dikerahkan berpengaruh terhadap waktu bongkar muat. Apabila jumlah truk yang dikerahkan kurang dari jumlah truk yang dibutuhkan, maka *quay crane* harus menunggu sampai truk tersedia. Akibatnya, waktu bongkar menjadi lebih lama. Waktu tempuh truk juga tergantung pada jarak dan kecepatan truk, dalam penelitian ini kecepatan dianggap tetap dan konstan. Waktu siklus juga dipengaruhi oleh produktivitas dan kecepatan operasi *rubber tyred gantry* (RTG) dalam melakukan *discharging container*. RTG melakukan proses *lift on container* dari truk dan sekaligus melakukan proses penumpukkan (*stacking*). *Container inbound* berada di *container yard* menunggu pengurusan dokumen dan proses kepabeanan sebelum dikirim ke pemilik/penerima (*consignee*). Proses *transfer container* dari dermaga ke *container yard* terus berulang sampai seluruh *container inbound* selesai.

Proses transfer untuk *container outbound* sama dengan proses *discharging container inbound* dengan urutan yang terbalik. Agar proses *loading* berjalan dengan lancar, *container outbond* (*container export*) harus sudah berada di terminal sebelum kapal tiba. Operator terminal memberikan waktu khusus kepada *shipping lines* untuk melakukan proses penumpukkan di *container yard*. Waktu dimana *shipping lines* mulai melakukan proses penumpukkan *container export* disebut dengan *open stack*. Setiap terminal memiliki kebijakan *open stack* yang berbeda. Tujuannya adalah agar sirkulasi *container* di terminal lancar. Apabila *shipping lines*

membutuhkan waktu lebih lama, maka *open stack* bisa dilakukan lebih awal (*early open stack*). Khusus untuk *container inbound*, apabila waktu penumpukkan melebihi batas waktu yang ditentukan maka *container* akan dipindahkan dari *container yard* ke tempat penumpukkan sementara (*overbrenge*). Biaya *early stack* dan *overbrenge* dibebankan kepada *shipping lines*, dan biasanya berlaku tarif progresif. Secara skematis kegiatan operasi di terminal *container* dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Proses Operasi di Terminal *Container*

Operator terminal menggunakan *windows slot system* untuk mengatur pelayanan kapal (Hendriks et al., 2010). Pada *windows slot system*, *shipping lines* dan operator terminal menyusun kesepakatan untuk menentukan jadwal kedatangan dan keberangkatan kapal. Meskipun bersifat estimasi (*estimate time arrival-estimate time departure*), jadwal yang sudah disepakati bersifat mengikat dan *fixed* (tidak berubah dalam jangka waktu tertentu). Keputusan penentuan *windows slot* merupakan keputusan pada *level tactical* dan bersifat jangka panjang. Pada level operasional, beberapa asumsi atau estimasi yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan cenderung mengalami perubahan. Hal ini menyebabkan terjadinya deviasi antara *windows slot* dan waktu kedatangan aktual. Meskipun *windows slot* sudah ditetapkan, tetapi kedatangan kapal tidak selalu sesuai dengan jadwal, pada umumnya terjadi keterlambatan kedatangan kapal. Banyak faktor yang menyebabkan keterlambatan kedatangan kapal, diantaranya adalah (1) kapal terlambat berangkat dari pelabuhan sebelumnya; (2) kapal mengalami gangguan

teknis atau kerusakan dalam pelayaran, (3) kapal mengalami gangguan cuaca. Beberapa peneliti telah mengembangkan model dengan mempertimbangkan ketidakpastian waktu kedatangan kapal (Peng-fei & Hai-gui, 2008; Han et al., 2010; Zhen et al., 2011; Golias et al., 2014). Untuk memperkecil waktu keterlambatan bisa dilakukan dengan meningkatkan kecepatan melebihi kecepatan ekonomis, Akan tetapi penambahan kecepatan berakibat pada peningkatan konsumsi bahan bakar dan biaya operasi (Du et al. 2011; Notteboom & Cariou 2013; Wang et al. 2013; Hu et al. 2014). Meskipun demikian, tidak ada jaminan bahwa kapal yang datang bisa langsung mendapat pelayanan, terutama apabila waktu keterlambatannya sangat signifikan.

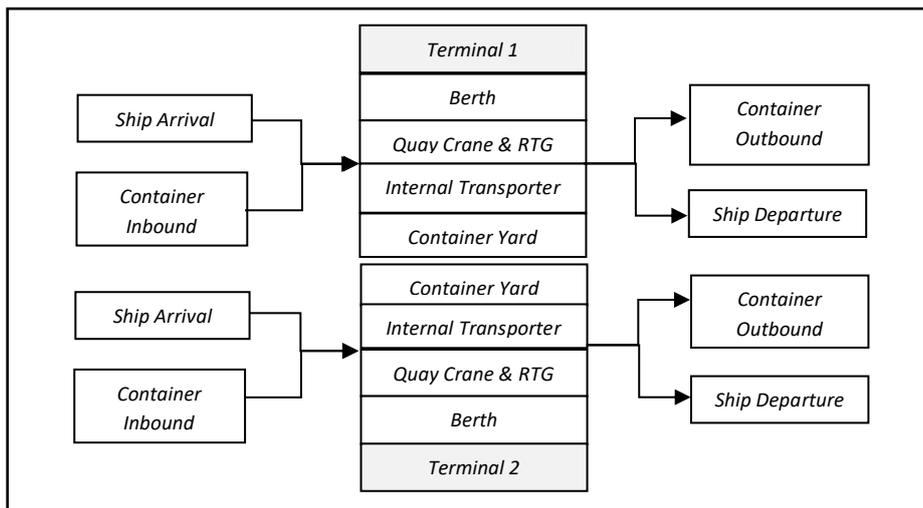
Ketidakpastian lainnya terkait dengan waktu yang dibutuhkan untuk kegiatan bongkar muat (*handling time*). Waktu *handling* dipengaruhi oleh jumlah *container loading* dan *unloading*. Waktu *handling* juga dipengaruhi oleh jumlah dan produktivitas crane yang dikerahkan (Giallombardo et al., 2010; Han et al., 2010; Hendriks et al., 2010). Jumlah *container* bervariasi setiap periode sehingga waktu yang dibutuhkan juga berbeda, tetapi waktu yang ditentukan dalam jadwal setiap periode selalu tetap (Han et al., 2010). Kondisi tersebut menimbulkan masalah, apabila waktu yang diberikan lebih kecil dari yang dibutuhkan maka kapal akan menggunakan alokasi waktu yang melebihi waktu yang ditentukan. Hal ini menimbulkan potensi timbulnya gangguan jadwal kapal lainnya. Apabila waktu yang dibutuhkan lebih kecil dari waktu yang dialokasikan, maka dapat menimbulkan potensi adanya sumber daya yang menganggur.

Kapal yang datang tidak sesuai dengan jadwal menimbulkan masalah alokasi. Pertama, dimana kapal harus dialokasikan. Kedua, bagaimana memanfaatkan sumber daya yang sudah dialokasikan tetapi tidak jadi dimanfaatkan oleh kapal tersebut. Sumber daya terminal merupakan sumber daya yang bersifat *perishable*, sehingga apabila sumber daya tersebut tidak dapat dimanfaatkan sesuai dengan waktu yang sudah dialokasikan maka sumber daya tersebut menjadi hilang (Chopra & Meindl, 2013).

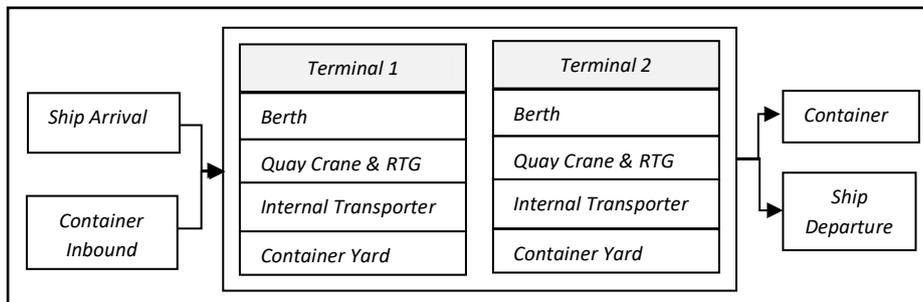
Permasalahan di atas dapat terjadi pada setiap terminal yang menggunakan *windows slot*, sehingga pada saat yang bersamaan satu terminal mengalami kekurangan sumber daya (*shortage*) dan di terminal lainnya mengalami kelebihan

(*surplus/idle*). Berdasarkan studi literature, sejauh ini belum ada peneliti yang membahas alokasi sumber daya terminal secara simultan dan menggunakan strategi kolaborasi. Dalam penelitian ini diusulkan model kolaborasi penggunaan sumber daya seperti dermaga, *quay crane*, *container yard* secara simultan dengan pendekatan kolaborasi.

Gambar 4.2 menunjukkan kondisi eksisting dimana kedua terminal tidak melakukan kolaborasi. Kapal melakukan sandar, bongkar muat, penumpukkan *container* (*inbound-outbound*) di terminal dimana *shipping lines* tersebut memiliki kontrak (*windows slot*). Sumber daya yang ada hanya digunakan untuk melayani kapal yang sudah memiliki *windows slot* di terminal tersebut. Apabila sumber daya yang ada sedang sibuk, maka kapal harus mengantri sampai sumber daya tersedia, meskipun di terminal lain ada sumber daya yang sedang menganggur.



Gambar 4.2 Model Eksisting



Gambar 4.3 Model Konseptual Kolaborasi Antar Terminal

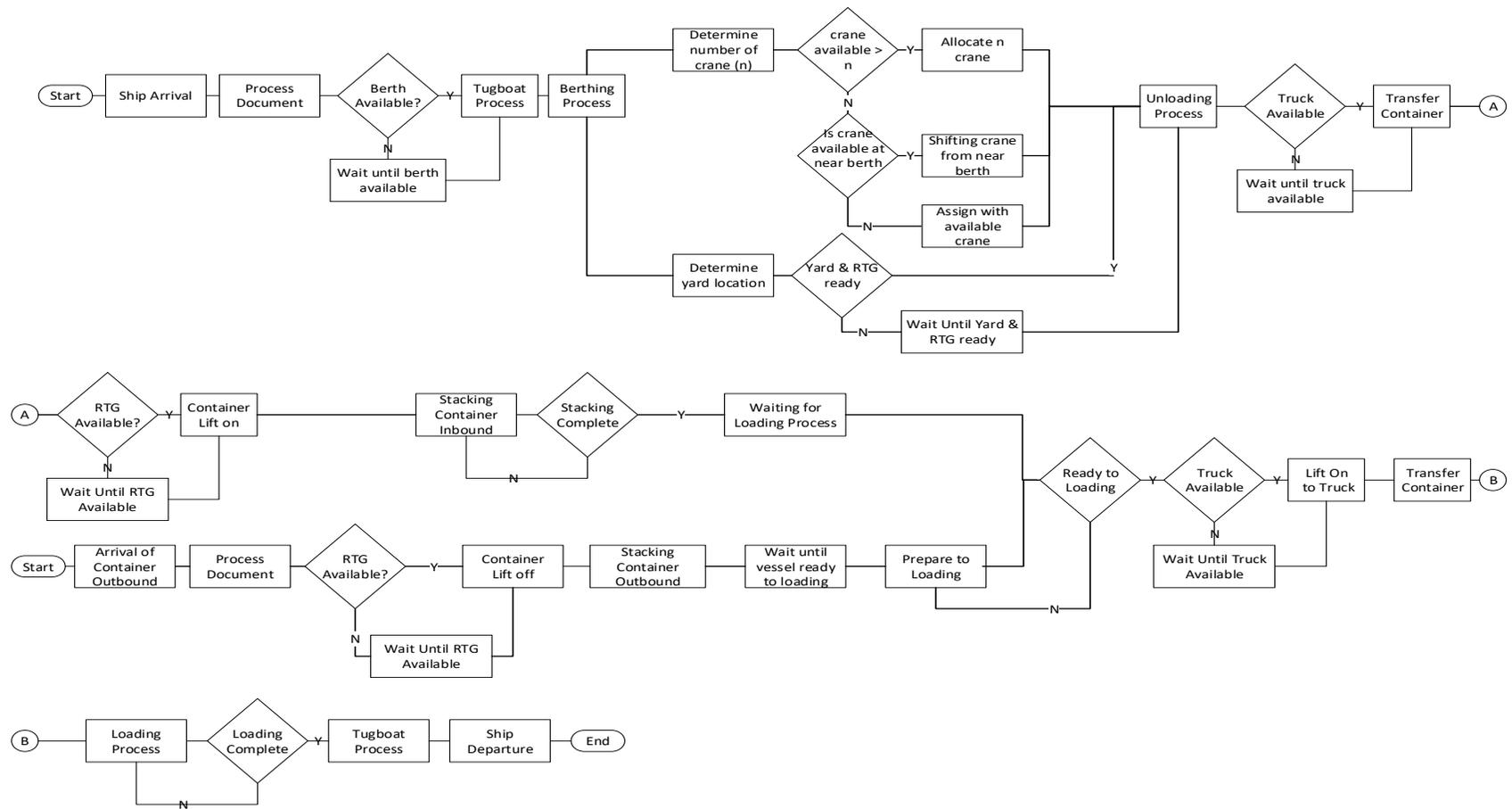
Kolaborasi diusulkan sebagai sebuah konsep dengan tujuan untuk meningkatkan fleksibilitas pelayanan dengan memanfaatkan sumber daya eksternal melalui kerjasama (Leitner et al., 2011). Menurut Nemati et al. (2010), ketika sumber daya atau kompetensi yang dibutuhkan tidak tersedia di perusahaan, maka perusahaan tidak bisa lagi hanya mengandalkan sumber daya yang dimiliki (internal) tetapi harus bisa memanfaatkan sumber daya eksternal.

Gambar 4.3 menunjukkan model konseptual dari kolaborasi antar terminal. Pada kondisi eksisting, *shipping lines* yang memiliki *windows slot* di terminal 1 hanya bisa *berthing* dan bongkar muat menggunakan sumber daya yang dimiliki terminal tersebut, demikian juga *shipping lines* yang memiliki *windows slot* di terminal 2 hanya bisa *berthing* dan bongkar muat menggunakan sumber daya yang dimiliki terminal 2. Apabila seluruh dermaga di terminal 1 digunakan, maka kapal yang datang harus menunggu dan antri sampai dermaga di terminal 1 tersedia, meskipun di terminal 2 terdapat dermaga yang tidak digunakan, demikian juga sebaliknya. Kolaborasi memungkinkan kapal yang memiliki *windows slot* di terminal berbeda untuk *berthing* dan bongkar muat di terminal lainnya. Performa non kolaborasi dan kolaborasi dibandingkan. Performa dilihat berdasarkan waktu (waktu tunggu, waktu operasi dan *ship turnaround time*) dan *throughput*.

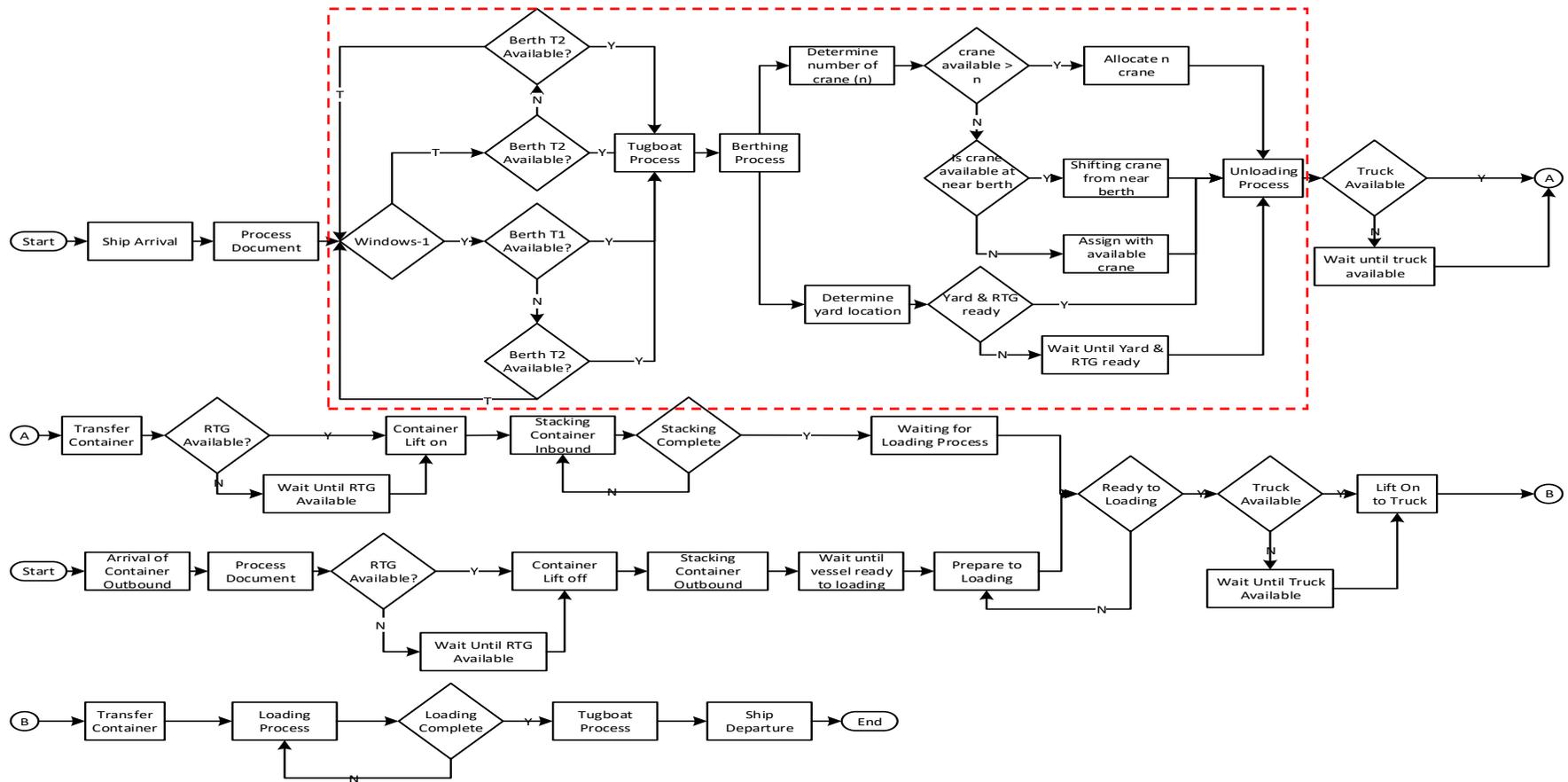
4.2. Pengembangan Model

4.2.1. Flow chart

Untuk mempermudah menggambarkan deskripsi dari sistem dibuat *flow chart*. Secara umum *flow chart* untuk kondisi eksisting dan kolaborasi tidak berbeda. Pada kolaborasi hanya dibedakan pada alokasi dermaga, *crane* dan *yard*. Pada kondisi eksisting alokasi dermaga hanya ditentukan dari ketersediaan dermaga, *crane* dan *yard* di masing-masing terminal, sedangkan pada kolaborasi apabila dermaga di terminal dimana kapal memiliki *windows* tidak tersedia, maka akan dialokasikan ke terminal lain. Flow chart untuk kondisi eksisting ditunjukkan dalam Gambar 4.4 dan flow chart kolaborasi ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Flow Chart untuk Loading dan Unloading Kapal Kondisi Eksisting



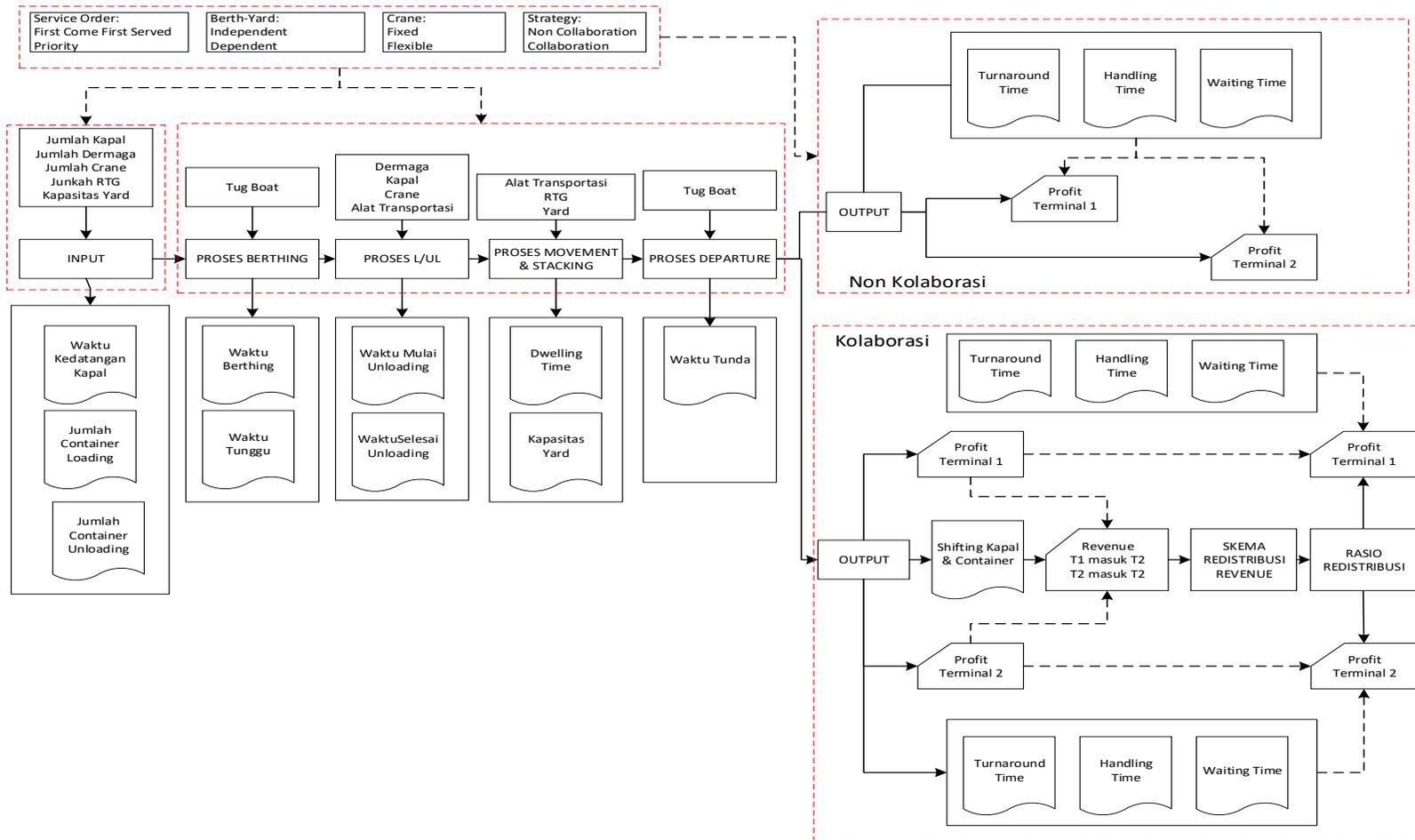
Gambar 4.5 Flow Chart untuk Loading dan Unloading Kapal Strategi Kolaborasi

Hubungan dalam system input, proses, output ditunjukkan dalam Gambar 4.6. Pada setiap tahapan disajikan sumber daya yang digunakan dan *record* yang berhubungan dengan kegiatan tersebut. Pada tahapan *input* yang dibutuhkan sumber daya seperti jumlah kapal, jumlah dermaga, jumlah dan kapasitas *crane*, jumlah dan kapasitas *RTG*, jumlah dan kapasitas *container yard* serta jumlah peralatan transportasi. *Record* yang dilakukan pada tahap *input* adalah waktu kedatangan kapal, jumlah *container loading* dan jumlah *container unloading*. Tahapan proses dibagi menjadi tiga tahap, yaitu proses *berthing*, proses *loading* dan *unloading* serta proses *movement* dan *stacking*. Sumber daya yang digunakan dan record yang dibutuhkan dapat dilihat pada Gambar 4.6. Tahapan output dibedakan menjadi dua, yaitu input pada kondisi eksisting dan *output* pada kolaborasi.

Output pada kondisi eksisting dibedakan menjadi dua, yaitu *output* operasional seperti *waiting time*, *handling time*, *turnaround time* dan *output* dari aspek finansial berupa profit di terminal 1 dan profit di terminal 2. Output pada strategi kolaborasi dibedakan menjadi tiga, yaitu pada aspek operasional, aspek finansial, dan aspek kolaborasi. Pada aspek operasional output sama dengan kondisi eksisting, berupa *waiting time*, *handling time*, *turnaround time*. Pada aspek finansial berbeda dengan kondisi eksisting karena adanya pengaruh kolaborasi. Pengaruh kolaborasi adalah adanya pergeseran kapal dan container yang berpengaruh terhadap aspek finansial. Oleh karena itu profit terminal 1 dan terminal 2 berasal dari dua sumber, yaitu profit yang murni berasal dari masing-masing terminal dan *profit* redistribusi yang berasal/pindah dari terminal lain. Skema keterkaitan antara system kolaborasi dan profit sharing ditunjukkan pada Gambar 4.6.

4.2.2. Windows slot

Untuk menguji model kolaborasi, dipilih dua terminal *container* internasional, yaitu Jakarta International *Container Terminal* (JICT) dan Koja International *Container Terminal* (TPK Koja). Terminal tersebut berlokasi di Pelabuhan Tanjung Priok Jakarta Indonesia, dan merupakan terminal *container* terbesar dan tersibuk di Indonesia. Terminal Koja memiliki memiliki 10 *windows* yaitu *windows*, sedangkan terminal JICT memiliki 19 *windows*.



Gambar 4.6 Keterkaitan Proses dan Aspek Finansial

Windows slot untuk JICT dan TPK Koja dapat dilihat masing-masing pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Sebagai contoh di TPK Koja, kapal ANX memiliki *windows slot* selama 30 jam dengan *estimate time arrival (ETA)* pada hari Minggu pukul 17.00 WIB, dan *estimate time departure* pada Senin 23.00 WIB.

Tabel 4.1 *Windows Slot Terminal JICT*

No	Windows	Estimate Time	
		ETA	ETD
1	CHS3	Thursday 07:00	Saturday 07:00
2	CSJ	Saturday 01:00	Sunday 12:00
3	CKI/CKIS	Monday 07:00	Tuesday 18:00
4	CKV	Friday 07:00	Saturday 10:00
5	CINI & INA2	Thursday 07:00	Friday 23:00
6	CSE	Thursday 15:00	Friday 23:00
7	CTI/JTI/PAS1	Monday 10:00	Tuesday 18:00
8	IA4	Thursday 17:00	Friday 17:00
9	IA8	Tuesday 21:00	Wednesday 10:00
10	JAVA	Wednesday 07:00	Thursday 07:00
11	JTI/VTIS	Tuesday 07:00	Wednesday 07:00
12	JVS	Saturday 00:00	Sunday 12:00
13	LEO	Saturday 07:00	Sunday 20:00
14	PIL	Wednesday 12:00	Thursday 08:00
15	PJX1	Tuesday 14:00	Thursday 23:00
16	SEA	Thursday 02:00	Thursday 20:00
17	SEA	Monday 02:00	Monday 20:00
18	INA2	Sunday 18:00	Monday 23:00
19	CIX-COSCO	Sunday 07:00	Monday 07:00

(Sumber : Divisi Operasional JICT, 2014)

Tabel 4.2 *Windows Slot TPK Koja*

No	Windows	Estimate Time	
		ETA	ETD
1	ANX	Sunday 17:00	Monday 23:00
2	APX	Saturday 00:00	Sunday 12:00
3	ASAL	Friday 01:00	Friday 23:00
4	CAP (MSC-1)	Friday 07:00	Saturday 07:00
5	FEEDER	Saturday 10:00	Sunday 12:00
6	INE (MSC-2)	Thursday 16:00	Friday 02:00
7	JSCO2	Thursday 00:00	Thursday 24:00
8	KIS	Tuesday 18:00	Wednesday 18:00
9	KPI	Sunday 17:00	Monday 23:00
10	KTX3	Tuesday 15:00	Thursday 07:00

(Sumber : Divisi Operasional TPK Koja, 2014)

4.2.3. Distribusi Antar Kedatangan Kapal

Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 menunjukkan distribusi waktu antar kedatangan kapal pada setiap terminal. Jenis dan nilai distribusi pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 sudah

dilakukan uji kesesuaian distribusi. Uji kesesuaian distribusi dilakukan dengan menggunakan *Chi-Square Test* dan *Kolmogorov-Smirnov (K-S Test)* dengan nilai α sebesar 5%. Hasil uji kesesuaian distribusi setiap kapal dapat dilihat pada Lampiran 2.

Tabel 4.3 *Distribution Fitness* Waktu Antar Kedatangan di JICT

No	Windows	Distribution Expression of Inter Arrival Time (hour)
1	CHS3-AJS	40 + GAMM(57.7, 3.5)
2	CJS-APL	145 + LOGN(42.9, 46)
3	CKI-KMT-HMM-TSLINE	270 * BETA(0.762, 1.7)
4	CKV	NORM(174, 53.9)
5	CNI-CMA	NORM(85.9, 38.4)
6	CSE	34 + GAMM(50.9, 2.97)
7	CTI-JTI-PASI	NORM(147, 69)
8	IA4	47 + ERLA(59.8, 2)
9	IA8	107 + ERLA(49.9, 2)
10	JAVA	0.999 + GAMM(62, 3.12)
11	JTI-PIS	17 + 320 * BETA(2.13, 3.41)
12	JVS	120 + ERLA(17.4, 3)
13	LEON-NYK-KLI-HAPAG	NORM(166, 31.2)
14	PIL-PJS	NORM(87.4, 33.2)
15	PJX1	NORM(171, 44.1)
16	SEA-COSCO-E	NORM(242, 57.2)
17	SEA-COSCO-R	1 + 329 * BETA(2.09, 3.19)
18	INA2	NORM(169, 16.4)
19	CIX-COSCO	NORM(175, 54.4)

(Sumber : Divisi Operasional JICT, 2014, diolah)

Tabel 4.4 *Distribution Fitness* Waktu Antar Kedatangan di TPK Koja

No	Windows	Distribution Expression of Inter Arrival Time (hour)
1	ANX	NORM(122, 75.1)
2	APX	NORM(165, 25.8)
3	ASAL	32 + GAMM(49.4, 3.12)
4	CAP	NORM(151, 82.8)
5	FEEDER	123 + GAMM(14.2, 3.49)
6	INE	29 + GAMM(85.9, 2.35)
7	JSCO2	60 + 637 * BETA(0.725, 1.41)
8	KIS	56 + 1.51e+003 * BETA(0.595, 3.49)
9	KPI	NORM(186, 85.5)
10	KTX3	NORM(169, 41)

(Sumber : Divisi Operasional TPK Koja, 2014, diolah)

4.2.4. Quay Crane dan RTG

Produktivitas quay crane dan RTG dianggap konstan. Waktu yang dibutuhkan quay crane melayani satu *container* mengikuti distribusi Beta

($2+1.43*BETA(0.54,2.8)$), sedangkan waktu operasi RTG mengikuti distribusi Beta ($4.28+2.1*BETA(1.57,4.09)$).

4.2.5. Container Loading dan Unloading

Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 menunjukkan *distribution fitness* untuk jumlah *container loading* dan *unloading* setiap kapal. Hasil uji kesesuaian distribusi secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2.

Tabel 4.5 *Distribution Fitness Container Loading dan Unloading JICT*

No	Windows	Distribution Expression of Loading (box)	Distribution Expression of Unloading (box)
1	CHS3-AJS	TRIA(-0.001, 872, 1.33e+003)	NORM(1.19e+003, 371)
2	CJS-APL	NORM(1.19e+003, 223)	NORM(1.32e+003, 309)
3	CKI-KMT-HMM-TSLINE	NORM(742, 239)	NORM(946, 272)
4	CKV	NORM(458, 147)	TRIA(-0.001, 493, 683)
5	CN1-CMA	NORM(465, 151)	$-0.001 + 1.14e+003 * BETA(2.34, 1.8)$
6	CSE	$281 + 1.47e+003 * BETA(3.21, 3.11)$	NORM(1.03e+003, 211)
7	CTI-JTI-PAS1	$34 + GAMM(150, 2.12)$	TRIA(5, 537, 824)
8	IA4	NORM(598, 331)	$-0.001 + 1.34e+003 * BETA(0.183, 0.532)$
9	IA8	$22 + WEIB(99.3, 1.58)$	$70 + WEIB(170, 1.36)$
10	JAVA	NORM(410, 128)	$-0.001 + 1.1e+003 * BETA(0.858, 4.01)$
11	JTI-PIS	$27 + 1.63e+003 * BETA(0.327, 1.45)$	$57 + ERLA(186, 2)$
12	JVS	NORM(747, 114)	NORM(658, 144)
13	LEON-NYK-KLI-HAPAG	NORM(1.54e+003, 364)	$-0.001 + 2.24e+003 * BETA(5.82, 1.79)$
14	PIL-PJS	TRIA(-0.001, 554, 752)	NORM(435, 155)
15	PJX1	$-0.001 + 1.05e+003 * BETA(5.31, 2.03)$	NORM(841, 185)
16	SEA-COSCO-E	$-0.001 + 631 * BETA(1.99, 1.95)$	TRIA(-0.001, 112, 450)
17	SEA-COSCO-R	$-0.001 + 577 * BETA(1.74, 1.71)$	$-0.001 + 618 * BETA(1.61, 6.76)$
18	INA2	NORM(542, 153)	NORM(455, 132)
19	CIX-COSCO	$0.999 + 610 * BETA(0.296, 0.213)$	NORM(283, 93.2)

(Sumber : Divisi Operasional JICT, 2014, diolah)

Tabel 4.6 *Distribution Fitness Container Loading dan Unloading TPK Koja*

No	Windows	Distribution Expression of Container Loading (box)	Distribution Expression of Container Unloading (box)
1	ANX	NORM(617, 269)	TRIA(-0.001, 742, 1.4e+003)
2	APX	NORM(629, 214)	NORM(583, 166)
3	ASAL	$-0.001 + 1.26e+003 * BETA(3.53, 8.18)$	NORM(465, 166)
4	CAP	$52 + GAMM(105, 2.14)$	$-0.001 + ERLA(35.3, 2)$
5	FEEDER	TRIA(237, 635, 856)	$-0.001 + 942 * BETA(1.08, 0.436)$
6	INE	$44 + WEIB(508, 2.17)$	NORM(542, 110)
7	JSCO2	NORM(494, 180)	$-0.001 + 132 * BETA(1.99, 1.72)$
8	KIS	NORM(559, 167)	NORM(521, 195)
9	KPI	NORM(818, 198)	$-0.001 + 997 * BETA(0.264, 0.339)$
10	KTX3	NORM(1.18e+003, 326)	NORM(1.45e+003, 379)

4.2.6. Container Inbound dan Outbound

Lamanya *container inbound* berada di *container yard (dwelling time)* mengikuti distribusi Gamma ($3+GAMM(0.677, 3.95)$). Pola kedatangan *container outbound* mengikuti distribusi empirik, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Pola Kedatangan *Container Outbound*

Waktu Kedatangan (Hari)	Frekuensi (%)
H-1 (H minus 1)	45
H-2 (H minus 2)	30
H-3 (H minus 3)	20
H-4 (H minus 4)	5

4.3. Skenario (Non Kolaborasi dan Kolaborasi Terbatas)

Eksperimen dalam bab ini terdiri dari dua skenario, yaitu skenario existing (*non-collaboration*) dan *collaboration*. Dalam skenario non kolaborasi, kapal hanya bisa *berthing* di terminal dimana kapal tersebut memiliki *windows*. Pada skenario kolaborasi terbatas, kapal dapat *berthing* di terminal mana saja didermaga yang tersedia, tetapi sumber daya yang digunakan merupakan sumber daya yang dimiliki oleh masing-masing terminal. Jarak antara *container yard* dengan dermaga belum dipertimbangkan sebagai faktor yang mempengaruhi waktu *berthing*. Disiplin pelayanan yang digunakan adalah *first come first service* dan *crane* dialokasi secara fixed.

4.4. Verifikasi

Untuk memastikan model yang dibangun bekerja sesuai dengan karakteristik sistem aslinya dan hasil yang dikeluarkan dari simulasi model di dalam level akurasi yang masih dapat diterima, maka harus dilakukan verifikasi dan validasi model (Huynh et al., 2005). Verifikasi menilai kebenaran dari representasi model dengan memeriksa *coding* dan *test runs*, dan melakukan pemeriksaan konsistensi secara statistik. Validasi menilai seberapa realistis asumsi pada model, dengan membandingkan kinerja model (prediksi) yang diperoleh dari *test runs* dengan sistem yang diteliti (Altiok & Melamed, 2007). Verifikasi terdiri dari tiga aktivitas utama, yaitu (1) memeriksa logika simulasi (program logic), (2) melakukan simulasi dengan *test runs* dan memeriksa *printout* serta grafik untuk memeriksa bahwa logika simulasinya benar, (3) melakukan pemeriksaan secara sederhana

terhadap konsistensi, serta pemeriksaan yang lebih kompleks, antara teoritis dan statistik hasil simulasi. Untuk melakukan verifikasi *test runs*, ada beberapa cara yang bisa dilakukan yaitu verifikasi parameter input dan statistik dari keluaran model, verifikasi menggunakan *debugger*, verifikasi dengan animasi, verifikasi dengan statistik atau formulasi untuk memastikan model masuk akal (*sanity check*). Untuk simulasi Arena, perlu dilakukan verifikasi lebih dari sekedar apakah model yang dibangun masuk akal atau tidak, tapi perlu verifikasi melalui analisis performance. Model simulasi berbasis Arena menggunakan modul-modul yang berbasis pada teori antrian. Dengan demikian verifikasi performance bisa dilakukan dengan menggunakan logika sistem antrian (Altiok & Melamed, 2007; Kelton et al., 2010).

Sargent (2007) menyusun *summary* tentang metode yang bisa digunakan untuk verifikasi dan validasi model seperti yang diuraikan dalam sub bab 3.3.8 Metode verifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah verifikasi dengan menggunakan *debugger*, verifikasi dengan animasi, verifikasi dengan menggunakan model *sanity check*, dan verifikasi dengan melihat performance antrian.

Verifikasi dengan animasi

Metode verifikasi yang pertama adalah dengan animasi, yaitu dengan melihat visual gambar/grafik pada waktu model dijalankan (*di-running*). Metode ini digunakan untuk mengamati tingkah laku operasi model selama simulasi berjalan (Sargent, 2005). Beberapa entitas diamati pergerakannya mulai dari saat masuk sistem sampai keluar dari sistem, dengan demikian dapat diketahui apakah entitas bergerak dengan benar sesuai dengan konsep pemodelan yang telah ditentukan. Dari hasil pengamatan animasi terlihat bahwa entitas (kapal) bergerak sesuai dengan step yang ditentukan. Kapal datang menuju pada stasiun kedatangan (kolam labuh), untuk memastikan apakah ada dermaga yang tersedia, jika dermaga tidak tersedia maka kapal harus menunggu di kolam sampai dermaga tersedia. Kapal kemudian melakukan kegiatan bongkar muat di dermaga. Dari animasi, entitas kapal dalam kondisi sandar (entitas dalam kondisi diam), dilanjutkan dengan aktivitas *unloading* untuk *container inbound*. Animasi berikutnya adalah transfer *container* dari kapal

menuju *container yard*, gerakan ini berulang sampai seluruh *container unloading* selesai di bongkar dan dibawa ke *container yard*. Gerakan animasi berikutnya adalah transfer *container outbound* dari *container yard* menuju kapal. Setelah seluruh *container outbound* selesai dimuat, entitas kapal bergerak menuju kolam dan meninggalkan dermaga. Seluruh gerakan tersebut sudah tervisualisasi dengan baik dalam animasi dan sudah sesuai dengan kondisi nyata. Dengan demikian model dapat dikatakan terverifikasi.

Verifikasi menggunakan model *sanity check*

Untuk melihat apakah model simulasi masuk akal atau tidak digunakan parameter input dan statistik *output*. Parameter input berupa jumlah kapal yang datang dan waktu antar kedatangan kapal. Output statistic berupa jumlah kapal dan waktu kapal yang meninggalkan dermaga. Waktu total kapal berada di dermaga adalah waktu kedatangan ditambah waktu menunggu sampai *berthing* ditambah waktu yang dibutuhkan untuk *loading* dan *unloading*. Waktu kedatangan, waktu mulai *berthing*, waktu selesai *berthing* dan waktu kapal meninggalkan dermaga hasil simulasi untuk periode satu minggu pertama dapat di lihat pada Tabel 4.8. Waktu kedatangan, waktu mulai *berthing*, waktu selesai *berthing* dan waktu keberangkatan kapal hasil simulasi secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 4.8 digunakan sebagai data untuk proses verifikasi kondisi-kondisi yang harus dipenuhi seperti ketentuan di bawah ini:

1. Kapal baru bisa *berthing* setelah kapal datang di terminal (waktu *berthing* > waktu kedatangan).
2. Waktu keberangkatan kapal < (waktu kedatangan + waktu *berthing*)
3. Setiap dermaga hanya melayani kapal yang sama sebanyak satu kali.
4. Apabila dermaga tidak tersedia (penuh), maka kapal harus menunggu.
5. Disiplin pelayanan *first come first service*.

Waktu kedatangan, waktu *berthing* (waktu *loading/unloading*) dan waktu kapal meninggalkan dermaga, dengan menggunakan data yang sama dengan Tabel 4.8. ditunjukkan pada Gambar 4.4.

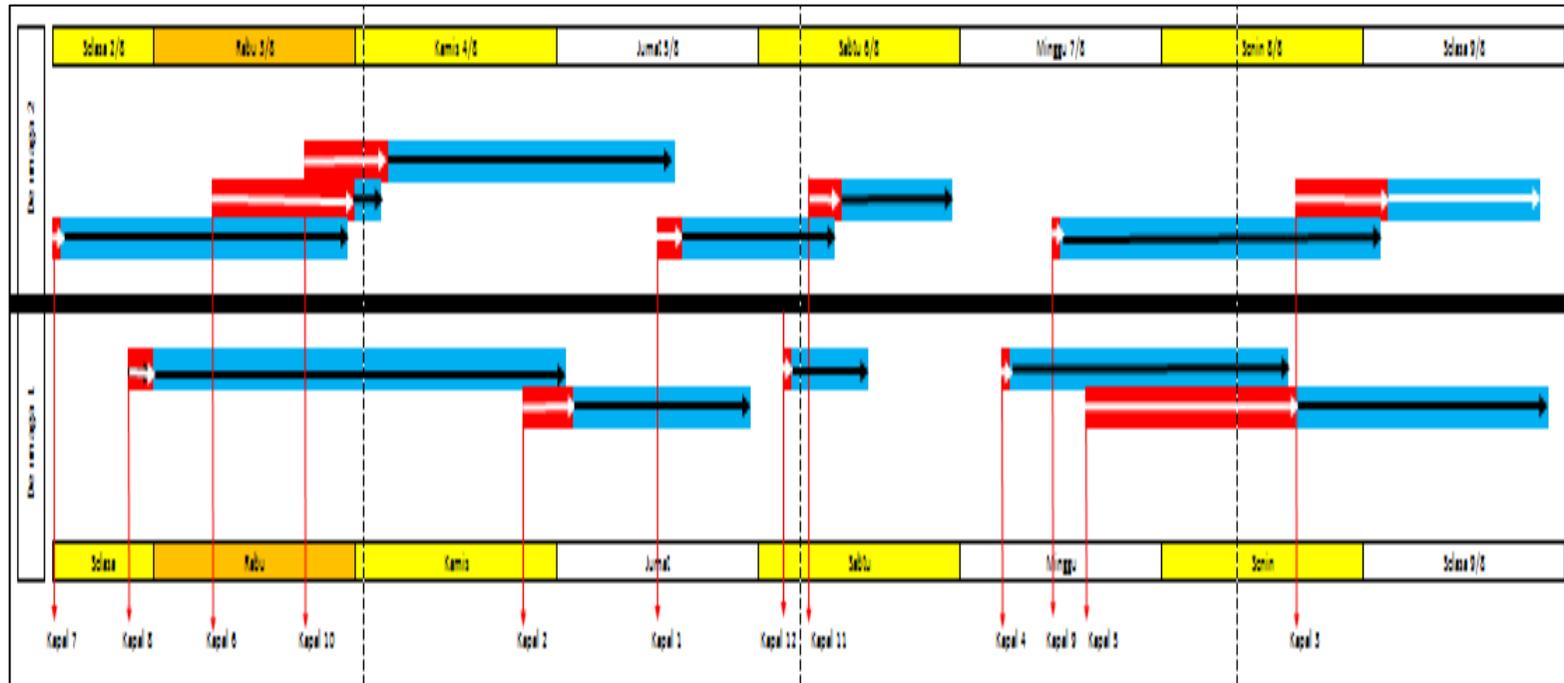
Berdasarkan data pada Tabel 4.8 urutan kedatangan kapal berturut-turut adalah kapal 7-8-6-10-2-1-12-11-4-9-5-3. Gambar segi empat warna merah menunjukkan kapal menunggu untuk *berthing*, sedangkan warna biru menunjukkan kapal sedang sandar (*berthing*) untuk melakukan kegiatan bongkar muat. Dari gambar jelas bahwa seluruh kapal melakukan *berthing* setelah kapal datang didermaga. Semua kapal memenuhi ketentuan tersebut.

Tabel 4.8 Waktu Kedatangan-Keberangkatan Hasil Simulasi

Replikasi	Kapal	Dermaga	Waktu Kedatangan	Waktu Mulai <i>Berthing</i>	Waktu Selesai <i>Berthing</i>	Waktu Out	Queue Time
1	7	2	02/08/2016 12:00	02/08/2016 13:15	03/08/2016 23:02	04/08/2016 1:32	0,00
1	8	1	02/08/2016 21:00	02/08/2016 23:30	05/08/2016 0:58	05/08/2016 3:28	0,00
1	6	2	03/08/2016 8:00	04/08/2016 0:17	04/08/2016 3:19	04/08/2016 4:34	15,04
1	10	2	03/08/2016 18:00	04/08/2016 4:34	05/08/2016 14:09	05/08/2016 15:24	9,33
1	2	1	04/08/2016 20:00	05/08/2016 2:13	05/08/2016 22:30	05/08/2016 23:45	4,97
1	1	2	05/08/2016 12:00	05/08/2016 15:24	06/08/2016 9:02	06/08/2016 10:17	2,15
1	12	1	06/08/2016 4:00	06/08/2016 5:15	06/08/2016 13:12	06/08/2016 14:27	0,00
1	11	2	06/08/2016 7:00	06/08/2016 10:17	06/08/2016 23:23	07/08/2016 0:38	2,05
1	4	1	07/08/2016 6:00	07/08/2016 7:15	08/08/2016 15:20	08/08/2016 16:35	0,00
1	9	2	07/08/2016 12:00	07/08/2016 13:15	09/08/2016 1:12	09/08/2016 2:27	0,00
1	5	1	07/08/2016 16:00	08/08/2016 16:35	09/08/2016 21:40	09/08/2016 22:55	23,35
1	3	2	08/08/2016 17:00	09/08/2016 2:27	09/08/2016 20:06	09/08/2016 21:21	8,21

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Kapal berangkat setelah kapal melakukan kegiatan bongkar muat. Dari Gambar 4.3 dapat dijelaskan bahwa semua kapal hanya dilayani satu kali, demikian juga setiap dermaga hanya melayani kapal yang sama sebanyak satu kali. Kapal 6, 10, 2, 1, 11, 5 dan 3 harus menunggu karena ketika kapal tersebut datang tidak ada dermaga yang tersedia (menganggur). Sebagai contoh, kapal 6 datang pada tanggal 3/8/2016 pukul 08.00, pada waktu tersebut dermaga 1 dan 2, keduanya sedang digunakan oleh kapal lain. Dermaga 1 digunakan untuk bongkar muat kapal 8, sedangkan dermaga 2 digunakan untuk bongkar muat kapal 7. Demikian juga kapal 10 datang pada saat dua dermaga sedang digunakan. Dengan demikian kapal 6 dan kapal 10 harus menunggu dalam antrian. Disiplin antrian yang digunakan adalah FIFO, sehingga ketika kapal 7 selesai melakukan kegiatan bongkar muat, ada dua kapal yang sudah mengantri untuk dilayani, yaitu kapal 6 dan kapal 10. Karena pelayanan menggunakan FIFO, maka kapal berikutnya yang dilayani adalah kapal 6. Berdasarkan Gambar 4.3 dan Tabel 4.8, maka model yang dibuat sudah memenuhi unsur *logic* dan masuk akal. Dengan demikian secara *sanity check* model sudah terverifikasi.



Gambar 4.7. Waktu Kedatangan-Keberangkatan Kapal

Kapal 6 harus menunggu dalam antrian sampai kapal 7 selesai *berthing*, yaitu tanggal 3/8/2016 pukul 23.02 WIB. Kapal 6 datang sejak tanggal 3/8/2016 pukul 08.00 WIB. Dengan demikian kapal 6 harus menunggu dalam antrian selama 15 jam. Dengan demikian model antrian yang digunakan dalam simulasi juga terverifikasi.

Verifikasi Performance

Tabel 4.8 dan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa waktu antrian sebagaimana ditunjukkan dalam model menunjukkan kalkulasi yang benar. Kapal 6 datang pada tanggal 03/08/2016 pukul 08:00 WIB, dan dialokasikan ke dermaga 2. Sementara itu, di dermaga 2 masih ada kapal yang *berthing* (kapal 7) sampai tanggal 03/08/2016 pukul 23:02 WIB. Kapal tersebut baru dapat dilayani paling cepat setelah kapal 7 selesai. Dalam model ini kapal 6 baru dapat dilayani pada tanggal 04/08/2016 pukul 00:17. Dengan demikian kapal 6 mengantri selama 15 jam 4 menit. Kapal 10 mengalami kondisi yang sama, kapal tersebut datang pada tanggal 03/08/2016 pukul 18:00 WIB, dan dialokasikan di dermaga 2. Kapal 10 datang pada saat kapal 6 belum mendapat pelayanan. Dengan menggunakan disiplin pelayanan *first come first service* maka kapal 6 mendapat pelayanan lebih dahulu dibandingkan kapal 10. Kapal 6 selesai bongkar muat pada tanggal 04/08/2016 pukul 03:19 WIB, dan kapal 10 baru dapat dilayani pada tanggal 04/08/2016 pukul 3:34 WIB (setelah kapal 6 selesai bongkar muat), demikian juga untuk kapal yang lainnya. Kondisi ini mengkonfirmasi bahwa performance model telah terverifikasi.

4.5. Validasi Model

Validasi sangat penting untuk menyusun model yang kredibel. Pendekatan yang paling standar untuk validasi model adalah mengumpulkan data dari sistem yang diteliti, dan membandingkannya dengan hasil simulasi. Dalam penelitian ini validasi dilakukan terhadap salah satu respon, yaitu *handling time*. Data hasil simulasi dibandingkan dengan data empirik dengan menggunakan uji beda.

Uji beda dilakukan untuk menguji apakah rata-rata input data empirik sama dengan rata-rata *output* hasil simulasi. Data *input* dan data *output* dikategorikan sebagai

data yang berasal dari dua kelompok yang bersifat independen, dengan demikian uji beda yang digunakan adalah uji beda independen. Untuk melakukan uji beda, dalam penelitian ini varian populasi dianggap tidak diketahui dan varian dari kedua kelompok data dianggap berbeda.

Uji validasi terhadap output dilakukan terhadap waktu *handling*, baik waktu *handling* secara keseluruhan maupun waktu *handling* setiap entitas. Hasil uji hipotesis rata-rata waktu *handling* empirik dengan rata-rata waktu *handling* hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.9. Jumlah data waktu *handling* empirik sebanyak 3898 dengan rata-rata 29.26 jam dan varian sebesar 6900.97 jam, sedangkan jumlah data waktu *handling* hasil simulasi sebanyak 1161 dengan rata-rata 31.80 dan varian 375.62. Derajat kebebasan dari kedua kelompok data sebesar 4902, dengan menggunakan α sebesar 5% diperoleh *t-kritis* sebesar 1.9604 dan *t-hitung* sebesar -1.7526. Dengan demikian cukup alasan untuk menerima H_0 dan dapat disimpulkan bahwa rata-rata waktu *handling* empirik dan rata-rata waktu *handling* hasil simulasi tidak berbeda secara signifikan.

Tabel 4.9 Uji Beda (t-Test) Waktu *Handling* Empirik dan Hasil Simulasi

	Waktu <i>Handling</i> Empirik	Waktu <i>Handling</i> Hasil Simulasi
Mean	29.26052349	31.79666
Variance	6900.966016	375.6244
Observations	3898	1161
Hypothesized Mean Difference	0	
df	4902	
t Stat	-1.752636714	
P(T<=t) one-tail	0.039863448	
t Critical one-tail	1.645164532	
P(T<=t) two-tail	0.079726897	
t Critical two-tail	1.960448041	

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Untuk uji beda setiap entitas dari sebanyak 29 entitas, sebanyak 20 menerima H_0 (68.97%) dan 9 menolak H_0 (31.03%). Sebagai contoh, jumlah data empirik kapal 1 sebanyak 201 kapal dengan rata-rata waktu *handling* sebesar 35.10 jam dan varian 63.06 jam. Jumlah data hasil simulasi kapal 1 sebanyak 51 kapal dengan rata-rata 36.52 jam dan varian 159.75 jam. Dengan menggunakan α sebesar 5% dengan derajat

kebebasan gabungan 60 diperoleh nilai *t-kritis* sebesar 2.0002 dan *t-hitung* sebesar - 0.7653. Berdasarkan nilai tersebut, maka cukup alasan untuk menerima H_0 dan disimpulkan bahwa rata-rata waktu *handling* empirik dan simulasi tidak berbeda secara signifikan. Hasil lengkap uji beda untuk setiap entitas dapat di lihat pada lampiran 5. Berdasarkan validasi statistik di atas, dapat disimpulkan bahwa model simulasi yang dikembangkan dapat memberikan hasil yang representative dan hasilnya dapat dipertanggungjawabkan (credible).

4.6. Analisis Hasil

Analisis dilakukan berdasarkan dua indikator yaitu waktu dan *throughput*. Indikator waktu terdiri dari tiga, yaitu waktu menunggu (waktu antri), waktu *handling* dan *ship turnaround time*. *Handling time* dianalisis untuk menentukan apakah skenario kolaborasi dapat menurunkan waktu tunggu kapal. *Handling time* dianalisis untuk menentukan apakah terdapat pengaruh perubahan jumlah *container* terhadap waktu *handling*. *Turnaround time* merupakan akumulasi dari waktu kedatangan hingga keberangkatan kapal. Indikator kedua yang dianalisis adalah *throughput*. Analisis *throughput* dibedakan menjadi dua yaitu *ship call* dan jumlah *container*. Analisis terhadap pergeseran (*shifting*) dari *ship calls* dilakukan untuk mengetahui apakah ada pengaruh kolaborasi terhadap jumlah kapal yang bisa dilayani. Analisis terakhir dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kolaborasi pada perubahan jumlah *container loading/unloading* yang bisa dilayani oleh masing-masing terminal. Tabel 4.12 menunjukkan waktu menunggu (waktu antri), waktu *handling* dan *ship turnaround time* untuk dua skenario. Tabel 4.18 menunjukkan jumlah *ship call*, perubahan *ship calls* dari skenario non kolaborasi ke skenario kolaborasi, dan *shifting ship calls* dari JICT ke Koja dan sebaliknya. Tabel 4.19 menunjukkan perubahan jumlah *container* dari skenario non kolaborasi menjadi kolaborasi, dan *shifting* jumlah *container* dari JICT ke Koja dan sebaliknya. Hasil analisis disampaikan secara detail dalam sub pokok bahasan berikut ini.

Queuing Time

Untuk terminal Koja, waktu tunggu rata-rata kapal ANX pada skenario non kolaborasi sebesar 8,04 jam, kapal APX sebesar 7,36 jam, kapal ASAL sebesar 7,53 jam, dan seterusnya. Pada skenario kolaborasi, waktu menunggu rata-rata kapal ANX sebesar 5,69 jam, kapal APX sebesar 5,80 jam, kapal ASAL sebesar 6,01 jam, dan seterusnya. Skenario kolaborasi menurunkan waktu tunggu rata-rata kapal ANX sebesar 2,35 jam (29,24%), kapal APX sebesar 1,56 jam (21,25%), dan seterusnya. Semua kapal yang memiliki *windows* di terminal Koja mengalami penurunan waktu tunggu, kecuali kapal KTX3 yang justru mengalami peningkatan. Namun demikian peningkatan *queing time* kapal KTX3 tidak signifikan (hanya 0,04 jam). Secara keseluruhan rata-rata waktu menunggu kapal setiap kedatangan berkurang sebesar 1,94 jam (30,73%). Perbedaan rata-rata waktu tunggu kapal di terminal Koja dari dua skenario secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Waktu Tunggu di Terminal Koja

<i>Windows</i>	<i>Existing</i>		<i>Collaboration</i>	
	<i>Ship Call</i>	<i>Queuing Time</i>	<i>Ship Call</i>	<i>Queuing Time</i>
ANX	734	8,04	732	5,69
APX	544	7,36	544	5,80
ASAL	474	7,53	483	6,01
CAP	589	8,90	590	6,04
FEEDER	521	6,53	518	5,43
INE	383	8,00	364	5,52
JSCO2	314	8,92	323	6,47
KIS	364	9,00	342	6,38
KPI	480	8,79	482	6,33
KTX3	534	4,61	527	4,65

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Untuk terminal JICT, waktu tunggu rata-rata kapal CHS3 pada skenario non kolaborasi sebesar 7,00 jam, kapal CJS sebesar 6,67 jam, kapal CKI sebesar 7,62 jam, dan seterusnya. Pada skenario kolaborasi, waktu menunggu rata-rata kapal CHS3 sebesar 5,55 jam, kapal CJS sebesar 4,62 jam, kapal CKI sebesar 6,40 jam, dan seterusnya. Pada skenario kolaborasi waktu tunggu rata-rata kapal CHS3 menurun sebesar 1,45 jam (20,71%), kapal CJS sebesar 2,05 jam (30,73%), dan seterusnya. Secara keseluruhan rata-rata waktu menunggu per kapal per kedatangan berkurang

sebesar 1,61 jam (22,02%). Perbedaan rata-rata waktu tunggu kapal di terminal JICT dari dua skenario secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Waktu Tunggu di Terminal JICT

<i>Windows</i>	<i>Existing</i>		<i>Collaboration</i>	
	<i>Ship Call</i>	<i>Queuing Time</i>	<i>Ship Call</i>	<i>Queuing Time</i>
CHS3	371	7,00	383	5,55
CJS	476	6,67	478	4,62
CKI	1053	7,62	1085	6,40
CKV	518	7,40	507	5,72
CN1	1026	7,36	1047	5,70
CSE	477	7,48	489	5,58
CTI	598	7,70	642	5,96
IA4	544	7,16	541	6,12
IA8	435	7,79	437	5,99
JAVA	474	7,90	456	5,86
JTI	656	7,99	645	5,80
JVS	518	7,05	517	5,70
LEON	542	5,43	544	4,43
PIL	1020	7,32	1036	6,16
PJX1	525	6,67	523	5,27
SEAE	369	8,39	365	6,30
SEAR	698	8,22	672	6,42
INA2	520	6,51	523	5,07
CIX	370	7,22	371	5,68

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Handling Time

Untuk terminal Koja, pada skenario non kolaborasi, kapal ANX membutuhkan waktu *handling* sebesar 24,93 jam, kapal APX sebesar 21,85 jam, kapal ASAL sebesar 16,41 jam, dan seterusnya. Pada skenario kolaborasi waktu *handling* kapal ANX meningkat menjadi 40.19 jam (meningkat sebesar 61,21 persen), kapal APX meningkat dari 21,85 jam menjadi 33,35 jam (52,63 persen), dan seterusnya. Pada skenario kolaborasi, seluruh kapal yang memiliki *windows slot* di terminal Koja mengalami peningkatan *handling time* sebesar 10,51 jam. Rata-rata *handling time* di terminal Koja pada skenario non kolaborasi sebesar 20.78 jam dan meningkat menjadi 31,30 jam pada skenario kolaborasi. Perubahan *handling time* di terminal Koja secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 *Handling Time* di Terminal Koja

Windows	Existing		Collaboration	
	Ship Call	Handling Time	Ship Call	Handling Time
ANX	734	24,93	732	40,19
APX	544	21,85	544	33,35
ASAL	474	16,41	483	25,57
CAP	589	4,85	590	7,49
FEEDER	521	23,38	518	35,78
INE	383	19,43	364	30,14
JSCO2	314	7,10	323	10,04
KIS	364	19,28	342	28,16
KPI	480	20,09	482	29,56
KTX3	534	50,50	527	72,68

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Berbeda dengan kapal yang memiliki *windows slot* di terminal Koja, *handling time* kapal yang memiliki *windows slot* di terminal JICT seluruhnya mengalami penurunan. Rata-rata waktu *handling* di terminal terminal JICT dengan skenario non kolaborasi sebesar 41,93 jam dan 38,22 jam pada skenario kolaborasi. Perbedaan waktu *handling* setiap kapal di terminal JICT secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 *Handling Time* di Terminal JICT

Windows	Existing		Collaboration	
	Ship Call	Handling Time	Ship Call	Handling Time
CHS3	371	64,76	383	55,09
CJS	476	76,21	478	71,06
CKI	1053	53,96	1085	49,72
CKV	518	26,25	507	23,25
CN1	1026	36,87	1047	32,60
CSE	477	61,75	489	56,07
CTI	598	27,03	642	24,11
IA4	544	25,34	541	24,02
IA8	435	13,07	437	11,60
JAVA	474	15,44	456	14,59
JTI	656	25,05	645	23,32
JVS	518	40,76	517	38,09
LEON	542	95,77	544	84,60
PIL	1020	26,12	1036	24,39
PJX1	525	49,08	523	45,53
SEAE	369	13,54	365	13,54
SEAR	698	10,69	672	9,68
INA2	520	65,08	523	58,57
CIX	370	69,9	371	66,49

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Peningkatan *handling time* di terminal Koja diakibatkan karena adanya *shifting* kapal dari terminal JICT ke Koja, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.16. Jumlah

kapal yang *shifting* dari JICT ke Koja dari replikasi 1 sampai replikasi 5 berturut-turut sebesar 147, 150, 177, 139, dan 127, atau rata-rata *ship calls* meningkat sebesar 148. Perubahan jumlah *ship call* tersebut setara dengan penambahan *container loading* dan *unloading* sebanyak 305.568 *container* seperti dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Ship Turnaround Time

Tabel 4.14 menunjukkan *ship turnaround time* untuk kapal yang memiliki *windows slot* di terminal Koja. Pada skenario non kolaborasi, *ship turnaround time* kapal ANX sebesar 37,38 jam, kapal APX sebesar 33,63 jam, kapal ASAL sebesar 28,32 jam, dan seterusnya. Pada skenario kolaborasi, *ship turnaround time* kapal ANX sebesar 50,04 jam, kapal APX sebesar 43,35 jam, kapal ASAL sebesar 35,75 jam, dan seterusnya. *Ship turnaround time* mengalami peningkatan bervariasi dari 2,3 persen hingga 36,7 persen, kecuali kapal CAP yang mengalami penurunan 1,72 persen.

Tabel 4.14 *Ship Turnaround Time* di Terminal Koja

<i>Windows</i>	<i>Existing</i>		<i>Collaboration</i>	
	<i>Number of Ship Calls</i>	<i>Turnaround Time (Hour)</i>	<i>Number of Ship Calls</i>	<i>Average Ship Turnaround Time (Hour)</i>
ANX	734	37,38	732	50,04
APX	544	33,63	544	43,35
ASAL	474	28,32	483	35,75
CAP	589	17,81	590	17,50
FEEDER	521	34,37	518	45,37
INE	383	31,85	364	39,84
JSCO2	314	20,16	323	20,62
KIS	364	32,59	342	38,66
KPI	480	33,25	482	40,07
KTX3	534	59,64	527	81,54

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

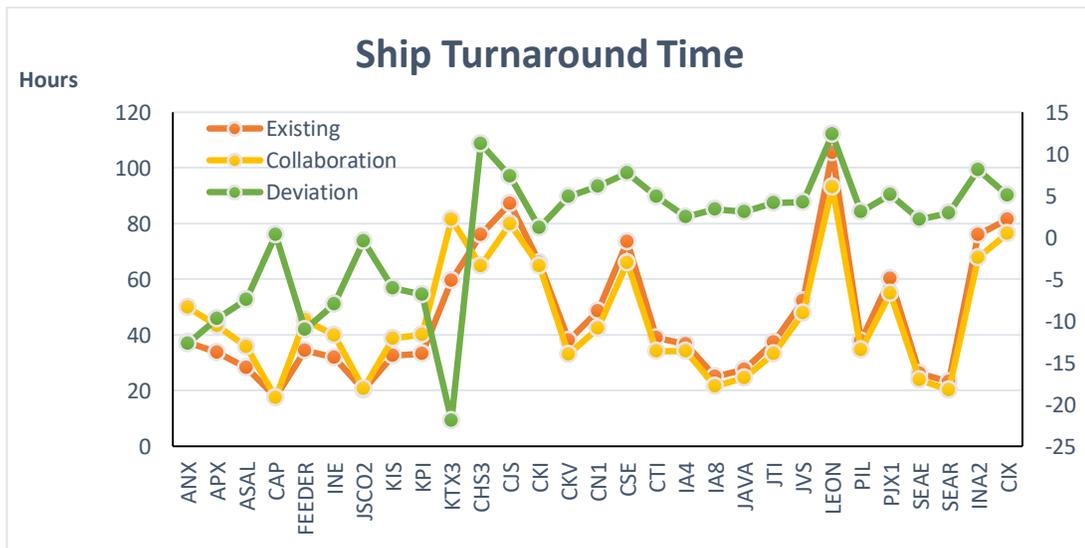
Tabel 4.15 menunjukkan *ship turnaround time* kapal yang memiliki *windows slot* di JICT. Pada skenario non kolaborasi, *ship turnaround time* kapal CHS3 sebesar 76,05 jam, kapal CJS sebesar 87,27 jam, kapal CKI sebesar 65,88 jam, dan seterusnya. Pada skenario kolaborasi, *ship turnaround time* kapal CHS3 sebesar 64,84 jam, kapal CJS sebesar 79,92 jam, kapal CKI sebesar 64,68 jam, dan seterusnya. *Ship turnaround time* menurun bervariasi antara 1,82%-14,75%. Secara keseluruhan dengan skenario kolaborasi, *ship turnaround time* setiap kapal mengalami penurunan sebesar 5.24 jam

(9,78 persen). Perbedaan *ship turnaround time* untuk kapal yang memiliki *windows slot* di Koja dan JICT dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Tabel 4.15 *Ship Turnaround* di Terminal JICT

Windows	Existing		Collaboration	
	Number of Ship Calls	Turnaround Time	Number of Ship Calls	Average Ship Turnaround Time
CHS3	371	76,05	383	64,84
CJS	476	87,27	478	79,92
CKI	1053	65,88	1085	64,68
CKV	518	38	507	33,09
CN1	1026	48,59	1047	42,47
CSE	477	73,58	489	65,86
CTI	598	39,07	642	34,18
IA4	544	36,73	541	34,23
IA8	435	25,07	437	21,67
JAVA	474	27,62	456	24,53
JTI	656	37,32	645	33,18
JVS	518	52,16	517	47,98
LEON	542	105,56	544	93,19
PIL	1020	37,75	1036	34,70
PJX1	525	60,14	523	55,01
SEAE	369	26,16	365	23,97
SEAR	698	23,09	672	20,14
INA2	520	75,92	523	67,85
CIX	370	81,41	371	76,39

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)



Gambar 4.8 Grafik *Ship Turnaround Time*

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Pada Gambar 4.5 ada dua skala yang digunakan, skala sebelah kiri menunjukkan angka 0-120 dengan satuan jam (hour) menunjukkan *turnaround time* untuk kondisi eksisting dan strategi kolaborasi. Sebagai contoh, rata-rata *turnaround time* kapal ANX pada kondisi eksisting sebesar 37.38 jam, sedangkan pada strategi kolaborasi sebesar 50.04 jam. Perbedaan *turnaround time* kedua kapal tersebut pada kondisi eksisting dan strategi kolaborasi sebesar -12.66 jam. Nilai tersebut dapat dilihat dengan menggunakan skala yang ada disebelah kanan (angka -25 sampai 15) dengan satuan jam (hours).

Throughput Analysis

Skenario kolaborasi menimbulkan konsekuensi terjadinya pertukaran kapal yang *berthing* dari terminal Koja ke JICT dan sebaliknya. Tabel 4.16 menunjukkan perubahan *ship calls* dari skenario eksisting dan kolaborasi. Total *ship calls* pada skenario eksisting pada replikasi 1 sebanyak 3.182 calls sedangkan pada skenario kolaborasi sebesar 3.224 calls. Pada skenario kolaborasi terdapat peningkatan *ship calls* sebanyak 42 calls. Pada replikasi 2 dan 3 terjadi peningkatan berturut-turut sebesar 12 dan 54 calls. Pada replikasi 4 dan 5 terjadi penurunan masing-masing sebesar 12 dan 55 calls. Peningkatan atau penurunan *ship calls* bukan pengaruh dari skenario kolaborasi dan non kolaborasi, tetapi semata-mata karena waktu kedatangan kapal yang digenerate dari distribusi dan banyaknya *container* yang dibawa setiap kapal. Skenario kolaborasi memberikan dampak pada pergeseran jumlah *ship calls* yang semula dilayani di JICT menjadi dilayani di Koja. Terminal JICT mengalami penurunan *ship calls* sebesar 105, 138, 123, 151, 182 berturut-turut pada replikasi 1 sampai replikasi 5. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penambahan *ship calls* di terminal Koja berasal dari peningkatan *ship calls* dari existing ke skenario kolaborasi dan *ship calls* yang *shifting* dari terminal JICT ke Koja.

Tabel 4.16 *Ship Call* Terminal Koja dan JICT

Replication	Skenario				Ship Calls Increase/Decrease (Existing to Collaboration)	Vessel Shifting (Existing to Collaboration)	
	Existing		Collaboration			Koja	JICT
	Koja	JICT	Koja	JICT			
1	972	2.210	1.119	2.105	42	147	-105
2	987	2.240	1.137	2.102	12	150	-138
3	972	2.218	1.149	2.095	54	177	-123
4	1.004	2.258	1.143	2.107	-12	139	-151
5	1.002	2.262	1.129	2.080	-55	127	-182

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Karena kapal harus pindah dermaga, maka perubahan dermaga di terminal yang berbeda secara otomatis berpengaruh terhadap perubahan jumlah *container*. Tabel 4.17 menunjukkan jumlah perubahan jumlah *container* pada setiap terminal dari dua skenario non kolaborasi dan kolaborasi. Pada skenario kolaborasi terdapat peningkatan jumlah *throughput* pada replikasi 1 sampai replikasi 4, sedangkan replikasi 5 terjadi penurunan. Rata-rata penambahan *throughput* pada skenario kolaborasi sebesar 21.946. Pada skenario non kolaborasi seluruh *throughput* berasal dari kapal yang memiliki *windows slot* di masing-masing terminal, sedangkan pada strategi kolaborasi *throughput* berasal dari kapal yang memiliki *windows slot* di terminal tersebut maupun kapal yang berasal dari terminal lainnya. Jumlah *throughput* di terminal JICT mengalami penurunan rata-rata 283.622. Dengan demikian jumlah *throughput* di terminal Koja mengalami peningkatan rata-rata sebesar 305.568 (berasal dari terminal JICT dan peningkatan *throughput* dari skenario kolaborasi).

Tabel 4.17 *Container Shifting* Koja dan JICT

Replication	Skenario				Container Increase/Decrease (Existing to Collaboration)	Container Shifting (Existing to Collaboration)	
	Existing		Collaboration			Koja	JICT
	Koja	JICT	Koja	JICT			
1	1.148.355	2.961.274	1.466.663	2.695.607	52.641	318.308	-265.667
2	1.182.980	2.965.062	1.474.836	2.710.666	37.460	291.856	-254.396
3	1.133.412	2.974.362	1.469.721	2.695.256	57.203	336.309	-279.106
4	1.195.319	3.000.141	1.476.180	2.722.181	2.901	280.861	-277.960
5	1.171.631	3.028.577	1.472.137	2.687.595	-40.476	300.506	-340.982

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

4.7. Kesimpulan

Kolaborasi dapat menurunkan *queuing time* dan *handling time*, yang pada akhirnya dapat menurunkan *ship turnaround time*. Meskipun beberapa kapal mengalami peningkatan *handling time*, terutama kapal yang memiliki *windows slot* di terminal dengan *load* lebih rendah, akan tetapi secara keseluruhan *handling time* setiap kapal mengalami penurunan. Peningkatan *handling time* pada skenario kolaborasi di terminal dengan *load* lebih rendah merupakan dampak dari perubahan (*shifting*) *ship call* yang sebelumnya dilayani di terminal dengan *load* yang lebih tinggi pindah ke terminal dengan *load* yang lebih rendah. Akibat meningkatnya *handling time* pada kapal yang memiliki *windows slot* di terminal dengan *load* lebih rendah, *ship turnaround time* kapal di terminal tersebut juga mengalami peningkatan. Secara keseluruhan *ship turnaround time* pada skenario kolaborasi mengalami penurunan. *Turnaround time* yang semakin pendek akan mengurangi biaya operasional yang dikeluarkan oleh *shipping lines*. Bagi operator terminal, dengan *turnaround time* yang semakin kecil, maka kesempatan untuk menambah customer baru semakin meningkat.

Kolaborasi dapat menurunkan waktu tunggu kapal, meningkatkan fleksibilitas pelayanan dan mengurangi sumberdaya yang menganggur. Fleksibilitas pelayanan dapat dicapai karena kapal tidak lagi harus tergantung pada satu terminal dimana kapal tersebut memiliki *windows*. Kapal dapat dilayani di terminal manapun asalkan tidak sedang terpakai. Fleksibilitas juga dapat dicapai dengan tetap memperhatikan prioritas terhadap terminal dimana kapal tersebut memiliki *windows*.

Kolaborasi dapat menciptakan keunggulan daya saing (*competitive advantage*) terminal, sehingga dapat menciptakan peluang untuk menarik *customer* baru. Di sisi lain, kolaborasi menimbulkan persaingan antara pihak yang yang berkolaborasi dalam menarik minat pelanggan. Dari sudut pandang *supply chain*, kolaborasi membawa dampak yang positif karena *deliverry time* semakin menurun, sehingga *time to market* menjadi semakin cepat.

BAB 5

ALOKASI *BERTH*, *CRANE*, *YARD* SECARA SIMULTAN

5.1. Deskripsi Sistem

Secara umum sistem operasi pelayanan kapal dan bongkar muat *container* sama dengan sistem yang telah dideskripsikan dan dijelaskan pada bab sebelumnya. Pada bab 4, kolaborasi antara kedua terminal bersifat terbatas. Kapal yang memiliki *windows* di terminal 1 bisa melakukan *berthing* di terminal 1 atau terminal 2 dan sebaliknya, tetapi sumber daya yang digunakan di masing-masing terminal terbatas hanya menggunakan sumber daya yang dimiliki oleh masing-masing terminal. Dalam kolaborasi terbatas, ketika kapal yang memiliki *windows* di terminal 1 *berthing* di terminal 2, *crane* yang dialokasikan untuk melayani kapal hanya menggunakan *crane* yang dimiliki oleh terminal 2, demikian juga apabila kapal yang memiliki *windows* di terminal 2 *berthing* di terminal 1.

Kolaborasi dan alokasi secara simultan adalah kolaborasi penggunaan sumber daya yang dimiliki di setiap terminal secara bersama. *Quay crane* dan *container yard* yang dimiliki terminal 1 bisa digunakan di terminal 2, demikian juga sebaliknya. Secara umum ada perbedaan karakteristik kolaborasi terbatas dan simultan tetapi tidak berbeda secara sistem. Perbedaan karakteristik terdapat pada: (1) urutan pelayanan (*service order*) yang mempertimbangkan sistem *first come first service* dan sistem prioritas; (2) waktu dan jarak antara dermaga (*berth*) dengan *container yard* dipertimbangkan untuk alokasi kapal; (3) alokasi *quay crane* dengan mempertimbangkan dua cara yaitu *fixed* dan *fleksible*. Perbedaan karakteristik antara kolaborasi terbatas dan kolaborasi simultan ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Dalam model kolaborasi simultan kecepatan alat transportasi (*head truck*) dianggap konstan. *Dwelling time* di kedua terminal diasumsikan deterministik. Apabila *container yard* (*inbound dan outbound*) tidak dapat menampung *container*, maka *container* akan dikirim ke *container yard* cadangan (*buffer*) untuk memastikan

bahwa *container yard* dapat menampung seluruh *container* yang masuk ke terminal. Dalam sistem nyata, *buffer yard* sesungguhnya sudah diterapkan dengan cara menumpuk di lokasi yang fungsi sesungguhnya bukan merupakan tempat penumpukan. Untuk *inbound container*, *buffer yard* biasanya menggunakan tempat penimbunan sementara (TPS) yang lazim digunakan untuk *container overbremen*.

Tabel 5.1 Perbedaan Karakteristik Kolaborasi Terbatas dan Kolaborasi Simultan.

Faktor	Basic Collaborative	Simultaneous-Collaborative
<i>Service-Order</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mempertimbangkan <i>service order</i> dengan satu cara yaitu <i>first come first service</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mempertimbangkan <i>service order</i> dengan dua sistem yaitu <i>first come first service</i> dan sistem prioritas.
<i>Berth-Yard</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Alokasi kapal tidak mempertimbangkan posisi <i>yard</i> dan <i>berth</i>. • Jarak dan waktu perpindahan <i>container</i> diasumsikan konstan. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alokasi kapal mempertimbangkan lokasi <i>yard</i>. • Alokasi kapal mempertimbangkan jarak dan waktu pemindahan <i>container</i> (<i>loading</i> dan <i>unloading</i>).
Crane	<ul style="list-style-type: none"> • Hanya mempertimbangkan alokasi <i>quay crane</i> dengan sistem <i>fixed</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Quay crane</i> dipertimbangkan dengan sistem <i>fixed</i> dan <i>flexible</i>.

(Sumber : diolah)

5.2. Rancangan Eksperimen

Berth dan *crane* merupakan faktor yang paling sering dipertimbangkan dalam membuat model, diantaranya oleh Park & Kim, (2003), Imai, (2008), Peng-fei & Hai-gui, (2008) dan Liang et al., (2009). Zhen et al., (2011), Li & Yip (2013), Lee & Jin (2013) menyusun model dengan mempertimbangkan keterkaitan antara *berth* dan *yard*, meskipun mereka tidak secara eksplisit menunjukkan hubungan antara keduanya karena digunakan untuk kasus *transshipment*. Tabel 5.2 menunjukkan empat faktor yang dipertimbangkan dalam menyusun skenario. Setiap faktor terdiri dari dua *level* yaitu rendah (-1) dan tinggi (1) seperti yang telah dibahas dalam sub bab 3.3.6.

Tabel 5.2 Faktor dan Level

Faktor	Jumlah Level	Level	Deskripsi
<i>Service_Order (SO)</i>	2	-1: <i>FCFS</i>	Kapal yang pertama datang pertama dilayani.
		1: <i>Priority</i>	Kapal diprioritaskan untuk <i>berthing</i> di terminal dimana kapal memiliki <i>windows</i> .
<i>Berth_Yard (B)</i>	2	-1: <i>Independent</i>	Kapal dialokasikan di dermaga secara bebas.
		1: <i>Dependent</i>	Kapal dialokasikan di dermaga terdekat dengan <i>yard</i> .
<i>Crane (C)</i>	2	-1: <i>Fixed</i>	<i>Crane</i> dialokasikan secara <i>fixed</i> di setiap dermaga.
		1: <i>Flexible</i>	Alokasi <i>crane</i> disesuaikan dengan kebutuhan (membandingkan <i>crane</i> yang berada di dermaga terdekat (kanan-kiri)).
<i>Strategy (S)</i>	2	-1: <i>Non Collaboration</i>	Tidak ada kolaborasi.
		1: <i>Collaboration</i>	Kedua terminal berkolaborasi dalam penggunaan sumber daya.

(Sumber : diolah)

Dengan menggunakan *full factorial design*, dihasilkan 2 x 2 x 2 x 2 kombinasi atau 16 skenario. Tabel 5.3 menunjukkan kombinasi/skenario yang dihasilkan dari empat faktor, dimana masing-masing faktor terdiri dari dua level.

Tabel 5.3 Skenario Menggunakan *Full Factorial Design*

Skenario	<i>Service-Order</i>	<i>Berth-Yard</i>	<i>Crane</i>	<i>Strategy</i>
1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	1
3	-1	-1	1	-1
4	-1	-1	1	1
5	-1	1	-1	-1
6	-1	1	-1	1
7	-1	1	1	-1
8	-1	1	1	1
9	1	-1	-1	-1
10	1	-1	-1	1
11	1	-1	1	-1
12	1	-1	1	1
13	1	1	-1	-1
14	1	1	-1	1
15	1	1	1	-1
16	1	1	1	1

(Sumber : diolah)

Skenario pertama adalah kombinasi antara *service_order* pada level rendah (*FCFS*); *berth_yard* pada level rendah (*independent*); *quay crane* pada level rendah (*fixed*) dan *strategy* pada level rendah (*non collaboration*). Skenario kedua adalah kombinasi antara *service_order* pada level rendah (*FCFS*); *berth_yard* pada level rendah (*independent*); *quay crane* pada level rendah (*fixed*) dan *strategy* pada level tinggi (*collaboration*), dan seterusnya. Skenario pertama merupakan kondisi yang ada saat ini (*existing*). Indikator yang digunakan untuk mengukur respons adalah waktu tunggu dan jumlah kapal yang menunggu.

Jumlah replikasi dihitung menggunakan formulasi yang dikembangkan oleh Kelton et al., (2010) dan Rossetti, (2010). Jumlah replikasi minimum ditentukan dengan rumus:

$$n \geq \left(\frac{t_{\alpha/2; n-1} S}{e} \right)^2$$

dengan s adalah simpangan baku, e adalah tingkat kesalahan absolut yang ditetapkan, dan $t_{\alpha/2; n-1}$ adalah nilai dari variabel random t yang berdistribusi t pada derajat kebebasan $n - 1$ sehingga $P(t > t_{\alpha/2; n-1}) = \alpha/2$. Karena nilai dari $t_{\alpha/2; n-1}$ juga tergantung n , maka jumlah replikasi minimum ditentukan dengan rumus pendekatan:

$$n = \left(\frac{z_{\alpha/2} S}{e} \right)^2$$

dengan $z_{\alpha/2}$ adalah nilai dari variabel random z yang berdistribusi normal baku sehingga $P(z > z_{\alpha/2}) = \alpha/2$. Jika tingkat kesalahan yang ditetapkan adalah tingkat kesalahan relatif e' , maka jumlah replikasi minimum ditentukan:

$$n = \left(\frac{z_{\alpha/2} S}{\left(\frac{e'}{(1 + e')} \bar{x} \right)} \right)^2$$

dengan \bar{x} adalah rata-rata. Berdasarkan hasil simulasi dengan jumlah replikasi awal (n_0) sebanyak 5 replikasi seperti disajikan dalam Tabel 5.4 diperoleh nilai rata-rata sebesar 39.052 jam dengan standar deviasi sebesar 1.5369.

Tabel 5.4 Waktu Handling Hasil Smulasi

No	Replikasi	Handling Time (jam)
1	Replikasi 1	38.51
2	Replikasi 2	41.77
3	Replikasi 3	38.08
4	Replikasi 4	38.23
5	Replikasi 5	38.67
Rata-Rata		39.052
Standar Deviasi		1.5369

Nilai kesalahan *absolute* ditetapkan sebesar 5% (1.9526 jam) atau kesalahan relative $e' = 1.9526/(39.052-1.9526) = 0.0526$ (atau 5.26%), dengan nilai $\alpha=5\%$ tabel nilai $Z_{\alpha/2}$ sebesar 1.96, maka jumlah replikasi yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut:

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} S}{\left(\frac{e'}{(1+e')} \bar{x} \right)} \right)^2$$

$$n = \left(\frac{(1.96)(1.5369)}{\left(\frac{0.0526}{(1+0.0526)} (39.052) \right)} \right)^2$$

$$n = 2.3799 \text{ replikasi atau } 3 \text{ replikasi (pembulatan)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, jumlah replikasi yang dibutuhkan sebanyak 2.3799 atau 3 kali replikasi ($n \leq n_0$), dengan demikian jumlah replikasi awal sebanyak 5 kali sudah memenuhi syarat kecukupan.

5.3. Hasil dan Pembahasan

5.3.1. Uji Signifikansi Faktor dengan Respon Waktu Tunggu

Untuk menguji pengaruh utama dari faktor dan interaksi antar faktor, setiap respon hasil simulasi diolah menggunakan Minitab®. Uji signifikansi faktor dengan

respon waktu tunggu ditunjukkan pada Tabel 5.5. Dalam uji signifikansi hanya disajikan pengaruh utama dari faktor dan pengaruh interaksi antara dua faktor.

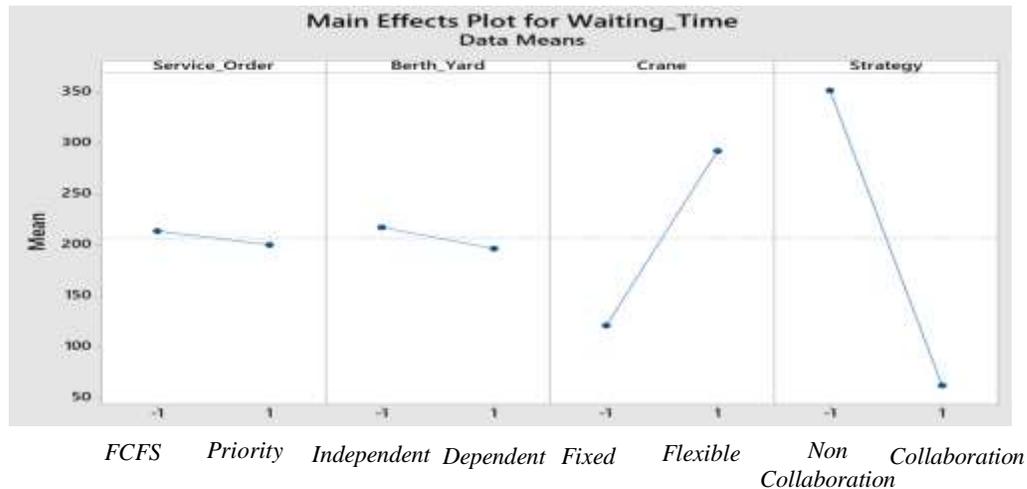
Tabel 5.5 Anova untuk Respon Waktu Tunggu Kapal

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	15	2689929	179329	37.65	0.000
Linear	4	2272584	568146	119.27	0.000
Service_Order	1	3570	3570	0.75	0.390
Berth_Yard	1	8612	8612	1.81	0.184
Crane	1	586476	586476	123.12	0.000
Strategy	1	1673927	1673927	351.40	0.000
2-Way Interactions	6	371594	61932	13.00	0.000
Service_Order*Berth_Yard	1	7395	7395	1.55	0.217
Service_Order*Crane	1	26254	26254	5.51	0.022
Service_Order*Strategy	1	15931	15931	3.34	0.072
Berth_Yard*Crane	1	5569	5569	1.17	0.284
Berth_Yard*Strategy	1	6	6	0.00	0.972
Crane*Strategy	1	316439	316439	66.43	0.000
3-Way Interactions	4	34024	8506	1.79	0.143
Service_Order*Berth_Yard*Crane	1	30	30	0.01	0.937
Service_Order*Berth_Yard*Strategy	1	15	15	0.00	0.956
Service_Order*Crane*Strategy	1	521	521	0.11	0.742
Berth_Yard*Crane*Strategy	1	33458	33458	7.02	0.010
4-Way Interactions	1	11726	11726	2.46	0.122
Service_Order*Berth_Yard*Crane*Strategy	1	11726	11726	2.46	0.122
Error	64	304868	4764		
Total	79	2994797			
Model Summary					
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
	69.0186	89.82%	87.43%	84.09%	

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Dari empat faktor yang diuji, dua faktor yaitu *crane* dan *strategy*, menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap waktu tunggu, sedangkan dua faktor lainnya tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Pengaruh utama dari faktor ditunjukkan pada Gambar 5.1. *Service_order* dengan sistem prioritas menghasilkan waktu tunggu yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem *first come first service*, demikian juga dengan alokasi kapal secara *dependent* menghasilkan waktu tunggu lebih rendah dibandingkan dengan alokasi secara *independent*. Namun demikian, perbedaan waktu tunggu dari kedua faktor tersebut relatif kecil.

Alokasi *crane* dengan cara *fixed* menghasilkan waktu tunggu lebih rendah dibandingkan dengan waktu tunggu yang dihasilkan dari alokasi *crane* dengan cara *flexible*. Dengan demikian alokasi *crane* secara *fixed* menurunkan waktu tunggu secara signifikan. Strategi kolaborasi menghasilkan waktu tunggu lebih rendah dibandingkan dengan strategi non kolaborasi.



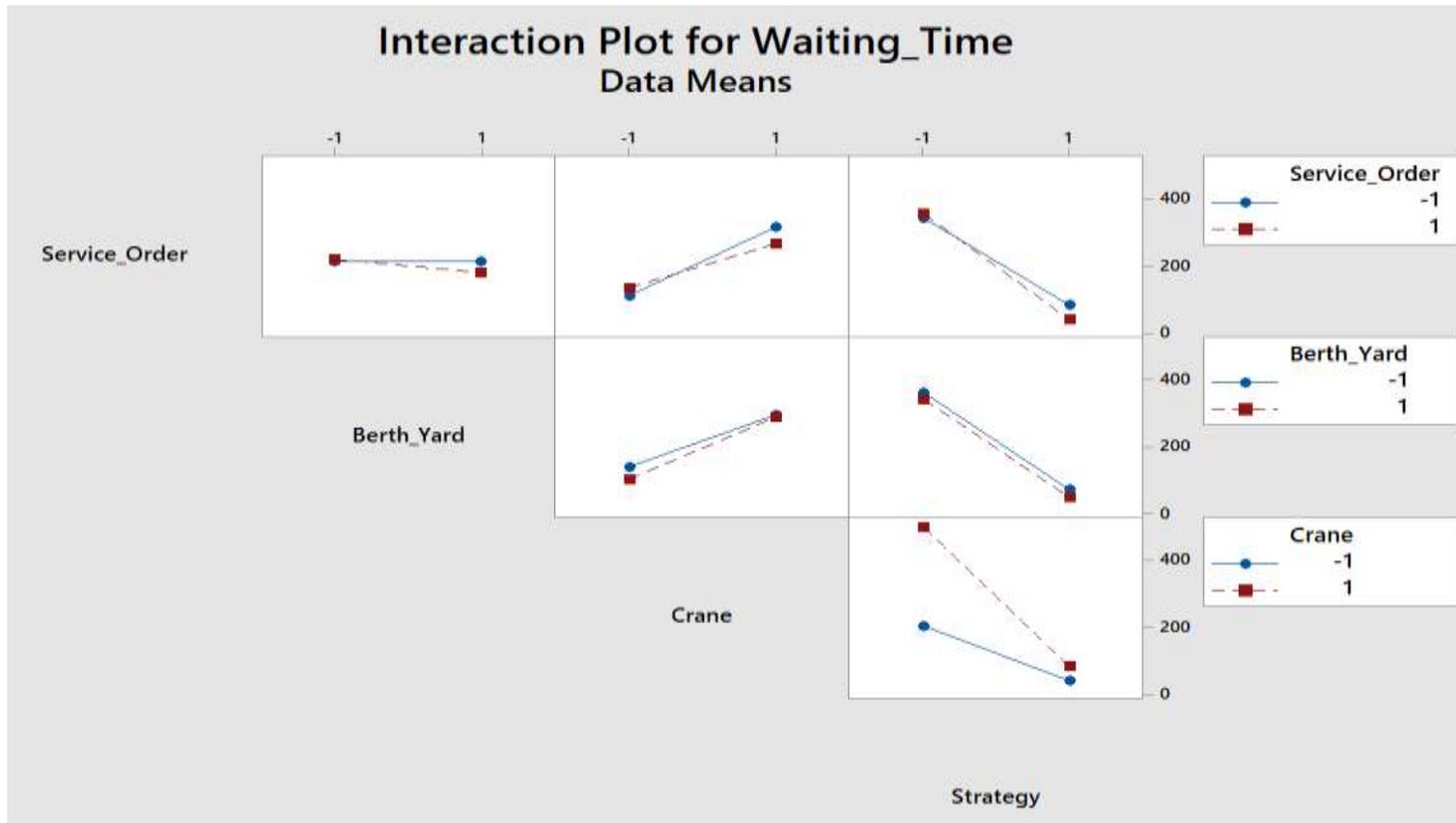
Gambar 5.1 Grafik Pengaruh Utama dari Faktor

Menurut Montgomery, (2005) efek utama dari faktor tidak memiliki banyak makna ketika interaksi antar faktor-faktor tersebut signifikan. Oleh karena itu, perlu dianalisis interaksi antar faktor. Karena keterbatasan dalam penyajian, hanya dianalisis interaksi antar dua faktor saja. Alokasi *berth-yard* secara *independent* maupun *dependent* menghasilkan *waiting time* yang tidak berbeda secara signifikan meskipun urutan pelayanan yang digunakan berbeda. Alokasi *crane* secara *fixed* menghasilkan *waiting time* lebih rendah apabila urutan pelayanan menggunakan sistem *first come first service* dibandingkan dengan menggunakan sistem prioritas, tetapi apabila alokasi *crane* menggunakan sistem *flexible*, dan urutan pelayanan menggunakan sistem prioritas, menghasilkan *waiting time* yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem *first come first service*. Alokasi *crane* dengan sistem *fixed* menghasilkan *waiting time* lebih rendah dibandingkan dengan alokasi *crane* dengan cara *fixed*. Alokasi *crane* secara *fixed* menghasilkan *waiting time* yang lebih rendah apabila alokasi *berth-yard* menggunakan cara *dependent* dibandingkan dengan alokasi secara *independent*. Alokasi *crane* secara *flexible* menghasilkan *waiting time* yang relatif sama meskipun alokasi *berth-yard* menggunakan cara yang berbeda.

Strategi kolaborasi menghasilkan *waiting time* lebih rendah dibandingkan dengan strategi non kolaborasi. Pada strategi non kolaborasi, *waiting time* dengan

urutan pelayanan *first come first service* dan prioritas menghasilkan *waiting time* yang relatif sama. Pada strategi kolaborasi, *waiting time* dengan urutan pelayanan prioritas relatif lebih rendah dibandingkan dengan *waiting time* dengan urutan *first come first service*. Pada strategi non kolaborasi, *waiting time* dengan alokasi kapal secara *dependent* lebih rendah dibandingkan dengan *waiting time* menggunakan alokasi kapal secara *independent*. Demikian juga halnya pada strategi kolaborasi, *waiting time* dengan alokasi kapal secara *dependent* lebih rendah dibandingkan dengan *waiting time* menggunakan alokasi kapal secara *independent*. Pada strategi non kolaborasi, alokasi *crane* secara *fixed* menghasilkan *waiting time* yang lebih dibandingkan alokasi *crane* secara *flexible*, sedangkan pada strategi kolaborasi, alokasi *crane* secara *fixed* menghasilkan *waiting time* yang lebih rendah dibandingkan dengan alokasi *crane* secara *flexible*, akan tetapi penurunan *waiting time* tidak sebesar pada strategi non kolaborasi. Interaksi antara dua faktor secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 5.2.

Berdasarkan Tabel 5.5, nilai *R-square* untuk respons waktu tunggu sebesar 89.82% yang berarti bahwa perubahan yang terjadi terhadap waktu tunggu 89.82% dapat dijelaskan berasal dari faktor-faktor yang diujikan dari eksperimen ini.



Gambar 5.2. Grafik Interaksi Dua Faktor untuk Respon Waktu Tunggu

5.3.2. Uji Signifikansi Faktor dengan Respon Jumlah Kapal yang Menunggu

Tabel 5.6 menunjukkan *output* untuk respon jumlah kapal yang menunggu (antri) selama satu periode *running*. Seperti uji signifikansi dengan respon waktu tunggu, uji signifikansi dengan respon jumlah kapal menunggu juga hanya menguji pengaruh utama dari faktor dan pengaruh interaksi dari dua faktor saja. Nilai *R-square* untuk respons waktu tunggu sebesar 94.17% yang berarti bahwa 94.17% perubahan yang terjadi dapat dijelaskan dari faktor yang diuji pada eksperimen ini.

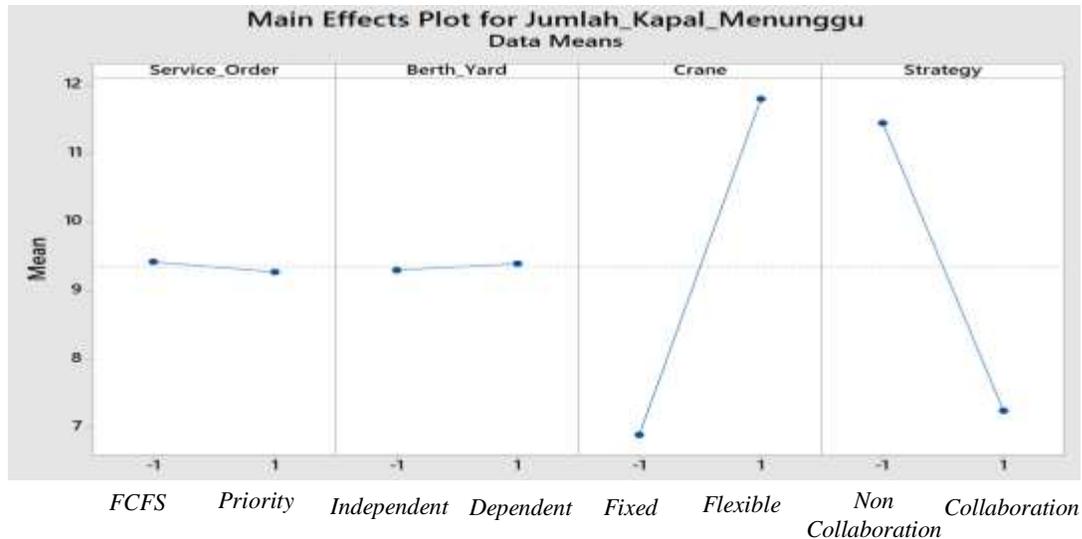
Tabel 5.6 Anova untuk Respons Banyaknya Kapal yang Menunggu

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	15	853.400	56.893	68.96	0.000
Linear	4	833.650	208.412	252.62	0.000
Service_Order	1	0.450	0.450	0.55	0.463
Berth_Yard	1	0.200	0.200	0.24	0.624
Crane	1	480.200	480.200	582.06	0.000
Strategy	1	352.800	352.800	427.64	0.000
2-Way Interactions	6	13.750	2.292	2.78	0.018
Service_Order*Berth_Yard	1	0.450	0.450	0.55	0.463
Service_Order*Crane	1	1.250	1.250	1.52	0.223
Service_Order*Strategy	1	4.050	4.050	4.91	0.030
Berth_Yard*Crane	1	0.800	0.800	0.97	0.328
Berth_Yard*Strategy	1	0.000	0.000	0.00	1.000
Crane*Strategy	1	7.200	7.200	8.73	0.004
3-Way Interactions	4	4.750	1.187	1.44	0.231
Service_Order*Berth_Yard*Crane	1	0.450	0.450	0.55	0.463
Service_Order*Berth_Yard*Strategy	1	4.050	4.050	4.91	0.030
Service_Order*Crane*Strategy	1	0.050	0.050	0.06	0.806
Berth_Yard*Crane*Strategy	1	0.200	0.200	0.24	0.624
4-Way Interactions	1	1.250	1.250	1.52	0.223
Service_Order*Berth_Yard*Crane*Strategy	1	1.250	1.250	1.52	0.223
Error	64	52.800	0.825		
Total	79	906.200			
Model Summary					
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
	0.908295	94.17%	92.81%	90.90%	

Berdasarkan Tabel 5.6 diperoleh hasil bahwa dari empat faktor yang diuji, dua faktor yaitu *crane* dan *strategi* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah kapal yang menunggu. Hasil ini sama dengan uji signifikansi untuk respon waktu tunggu kapal. Untuk interaksi dua faktor, interaksi antara *service_order* dan *strategy* serta interaksi antara *crane* dan *strategy* memberikan pengaruh yang signifikan.

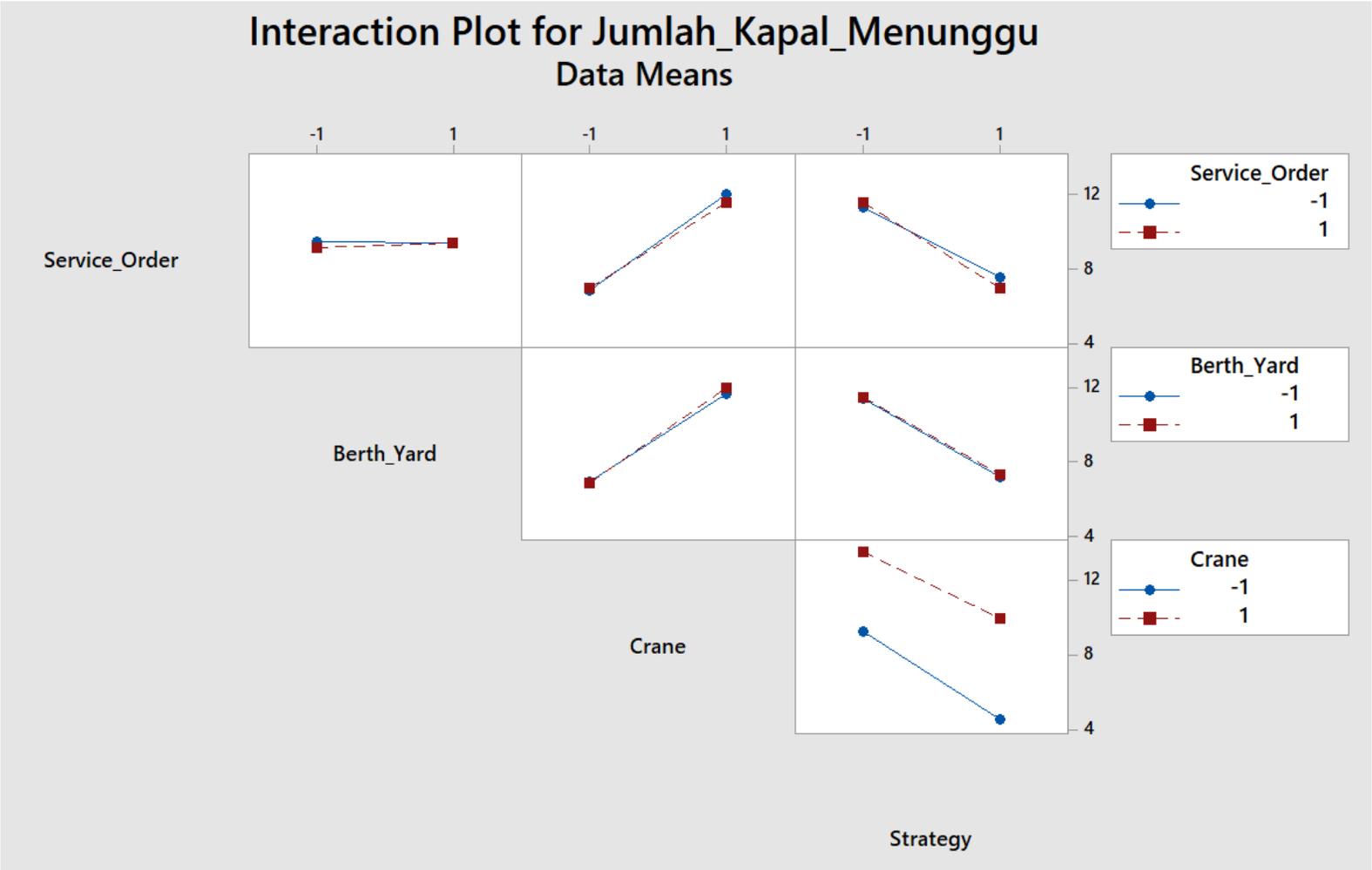
Gambar 5.3 menunjukkan pengaruh utama dari faktor dengan respon jumlah kapal yang menunggu. Alokasi *crane* secara *fixed* menghasilkan jumlah kapal yang menunggu lebih sedikit dibandingkan dengan alokasi *crane* secara *flexible*. Strategi

kolaborasi menghasilkan jumlah kapal yang menunggu lebih sedikit dibandingkan dengan strategi non kolaborasi.



Gambar 5.3. Grafik Pengaruh Utama dari Faktor

Interaksi dua faktor ditunjukkan pada Gambar 5.4. Alokasi kapal secara *independent* dan *dependent* menghasilkan jumlah kapal yang menunggu relatif sama, baik menggunakan urutan pelayanan secara *first come first service* maupun urutan dengan cara prioritas. Alokasi *crane* secara *fixed* menghasilkan jumlah kapal yang menunggu lebih kecil dibandingkan dengan alokasi kapal secara *flexible*, meskipun urutan pelayanan kapal dan alokasi kapal dilakukan secara *independent* ataupun *dependent*. Strategi kolaborasi menghasilkan jumlah kapal yang menunggu lebih kecil dibandingkan dengan strategi non kolaborasi meskipun urutan pelayanan, alokasi kapal dan alokasi *crane* dilakukan dengan cara yang berbeda. Berdasarkan Tabel 5.5 dan Gambar 5.4 dapat disimpulkan bahwa menurunnya jumlah kapal yang menunggu pada strategi kolaborasi dipengaruhi oleh perbedaan urutan pelayanan kapal dan perbedaan cara mengalokasikan *crane*.



Gambar 5.4 Grafik Interaksi Dua Faktor dengan Respon Jumlah Kapal Menunggu

5.3.3. Penentuan Skenario Terbaik

Penentuan skenario terbaik dilakukan pada masing-masing respon, yaitu waktu tunggu dan jumlah kapal yang menunggu. Tabel 5.7 menunjukkan performa berdasarkan respon waktu tunggu kapal.

Tabel 5.7 Output Berdasarkan Waktu Tunggu

	Rata-Rata Total Waktu Menunggu (jam)					Rata-rata
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	
Skenario-1	173.23	260.97	164.80	178.15	185.35	192.50
Skenario-2	44.18	25.42	102.97	30.89	31.67	47.03
Skenario-3	666.03	471.42	471.71	408.31	463.81	496.26
Skenario-4	139.53	86.89	118.90	134.36	132.20	122.37
Skenario-5	140.24	146.64	161.53	186.15	154.31	157.77
Skenario-6	22.71	45.31	52.07	34.92	59.34	42.87
Skenario-7	719.69	520.76	457.22	452.38	503.67	530.75
Skenario-8	120.09	96.57	119.53	118.80	148.43	120.68
Skenario-9	174.09	173.71	171.30	274.52	665.23	291.77
Skenario-10	25.45	40.47	25.01	32.16	24.36	29.49
Skenario-11	476.41	430.02	483.51	436.18	508.35	466.89
Skenario-12	95.01	97.67	78.34	82.06	114.33	93.48
Skenario-13	223.27	133.15	189.41	159.43	149.24	170.90
Skenario-14	34.68	44.26	30.02	46.55	41.95	39.49
Skenario-15	561.43	468.60	556.82	455.49	493.47	507.16
Skenario-16	113.79	209.76	165.70	143.35	102.07	146.93

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Perbandingan antara strategi kolaborasi dan strategi non kolaborasi untuk respon waktu tunggu dan jumlah kapal yang menunggu ditunjukkan pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9. Strategi kolaborasi (skenario dengan nomor genap) menghasilkan waktu tunggu lebih pendek dibandingkan dengan strategi non kolaborasi (skenario dengan nomor ganjil). Strategi non kolaborasi menghasilkan waktu tunggu terkecil 157.77 jam, yaitu pada skenario 7. Strategi kolaborasi menghasilkan waktu tunggu terbesar 122.37 jam pada skenario 4. Jika kedua nilai tersebut dibandingkan maka dapat dikatakan bahwa waktu tunggu tertinggi dengan strategi kolaborasi masih lebih baik dibandingkan dengan waktu tunggu terkecil yang diperoleh dengan strategi non kolaborasi. Strategi kolaborasi menghasilkan rata-rata jumlah kapal menunggu sebanyak 8 kapal, lebih kecil dibandingkan dengan strategi non kolaborasi yaitu 12 kapal.

Tabel 5.8 Perbandingan Strategi Kolaborasi dan Non Kolaborasi untuk Respon Waktu Tunggu

Strategi Non Kolaborasi		Strategi Kolaborasi	
Skenario	Waktu Tunggu	Waktu Tunggu	Skenario
Skenario 1	192.50	47.03	Skenario 2
Skenario 3	496.26	122.37	Skanerio 4
Skenario 5	157.77	42.87	Skenario 6
Skenario 7	530.75	120.68	Skenario 8
Skenario 9	291.77	29.49	Skanerio 10
Skenario 11	466.89	93.48	Skenario 12
Skenario 13	170.90	39.49	Skenario 14
Skenario 15	507.16	146.93	Skanerio 16

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Tabel 5.9 Perbandingan Strategi Kolaborasi dan Non Kolaborasi untuk Respon Jumlah Kapal yang Menunggu

Strategi Non Kolaborasi		Strategi Kolaborasi	
Skenario	Jumlah Kapal Menunggu	Jumlah Kapal Menunggu	Skenario
Skenario 1	9	5	Skenario 2
Skenario 3	14	11	Skanerio 4
Skenario 5	9	5	Skenario 6
Skenario 7	14	10	Skenario 8
Skenario 9	10	5	Skanerio 10
Skenario 11	14	9	Skenario 12
Skenario 13	10	5	Skenario 14
Skenario 15	14	11	Skanerio 16

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Perbedaan waktu tunggu yang dihasilkan dari penggunaan urutan pelayanan dengan cara *first come first service* dan prioritas ditunjukkan pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 masing-masing untuk respon waktu tunggu dan jumlah kapal yang menunggu. Dapat dilihat bahwa urutan pelayanan tidak mendominasi antar keduanya.

Tabel 5.10 Perbandingan *Service Order FCFS* dengan *Priority* untuk Respon Waktu Tunggu

Service Order FCFS		Service Order Priority	
Skenario	Waktu Tunggu	Waktu Tunggu	Skenario
Skenario 1	192.50	291.77	Skenario 9
Skenario 2	47.03	29.49	Skenario 10
Skenario 3	496.26	466.89	Skenario 11
Skenario 4	122.37	93.48	Skenario 12
Skenario 5	157.77	170.90	Skenario 13
Skenario 6	42.87	39.49	Skenario 14
Skenario 7	530.75	507.16	Skenario 15
Skenario 8	120.68	146.93	Skenario 16

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Tabel 5.11 Perbandingan *Service Order FCFS* dengan *Priority* untuk Respon Jumlah Kapal yang Menunggu

Service Order FCFS		Service Order Priority	
Skenario	Jumlah Kapal Menunggu	Jumlah Kapal Menunggu	Skenario
Skenario 1	9	10	Skenario 9
Skenario 2	5	5	Skenario 10
Skenario 3	14	14	Skenario 11
Skenario 4	11	9	Skenario 12
Skenario 5	9	10	Skenario 13
Skenario 6	5	5	Skenario 14
Skenario 7	14	14	Skenario 15
Skenario 8	10	11	Skenario 16

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Rata-rata waktu tunggu untuk urutan pelayanan dengan cara *first come first service* sebesar 213.56 jam sedangkan urutan pelayanan dengan cara prioritas sebesar 218.26 jam. Rata-rata jumlah kapal yang menunggu untuk keduanya sama besar yaitu 10 kapal. Penetapan skala prioritas dapat dipertimbangkan dari berbagai indikator atau berdasarkan tujuannya (Han et al., 2010; Golias et al., 2010). Prioritas dalam penelitian ini ditetapkan berdasarkan *windows slot* yang dimiliki, berbeda dengan prioritas berdasarkan ukuran atau volume kapal seperti yang dilakukan oleh Imai et al., (2003) dan Golias et al., (2009). Prioritas diberikan pada kapal yang memiliki *windows slot*.

Perbandingan alokasi *berth-yard* secara *independent* dan *dependent* dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13. Alokasi *berth-yard* secara *independent* menghasilkan jumlah kapal yang menunggu sebanyak 10 kapal dan rata-rata waktu tunggu sebesar 217.25 jam, sedangkan rata-rata jumlah kapal yang menunggu dengan cara *independent* sebanyak 10 kapal dengan waktu tunggu sebesar 214.57 jam. Pengaruh alokasi *berth_yard* tidak dapat dibedakan antara alokasi secara *independent* maupun *dependent*. Hasil ini memperkuat hasil penelitian yang dilakukan oleh Lee & Jin, (2013), Hendriks et al., (2013) dan Tao & Lee, (2015).

Tabel 5.12 Perbandingan *Berth-Yard Allocation Independent* dan *Dependent* untuk Respon Waktu Tunggu

<i>Berth yard Allocation Independent</i>		<i>Berth yard Allocation Dependent</i>	
Skenario	Waktu Tunggu	Waktu Tunggu	Skenario
Skenario 1	192.50	157.77	Skenario 5
Skenario 2	47.03	42.87	Skenario 6
Skenario 3	496.26	530.75	Skenario 7
Skenario 4	122.37	120.68	Skenario 8
Skenario 9	291.77	170.90	Skenario 13
Skenario 10	29.49	39.49	Skenario 14
Skenario 11	466.89	507.16	Skenario 15
Skenario 12	93.48	146.93	Skenario 16

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Tabel 5.13 Perbandingan *Berth-Yard Allocation Independent* dan *Dependent* untuk Respon Jumlah Kapal yang Menunggu

<i>Berth yard Allocation Independent</i>		<i>Berth yard Allocation Dependent</i>	
Skenario	Jumlah Kapal Menunggu	Jumlah Kapal Menunggu	Skenario
Skenario 1	9	9	Skenario 5
Skenario 2	5	5	Skenario 6
Skenario 3	14	14	Skenario 7
Skenario 4	11	10	Skenario 8
Skenario 9	10	10	Skenario 13
Skenario 10	5	5	Skenario 14
Skenario 11	14	14	Skenario 15
Skenario 12	9	11	Skenario 16

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Perbandingan alokasi *quay crane* secara *fixed* dan *flexible* ditunjukkan pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15. Alokasi secara *fixed* menghasilkan rata-rata waktu tunggu sebesar 217.25 jam, serta 214.57 jam untuk alokasi secara *flexible*. Rata-rata jumlah kapal yang menunggu sebanyak 8 kapal untuk alokasi secara *fixed* dan 13 kapal untuk alokasi secara *flexible*.

Tabel 5.14 Perbandingan *Quay Crane Allocation Fixed* dan *Flexible* untuk Respon Waktu Tunggu

<i>Quay Crane Fixed</i>		<i>Quay Crane Flexible</i>	
Skenario	Waktu Tunggu	Waktu Tunggu	Skenario
Skenario 1	192.50	496.26	Skenario 3
Skenario 2	47.03	122.68	Skenario 4
Skenario 5	157.77	530.75	Skenario 7
Skenario 6	42.87	120.68	Skenario 8
Skenario 9	291.77	466.89	Skenario 11
Skenario 10	29.49	93.48	Skenario 12
Skenario 13	170.90	507.16	Skenario 15
Skenario 14	39.49	146.93	Skenario 16

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Tabel 5.15 Perbandingan Quay Crane Allocation Fixed dan Flexible untuk Respon Jumlah Kapal yang Menunggu

<i>Quay Crane Fixed</i>		<i>Quay Crane Flexible</i>	
Skenario	Jumlah Kapal Menunggu	Jumlah Kapal Menunggu	Skenario
Skenario 1	9	14	Skenario 3
Skenario 2	5	11	Skenario 4
Skenario 5	9	14	Skenario 7
Skenario 6	5	10	Skenario 8
Skenario 9	10	14	Skenario 11
Skenario 10	5	9	Skenario 12
Skenario 13	10	14	Skenario 15
Skenario 14	5	11	Skenario 16

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Perbandingan waktu tunggu setiap skenario dengan kondisi eksisting ditunjukkan pada Tabel 5.16. Untuk respon waktu tunggu, skenario 2 menghasilkan rata-rata lebih kecil dibandingkan dengan skenario 1, skenario 4 menghasilkan rata-rata waktu tunggu lebih kecil dibandingkan dengan skenario 3, skenario 6 menghasilkan rata-rata waktu tunggu lebih kecil dibandingkan dengan skenario 5, dan seterusnya.

Tabel 5.16 Komparasi Waktu Menunggu dengan Kondisi Eskisting

Skenario	Total Waktu Menunggu (jam)					Rata-Rata
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	
Skenario-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Skenario-2	-129.05	-235.55	-61.83	-147.26	-153.67	-145.47
Skenario-3	492.80	210.45	306.91	230.16	278.46	303.76
Skenario-4	-33.70	-174.08	-45.90	-43.80	-53.15	-70.13
Skenario-5	-32.99	-114.33	-3.28	8.00	-31.04	-34.73
Skenario-6	-150.51	-215.66	-112.74	-143.23	-126.01	-149.63
Skenario-7	546.47	259.79	292.42	274.22	318.33	338.25
Skenario-8	-53.14	-164.39	-45.27	-59.35	-36.92	-71.82
Skenario-9	0.86	-87.26	6.50	96.37	479.88	99.27
Skenario-10	-147.78	-220.50	-139.80	-145.99	-160.99	-163.01
Skenario-11	303.18	169.05	318.70	258.03	323.00	274.39
Skenario-12	-78.22	-163.30	-86.47	-96.09	-71.02	-99.02
Skenario-13	50.04	-127.82	24.61	-18.72	-36.10	-21.60
Skenario-14	-138.55	-216.71	-134.78	-131.61	-143.40	-153.01
Skenario-15	388.20	207.63	392.02	277.34	308.12	314.66
Skenario-16	-59.44	-51.21	0.90	-34.80	-83.28	-45.57

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Perbedaan jumlah kapal yang menunggu setiap skenario dengan kondisi eksisting ditunjukkan pada Tabel 5.17. Skenario 2 menghasilkan rata-rata jumlah kapal yang menunggu lebih sedikit dibandingkan dengan skenario 1, skenario 4 menghasilkan rata-rata jumlah kapal yang menunggu lebih sedikit dibandingkan dengan skenario 3, skenario 6 menghasilkan rata-rata jumlah kapal yang menunggu lebih sedikit

dibandingkan dengan skenario 5, dan seterusnya. Skenario 3, 7, 9, 11 dan 15 menghasilkan rata-rata waktu tunggu yang lebih besar dibandingkan skenario 1.

Tabel 5.17 Komparasi Jumlah Kapal Menunggu Terhadap Skenario 1

Banyaknya kapal yang menunggu						
Skenario	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rata-Rata
Skenario 1	0	0	0	0	0	0
Skenario 2	-4	-6	-2	-4	-5	-5
Skenario 3	4	4	5	4	4	5
Skenario 4	5	-1	2	2	1	2
Skenario 5	1	-1	0	0	0	0
Skenario 6	-5	-5	-4	-4	-4	-5
Skenario 7	7	4	4	5	5	5
Skenario 8	1	-1	2	2	1	1
Skenario 9	1	-1	1	1	2	1
Skenario 10	-4	-5	-5	-4	-6	-5
Skenario 11	7	3	5	4	4	5
Skenario 12	2	-1	-1	-1	1	0
Skenario 13	1	-2	2	0	1	1
Skenario 14	-4	-6	-5	-4	-4	-5
Skenario 15	5	4	5	4	5	5
Skenario 16	1	1	2	1	1	2

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Setiap skenario menghasilkan nilai respon yang berbeda-beda. Tidak ada skenario yang dominan dibandingkan skenario lainnya. Oleh karena itu untuk menentukan skenario terbaik dilakukan secara bertahap. Pertama menentukan skenario terbaik pada setiap kapal untuk setiap respon. Tahap kedua menentukan skenario terbaik secara agregat. Penetapan skenario terbaik secara agregat dilakukan dengan dua cara, yaitu menentukan frekuensi tertinggi dari setiap kapal dan menggunakan nilai rata-rata keseluruhan. Setiap skenario dibandingkan dengan skenario 1 (kondisi eksisting).

Tabel 5.18 menunjukkan rata-rata waktu menunggu dari setiap skenario. Skenario 10 menghasilkan rata-rata waktu tunggu terendah yaitu 29.49 jam, rata-rata waktu tunggu terendah kedua adalah skenario 14 sebesar 39.49 jam, terendah ketiga adalah skenario 6 dengan rata-rata waktu tunggu sebesar 42.87 dan terendah keempat adalah skenario 2 dengan rata-rata waktu tunggu sebesar 47.03 jam. Hasil komparasi masing-masing skenario dengan skenario 1 ditunjukkan pada Tabel 5.19. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa skenario terbaik untuk kapal 1 adalah skenario 10 dengan rata-rata waktu tunggu sebesar 33.33 jam, dengan penurunan waktu tunggu sebesar 501.36 jam dibandingkan dengan skenario 1. Skenario yang terbaik untuk kapal 2

adalah skenario 10 dengan waktu tunggu sebesar 33.81 jam atau terjadi penurunan waktu tunggu sebesar 430.88 jam. Skenario terbaik dari setiap kapal ditandai dengan warna yang berbeda. Berdasarkan Tabel 5.18, dapat dilihat bahwa skenario 10 menghasilkan frekuensi tertinggi dibandingkan dengan skenario lainnya. Dengan demikian untuk respons waktu tunggu skenario yang terbaik adalah skenario 10.

Tabel 5.20 menunjukkan *output* setiap skenario dengan respons jumlah kapal yang menunggu, sedangkan Tabel 5.21 menunjukkan hasil komparasi setiap skenario dengan skenario 1. Kapal 1 menghasilkan jumlah kapal menunggu paling kecil yaitu sebanyak 5 kapal apabila menggunakan skenario 10 atau skenario 14 atau rata-rata kapal menunggu berkurang sebanyak 19 kapal (dari 24 kapal menjadi 5 kapal). Skenario 6, 10 dan 14 merupakan skenario terbaik untuk kapal 2 yang menghasilkan jumlah kapal yang menunggu sama banyaknya (4 kapal). Skenario yang terbaik untuk kapal 3 adalah skenario 10 dengan rata-rata banyaknya kapal yang menunggu sebanyak 3 kapal atau mengalami penurunan jumlah kapal yang menunggu sebanyak 17 kapal dibandingkan dengan skenario 1 (dari 20 kapal menjadi 3 kapal). Berdasarkan Tabel 5.21 dapat dilihat bahwa untuk respons jumlah kapal yang menunggu, skenario terbaik adalah skenario 10.

Berdasarkan total waktu tunggu skenario 10 memberikan rata-rata total terendah sebesar 29.49 jam, sedangkan berdasarkan jumlah kapal menunggu skenario 2, 6, 10 dan 14 menghasilkan rata-rata kapal menunggu terendah yaitu sebanyak 5 kapal. Apabila dilihat dari jumlah kapal yang menunggu secara keseluruhan skenario 10 menghasilkan jumlah kapal yang menunggu terendah yaitu sebanyak 117 kapal. Berdasarkan *output* pada kedua respons (waktu dan jumlah kapal yang menunggu) menunjukkan bahwa skenario 10 merupakan skenario yang terbaik.

Skenario 10 merupakan kombinasi dari *service_order* bersifat prioritas; alokasi *berth_yard* bersifat *independent*; alokasi *crane* bersifat *fixed*; strategi yang digunakan adalah strategi kolaborasi. Berdasarkan tabel Anova diperoleh bahwa alokasi *crane* dan pemilihan *strategy* memiliki pengaruh individual yang signifikan terhadap kedua respon baik waktu tunggu maupun jumlah kapal yang menunggu. Hasil ini memperkuat penelitian sebelumnya bahwa alokasi *crane* berpengaruh terhadap waktu tunggu kapal

(Liang et al., 2009; Han et al., 2010). *Quay crane* merupakan sumber daya yang memiliki pengaruh signifikan pada terminal *container* (Bierwirth & Meisel, 2010). Penelitian ini juga mengkonfirmasi bahwa alokasi *crane* yang fleksible harus mempertimbangkan waktu untuk proses pemindahan sehingga tidak mengganggu *crane* lain yang sedang melakukan kegiatan bongkar muat dan mengusulkan untuk menggunakan waktu istirahat (*break time*) untuk melakukan perpindahan dan mempertimbangkan waktu *set up* untuk pemindahan *crane* (Han et al., 2010).

Berdasarkan hasil di atas, skenario terbaik adalah skenario 10, dan tiga scenario terbaik berikutnya berturut-turut adalah skenario 14, skenario 6, dan skenario 2, dimana seluruh skenario tersebut merupakan skenario dengan kombinasi *crane* secara *fixed* dan strategi kolaborasi.

Tabel 5.18 *Output* dengan Respon Waktu Tunggu

Rata-Rata Waktu Menunggu (R1-R5)																
Kapal	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16
K1	549.63	67.02	1424.14	45.35	473.99	47.26	1540.83	140.90	972.35	33.33	1286.13	104.26	423.36	42.46	1511.12	153.02
K2	433.36	35.80	1416.79	100.47	414.58	42.56	1393.78	118.97	900.36	33.81	1128.26	105.30	445.34	48.76	1247.87	177.36
K3	550.48	44.84	1405.33	87.12	446.85	39.18	1468.11	124.16	901.51	29.45	1133.67	96.03	373.73	48.92	1266.82	167.93
K4	689.52	72.06	1488.99	163.48	559.98	45.43	1814.99	164.43	614.98	39.41	1566.79	139.96	503.12	40.00	1790.57	201.18
K5	461.63	51.98	1396.18	98.69	372.50	60.46	1308.98	102.66	758.19	30.82	1116.67	80.82	454.11	46.88	1312.53	197.44
K6	464.39	29.29	1217.39	82.09	309.96	29.65	1133.07	126.86	757.16	43.12	793.38	64.96	312.01	47.49	1204.26	129.50
K7	413.08	30.90	1155.59	154.02	275.26	47.29	1111.99	113.07	588.95	39.31	1117.28	87.81	304.72	45.22	1164.98	126.52
K8	403.87	50.53	1003.71	135.97	316.85	36.47	1209.59	98.13	612.30	46.56	884.43	55.68	300.65	41.67	920.50	161.73
K9	481.98	33.90	1099.96	141.87	378.53	30.79	1167.49	154.08	769.27	30.90	927.57	66.77	324.75	32.78	1275.29	156.58
K10	293.45	45.07	582.50	173.71	301.40	28.24	792.79	83.37	664.66	28.03	790.16	41.15	229.76	28.69	766.92	104.09
K11	38.23	38.50	95.41	45.35	18.97	22.58	100.02	69.58	29.85	26.73	71.89	76.94	58.11	30.97	82.78	94.62
K12	25.69	26.48	70.72	100.47	34.19	27.91	121.39	87.85	44.82	16.70	98.32	94.30	48.28	47.11	93.15	125.18
K13	3.49	20.56	35.40	87.12	8.31	29.43	57.48	99.19	3.31	9.70	52.79	92.58	15.34	4.45	25.50	98.86
K14	44.60	63.56	192.96	163.48	49.21	48.84	154.61	165.67	75.45	26.30	231.95	99.00	105.05	50.70	158.27	162.31
K15	2.86	17.22	41.46	98.69	3.02	8.93	45.86	68.54	7.92	11.60	45.53	81.37	8.27	8.23	60.72	69.73
K16	40.31	57.37	65.56	82.09	25.72	37.33	148.15	81.45	38.94	27.10	174.82	63.80	58.93	50.33	88.23	112.05
K17	72.73	55.27	160.10	154.02	45.72	63.28	223.05	153.66	102.32	36.93	228.69	116.70	104.93	46.28	202.82	203.22
K18	78.40	47.53	133.32	135.97	44.20	46.53	162.89	143.13	61.79	32.85	159.67	95.19	80.09	41.03	154.02	175.96
K19	59.92	71.65	142.41	141.87	74.85	56.23	200.16	141.42	73.17	57.16	211.91	96.89	117.11	57.52	175.01	168.59
K20	69.31	68.80	136.99	173.71	36.21	37.72	172.94	134.11	36.30	32.60	179.13	126.62	82.43	43.11	118.35	181.70
K21	77.29	72.96	173.61	163.13	58.59	87.78	182.13	153.35	72.89	30.33	200.30	125.58	80.07	43.95	156.57	198.87
K22	39.90	56.20	144.97	113.38	47.37	43.40	108.75	145.37	57.12	23.97	172.65	110.39	84.97	21.72	137.06	160.32
K23	58.82	29.02	65.55	98.09	32.93	55.89	74.87	86.59	44.31	17.15	82.14	85.77	41.50	37.16	93.10	122.35
K24	4.63	12.88	43.82	96.11	11.48	18.48	48.71	75.92	2.71	13.65	35.58	81.26	12.64	7.64	51.82	84.05
K25	40.85	48.13	143.74	147.16	48.20	66.97	108.34	112.63	47.81	19.06	160.55	92.93	72.28	40.09	132.01	134.87
K26	38.14	41.22	126.44	95.62	44.37	50.06	158.15	114.44	60.67	20.36	219.29	99.31	85.26	51.75	146.02	155.78
K27	52.12	25.53	110.86	170.00	29.07	28.05	58.11	156.61	23.66	23.14	71.32	147.47	29.89	21.67	108.86	72.69
K28	53.00	70.07	148.51	109.34	56.81	55.82	155.97	149.00	65.65	31.00	195.21	79.44	97.30	53.73	111.42	187.29
K29	40.83	79.44	169.03	124.04	56.30	50.63	168.38	134.72	72.94	44.09	203.82	102.68	102.19	64.93	151.09	177.31
Rata2	193.03	47.03	496.26	120.08	157.77	42.87	530.75	120.68	291.77	29.49	466.89	93.48	170.90	39.49	507.16	146.93

Tabel 5.19 Perbandingan dengan Kondisi Eksisting (Skenario 1) untuk Respon Waktu Tunggu

Kapal	Rata-Rata <i>Waiting Time</i> (dibandingkan dengan existing (skenario-1))															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
K1	0.00	-482.61	874.51	-504.29	-75.65	-502.37	991.20	-408.73	422.71	-516.30	736.49	-445.38	-126.28	-507.17	961.49	-396.61
K2	0.00	-397.56	983.43	-332.89	-18.77	-390.80	960.43	-314.39	467.00	-399.54	694.90	-328.06	11.98	-384.60	814.51	-256.00
K3	0.00	-505.64	854.85	-463.36	-103.63	-511.31	917.63	-426.32	351.03	-521.04	583.19	-454.46	-176.75	-501.56	716.34	-382.55
K4	0.00	-617.46	799.48	-526.04	-129.54	-644.09	1125.48	-525.09	-74.54	-650.11	877.28	-549.56	-186.40	-649.52	1101.05	-488.34
K5	0.00	-409.65	934.56	-362.93	-89.13	-401.17	847.35	-358.97	296.56	-430.81	655.04	-380.81	-7.52	-414.75	850.90	-264.19
K6	0.00	-435.10	753.00	-382.30	-154.43	-434.74	668.68	-337.53	292.77	-421.27	328.99	-399.43	-152.38	-416.90	739.87	-334.89
K7	0.00	-382.18	742.51	-259.05	-137.82	-365.79	698.92	-300.01	175.87	-373.77	704.21	-325.27	-108.35	-367.86	751.90	-286.56
K8	0.00	-353.34	599.84	-267.90	-87.02	-367.40	805.72	-305.74	208.43	-357.31	480.56	-348.19	-103.22	-362.20	516.63	-242.14
K9	0.00	-448.08	617.98	-340.11	-103.45	-451.19	685.51	-327.90	287.29	-451.08	445.60	-415.20	-157.23	-449.19	793.31	-325.40
K10	0.00	-248.39	289.05	-119.74	7.95	-265.21	499.34	-210.09	371.21	-265.42	496.71	-252.30	-63.70	-264.76	473.46	-189.36
K11	0.00	0.27	57.18	7.11	-19.26	-15.65	61.79	31.35	-8.39	-11.50	33.66	38.71	19.88	-7.26	44.55	56.39
K12	0.00	0.79	45.03	74.78	8.51	2.22	95.70	62.16	19.14	-8.99	72.63	68.61	22.59	21.42	67.46	99.49
K13	0.00	17.07	31.91	83.63	4.82	25.94	53.99	95.70	-0.18	6.21	49.30	89.09	11.85	0.96	22.01	95.37
K14	0.00	18.96	148.36	118.88	4.61	4.25	110.01	121.07	30.86	-18.30	187.35	54.40	60.45	6.10	113.67	117.72
K15	0.00	14.35	38.60	95.83	0.15	6.06	43.00	65.68	5.06	8.74	42.67	78.50	5.40	5.37	57.86	66.87
K16	0.00	17.06	25.25	41.78	-14.59	-2.98	107.84	41.14	-1.37	-13.21	134.51	23.49	18.62	10.02	47.92	71.74
K17	0.00	-17.46	87.37	81.29	-27.01	-9.45	150.31	80.93	29.59	-35.81	155.96	43.97	32.20	-26.45	130.09	130.48
K18	0.00	-30.87	54.92	57.57	-34.21	-31.87	84.49	64.73	-16.61	-45.55	81.27	16.79	1.69	-37.37	75.62	97.56
K19	0.00	11.73	82.49	81.95	14.93	-3.70	140.24	81.50	13.25	-2.76	151.98	36.97	57.19	-2.40	115.09	108.67
K20	0.00	-0.51	67.68	104.40	-33.09	-31.59	103.64	64.80	-33.01	-36.71	109.82	57.31	13.12	-26.19	49.05	112.39
K21	0.00	-4.33	96.32	85.85	-18.69	10.50	104.85	76.06	-4.40	-46.96	123.01	48.30	2.78	-33.33	79.29	121.58
K22	0.00	16.30	105.07	73.48	7.47	3.50	68.85	105.47	17.22	-15.93	132.76	70.49	45.08	-18.18	97.17	120.42
K23	0.00	-29.79	6.73	39.27	-25.89	-2.93	16.05	27.77	-14.51	-41.66	23.32	26.96	-17.31	-21.66	34.28	63.53
K24	0.00	8.26	39.19	91.48	6.85	13.85	44.08	71.29	-1.92	9.02	30.95	76.63	8.01	3.01	47.19	79.42
K25	0.00	7.27	102.88	106.31	7.35	26.12	67.49	71.78	6.95	-21.79	119.70	52.08	31.43	-0.76	91.16	94.01
K26	0.00	3.08	88.30	57.48	6.24	11.93	120.01	76.30	22.54	-17.77	181.15	61.17	47.12	13.61	107.89	117.65
K27	0.00	-26.59	58.74	117.88	-23.05	-24.06	5.99	104.49	-28.46	-28.98	19.20	95.35	-22.23	-30.45	56.74	20.57
K28	0.00	17.07	95.51	56.34	3.81	2.82	102.97	96.01	12.65	-22.00	142.21	26.44	44.30	0.74	58.43	134.30
K29	0.00	38.61	128.20	83.21	15.47	9.80	127.55	93.89	32.11	3.26	162.99	61.85	61.36	24.10	110.26	136.48

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Tabel 5.20 Output dengan Respons Jumlah Kapal yang Menunggu

Kapal	Jumlah Kapal yang Menunggu															
	Skenario															
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16
K1	24	6	30	13	22	7	31	12	27	5	29	8	21	5	30	11
K2	19	5	27	12	21	4	27	10	21	4	28	8	21	4	26	10
K3	20	5	28	11	22	4	29	11	22	3	26	9	17	4	29	11
K4	26	6	30	15	27	5	33	15	21	6	31	13	21	5	35	13
K5	18	4	26	10	19	6	26	9	19	5	26	8	23	5	27	11
K6	19	3	24	10	16	4	25	9	17	5	18	8	16	4	24	11
K7	16	4	18	7	13	4	20	8	16	5	23	7	14	4	22	7
K8	15	5	21	6	14	4	23	7	15	4	19	5	16	4	19	9
K9	19	4	25	12	17	4	24	11	20	4	22	7	19	3	26	11
K10	15	5	19	9	16	5	22	7	21	4	22	5	16	4	19	8
K11	3	3	5	7	2	3	6	6	2	3	6	6	5	4	4	7
K12	3	3	5	7	4	3	6	7	4	3	7	7	3	4	5	10
K13	1	4	4	11	2	5	7	12	2	2	7	11	2	2	4	10
K14	5	6	9	12	6	5	8	13	6	4	11	8	5	5	9	10
K15	2	3	5	11	1	3	5	9	1	3	6	8	2	3	8	9
K16	4	5	6	7	3	4	7	7	4	3	7	7	4	5	6	7
K17	5	6	8	12	5	6	10	13	6	5	10	11	6	5	9	12
K18	5	6	9	13	5	5	7	11	6	4	9	9	5	5	7	12
K19	5	6	9	11	5	5	8	11	6	6	10	10	6	6	9	10
K20	3	6	9	14	4	4	9	9	3	4	7	11	5	5	8	11
K21	6	7	9	14	5	8	10	11	7	4	10	11	5	6	9	11
K22	4	7	7	9	4	3	7	10	5	4	8	10	4	3	8	10
K23	4	3	7	8	3	5	5	9	4	3	5	8	3	4	6	7
K24	1	3	7	13	2	3	6	10	1	3	6	10	2	2	6	10
K25	4	5	7	10	4	5	6	9	5	3	8	9	4	5	6	9
K26	4	5	7	9	4	5	7	9	4	4	8	7	6	6	8	10
K27	6	4	12	13	5	5	6	14	4	4	9	14	4	4	9	11
K28	6	7	8	10	6	6	8	13	5	5	9	7	6	6	9	12
K29	5	7	8	11	6	5	9	11	6	5	10	9	6	6	9	13
Rata2	10	5	14	11	10	5	14	11	10	5	14	9	10	5	14	11

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Tabel 5.21 Perbandingan dengan Kondisi Eksisting (Skenario 1) untuk Respon Jumlah Kapal Menunggu

Kapal	Jumlah Kapal yang Menunggu compare to existing (skenario-1)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
K1	0	-18	6	-11	-2	-17	7	-12	3	-19	5	-16	-3	-19	6	-13
K2	0	-14	8	-7	2	-15	8	-9	2	-15	9	-11	2	-15	7	-9
K3	0	-15	8	-9	2	-16	9	-9	2	-17	6	-11	-3	-16	9	-9
K4	0	-20	4	-11	1	-21	7	-11	-5	-20	5	-13	-5	-21	9	-13
K5	0	-14	8	-8	1	-12	8	-9	1	-13	8	-10	5	-13	9	-7
K6	0	-16	5	-9	-3	-15	6	-10	-2	-14	-1	-11	-3	-15	5	-8
K7	0	-12	2	-9	-3	-12	4	-8	0	-11	7	-9	-2	-12	6	-9
K8	0	-10	6	-9	-1	-11	8	-8	0	-11	4	-10	1	-11	4	-6
K9	0	-15	6	-7	-2	-15	5	-8	1	-15	3	-12	0	-16	7	-8
K10	0	-10	4	-6	1	-10	7	-8	6	-11	7	-10	1	-11	4	-7
K11	0	0	2	4	-1	0	3	3	-1	0	3	3	2	1	1	4
K12	0	0	2	4	1	0	3	4	1	0	4	4	0	1	2	7
K13	0	3	3	10	1	4	6	11	1	1	6	10	1	1	3	9
K14	0	1	4	7	1	0	3	8	1	-1	6	3	0	0	4	5
K15	0	1	3	9	-1	1	3	7	-1	1	4	6	0	1	6	7
K16	0	1	2	3	-1	0	3	3	0	-1	3	3	0	1	2	3
K17	0	1	3	7	0	1	5	8	1	0	5	6	1	0	4	7
K18	0	1	4	8	0	0	2	6	1	-1	4	4	0	0	2	7
K19	0	1	4	6	0	0	3	6	1	1	5	5	1	1	4	5
K20	0	3	6	11	1	1	6	6	0	1	4	8	2	2	5	8
K21	0	1	3	8	-1	2	4	5	1	-2	4	5	-1	0	3	5
K22	0	3	3	5	0	-1	3	6	1	0	4	6	0	-1	4	6
K23	0	-1	3	4	-1	1	1	5	0	-1	1	4	-1	0	2	3
K24	0	2	6	12	1	2	5	9	0	2	5	9	1	1	5	9
K25	0	1	3	6	0	1	2	5	1	-1	4	5	0	1	2	5
K26	0	1	3	5	0	1	3	5	0	0	4	3	2	2	4	6
K27	0	-2	6	7	-1	-1	0	8	-2	-2	3	8	-2	-2	3	5
K28	0	1	2	4	0	0	2	7	-1	-1	3	1	0	0	3	6
K29	0	2	3	6	1	0	4	6	1	0	5	4	1	1	4	8
Total	267	143	389	307	263	135	397	293	280	117	397	251	267	128	396	293
Rata2	10	5	14	11	10	5	14	11	10	5	14	9	10	5	14	11

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

5.3.4. Ship Calls dan Queuing Time

Analisis *queuing time*, *handling time* dan *turnaround time* hanya dilakukan dengan membandingkan kondisi eksisting (skenario 1) dengan skenario terbaik (skenario 10). Tabel 5.22 menunjukkan jumlah kapal yang *berthing* di setiap dermaga dari kedua strategi. Dermaga 1 dan 2 merupakan dermaga yang berada di terminal 1, sedangkan dermaga 3 sampai dermaga 9 merupakan dermaga yang berada di terminal 2. Strategi kolaborasi menyebabkan jumlah *ship calls* di dermaga 1 mengalami penurunan sebanyak 40 *calls* dan dermaga 2 mengalami penurunan sebanyak 33 *calls*. Sebaliknya di terminal 2 terdapat peningkatan *ship calls* di dermaga 6, 8 dan 9 dengan besarnya peningkatan berturut-turut sebanyak 19, 41 dan 24 *calls*. Sedangkan dermaga lainnya tidak mengalami perubahan yang signifikan.

Tabel 5.22 Jumlah *Ship Calls* (Strategi Kolaborasi dan Non Kolaborasi)

	Non Collaboration						Collaboration					
	Replikasi						Replikasi					
	1	2	3	4	5	Average	1	2	3	4	5	Average
Dermaga 1	185	172	194	193	186	186	161	154	111	155	146	146
Dermaga 2	181	191	177	193	188	186	161	148	152	151	153	153
Dermaga 3	87	132	121	134	131	121	137	118	147	136	92	126
Dermaga 4	85	138	148	132	88	119	108	108	125	138	107	118
Dermaga 5	136	119	103	116	138	123	151	105	107	153	127	129
Dermaga 6	142	87	139	87	143	120	119	150	151	114	158	139
Dermaga 7	132	129	120	146	101	126	98	164	112	101	146	125
Dermaga 8	136	114	97	101	98	110	152	149	156	156	139	151
Dermaga 9	92	91	77	92	116	94	109	104	141	99	136	118
Total	1176	1173	1176	1194	1189		1196	1200	1202	1203	1204	

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Penurunan *ship calls* di terminal 1 mengindikasikan bahwa kepadatan di terminal tersebut lebih tinggi dibandingkan di terminal 2. Dengan adanya kolaborasi, kapal yang semula harus menunggu di terminal 1 dapat dilayani di terminal 2, sehingga waktu tunggu menjadi lebih pendek.

Perbedaan waktu tunggu antara strategi kolaborasi dan non kolaborasi dapat dilihat pada Tabel 5.23. Total waktu tunggu terjadi penurunan secara signifikan pada kapal yang semula hanya *berthing* di terminal 1 (kapal 1-10). Strategi kolaborasi menurunkan waktu tunggu rata-rata kapal 1-10 sebesar 438.67 jam. Untuk kapal yang semula hanya *berthing* di terminal 2, beberapa kapal mengalami peningkatan waktu

tunggu, seperti kapal 13, 15, 24 dan 29. Meskipun tidak semua kapal mengalami penurunan, tetapi secara keseluruhan waktu tunggu di terminal 2 mengalami penurunan rata-rata sebesar 17.93 jam. Secara keseluruhan dengan menerapkan strategi kolaborasi akan menurunkan waktu tunggu sebesar 163.01 jam.

Tabel 5.23 Waktu Tunggu Kapal (Strategi Kolaborasi dan Non Kolaborasi)

Waiting Time					
Windows	Non Collaboration	Collaboration	Windows	Non Collaboration	Collaboration
K1	549.63	33.33	K16	40.31	27.10
K2	433.36	33.81	K17	72.73	36.93
K3	550.48	29.45	K18	78.40	32.85
K4	689.52	39.41	K19	59.92	57.16
K5	461.63	30.82	K20	69.31	32.60
K6	464.39	43.12	K21	77.29	30.33
K7	413.08	39.31	K22	39.90	23.97
K8	403.87	46.56	K23	58.82	17.15
K9	481.98	30.90	K24	4.63	13.65
K10	293.45	28.03	K25	40.85	19.06
K11	38.23	26.73	K26	38.14	20.36
K12	25.69	16.70	K27	52.12	23.14
K13	3.49	9.70	K28	53.00	31.00
K14	44.60	26.30	K29	40.83	44.09
K15	2.86	11.60			

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

5.3.5. Handling Time

Handling time untuk kedua strategi ditunjukkan pada Tabel 5.24 Secara keseluruhan terjadi peningkatan *handling time* sebesar 26.72 jam. Kapal yang semula *berthing* di terminal 1 seluruhnya mengalami peningkatan *handling time* kecuali kapal 7 yang mengalami penurunan sebesar 8.87 jam. Kapal yang semula *berthing* di terminal 1 mengalami peningkatan *handling time* rata-rata sebesar 91.34 jam. Kapal yang semula *berthing* di terminal 2 ada yang mengalami peningkatan dan ada juga yang mengalami penurunan *handling time* secara berimbang. *Handling time* kapal yang semula *berthing* di terminal 2 rata-rata mengalami penurunan sebesar 7.29 jam.

Tabel 5.24 *Handling Time*

<i>Handling Time</i>					
<i>Windows</i>	<i>Non Collaboration</i>	<i>Collaboration</i>	<i>Windows</i>	<i>Non Collaboration</i>	<i>Collaboration</i>
K1	1839.81	1935.88	K16	1978.20	1980.94
K2	1358.00	1435.11	K17	1006.17	1048.24
K3	983.26	1080.02	K18	1494.81	1416.30
K4	690.77	756.47	K19	324.85	337.26
K5	1251.81	1345.68	K20	778.17	838.17
K6	862.80	898.83	K21	1388.61	1418.37
K7	527.71	518.84	K22	1551.77	1533.18
K8	850.57	994.84	K23	2726.54	2454.19
K9	1119.77	1250.09	K24	1228.70	1245.86
K10	2099.02	2281.18	K25	1595.46	1667.66
K11	1506.39	1568.82	K26	482.29	521.69
K12	2306.68	2164.25	K27	627.07	644.54
K13	2077.80	2050.83	K28	1168.99	1143.16
K14	1042.35	970.86	K29	872.02	911.15
K15	1639.51	1742.47			

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

5.3.6. Turnaround time

Turnaround time untuk strategi kolaborasi dan non kolaborasi ditunjukkan dalam Tabel 5.25. Kapal 1-10 mengalami penurunan *turnaround time* sebesar 343.98 jam, sedangkan kapal 11-29 mengalami penurunan sebesar 25.87 jam. Meskipun ada kapal yang *turnaround time*-nya mengalami peningkatan (kapal 11, 15, 17, 19, 20, 24, 25, 26 dan 29) secara keseluruhan *turnaround time* mengalami penurunan rata-rata sebesar 135.56 jam.

Tabel 5.25 *Turnaround Time*

<i>Turnaround Time</i>					
<i>Windows</i>	<i>Non Collaboration</i>	<i>Collaboration</i>	<i>Windows</i>	<i>Non Collaboration</i>	<i>Collaboration</i>
K1	2490.85	2075.75	K16	2090.21	2076.59
K2	1871.35	1552.12	K17	1181.82	1189.26
K3	1607.18	1191.86	K18	1664.20	1529.13
K4	1470.86	894.53	K19	465.07	474.78
K5	1792.48	1458.62	K20	922.61	950.07
K6	1391.33	1004.28	K21	1559.54	1549.66
K7	996.89	616.68	K22	1672.50	1634.35
K8	1309.29	1098.96	K23	2854.79	2542.70
K9	1676.79	1353.78	K24	1337.92	1364.63
K10	2462.26	2382.92	K25	1717.28	1768.29
K11	1604.46	1654.34	K26	587.78	608.56
K12	2396.90	2242.70	K27	784.38	771.79
K13	2187.67	2168.77	K28	1317.47	1260.05
K14	1170.95	1082.39	K29	1000.56	1044.99
K15	1748.19	1859.69			

Kapal yang mengalami peningkatan *turnaround time* seluruhnya merupakan kapal yang memiliki *windows* di terminal 2. Peningkatan tersebut dimungkinkan berasal dari penambahan kapal yang berasal dari kapal yang memiliki *windows* di terminal 1.

5.3.7. *Shifting Container* dan Kapal

Kolaborasi menimbulkan konsekuensi terjadinya pergeseran (*shifting*) kapal yang semula *berthing* di terminal 1 pindah ke terminal 2, demikian juga sebaliknya. Perpindahan tersebut secara otomatis menyebabkan terjadi perpindahan *container* (*loading dan unloading*) yang dibawa oleh kapal tersebut. Jumlah kapal yang *berthing* di terminal 1 dan 2 ditunjukkan pada Tabel 5.26. Strategi non kolaborasi menghasilkan kapal yang *berthing* di terminal sebanyak 372 kapal, sedangkan terminal 2 sebanyak 810 kapal. Strategi kolaborasi menghasilkan kapal yang *berthing* di terminal sebanyak 299 kapal, sedangkan terminal 2 sebanyak 910 kapal. Terminal 1 mengalami penurunan kapal yang dilayani sebesar 73 kapal (dari 372 kapal menjadi 299 kapal). Demikian juga di terminal 2, terjadi peningkatan kapal yang dilayani sebanyak 100 kapal (dari 810 kapal menjadi 910 kapal). Secara total kapal yang dilayani dengan strategi non kolaborasi sebanyak 1182 kapal dan strategi kolaborasi melayani sebanyak 1209 kapal, atau terjadi peningkatan sebanyak 27 kapal. Karena jumlah kapal yang dilayani tidak tergantung pada strategi yang diterapkan, maka kenaikan sebesar 27 kapal diduga akibat efek dari random.

Tabel 5.26 *Shifting* Kapal

Replikasi	Terminal 1		Terminal 2	
	<i>Non Collaboration</i>	<i>Collaboration</i>	<i>Non Collaboration</i>	<i>Collaboration</i>
R1	366	322	810	874
R2	363	302	810	898
R3	371	263	805	939
R4	386	306	808	897
R5	374	299	815	905
Rata-Rata	372	299	810	910
Total				
<i>Non Collaboration</i>	1182			
<i>Collaboration</i>	1209			

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Container loading dan unloading yang dilayani di kedua terminal dengan strategi non kolaborasi ditunjukkan pada Tabel 5.27. Terminal 1 melayani rata-rata 423,803 *container*, sedangkan terminal 2 rata-rata melayani 908,093 *container* atau total sebanyak 1,331,896 *container*.

Tabel 5.27 *Container Unloading dan Loading* dengan Strategi Non Kolaborasi

Terminal 1				Terminal 2		
Replikasi	Unloading	Loading	Total	Unloading	Loading	Total
1	207,812	214,167	421,979	460,256	453,648	913,904
2	205,818	212,317	418,135	463,169	454,267	917,436
3	206,827	217,346	424,173	460,850	447,993	908,843
4	206,096	224,390	430,486	445,034	449,022	894,056
5	206,898	217,343	424,241	450,867	455,358	906,225
Average			423,803	Average		908,093

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Container yang dilayani dengan strategi kolaborasi di terminal 1 dan terminal 2 ditunjukkan pada Tabel 5.28. Terminal 1 melayani sebanyak 342,233 *container* dengan rincian 296,041 *container* berasal dari kapal 1-10 (kapal yang memiliki *windows* di terminal 1) dan 46,192 berasal dari kapal 11-29 (kapal yang memiliki *windows* di terminal 2 tetapi *berthing* di terminal 1). Terminal 2 melayani sebanyak 1,012,659 *container*, 862,768 *container* berasal dari kapal 11-29, sedangkan 149,871 *container* berasal dari kapal 1-10 yang *berthing* di terminal 2. Strategi kolaborasi menyebabkan *container* yang dilayani di terminal 1 mengalami penurunan sebesar 81.540 *container*. Sebaliknya, di terminal 2 terjadi peningkatan sebesar 104,566 *container*. Peningkatan sebesar 22,997 *container* diduga adanya efek random.

Terjadinya pergeseran kapal yang *berthing* dari terminal 1 ke terminal 2 dan sebaliknya, dan jumlah *container* yang dibawa oleh kapal tersebut menimbulkan perubahan *revenue* atau *profit* dari kedua terminal. Oleh karena itu perlu disusun skema pembagian *revenue/profit* untuk kedua terminal agar diperoleh solusi yang menguntungkan semua pihak. Skema pembagian *revenue/profit* dibahas dalam bab selanjutnya.

Tabel 5.28 *Container Unloading dan Loading* dengan Strategi Kolaborasi

Repl	Terminal 1			Terminal 2		
	Unloading	Loading	Total	Unloading	Loading	Total
1	148,070	165,404	313,474	59,570	68,721	128,291
2	137,330	150,515	287,845	81,359	82,834	164,193
3	127,186	143,067	270,253	83,938	92,272	176,210
4	146,504	152,552	299,056	67,988	74,973	142,961
5	153,286	156,292	309,578	61,847	75,953	137,800
Average			296,041	Average		149,891
Repl	Berasal dari Terminal 2			Berasal dari Terminal 1		
	Unloading	Loading	Total	Unloading	Loading	Total
1	27,915	26,021	53,936	417,292	424,044	841,336
2	28,031	28,391	56,422	434,862	424,847	859,709
3	13,618	13,994	27,612	438,034	439,870	877,904
4	25,564	25,845	51,409	441,645	433,855	875,500
5	19,419	22,162	41,581	430,342	429,049	859,391
Average			46,192	Average		862,768
Total T1			342,233	Total T2		1,012,659

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

5.4. Kesimpulan

Berdasarkan empat faktor yang dipertimbangkan dalam menyusun skenario, dua faktor yaitu alokasi *crane* dan strategi memberikan pengaruh individual yang signifikan terhadap waktu dan jumlah kapal yang menunggu. Meskipun dua faktor lainnya tidak memberikan pengaruh individual yang signifikan, namun interaksi dua faktor dan interaksi tiga faktor memberikan pengaruh yang signifikan. Oleh karena itu alokasi secara simultan dari semua faktor yang dipertimbangkan dapat memberikan pengaruh yang signifikan untuk kedua respon yaitu waktu dan jumlah kapal yang menunggu.

Secara umum strategi kolaborasi menghasilkan waktu dan jumlah kapal yang menunggu lebih baik dibandingkan dengan strategi non kolaborasi, dan alokasi *crane* secara *fixed* menghasilkan waktu dan jumlah kapal yang menunggu lebih baik dibandingkan dengan alokasi *crane* secara *flexible*. Interaksi antar kedua faktor tersebut memberikan pengaruh yang signifikan pada kedua respon.

Skenario 10 atau skenario kombinasi dari *service_order* dengan cara prioritas; alokasi *berth_yard* bersifat *independent*; alokasi *crane* bersifat *fixed*; strategi yang digunakan adalah strategi kolaborasi, merupakan skenario terbaik dengan

menghasilkan rata-rata penurunan *turnaround time* sebesar 135.56 jam per kapal per tahun.

BAB 6

SKEMA *PROFIT SHARING* DALAM KOLABORASI

6.1. Pengaruh *Shifting Kapal dan Container Terhadap Profit*

Kolaborasi menghasilkan pengaruh terhadap menurunnya waktu dan jumlah kapal yang menunggu. Berkurangnya waktu tunggu kapal secara otomatis mengurangi *turnaround time*. Kolaborasi juga dapat meningkatkan fleksibilitas pelayanan karena kapal tidak lagi harus tergantung pada terminal dimana *shipping lines* memiliki *windows*. Dengan kolaborasi kapal bisa sandar di dermaga manapun asal dermaga tersedia.

Pada sisi lain, kolaborasi menimbulkan konsekuensi terjadinya perpindahan lokasi *berthing* dari dermaga asal (dermaga dimana kapal memiliki kontrak/*windows*) ke dermaga lain. Konsekuensi lainnya adalah terjadinya perpindahan lokasi bongkar muat *container* dari dan menuju kapal tersebut, penggunaan *quay crane*, penggunaan peralatan transportasi dan lokasi yang digunakan sebagai tempat penumpukkan *container*.

Perubahan-perubahan tersebut berpengaruh secara langsung terhadap *revenue* atau *profit* pada setiap terminal (Imai et al., 2008). Perubahan tersebut perlu diidentifikasi sehingga bisa diketahui besarnya pergeseran *revenue/profit* dari sebelum dan sesudah kolaborasi. Agar kolaborasi dapat memberikan manfaat dan memberikan keuntungan terhadap semua pihak, maka perlu dibuat skema pembagian keuntungan (*profit sharing* atau *profit redistribution*).

6.2. Model *Profit Sharing*

Permasalahan yang sering dihadapi dalam kolaborasi adalah bagaimana mendistribusikan atau membagi *profit* atau risiko kepada semua pihak secara adil (Yilmaz et al., 2017). Akan tetapi tidak mudah untuk memenuhi rasa keadilan (*fairness*) bagi semua pihak karena terdapat perbedaan definisi dan konsep *fairness*.

Menurut Yilmaz et al., (2017) definisi dan konsep *fairness* yang paling umum dipakai adalah setiap pihak tidak harus selalu mendapatkan bagian dalam jumlah yang sama. *Fairness* dapat ditentukan dengan berbagai cara, misalnya berdasarkan besarnya kontribusi yang diberikan atau berdasarkan *capacity sharing* dari setiap pihak (Valeria et al., 2017).

Valeria et al., (2017) mengembangkan tiga cara untuk menentukan besarnya proporsi *profit sharing* dari masing-masing pihak dengan cara menghitung besarnya kontribusi berdasarkan nilai rasio. Nilai rasio dihitung berdasarkan biaya atau berdasarkan pendapatan. Menurut Valeria et al., (2017) ada tiga cara menentukan nilai rasio yang dapat digunakan untuk menentukan proporsi dari pihak yang berkolaborasi. Pertama, rasio *cost (gains)* dari semua pihak apabila mereka tidak melakukan kolaborasi. Kedua, *partial square ratio*, yang merupakan kuadrat dari rasio yang dihasilkan dari cara yang pertama. Ketiga, *collaborative square ratio*, merupakan rasio dari *cost (gains)* apabila mereka berkolaborasi.

Frisk et al., (2010) mengusulkan skema yang hampir sama dengan Valeria et al., (2017) tetapi dengan terminologi yang berbeda, yaitu alokasi berdasarkan proporsi *cost/gains* apabila mereka berdiri sendiri, alokasi berdasarkan *separate* dan *non separate*, alokasi berdasarkan *shadow prices*, dan alokasi dengan *equal profit method*. Kimms & Çetiner (2012) mengembangkan model untuk menghitung nilai *revenue sharing* dengan cara menghitung proporsi antara kolaborasi dan non kolaborasi.

Yilmaz et al., (2017) mengembangkan skema *profit sharing* dalam kolaborasi dengan terminologi *demand and capacity sharing protocol (DCSP)*. Secara sederhana konsep tersebut dapat dijelaskan bahwa perusahaan yang memiliki kelebihan *demand* dan atau kelebihan *capacity* membagi kelebihan tersebut kepada perusahaan *partner*. Dengan demikian *profit* yang *di-share* juga merupakan *profit* yang berasal dari kelebihan *demand* dan *capacity* yang digunakan oleh perusahaan *partner*. *Revenue* atau *profit* yang diperoleh dari masing-masing pihak yang berkolaborasi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu *revenue* yang bisa *di-share* dan ada *revenue* yang mutlak menjadi milik pihak tertentu sehingga *profit* tersebut tidak bisa *di-share* (Kamiyama et al., 2013).

6.3. Profit Sharing Dengan Skema Proporsional

Pada sub pokok bahasan 5.3.8 telah dibahas bahwa kolaborasi menyebabkan terjadinya pergeseran lokasi bongkar muat kapal dan *container* yang dibawa oleh kapal tersebut. Pergeseran tersebut menimbulkan adanya perubahan *revenue* pada setiap terminal. Berdasarkan data pada Tabel 5.21 sampai Tabel 5.23, terjadi pergeseran jumlah kapal dan *container* yang seharusnya menjadi sumber *revenue* bagi terminal 1 tetapi *revenue* tersebut masuk ke terminal yang satunya, demikian juga sebaliknya. Dengan demikian setiap terminal menerima dan memberikan *revenue* kepada terminal lainnya. Namun jumlah *revenue* yang diterima dan yang diberikan tidak sama sehingga salah satu terminal “kelebihan *revenue*” dan terminal lainnya “kehilangan *revenue*”.

Untuk menghindari kerugian yang diakibatkan oleh ketidakseimbangan *revenue* yang diterima, maka perlu dibuat skema pembagian *revenue* secara adil, meskipun sangat disadari bahwa keadilan yang diciptakan belum tentu dapat memuaskan semua pihak. Dalam penelitian ini diusulkan skema *revenue sharing* dengan cara proporsional. Nilai proporsi ditentukan berdasarkan skema yang dikembangkan oleh Valeria et al., (2017), yaitu rasio yang dihitung berdasarkan *revenue* ketika kedua terminal tidak berkolaborasi. Rasio dihitung dengan formulasi di bawah ini.

$$\text{Rasio untuk terminal 1 } (\rho_1) = \frac{\text{Revenue } T_1}{\text{Revenue } T_1 + \text{Revenue } T_2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Besarnya rasio untuk terminal 2 $(\rho_2) = 1 - \rho_1$. *Profit/revenue sharing* dihitung berdasarkan kombinasi antara model yang dikembangkan oleh Yilmaz et al., (2017) dan model yang dikembangkan oleh Kamiyama et al., (2013). Pada skema *profit sharing* proporsional model gabungan, *revenue* dikelompokkan menjadi dua yaitu *revenue* yang tidak dapat di-*share* dan *revenue* yang dapat di-*share*. *Revenue* yang tidak bisa di-*share* bersumber pada kapal yang *berthing* sesuai dengan *windows*-nya. *Revenue* yang bisa di-*share* bersumber pada kapal yang *berthing* tidak sesuai dengan

windows-nya. *Profit sharing* dihitung dengan menggunakan formulasi yang dijelaskan di bawah ini.

$$\mathbf{Profit = Revenue - Cost} \quad \text{..... (2)}$$

Apabila kedua terminal tidak berkolaborasi, maka besarnya *profit* dapat dihitung dengan menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$\mathbf{Profit = n(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p) + (l + u)r_m - (l_{11} + u_{11})} \quad \text{..... (3)}$$

Sedangkan besarnya *profit* di setiap terminal dengan strategi kolaborasi dapat dihitung dengan menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mathbf{Revenue T_1} &= \mathbf{n_{11}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p) + (l_{11} + u_{11})r_m} \\ &+ \mathbf{n_{21}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p) + (l_{21} + u_{21})c_1} \\ &+ \mathbf{n_{12}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p) + (l_{12} + u_{12})r_m} \end{aligned} \quad \text{..... (4)}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{Cost T_1} &= \mathbf{(l_{11} + u_{11})c_1 + (l_{21} + u_{21})c_1 + n_{12}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p)} \\ &+ \mathbf{(l_{12} + u_{12})c_2} \end{aligned} \quad \text{..... (5)}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{Profit T_1} &= \mathbf{n_{11}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p) + (l_{11} + u_{11})(r_m - c_1)} \\ &+ \mathbf{n_{21}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p) + (l_{12} + u_{12})(r_m - c_2)} \end{aligned} \quad \text{..... (6)}$$

Profit di terminal 2 dapat dicari dengan menggunakan cara yang sama, dan menghasilkan formulasi seperti di bawah ini.

$$\begin{aligned} \mathbf{Profit T_2} &= \mathbf{n_{22}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p) + (l_{22} + u_{22})(r_m - c_2)} \\ &+ \mathbf{n_{12}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p) + (l_{21} + u_{21})(r_m - c_1)} \end{aligned} \quad \text{..... (7)}$$

Dengan menggabungkan model Yilmaz et al., (2017) dan Kamiyama et al., (2013), langkah pertama adalah menentukan *profit* yang bisa di-*share* dan *profit* yang tidak bisa di-*share*. *Profit* yang tidak di-*share* adalah *profit* yang berasal dari kapal yang *berthing* sesuai dengan *windows*-nya, yaitu kapal yang memiliki *windows* di terminal 1 dan *berthing* di terminal 1 serta kapal yang memiliki *windows* di terminal 2 dan *berthing* di terminal 2. Sedangkan *profit* yang di-*share* adalah *profit* yang bersumber

dari kapal yang memiliki *windows* di terminal 1 tetapi *berthing* di terminal 2 dan sebaliknya. Dengan demikian, *profit sharing* atau *profit redistribution* untuk masing-masing terminal dapat dihitung dengan formulasi di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Profit } T_1 = & n_{11}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p) + (l_{11} + u_{11})(r_m - c_1) \\
 & + n_{21}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p) \quad \dots\dots\dots (8) \\
 & + \rho_1\{(l_{12} + u_{12})(r_m - c_2) + (l_{21} + u_{21})(r_m - c_1)\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Profit } T_2 = & n_{22}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p) + (l_{22} + u_{22})(r_m - c_2) \\
 & + n_{12}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p) \quad \dots\dots\dots (9) \\
 & + \rho_2\{(l_{12} + u_{12})(r_m - c_2) + (l_{21} + u_{21})(r_m - c_1)\}
 \end{aligned}$$

Dimana:

- n : jumlah kapal
- r_l : tarif labuh
- r_d : tarif pandu
- r_t : tarif tambat
- r_k : tarif pengepilan
- r_p : tarif palka
- r_m : tarif movement
- l : jumlah *container* loading
- u : jumlah *container* unloading
- c : biaya pokok
- ρ : nilai proporsi

6.4. Asumsi dan Perhitungan Profit Redistribution

Asumsi yang digunakan berkaitan dengan penghitungan biaya dan tarif adalah sebagai berikut:

1. Setiap kapal memiliki ukuran panjang yang sama.
2. Nilai *gross tonnage* (GT) setiap kapal diasumsikan berada pada *range* yang sama (18.001-26.000 GT) dengan rata-rata 20.000 GT.
3. Gerakan pandu yang dibutuhkan setiap kapal diasumsikan sama.
4. *Boxes crane hour* untuk *container movement* setiap crane diasumsikan sama (b/c/h:18-30 boxes/hour).

5. Ukuran *container* dianggap sama dengan satuan *boxes*.

Besarnya tarif ditentukan oleh pemerintah sebagai regulator pelabuhan, meliputi tarif labuh, tarif pandu, tarif tambat, tarif kepil, tarif buka/tutup palka dan tarif *movement*. Besarnya tarif ditunjukkan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Komponen dan Tarif *Berthing*

No	Komponen Biaya	Tarif
1	Labuh	\$ 0.092/GT/kunjungan
2	Pandu	\$75/kapal/gerakan
3	Tambat	\$0.122/GT/etmal
4	Kepil	\$46/ikat-lepas/kapal
5	Buka/Tutup Palka	\$27.51/palka
6	Movement	\$73.46/ <i>container</i>

(Sumber : Pelindo II, diolah) *GT : *Gross Tonnage*

Pemerintah sudah mempertimbangkan adanya keuntungan (selisih antara pendapatan dan biaya) dalam menentukan tarif. Karena keterbatasan dan kerahasiaan informasi, peneliti tidak dapat memperoleh data tentang proporsi antara biaya dan keuntungan. Oleh karena itu, untuk menghitung besarnya *profit* digunakan biaya pokok secara *dummy* dengan nilai yang bervariasi, yaitu sebesar \$45, \$60 dan \$65 per *movement* untuk kedua terminal. Untuk memberikan ilustrasi perhitungan pengaruh dari setiap skema terhadap *profit* dibuat tiga kondisi yang berbeda yang didasarkan pada besarnya biaya pokok, yaitu biaya pokok terminal 1 lebih kecil dari biaya pokok terminal 2 ($c_1 < c_2$), biaya pokok terminal 1 sama dengan biaya pokok terminal 2 ($c_1 = c_2$), biaya pokok terminal 1 lebih besar dari biaya pokok di terminal 2 ($c_1 > c_2$). Tabel 6.2. menunjukkan *profit* apabila kedua terminal tidak menerapkan strategi kolaborasi. Dengan menggunakan data pada Tabel 6.1 dan formulasi (1), nilai rasio terminal 1 dan terminal 2 dapat dihitung.

Tabel 6.2 Rasio *Profit* Non Kolaborasi Terminal 1 dan 2

Replikasi	Profit		Rasio	
	Terminal 1	Terminal 2	Terminal 1	Terminal 2
1	53,014,414,140.00	115,044,615,090.00	0.32	0.68
2	52,535,881,125.00	115,448,004,810.00	0.31	0.69
3	53,330,840,505.00	114,400,748,655.00	0.32	0.68
4	54,249,397,110.00	112,751,435,160.00	0.32	0.68
5	53,378,116,560.00	114,233,446,125.00	0.32	0.68

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Untuk memberikan ilustrasi, dalam perhitungan selanjutnya digunakan empat skema yang berbeda, yaitu skema non kolaborasi, skema Imai et al., (2008), skema proporsional 1 (32%:68%), dan proporsional 2 (50%:50%). Skema Imai et al., (2008) pada dasarnya hanya mengalokasikan biaya pokok untuk mengganti biaya operasional di terminal lain. Metode proporsional 1, mengalokasikan *profit* berdasarkan formulasi (8) dan (9) dengan nilai rasio berdasarkan skema Valeria et al., (2017), sedangkan metode proporsional 2 dilakukan dengan mengalokasikan *profit* dengan proporsi yang sama (*equal profit method*) (Frisk et al., 2010).

6.4.1. *Profit sharing* dengan biaya pokok di terminal 1 lebih rendah di bandingkan biaya pokok di terminal 2

Tabel 6.3 sampai dengan Tabel 6.5 menunjukkan besarnya *profit* dengan biaya pokok terminal 1 lebih kecil dibandingkan biaya pokok terminal 2 ($c_1 < c_2$). Apabila biaya pokok di terminal 1 sebesar \$ 45 dan terminal 2 sebesar \$ 60, strategi non kolaborasi menghasilkan rata-rata *profit* di terminal 1 sebesar Rp. 185,998,521,888, sedangkan terminal 2 menghasilkan rata-rata *profit* sebesar Rp. 215,433,798,768. Total *profit* dengan strategi non kolaborasi sebesar Rp. 401,442,320,656, lebih besar dibandingkan total *profit* strategi kolaborasi yaitu sebesar Rp. 390,301,477,587. Redistribusi *profit* dengan skema Imai et al., (2008), *propose-1* dan *propose-2* menghasilkan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi di terminal 1 lebih rendah dari rata-rata *profit* strategi non kolaborasi, sedangkan di terminal 2 strategi kolaborasi menghasilkan rata-rata *profit* lebih besar dibandingkan dengan strategi non kolaborasi.

Apabila biaya pokok di terminal 1 sebesar \$ 45 dan terminal 2 sebesar \$ 65, strategi non kolaborasi menghasilkan rata-rata *profit* terminal 1 sebesar Rp. 185,998,521,888, sedangkan terminal 2 menghasilkan rata-rata *profit* sebesar Rp. 154,137,534,768. Total *profit* dengan strategi non kolaborasi sebesar Rp. 340,136,056,656, lebih besar dibandingkan dengan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi, yaitu sebesar Rp. 321,946,995,087. Redistribusi *profit* dengan skema Imai et al., (2008), *propose-1* dan *propose-2* menghasilkan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi di terminal 1 lebih rendah dari rata-rata *profit* menggunakan strategi non

kolaborasi, sedangkan strategi kolaborasi di terminal 2 menghasilkan rata-rata *profit* lebih besar dibandingkan dengan strategi non kolaborasi.

Apabila biaya pokok di terminal 1 sebesar \$ 60 dan terminal 2 sebesar \$ 65, strategi non kolaborasi menghasilkan rata-rata *profit* terminal 1 sebesar Rp. 100,178,454,888, sedangkan terminal 2 menghasilkan rata-rata *profit* sebesar Rp. 154,137,534,768. Total *profit* dengan strategi non kolaborasi sebesar Rp. 254,315,989,656, lebih tinggi dibandingkan rata-rata *profit* strategi kolaborasi, yaitu sebesar Rp. 252,644,772,087. Redistribusi *profit* dengan skema Imai et al., (2008), *propose-1* dan *propose-2* menghasilkan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi di terminal 1 dan 2 lebih rendah dari rata-rata *profit* menggunakan strategi non kolaborasi.

Tabel 6.3 *Profit* dengan c_1 (\$45) < c_2 (\$60)

Terminal	Replikasi	Non Kolaborasi	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
1	1	184,924,102,140.00	163,806,705,000.00	154,585,990,004.40	170,438,412,945.60
1	2	183,260,350,125.00	177,739,348,275.00	165,162,018,613.50	164,431,487,322.00
1	3	186,078,473,505.00	152,233,433,505.00	131,632,483,252.50	133,855,250,603.40
1	4	189,438,235,110.00	159,936,324,120.00	148,592,255,274.00	165,054,801,546.00
1	5	186,291,448,560.00	162,605,195,955.00	150,690,509,638.20	165,456,080,281.80
Average Terminal 1		185,998,521,888.00	163,264,201,371.00	150,132,651,356.52	159,847,206,539.76
Terminal	Replikasi	Non Kolaborasi	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
2	1	216,514,665,090.00	228,037,191,570.00	237,257,906,565.60	221,405,483,624.40
2	2	217,156,464,810.00	215,324,218,215.00	227,901,547,876.50	228,632,079,168.00
2	3	215,283,616,155.00	228,616,408,935.00	249,217,359,187.50	246,994,591,836.60
2	4	212,783,519,160.00	234,706,740,615.00	246,050,809,461.00	229,588,263,189.00
2	5	215,430,728,625.00	228,501,821,745.00	240,416,508,061.80	225,650,937,418.20
Average Terminal 2		215,433,798,768.00	227,037,276,216.00	240,168,826,230.48	230,454,271,047.24
Total R1 (T1+T2)		401,438,767,230.00	391,843,896,570.00	391,843,896,570.00	391,843,896,570.00
Total R2 (T1+T2)		400,416,814,935.00	393,063,566,490.00	393,063,566,490.00	393,063,566,490.00
Total R3 (T1+T2)		401,362,089,660.00	380,849,842,440.00	380,849,842,440.00	380,849,842,440.00
Total R4 (T1+T2)		402,221,754,270.00	394,643,064,735.00	394,643,064,735.00	394,643,064,735.00
Total R5 (T1+T2)		401,722,177,185.00	391,107,017,700.00	391,107,017,700.00	391,107,017,700.00
Total Average		401,432,320,656.00	390,301,477,587.00	390,301,477,587.00	390,301,477,587.00

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Keterangan :

- * Average Terminal 1 adalah rata-rata *profit* terminal 1 replikasi 1 s.d. replikasi 5
- * Average Terminal 2 adalah rata-rata *profit* terminal 2 replikasi 1 s.d. replikasi 5
- * Total R1 adalah jumlah replikasi 1 terminal 1 dan replikasi 1 terminal 2
- * Total R2 adalah jumlah replikasi 2 terminal 1 dan replikasi 2 terminal 2
- * Total R3 adalah jumlah replikasi 3 terminal 1 dan replikasi 3 terminal 2
- * Total R4 adalah jumlah replikasi 4 terminal 1 dan replikasi 4 terminal 2
- * Total R5 adalah jumlah replikasi 5 terminal 1 dan replikasi 5 terminal 2
- * Total average adalah rata-rata total R1 sampai dengan total R5

Tabel 6.4 *Profit* dengan c_1 (\$45) < c_2 (\$65)

Terminal	Replikasi	Non Kolaborasi	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
1	1	184,924,102,140.00	155,147,062,500.00	151,814,904,404.40	164,549,856,045.60
1	2	183,260,350,125.00	166,656,320,775.00	154,078,991,113.50	156,895,028,622.00
1	3	186,078,473,505.00	140,339,258,505.00	128,064,230,752.50	130,049,114,603.40
1	4	189,438,235,110.00	150,286,456,620.00	145,504,297,674.00	158,492,891,646.00
1	5	186,291,448,560.00	153,303,695,955.00	147,714,029,638.20	159,131,060,281.80
Average Terminal 1		185,998,521,888.00	153,146,558,871.00	145,435,290,716.52	153,823,590,239.76
Terminal	Replikasi	Non Kolaborasi	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
2	1	154,826,145,090.00	171,247,011,570.00	174,579,169,665.60	161,844,218,024.40
2	2	155,229,534,810.00	157,293,860,715.00	169,871,190,376.50	167,055,152,868.00
2	3	153,936,713,655.00	169,357,888,935.00	181,632,916,687.50	179,648,032,836.60
2	4	152,434,739,160.00	175,610,490,615.00	180,392,649,561.00	167,404,055,589.00
2	5	154,260,541,125.00	170,492,929,245.00	176,082,595,561.80	164,665,564,918.20
Average Terminal 2		154,137,534,768.00	168,800,436,216.00	176,511,704,370.48	168,123,404,847.24
Total R1 (T1+T2)		339,750,247,230.00	326,394,074,070.00	326,394,074,070.00	326,394,074,070.00
Total R2 (T1+T2)		338,489,884,935.00	323,950,181,490.00	323,950,181,490.00	323,950,181,490.00
Total R3 (T1+T2)		340,015,187,160.00	309,697,147,440.00	309,697,147,440.00	309,697,147,440.00
Total R4 (T1+T2)		341,872,974,270.00	325,896,947,235.00	325,896,947,235.00	325,896,947,235.00
Total R5 (T1+T2)		340,551,989,685.00	323,796,625,200.00	323,796,625,200.00	323,796,625,200.00
Total Average		340,136,056,656.00	321,946,995,087.00	321,946,995,087.00	321,946,995,087.00

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Tabel 6.5 *Profit* dengan c_1 (\$60) < c_2 (\$65)

Terminal	Replikasi	Non Kolaborasi	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
1	1	99,473,354,640.00	91,668,577,500.00	84,841,366,604.40	93,644,383,845.60
1	2	98,588,012,625.00	96,942,253,275.00	92,362,742,113.50	90,837,106,722.00
1	3	100,183,441,005.00	85,613,026,005.00	73,337,998,252.50	73,533,624,503.40
1	4	102,264,820,110.00	89,727,616,620.00	81,614,154,474.00	90,855,032,346.00
1	5	100,382,646,060.00	90,614,150,955.00	82,330,035,838.20	90,715,811,581.80
Average Terminal 1		100,178,454,888.00	90,913,124,871.00	82,897,259,456.52	87,917,191,799.76
Terminal	Replikasi	Non Kolaborasi	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
2	1	154,826,145,090.00	160,324,971,570.00	167,152,182,465.60	158,349,165,224.40
2	2	155,229,534,810.00	157,293,860,715.00	161,873,371,876.50	163,399,007,268.00
2	3	153,936,713,655.00	163,766,458,935.00	176,041,486,687.50	175,845,860,436.60
2	4	152,434,739,160.00	165,200,168,115.00	173,313,630,261.00	164,072,752,389.00
2	5	154,260,541,125.00	162,072,776,745.00	170,356,891,861.80	161,971,116,118.20
Average Terminal 2		154,137,534,768.00	161,731,647,216.00	169,747,512,630.48	164,727,580,287.24
Total R1 (T1+T2)		254,299,499,730.00	251,993,549,070.00	251,993,549,070.00	251,993,549,070.00
Total R2 (T1+T2)		253,817,547,435.00	254,236,113,990.00	254,236,113,990.00	254,236,113,990.00
Total R3 (T1+T2)		254,120,154,660.00	249,379,484,940.00	249,379,484,940.00	249,379,484,940.00
Total R4 (T1+T2)		254,699,559,270.00	254,927,784,735.00	254,927,784,735.00	254,927,784,735.00
Total R5 (T1+T2)		254,643,187,185.00	252,686,927,700.00	252,686,927,700.00	252,686,927,700.00
Total Average		254,315,989,656.00	252,644,772,087.00	252,644,772,087.00	252,644,772,087.00

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Berdasarkan hasil tersebut apabila $c_1 < c_2$ strategi kolaborasi menghasilkan rata-rata *profit* lebih kecil dibandingkan rata-rata *profit* dengan strategi non kolaborasi. *Profit* di terminal 1 dengan strategi kolaborasi cenderung lebih kecil dibandingkan dengan *profit* dengan strategi non kolaborasi, sebaliknya rata-rata *profit* di terminal 2

cenderung lebih besar dibandingkan dengan *profit* yang dihasilkan dengan strategi non kolaborasi.

6.4.2. *Profit Sharing* dengan biaya pokok di terminal 1 sama dengan biaya pokok di terminal 2

Tabel 6.6 sampai dengan Tabel 6.8 menunjukkan total *profit* dengan biaya pokok terminal 1 sama dengan biaya pokok terminal 2. Apabila biaya pokok di terminal 1 dan terminal dua sama sebesar \$ 45, strategi non kolaborasi menghasilkan *profit* terminal 1 sebesar Rp. 185,998,521,888, sedangkan terminal 2 menghasilkan *profit* sebesar Rp. 399,322,590,768. Total *profit* dengan strategi non kolaborasi sebesar Rp. 585,321,112,656, lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi sebesar sebesar Rp. 595,364,925,087. Redistribusi *profit* dengan skema Imai et al., (2008), *propose-1* dan *propose-2* menghasilkan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi di terminal 1 lebih rendah dari rata-rata *profit* menggunakan strategi non kolaborasi, sedangkan strategi kolaborasi di terminal 2 menghasilkan rata-rata *profit* lebih besar dibandingkan dengan strategi non kolaborasi.

Apabila biaya pokok di terminal 1 dan terminal dua sama sebesar \$ 60, strategi non kolaborasi menghasilkan *profit* terminal 1 sebesar Rp. 100,178,454,888, sedangkan terminal 2 menghasilkan *profit* sebesar Rp. 215,433,798,768. Total *profit* dengan strategi non kolaborasi sebesar Rp. 315,612,253,656, lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata *profit* strategi kolaborasi yaitu sebesar Rp. 320,999,254,587. Redistribusi *profit* dengan skema Imai et al., (2008), *propose-1* dan *propose-2* menghasilkan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi di terminal 1 lebih rendah dari rata-rata *profit* menggunakan strategi non kolaborasi, sedangkan strategi kolaborasi di terminal 2 menghasilkan rata-rata *profit* lebih besar dibandingkan dengan strategi non kolaborasi.

Apabila biaya pokok di terminal 1 dan terminal dua sama sebesar \$ 65, strategi non kolaborasi menghasilkan *profit* terminal 1 sebesar Rp. 71,571,765,888, sedangkan terminal 2 menghasilkan *profit* sebesar Rp. 154,137,534,768. Total *profit* dengan strategi non kolaborasi sebesar Rp. 225,709,300,656, sedangkan strategi kolaborasi

menghasilkan total *profit* sebesar Rp. 229,544,031,087. Strategi kolaborasi menghasilkan total *profit* lebih tinggi dibandingkan dengan strategi non kolaborasi. Redistribusi *profit* dengan skema Imai et al., (2008), *propose-1* dan *propose-2* menghasilkan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi di terminal 1 lebih rendah dari rata-rata *profit* menggunakan strategi non kolaborasi, sedangkan strategi kolaborasi di terminal 2 menghasilkan rata-rata *profit* lebih besar dibandingkan dengan strategi non kolaborasi.

Tabel 6.6 *Profit* dengan c_1 (\$45) = c_2 (\$45)

Terminal	Replikasi	Non Kolaborasi	Imai	Proporsional 1	Proporsional-2
1	1	184,924,102,140.00	189,785,632,500.00	162,899,246,804.40	188,104,083,645.60
1	2	183,260,350,125.00	210,988,430,775.00	198,411,101,113.50	187,040,863,422.00
1	3	186,078,473,505.00	187,915,958,505.00	142,337,240,752.50	145,273,658,603.40
1	4	189,438,235,110.00	188,885,926,620.00	157,856,128,074.00	184,740,531,246.00
1	5	186,291,448,560.00	190,509,695,955.00	159,619,949,638.20	184,431,140,281.80
Average Terminal 1		185,998,521,888.00	193,617,128,871.00	164,224,733,276.52	177,918,055,439.76
Terminal	Replikasi	Non Kolaborasi	Imai	Proporsional 1	Proporsional-2
2	1	401,580,225,090.00	398,407,731,570.00	425,294,117,265.60	400,089,280,424.40
2	2	402,937,254,810.00	389,415,290,715.00	401,992,620,376.50	413,362,858,068.00
2	3	399,324,323,655.00	406,391,968,935.00	451,970,686,687.50	449,034,268,836.60
2	4	393,829,859,160.00	411,995,490,615.00	443,025,289,161.00	416,140,885,989.00
2	5	398,941,291,125.00	402,528,499,245.00	433,418,245,561.80	408,607,054,918.20
Average Terminal 2		399,322,590,768.00	401,747,796,216.00	431,140,191,810.48	417,446,869,647.24
Total R1 (T1+T2)		586,504,327,230.00	588,193,364,070.00	588,193,364,070.00	588,193,364,070.00
Total R2 (T1+T2)		586,197,604,935.00	600,403,721,490.00	600,403,721,490.00	600,403,721,490.00
Total R3 (T1+T2)		585,402,797,160.00	594,307,927,440.00	594,307,927,440.00	594,307,927,440.00
Total R4 (T1+T2)		583,268,094,270.00	600,881,417,235.00	600,881,417,235.00	600,881,417,235.00
Total R5 (T1+T2)		585,232,739,685.00	593,038,195,200.00	593,038,195,200.00	593,038,195,200.00
Total Average		585,321,112,656.00	595,364,925,087.00	595,364,925,087.00	595,364,925,087.00

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Tabel 6.7 *Profit* dengan c_1 (\$60) = c_2 (\$60)

Terminal	Replikasi	Existing	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
1	1	99,473,354,640.00	100,328,220,000.00	87,612,452,204.40	99,532,940,745.60
1	2	98,588,012,625.00	108,025,280,775.00	103,445,769,613.50	98,373,565,422.00
1	3	100,183,441,005.00	97,507,201,005.00	76,906,250,752.50	77,339,760,503.40
1	4	102,264,820,110.00	99,377,484,120.00	84,702,112,074.00	97,416,942,246.00
1	5	100,382,646,060.00	99,915,650,955.00	85,306,515,838.20	97,040,831,581.80
Average Terminal 1		100,178,454,888.00	101,030,767,371.00	87,594,620,096.52	93,940,808,099.76
Terminal	Replikasi	Existing	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
2	1	216,514,665,090.00	217,115,151,570.00	229,830,919,365.60	217,910,430,824.40
2	2	217,156,464,810.00	215,324,218,215.00	219,903,729,376.50	224,975,933,568.00
2	3	215,283,616,155.00	223,024,978,935.00	243,625,929,187.50	243,192,419,436.60
2	4	212,783,519,160.00	224,296,418,115.00	238,971,790,161.00	226,256,959,989.00
2	5	215,430,728,625.00	220,081,669,245.00	234,690,804,361.80	222,956,488,618.20
Average Terminal 2		215,433,798,768.00	219,968,487,216.00	233,404,634,490.48	227,058,446,487.24
Total R1 (T1+T2)		315,988,019,730.00	317,443,371,570.00	317,443,371,570.00	317,443,371,570.00
Total R2 (T1+T2)		315,744,477,435.00	323,349,498,990.00	323,349,498,990.00	323,349,498,990.00
Total R3 (T1+T2)		315,467,057,160.00	320,532,179,940.00	320,532,179,940.00	320,532,179,940.00
Total R4 (T1+T2)		315,048,339,270.00	323,673,902,235.00	323,673,902,235.00	323,673,902,235.00
Total R5 (T1+T2)		315,813,374,685.00	319,997,320,200.00	319,997,320,200.00	319,997,320,200.00
Total Average		315,612,253,656.00	320,999,254,587.00	320,999,254,587.00	320,999,254,587.00

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Tabel 6.8 *Profit* dengan c_1 (\$65) = c_2 (\$65)

Terminal	Replikasi	Existing	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
1	1	70,989,772,140.00	70,509,082,500.00	62,516,854,004.40	70,009,226,445.60
1	2	70,363,900,125.00	73,704,230,775.00	71,790,659,113.50	68,817,799,422.00
1	3	71,551,763,505.00	67,370,948,505.00	55,095,920,752.50	54,695,127,803.40
1	4	73,207,015,110.00	69,541,336,620.00	60,317,440,074.00	68,309,079,246.00
1	5	71,746,378,560.00	69,717,635,955.00	60,535,371,238.20	67,910,728,681.80
Average Terminal 1		71,571,765,888.00	70,168,646,871.00	62,051,249,036.52	65,948,392,319.76
Terminal	Replikasi	Existing	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
2	1	154,826,145,090.00	156,684,291,570.00	164,676,520,065.60	157,184,147,624.40
2	2	155,229,534,810.00	157,293,860,715.00	159,207,432,376.50	162,180,292,068.00
2	3	153,936,713,655.00	161,902,648,935.00	174,177,676,687.50	174,578,469,636.60
2	4	152,434,739,160.00	161,730,060,615.00	170,953,957,161.00	162,962,317,989.00
2	5	154,260,541,125.00	159,266,059,245.00	168,448,323,961.80	161,072,966,518.20
Average Terminal 2		154,137,534,768.00	159,375,384,216.00	167,492,782,050.48	163,595,638,767.24
Total R1 (T1+T2)		225,815,917,230.00	227,193,374,070.00	227,193,374,070.00	227,193,374,070.00
Total R2 (T1+T2)		225,593,434,935.00	230,998,091,490.00	230,998,091,490.00	230,998,091,490.00
Total R3 (T1+T2)		225,488,477,160.00	229,273,597,440.00	229,273,597,440.00	229,273,597,440.00
Total R4 (T1+T2)		225,641,754,270.00	231,271,397,235.00	231,271,397,235.00	231,271,397,235.00
Total R5 (T1+T2)		226,006,919,685.00	228,983,695,200.00	228,983,695,200.00	228,983,695,200.00
Total Average		225,709,300,656.00	229,544,031,087.00	229,544,031,087.00	229,544,031,087.00

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

6.4.3. *Profit Sharing* dengan biaya pokok di terminal 1 lebih tinggi di bandingkan biaya pokok terminal 2

Tabel 6.7 sampai dengan Tabel 6.9 menunjukkan total *profit* dengan biaya pokok terminal 1 lebih tinggi dibandingkan dengan biaya pokok terminal 2. Apabila biaya pokok di terminal 1 sebesar \$ 60 dan terminal 2 sebesar \$ 45, strategi non kolaborasi menghasilkan *profit* terminal 1 sebesar Rp100,178,454,888, sedangkan terminal 2 menghasilkan *profit* sebesar Rp. 399,322,590,768. Total *profit* dengan strategi non kolaborasi sebesar Rp. 499,501,045,656, lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi yaitu sebesar Rp. 499,898,406,087. Redistribusi *profit* dengan skema Imai et al., (2008), *propose-1* dan *propose-2* menghasilkan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi di terminal 1 lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata *profit* menggunakan strategi non kolaborasi, sedangkan strategi kolaborasi menghasilkan rata-rata *profit* di terminal 2 lebih besar dibandingkan dengan strategi non kolaborasi.

Apabila biaya pokok di terminal 1 sebesar \$ 65 dan terminal 2 sebesar \$ 45, strategi non kolaborasi menghasilkan *profit* terminal 1 sebesar Rp. 71,571,765,888,

sedangkan terminal 2 menghasilkan *profit* sebesar Rp. 399,322,590,768. Total *profit* dengan strategi non kolaborasi sebesar Rp. 470,894,356,656, lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi yaitu sebesar Rp. 502,961,961,087. Redistribusi *profit* dengan skema Imai et al., (2008), *propose-1* dan *propose-2* menghasilkan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi di terminal 1 dan 2 lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata *profit* menggunakan strategi non kolaborasi.

Apabila biaya pokok di terminal 1 sebesar \$ 65 dan terminal 2 sebesar \$ 60, strategi non kolaborasi menghasilkan *profit* terminal 1 sebesar Rp. 71,571,765,888, sedangkan terminal 2 menghasilkan *profit* sebesar Rp. 215,433,798,768. Total *profit* dengan strategi non kolaborasi sebesar Rp. 287,005,564,656, lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi yaitu sebesar Rp. 297,898,513,587. Redistribusi *profit* dengan skema Imai et al., (2008), *propose-1* dan *propose-2* menghasilkan rata-rata *profit* dengan strategi kolaborasi di terminal 1 dan 2 lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata *profit* menggunakan strategi non kolaborasi.

Tabel 6.9 *Profit* dengan c_1 (\$60) > c_2 (\$45)

Terminal	Replikasi	Existing	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
1	1	99,473,354,640.00	126,307,147,500.00	95,925,709,004.40	117,198,611,445.60
1	2	98,588,012,625.00	141,274,363,275.00	136,694,852,113.50	120,982,941,522.00
1	3	100,183,441,005.00	133,189,726,005.00	87,611,008,252.50	88,758,168,503.40
1	4	102,264,820,110.00	128,327,086,620.00	93,965,984,874.00	117,102,671,946.00
1	5	100,382,646,060.00	162,605,195,955.00	150,690,509,638.20	165,456,080,281.80
Average Terminal 1		100,178,454,888.00	138,340,703,871.00	112,977,612,776.52	121,899,694,739.76
Terminal	Replikasi				
2	1	401,580,225,090.00	387,485,691,570.00	417,867,130,065.60	396,594,227,624.40
2	2	402,937,254,810.00	389,415,290,715.00	393,994,801,876.50	409,706,712,468.00
2	3	399,324,323,655.00	400,800,538,935.00	446,379,256,687.50	445,232,096,436.60
2	4	393,829,859,160.00	401,585,168,115.00	435,946,269,861.00	412,809,582,789.00
2	5	398,941,291,125.00	228,501,821,745.00	240,416,508,061.80	225,650,937,418.20
Average Terminal 2		399,322,590,768.00	361,557,702,216.00	386,920,793,310.48	377,998,711,347.24
Total R1 (T1+T2)		501,053,579,730.00	513,792,839,070.00	513,792,839,070.00	513,792,839,070.00
Total R2 (T1+T2)		501,525,267,435.00	530,689,653,990.00	530,689,653,990.00	530,689,653,990.00
Total R3 (T1+T2)		499,507,764,660.00	533,990,264,940.00	533,990,264,940.00	533,990,264,940.00
Total R4 (T1+T2)		496,094,679,270.00	529,912,254,735.00	529,912,254,735.00	529,912,254,735.00
Total R5 (T1+T2)		499,323,937,185.00	391,107,017,700.00	391,107,017,700.00	391,107,017,700.00
Total Average		499,501,045,656.00	499,898,406,087.00	499,898,406,087.00	499,898,406,087.00

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Tabel 6.10 *Profit* dengan c_1 (\$65) > c_2 (\$45)

Terminal	Replikasi	Existing	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
1	1	70,989,772,140.00	105,147,652,500.00	73,601,196,404.40	93,563,454,045.60
1	2	70,363,900,125.00	118,036,340,775.00	116,122,769,113.50	98,963,634,222.00
1	3	71,551,763,505.00	114,947,648,505.00	69,368,930,752.50	69,919,671,803.40
1	4	73,207,015,110.00	108,140,806,620.00	72,669,270,474.00	94,556,718,846.00
1	5	71,746,378,560.00	106,923,635,955.00	72,441,291,238.20	93,210,808,681.80
Average Terminal 1		71,571,765,888.00	110,639,216,871.00	80,840,691,596.52	90,042,857,519.76
Terminal	Replikasi	Existing	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
2	1	401,580,225,090.00	383,845,011,570.00	415,391,467,665.60	395,429,210,024.40
2	2	402,937,254,810.00	389,415,290,715.00	391,328,862,376.50	408,487,997,268.00
2	3	399,324,323,655.00	398,936,728,935.00	444,515,446,687.50	443,964,705,636.60
2	4	393,829,859,160.00	398,115,060,615.00	433,586,596,761.00	411,699,148,389.00
2	5	398,941,291,125.00	391,301,629,245.00	425,783,973,961.80	405,014,456,518.20
Average Terminal 2		399,322,590,768.00	392,322,744,216.00	422,121,269,490.48	412,919,103,567.24
Total R1 (T1+T2)		472,569,997,230.00	488,992,664,070.00	488,992,664,070.00	488,992,664,070.00
Total R2 (T1+T2)		473,301,154,935.00	507,451,631,490.00	507,451,631,490.00	507,451,631,490.00
Total R3 (T1+T2)		470,876,087,160.00	513,884,377,440.00	513,884,377,440.00	513,884,377,440.00
Total R4 (T1+T2)		467,036,874,270.00	506,255,867,235.00	506,255,867,235.00	506,255,867,235.00
Total R5 (T1+T2)		470,687,669,685.00	498,225,265,200.00	498,225,265,200.00	498,225,265,200.00
Total Average		470,894,356,656.00	502,961,961,087.00	502,961,961,087.00	502,961,961,087.00

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

Tabel 6.11 *Profit* dengan c_1 (\$65) > c_2 (\$60)

Terminal	Replikasi	Existing	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
1	1	70,989,772,140.00	79,168,725,000.00	65,287,939,604.40	75,897,783,345.60
1	2	70,363,900,125.00	84,787,258,275.00	82,873,686,613.50	76,354,258,122.00
1	3	71,551,763,505.00	79,265,123,505.00	58,664,173,252.50	58,501,263,803.40
1	4	73,207,015,110.00	79,191,204,120.00	63,405,397,674.00	74,870,989,146.00
1	5	71,746,378,560.00	79,019,135,955.00	63,511,851,238.20	74,235,748,681.80
Average Terminal 1		71,571,765,888.00	80,286,289,371.00	66,748,609,676.52	71,972,008,619.76
Terminal	Replikasi	Existing	Imai	Proporsional 1	Proporsional 2
2	1	216,514,665,090.00	213,474,471,570.00	227,355,256,965.60	216,745,413,224.40
2	2	217,156,464,810.00	215,324,218,215.00	217,237,789,876.50	223,757,218,368.00
2	3	215,283,616,155.00	221,161,168,935.00	241,762,119,187.50	241,925,028,636.60
2	4	212,783,519,160.00	220,826,310,615.00	236,612,117,061.00	225,146,525,589.00
2	5	215,430,728,625.00	217,274,951,745.00	232,782,236,461.80	222,058,339,018.20
Average Terminal 2		215,433,798,768.00	217,612,224,216.00	231,149,903,910.48	225,926,504,967.24
Total R1 (T1+T2)		287,504,437,230.00	292,643,196,570.00	292,643,196,570.00	292,643,196,570.00
Total R2 (T1+T2)		287,520,364,935.00	300,111,476,490.00	300,111,476,490.00	300,111,476,490.00
Total R3 (T1+T2)		286,835,379,660.00	300,426,292,440.00	300,426,292,440.00	300,426,292,440.00
Total R4 (T1+T2)		285,990,534,270.00	300,017,514,735.00	300,017,514,735.00	300,017,514,735.00
Total R5 (T1+T2)		287,177,107,185.00	296,294,087,700.00	296,294,087,700.00	296,294,087,700.00
Total Average		287,005,564,656.00	297,898,513,587.00	297,898,513,587.00	297,898,513,587.00

(Sumber : Hasil simulasi, diolah)

6.5. Analisis Hasil

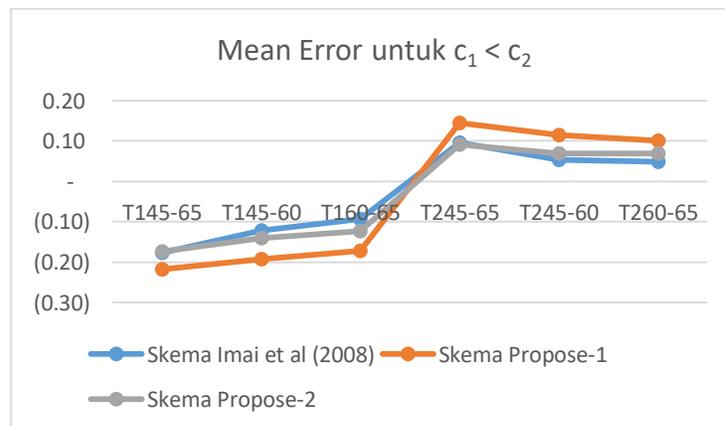
Tabel 5.26 sampai Tabel 5.28 menunjukkan adanya *shifting* kapal dan *container*. Jumlah kapal yang *berthing* di terminal 1 berkurang sebesar 73 kapal dan jumlah *container* berkurang sebesar 81,570. Jumlah kapal yang *berthing* di terminal 2

bertambah sebanyak 100 kapal dan jumlah *container* meningkat sebesar 104,563. Kondisi tersebut menyebabkan *profit* di terminal 1 berkurang dan pindah ke terminal 2.

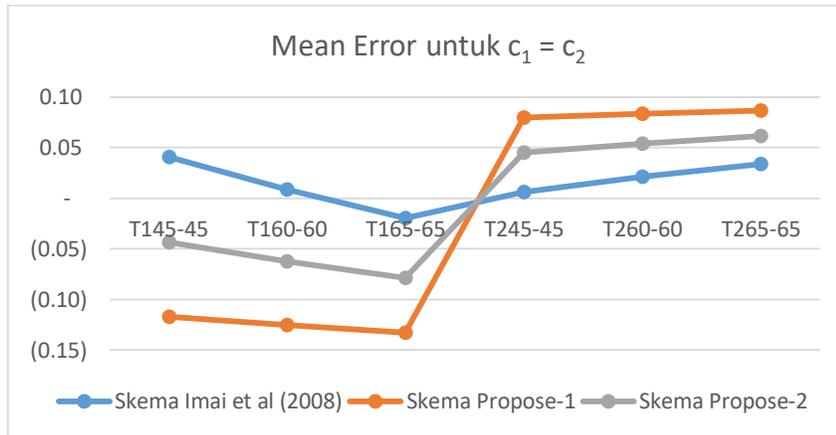
Skema Imai et al., (2008) untuk $c_1 < c_2$ menghasilkan rata-rata *profit* pada terminal 1 menurun sebesar 13%, sedangkan rata-rata *profit* pada terminal 2 meningkat sebesar 7%. Untuk $c_1 = c_2$, menghasilkan rata-rata *profit* di terminal 1 dan terminal 2 keduanya mengalami peningkatan masing-masing sebesar 1% dan 2%. Untuk $c_1 > c_2$, menghasilkan rata-rata *profit* pada terminal 1 meningkat sebesar 35%, sedangkan di terminal 2 menurun sebesar 3%.

Skema *propose-1* untuk $c_1 < c_2$ menghasilkan rata-rata *profit* pada terminal 1 menurun sebesar 19%, sedangkan rata-rata *profit* pada terminal 2 meningkat sebesar 12%. Untuk $c_1 = c_2$, menghasilkan rata-rata *profit* di terminal 1 turun sebesar 13% dan terminal 2 meningkat sebesar 8%. Untuk $c_1 > c_2$, menghasilkan rata-rata *profit* pada terminal 1 dan terminal 2 keduanya meningkat masing-masing sebesar 6% dan 3%.

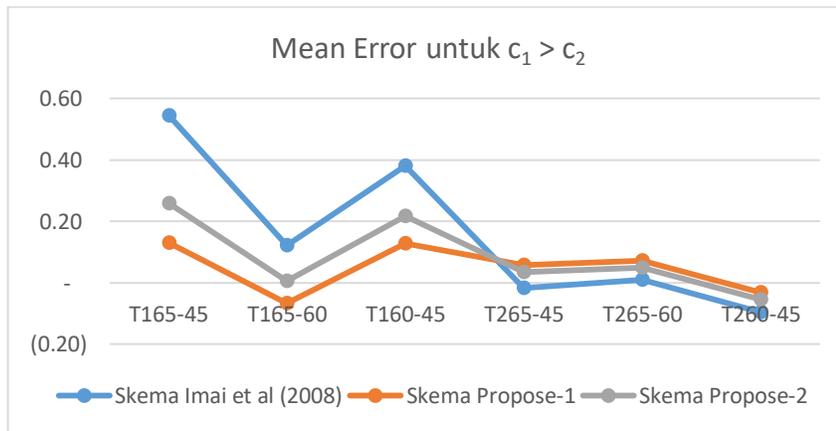
Skema *propose-2* untuk $c_1 < c_2$ menghasilkan rata-rata *profit* pada terminal 1 menurun sebesar 15%, sedangkan rata-rata *profit* pada terminal 2 meningkat sebesar 8%. Untuk $c_1 = c_2$, menghasilkan rata-rata *profit* di terminal 1 turun sebesar 6% dan terminal 2 meningkat sebesar 5%. Untuk $c_1 > c_2$, menghasilkan rata-rata *profit* pada terminal 1 dan terminal 2 keduanya meningkat masing-masing sebesar 16% dan 1%. Secara detil, mean error dari ketiga skema ditunjukkan pada Gambar 6.1 sampai Gambar 6.3.



Gambar 6.1 Mean error profit sharing untuk $c_1 < c_2$



Gambar 6.2 Mean error profit sharing untuk $c_1=c_2$



Gambar 6.3 Mean error profit sharing untuk $c_1 > c_2$

Secara keseluruhan rata-rata *profit* di terminal 1 dengan strategi kolaborasi lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata *profit* dengan strategi non kolaborasi, sedangkan rata-rata *profit* di terminal 2 dengan strategi kolaborasi lebih besar dibandingkan dengan rata-rata *profit* dengan strategi non kolaborasi. Strategi kolaborasi menyebabkan terjadinya *shifting* sebanyak 100 kapal, yang semula *berthing* dari terminal 1 ke terminal 2, serta *shifting container* dari terminal 1 ke terminal 2 sebesar 104,566 container. Berdasarkan formulasi (9), terjadi penambahan *profit* terminal 2 sebesar $n_{12}(r_l + r_d + r_t + r_k + r_p)$. *Profit* tersebut merupakan *profit* yang termasuk dalam kategori *profit* tidak di *share* dengan terminal lain (terminal

1). Dengan demikian strategi kolaborasi akan menyebabkan *profit* di terminal yang mendapat limpahan kapal dan *container* (terminal 2) akan selalu lebih besar dibandingkan dengan strategi non kolaborasi. Secara umum apabila terdapat perbedaan *shifting* kapal dimana salah satu terminal *surplus*, maka *profit* dengan strategi kolaborasi di terminal tersebut akan menjadi lebih besar dibandingkan dengan *profit* dengan strategi non kolaborasi.

Jika terjadi *shifting container* dari terminal 1 ke terminal 2, maka biaya *movement container* yang dibayarkan ke terminal 2 sama dengan biaya pokok di terminal 2. Terminal 2 pada dasarnya tidak memperoleh *profit* yang berasal dari *movement container*. Sebaliknya, terminal 1 memperoleh *profit* sebesar $r_m - c_2$, sehingga *profit* di terminal 1 berbanding terbalik dengan biaya pokok di terminal 2, atau semakin kecil biaya pokok di terminal 2, maka akan semakin besar *profit* di terminal 1.

Berdasarkan besarnya biaya pokok, maka apabila biaya pokok terminal 1 lebih kecil dari biaya pokok di terminal 2, maka total *profit* dengan strategi kolaborasi lebih rendah dibandingkan dengan strategi non kolaborasi. Apabila apabila biaya pokok terminal 1 sama biaya pokok di terminal 2, atau biaya pokok terminal 1 lebih besar dari biaya pokok di terminal 2, maka total *profit* dengan strategi kolaborasi lebih tinggi dibandingkan dengan strategi non kolaborasi.

6.6. Kesimpulan

Kolaborasi menghasilkan *profit* lebih besar apabila biaya pokok terminal 1 sama dengan atau lebih tinggi dibandingkan dengan biaya pokok terminal 2. Secara umum apabila strategi kolaborasi menyebabkan perbedaan *shifting* kapal dimana salah satu terminal *surplus*, maka *profit* dengan strategi kolaborasi di terminal tersebut akan menjadi lebih besar dibandingkan dengan *profit* dengan strategi non kolaborasi.

Jika terjadi *shifting container* dari satu terminal ke terminal lainnya, maka *profit* akan masuk ke terminal asal. Besarnya profit yang diterima oleh terminal asal

berbanding terbalik dengan biaya pokok di terminal tujuan, atau semakin kecil biaya pokok di terminal tujuan, maka akan semakin besar *profit* di terminal asal.

BAB 7

RINGKASAN DAN KESIMPULAN

7.1. Ringkasan

Permasalahan alokasi kapal (*berth allocation problem*) merupakan permasalahan yang kompleks karena tidak semata-mata hanya mengalokasikan kapal, tetapi juga mengalokasikan sumber daya lainnya seperti *crane*, dermaga, *yard*, *RTG*, alat transportasi dan peralatan penunjang lainnya. Alokasi dermaga, *crane* dan *yard* berpengaruh terhadap performa pelayanan yang diberikan terminal kepada *shipping lines*.

Situasi ketidakpastian (*uncertainty*) menyebabkan kedatangan kapal di pelabuhan menjadi tidak menentu. Ketidakpastian umumnya tidak bisa dikontrol atau dikendalikan, sehingga keterlambatan kedatangan kapal juga sulit untuk dihindarkan. Akibat dari keterlambatan tersebut, maka sumber daya yang sudah dipersiapkan menjadi menganggur karena tidak termanfaatkan. Demikian juga sebaliknya, pada saat kapal datang di luar jadwal, maka operator terminal kesulitan untuk mengalokasikan kapal. Oleh karena itu kapal harus menunggu sampai dermaga dan peralatan lainnya di terminal tersebut tersedia.

Untuk pelabuhan dengan beberapa terminal *container* yang menerapkan sistem *windows slot* yang dioperasikan oleh operator berbeda maka pada saat yang bersamaan sangat berpotensi terjadi kekurangan (*shortage*) sumber daya di satu terminal dan kelebihan (*surplus*) sumber daya di terminal lain. Oleh karena itu dibutuhkan strategi untuk menghadapi kondisi tersebut. Salah satu strategi yang diusulkan adalah melakukan kerja sama atau kolaborasi.

Pada kondisi eksisting *shipping lines* yang memiliki *windows slot* di terminal 1 hanya bisa *berthing* dan bongkar muat menggunakan sumber daya yang dimiliki terminal tersebut, demikian juga *shipping lines* yang memiliki *windows slot* di terminal 2 hanya bisa *berthing* dan bongkar muat menggunakan sumber daya yang dimiliki

terminal 2. Apabila seluruh dermaga di terminal 1 digunakan, maka kapal yang datang harus menunggu dan antri sampai dermaga di terminal 1 tersedia, meskipun di terminal 2 terdapat dermaga yang tidak digunakan, demikian juga sebaliknya. Strategi kolaborasi memungkinkan setiap kapal bisa *berthing* di setiap terminal meskipun kapal tersebut memiliki *windows slot* di terminal yang berbeda.

Alokasi *berth*, *crane* dan *yard* merupakan proses yang saling terkait sehingga alokasi ketiganya tidak bisa dilakukan secara parsial atau bertahap (*multiphase*). Penyelesaian parsial dan *multiphase* umumnya dilakukan dengan menyelesaikan alokasi *berth* pada *phase* pertama, dan dilanjutkan dengan alokasi *crane* atau *yard* di *phase* berikutnya. Penyelesaian *multiphase* memiliki kekurangan atau kelamahan karena tidak memberikan penyelesaian yang optimal. Alokasi *crane* yang optimal pada *phase* kedua dapat merubah alokasi *berth* yang sudah optimal di *phase* pertama.

Dalam penelitian ini dikembangkan model *simultaneous berth allocation problem* dengan strategi kolaborasi. Karena sistem yang relatif kompleks dan mengandung unsur ketidakpastian maka studi ini menggunakan permodelan “*discrete event simulation*”. Dalam model ini diusulkan beberapa skenario yang dikembangkan dari kombinasi empat faktor, yaitu *service order*, *berth-yard*, *crane* dan *strategy*. Setiap faktor masing-masing memiliki 2 level. Dengan menggunakan konsep *full factorial design* (2^k *factorial design*) $2 \times 2 \times 2 \times 2$ dihasilkan sebanyak 16 skenario. Skenario pertama merupakan kondisi eksisting yang dijadikan sebagai *baseline* untuk menentukan skenario terbaik. Skenario terbaik dipilih dan ditentukan berdasarkan dua respon, yaitu waktu dan jumlah kapal yang menunggu. Analisis lebih detil dilakukan terhadap *waiting time*, *handling time* dan *turnaround time*.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kolaborasi menciptakan keseimbangan antara terminal dengan *load* tinggi dan terminal dengan *load* rendah. Kondisi tersebut menimbulkan konsekuensi yang tidak bisa dihindarkan, yaitu terjadinya *shifting* kapal dan *container* dari terminal *load* tinggi ke terminal *load* rendah. Pergeseran kapal dan *container* menyebabkan perubahan performa finansial bagi kedua terminal. Dalam penelitian ini juga dibuat skema *profit sharing* atau *profit redistribution*.

7.2. Kesimpulan Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat ditarik beberapa kesimpulan dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Dari sudut pandang operasional, alokasi *crane* secara *fixed* menghasilkan jumlah dan waktu tunggu kapal menjadi lebih pendek dibandingkan dengan alokasi *crane* secara *flexible*. Urutan pelayanan (*service order*) dengan sistem prioritas dan urutan pelayanan dengan sistem *first come first served* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah dan waktu tunggu kapal. Alokasi *berth-yard* secara *dependent* maupun alokasi *berth-yard* secara *independent* juga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah dan waktu tunggu kapal. Strategi kolaborasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah dan waktu tunggu kapal. Strategi kolaborasi menghasilkan waktu tunggu yang lebih rendah dibandingkan dengan strategi non kolaborasi.
2. Kolaborasi dapat menciptakan keseimbangan operasi di terminal dengan *load* tinggi dan terminal dengan *load* rendah. *Waiting time* dan *turnaround time* di terminal dengan *load* tinggi mengalami penurunan, sedangkan di terminal dengan *load* rendah mengalami peningkatan. Strategi kolaborasi dapat mengurangi jumlah kapal menunggu hingga 43.82 % per tahun (dari 267 kapal menjadi 117 kapal per tahun), sedangkan *waiting time* berkurang sebesar 46.82% (dari 15.368 jam per kapal menjadi 7.196 jam per kapal). *Turnaround time* mengalami penurunan sebesar 10.60% per kapal per kedatangan (dari 39.45 jam menjadi 35.26 jam).
3. Penurunan waktu tunggu dapat meningkatkan kualitas pelayanan (*service level*) kepada *shipping lines*. Meningkatnya *service level* dapat meningkatkan kepuasan *shipping lines*. Kolaborasi juga dapat meningkatkan fleksibilitas pelayanan kapal karena kapal tidak harus tergantung dengan salah satu terminal dimana kapal tersebut memiliki *windows*.
4. Kolaborasi menimbulkan konsekuensi terjadinya *shifting* kapal dan *container* dari terminal dengan *load* tinggi ke terminal dengan *load* rendah. Perubahan *shifting* ini berpengaruh terhadap *financial performance* bagi kedua terminal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu dibuat skema *profit sharing* atau *profit redistribution*.

Profit redistribution dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dapat dilakukan secara proporsional dengan mengacu pada karakteristik *profit* yang bisa di-*share*. *Profit* yang bisa di-*share* adalah *profit* yang bersumber karena adanya *shifting* kapal dan *container*. Secara umum apabila strategi kolaborasi menyebabkan perbedaan *shifting* kapal dimana salah satu terminal surplus, maka *profit* dengan strategi kolaborasi di terminal tersebut akan selalu lebih besar dibandingkan dengan *profit* dengan strategi non kolaborasi. Jika terjadi *shifting container* dari satu terminal ke terminal lainnya, maka *profit* akan masuk ke terminal asal. Besarnya *profit* yang diterima oleh terminal asal berbanding terbalik dengan biaya pokok di terminal tujuan, atau semakin kecil biaya pokok di terminal tujuan, maka akan semakin besar *profit* di terminal asal. Dengan demikian, maka *profit* sharing dengan skema proporsional 2 lebih representative dibandingkan dengan skema Imai atau skema proporsional 1.

7.3. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena adanya beberapa asumsi yang digunakan. Distribusi waktu antar kedatangan kapal hanya menggunakan satu distribusi berdasarkan hasil *fitness distribution*, penelitian ini tidak menguji sensitifitas sistem dengan distribusi yang berbeda. Uji sensitifitas juga tidak diberlakukan untuk distribusi yang digunakan untuk men-*generate container loading* dan *unloading*. Prioritas yang digunakan untuk menentukan urutan pelayanan dalam penelitian ini hanya mempertimbangkan prioritas berdasarkan *windows slot* dimana kapal diprioritaskan *berthing* di terminal dimana kapal tersebut memiliki *windows*. Proses *shuffling*, baik sebelum maupun sesudah *loading* tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini. Pada alokasi *crane* yang bersifat *independen*, hanya mempertimbangkan *crane* yang ada di dua sisi dermaga, tidak dipertimbangkan ketersediaan *crane* secara menyeluruh.

7.4. Penelitian Lanjutan (*Future Research*)

Penelitian tentang *simultaneous-collaborative berth allocation* masih memiliki peluang untuk dikembangkan pada penelitian lanjutan. Terjadinya shifting kapal dan *container* yang berpengaruh terhadap *finalcial performance* bagi kedua terminal merupakan esensi penting sebagai salah satu syarat dalam kolaborasi. Oleh karena itu dalam penelitian berikutnya perlu dilakukan lebih *comprehensive* mengenai *profit sharing* atau *risk sharing*.

Dalam penelitian ini, belum dibahas perlakuan terhadap kapal dengan durasi keterlambatan yang berbeda-beda serta pengaruh dari perbedaan ukuran kapal. Dalam penelitian berikutnya perlu di kaji mengenai perbedaan perlakuan (*treatment*) terhadap kapal dengan durasi keterlambatan yang berbeda. Ukuran kapal atau volume muatan perlu dipertimbangkan dalam menentukan alokasi dermaga.

Untuk terminal dengan volume bongkar muat yang tinggi, pembahasan *berth allocation* perlu dikaitkan dengan pengaruh *congestion*, *retrieval system*, *dwelling time* dan *stacking system*. Pengembangan *berth allocation problem* perlu dikaitkan dengan pengembangan konsep *dry port*. Dalam kaitan dengan kondisi *spatial* dermaga, penelitian ini bisa dikembangkan menjadi penelitian yang bersifat *continuous berth allocation problem*.

REFERENCES

- Abadi, A., Baphana, M., & Ioannou, P., (2009), "Simulation Models for Evaluation of Terminal Operations and Traffic Flow on Adjacent Road Network", *12th IFAC Symposium on Transportation Systems*, 129–134.
- Adam, S., (2009), Simulation and analysis of port bottlenecks : The case of Male.
- Adenso-Diaz, B., Lozano, S., Garcia-Carbajal, S., & Smith-Miles, K., (2014), "Assessing Partnership Savings in Horizontal Cooperation by Planning Linked Deliveries", *Transportation Research Part A*, 66, 268–279.
- Altiok, T., & Melamed, B., (2007), "Simulation Modeling and Analysis with Arena".
- Álvarez-sanjaime, Ó., Cantos-sánchez, P., Moner-colonques, R., & Sempere-monerris, J. J., (2013), "Competition and Horizontal Integration in Maritime Freight Transport", *Transportation Research Part E*, 51, 67–81.
- Ankersmit, S., Rezaei, J., & Tavasszy, L., (2014), "The Potential of Horizontal Collaboration in Airport Ground Freight Services", *Journal of Air Transport Management*, 40, 169–181.
- Arango, C., Cortés, P., Muñuzuri, J., & Onieva, L., (2011), "Berth Allocation Planning in Seville Inland Port by Simulation and Optimisation", *Advanced Engineering Informatics*, 25(3), 452–461.
- Asgari, N., Zanjirani, R., & Goh, M., (2013), "Network Design Approach for Hub Ports-Shipping Companies Competition and Cooperation", *Transportation Research Part A*, 48, 1–18.
- Assi, K. A., (2013), "Integrating Resource Dependence Theory and Theory of Constraint Weak Ties To Understand Organizational Behavior", *Public Management Research Conference*, 1–26.
- Bahinipati, B. K., & Deshmukh, S. G., (2012), "Vertical Collaboration in the Semiconductor Industry : A Decision Framework for Supply Chain Relationships Q", *Computers & Industrial Engineering*, 62(2), 504–526.
- Bahinipati, B. K., Kanda, A., & Deshmukh, S. G., (2009), "Horizontal Collaboration in Semiconductor Manufacturing Industry Supply Chain : An Evaluation of Collaboration Intensity Index", *Computers & Industrial Engineering*, 57(3), 880–895.
- Bergantino, A. S., Musso, E., & Porcelli, F., (2013), "Port Management Performance and Contextual Variables : Which Relationship ? Methodological and Empirical Issues", *RTBM*, 8, 39–49.
- Bichou, K., (2007), "Review of Port Performance Approaches and Supply Chain Framework To Port Performance Benchmarking", *Research in Transportation Economics*, 17(6), 567–598.
- Bichou, K., & Gray, R., (2004a), "A Logistics and Supply Chain Management Approach to Port Performance Measurement", *Maritim Policy and Management*, 31, 47–67.
- Bichou, K., & Gray, R., (2004b), "A Logistic and Supply Chain Management Approach to Port Performance Measurement", *Maritim Policy and Management*, 31(1), 47–67.

- Bierwirth, C., & Meisel, F., (2010), "A Survey of Berth Allocation and Quay Crane Scheduling Problems in Container Terminals", *European Journal of Operational Research*, 202(3), 615–627.
- Bierwirth, C., & Meisel, F., (2015), "A Follow-up Survey of Berth Allocation and Quay Crane Scheduling Problems in Container Terminals", *European Journal of Operational Research*, 244(3), 675–689.
- Buhrkal, K., Zuglian, S., Ropke, S., Larsen, J., & Lusby, R., (2011), "Models for the Discrete Berth Allocation Problem: A Computational Comparison", *Transportation Research Part E*, 47(4), 461–473.
- Chang, D., Jiang, Z., Yan, W., & He, J., (2010), "Integrating Berth Allocation and Quay Crane Assignments", *Transportation Research Part E*, 46(6), 975–990.
- Chang, D., Zuhua, W. Y., Chen, C.-H., & Jiang, Z., (2008), "A Berth Allocation Strategy Using Heuristics Algorithm and Simulation Optimisation", *Int. J. Computer Applications in Technology*, 32(4), 272–281.
- Chopra, S., & Meindl, P., (2013), "Supply Chain Management Strategy, Planning, and Operation" (Fifth Edit.). Global Edition: Pearson.
- Cordeau, J.-F., Laporte, G., Legato, P., & Moccia, L., (2005), "Models and Tabu Search Heuristics for the Berth Allocation Problem", 1–24.
- Costas, J., Ponte, B., De, D., Pino, R., & Puche, J., (2015), "Applications Applying Goldratt's Theory of Constraints to Reduce the Bullwhip Effect through Agent-Based Modeling", *Expert Systems with Applications*, 42, 2049–2060.
- Cousins, P. D., Lawson, B., & Squire, B., (2008), "Performance Measurement in Strategic Buyer-Supplier Relationships: The Mediating Role of Socialization Mechanisms", *International Journal of Operations & Production Management*, 28(3), 238–258.
- Cousins, P. D., & Menguc, B., (2013), "The Implications of Socialization and Integration in Supply Chain Management", *Journal of Operations Management*, 24(2006), 604–620.
- Creazza, A., & Dallari, F., (2010), "Evaluating Logistics Network Configurations for a Global Supply Chain", *Supply Chain Management an International Journal*, 15(2), 154–164.
- Cullinane, K., Wang, T.-F., Song, D.-W., & Ji, P., (2006), "The Technical Efficiency of Container Ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis", *Transportation Research Part A*, 40, 334–374.
- Donk, D. P. Van, Akkerman, R., & van der Vaart, T., (2008), "Opportunities and Realities of Supply Chain Integration: The Case of Food Manufacturers", *British Food Journal*, 110, 218–235.
- Douglas C. Montgomery, (2005), "Design and Analysis of Experiments" (Sixth Edit.). John Wiley & Sons, Inc.
- Du, Y., Chen, Q., Quan, X., Long, L., & Fung, R. Y. K., (2011), "Berth Allocation Considering Fuel Consumption and Vessel Emissions", *Transportation Research Part E*, 47(6), 1021–1037.
- Elwany, M. H., Ali, I., & Abouelseoud, Y., (2013), "A Heuristics-Based Solution to the Continuous Berth Allocation and Crane Assignment Problem", *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), 671–677.

- Feng, M., Mangan, J., & Lalwani, C., (2011), "Comparing Port Performance : Western European versus Eastern Asian Ports", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 42, 490–512.
- Frisk, M., Göthe-lundgren, M., Jörnsten, K., & Rönnqvist, M., (2010), "Cost Allocation in Collaborative Forest Transportation", *European Journal of Operational Research*, 205(2), 448–458.
- Fugate, B. S., Davis-sramek, B., & Goldsby, T. J., (2009), "Operational Collaboration between Shippers and Carriers in the Transportation Industry", 20(3), 425–447.
- Ghisi, A., Kristensen, T., Hingley, M., Adams, H., & Lindgreen, A., (2008), "Horizontal Alliances amongst Small Retailers in Brazil", *British Food Journal*, 110(5), 514–538.
- Giallombardo, G., Moccia, L., Salani, M., & Vacca, I., (2010), "Modeling and Solving the Tactical Berth Allocation Problem", *Transportation Research Part B*, 44(2), 232–245.
- Golias, M. M., Boile, M., & Theofanis, S., (2009), "Berth Scheduling by Customer Service Differentiation : A Multi-Objective Approach", *Transportation Research Part E*, 45(6), 878–892.
- Golias, M. M., Boile, M., & Theofanis, S., (2010), "A Lamda-Optimal Based Heuristic for the Berth Scheduling Problem", *Transportation Research Part C*, 18(5), 794–806.
- Golias, M., Portal, I., Konur, D., Kaisar, E., & Kolomvos, G., (2014), "Robust Berth Scheduling at Marine Container Terminals via Hierarchical Optimization", *Computers and Operation Research*, 41, 412–422.
- Golmohammadi, D., (2015), "A Study of Scheduling under the Theory of Constraints", *Intern. Journal of Production Economics*, 165, 38–50.
- Gupta, M. C., & Boyd, L. H., (2008), "Theory of Constraints : A Theory for Operations Management", 28(10), 991–1012.
- Hall, P. V, Brien, T. O., & Woudsma, C., (2013), "Environmental Innovation and the Role of Stakeholder Collaboration in West Coast Port Gateways", *Research in Transportation Economics*, 42(1), 87–96.
- Han, X., Lu, Z., & Xi, L., (2010), "A Proactive Approach for Simultaneous Berth and Quay Crane Scheduling Problem with Stochastic Arrival and Handling Time", *European Journal of Operational Research*, 207(3), 1327–1340.
- Hansen, P., Og, C., & Mladenovic, N., (2008), "Variable Neighborhood Search for Minimum Cost Berth Allocation", *European Journal of Operational Research*, 191, 636–649.
- Harrison, A., & Fichtinger, J., (2013), "Managing Variability in Ocean Shipping", *International Journal of Logistics Management*, 24(1), 7–21.
- Hendriks, M., Laumanns, M., Lefebber, E., & Tijmen, J., (2010), "Robust Cyclic Berth Planning of Container Vessels", *OR Spectrum*, 32, 501–517.
- Hendriks, M. P. ., Armbruster, D., Laumanns, M., Lefebber, E., & Udding, J. T., (n.d.), "The Strategic Allocation of Cyclically Calling Vessels for Multi-Terminal Container Operators", 1–19.
- Hendriks, M. P. M., Lefebber, E., & Udding, J. T., (2013), "Simultaneous Berth Allocation and Yard Planning at Tactical Level", *OR Spectrum*, 35, 441–456.

- Hingley, M., Grant, D. B., Kane, C., & Adams, H., (2011), "Using Fourth-Party Logistics Management to Improve Horizontal Collaboration among Grocery Retailers", 5(March), 316–327.
- Homayouni, S. M., Tang, S. H., & Motlagh, O., (2014), "A Genetic Algorithm for Optimization of Integrated Scheduling of Cranes, Vehicles, and Storage Platforms at Automated Container Terminals", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 270, 545–556.
- Hoshino, H., (2010), "Competition and Collaboration among Container Ports", *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 26(1), 31–47.
- Hsu, W.-K. K., (2013), "Improving the Service Operations of Container Terminals", *International Journal of Logistics Management*, The, 24(1), 101–116.
- Hu, Q., Hu, Z., & Du, Y., (2014), "Berth and Quay-Crane Allocation Problem Considering Fuel Consumption and Emissions from Vessels", *Computers & Industrial Engineering*, 70, 1–10.
- Huynh, N. N., Walton, C. M., & River, R., (2005), "Methodologies for Reducing Truck Turn Time at Marine Container Terminals", *Center for Transportation Research The University of Texas at Austin*, 7(2), 1–144.
- Ilati, G., & Sheikholeslami, A., (2014), "A Simulation-Base Optimization Approach for Integrated Port Resource Allocation Problem", *Traffic and Transportation*, 26(3), 243–255.
- Imai, A., (2008), "The Simultaneous Berth and Quay Crane Allocation Problem", *Transportation Research Part E*, 44, 900–920.
- Imai, A., Nishimura, E., & Papadimitriou, S., (2001), "The Dynamic Berth Allocation Problem for a Container Port", *Transportation Research Part B*, 35, 401–417.
- Imai, A., Nishimura, E., & Papadimitriou, S., (2003), "Berth Allocation with Service Priority", *Transportation Research Part B*, 37, 437–457.
- Imai, A., Nishimura, E., & Papadimitriou, S., (2008), "Berthing Ships at a Multi-User Container Terminal with a Limited Quay Capacity", *Transportation Research Part E*, 44, 136–151.
- Imai, A., Sun, X., Nishimura, E., & Papadimitriou, S., (2005), "Berth Allocation in a Container Port : Using a Continuous Location Space Approach", *Transportation Research Part B*, 39, 199–221.
- Imai, A., Yamakawa, Y., & Huang, K., (2014), "The Strategic Berth Template Problem", *Transportation Research Part D*, 72, 77–100.
- Imai, A., Zhang, J.-T., Nishimura, E., & Papadimitriou, S., (2007), "The Berth Allocation Problem with Service Time and Delay Time Objectives", *Maritime Economics and Logistics*, 9, 269–290.
- Jin, J. G., Lee, D.-H., & Hua, H., (2015), "Tactical Berth and Yard Template Design at Container Transshipment Terminals : A Column Generation Based Approach", *Transportation Research Part E*, 73, 168–184.
- Juan, A. A., Faulin, J., Perez-Bernabeu, E., & Jozefowicz, N., (2014), "Horizontal Cooperation in Vehicle Routing Problem with Backhauling and Environmental Criteria", *Procedia* -

Social and Behavioral Sciences, 111, 1133–1141.

- Kamiyama, N., Kawahara, R., & Hasegawa, H., (2013), "Optimum Profit Allocation in Coalitional VoD Service", *Computer Networks*, 57(15), 3081–3097.
- Kamrani, M., Mohsen, S., Esmail, H., & Golroudbary, S. R., (2014), "Traffic Simulation of Two Adjacent Unsignalized T-Junctions during Rush Hours Using Arena Software", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 49, 167–179.
- Kelton, W. D., Sawdoski, R. P., & Sawdoski, D. A., (2010), "Simulation With Arena" (5th ed.). Mc GrawHill.
- Kia, M., Shayan, E., & Ghotb, F., (2002), "Investigation of Port Capacity under a New Approach by Computer Simulation", 42, 533–540.
- Kim, K. H., & Moon, K. C., (2003), "Berth Scheduling by Simulated Annealing", 37, 541–560.
- Kimms, A., & Çetiner, D., (2012), "Approximate Nucleolus-Based Revenue Sharing in Airline Alliances", *European Journal of Operational Research*, 220(2), 510–521.
- Kotachi, M., Rabadi, G., & Obeid, M. F., (2013), "Simulation Modeling and Analysis of Complex Port Operations with Multimodal Transportation", *Procedia Computer Science*, 20, 229–234.
- Kulak, O., Polat, O., Gujjula, R., & Gu, H., (2013), "Strategies for Improving a Long-Established Terminal's Performance: A Simulation Study of a Turkish Container Terminal", *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 25((2013)), 503–527.
- Laine, J. T., & Vepsäläinen, A. P. J., (1994), "Economies of Speed in Sea Transportation", (January), 33–42.
- Lalla-ruiz, E., González-velarde, J. L., Melián-batista, B., & Moreno-vega, J. M., (2014), "Biased Random Key Genetic Algorithm for the Tactical Berth Allocation Problem", *Applied Soft Computing Journal*, 22, 60–76.
- Lalla-Ruiz, E., Melian-Batista, B., & Moreno-Vega, J. M., (2012), "Artificial Intelligence Hybrid Heuristic Based on Tabu Search for the Dynamic Berth Allocation Problem", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25, 1132–1141.
- Lasse, (2012), "Manajemen Muatan Kapal". Rajagrafindo Persada.
- Lee, D., Chen, J. H., & Cao, J. X., (2010), "The Continuous Berth Allocation Problem: A Greedy Randomized Adaptive Search Solution", *Transportation Research Part E*, 46(6), 1017–1029.
- Lee, D., & Jin, J. G., (2013), "Feeder Vessel Management at Container Transshipment Terminals", *Transportation Research Part E*, 49(1), 201–216.
- Legato, P., Mazza, R. M., & Gulli, D., (2014), "Integrating Tactical and Operational Berth Allocation Decisions via Simulation-Optimization", *Computers & Industrial Engineering*, 78, 84–94.
- Legato, P., Mazza, R. M., & Trunfio, R., (2008), "Simulation-Base Optimization For The Quay Crane Scheduling Problem", *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*.
- Leitner, R., Meizer, F., Prochazka, M., & Sihm, W., (2011), "Structural Concepts for Horizontal Cooperation to Increase Efficiency in Logistics", *CIRP Journal of Manufacturing*

Science and Technology, 4(3), 332–337.

- Li, J., Li, W., & Lin, Y., (2011), "Port Supply Chain Simulation Model under Interactive Analysis", *Procedia Engineering*, 1–5.
- Liang, C., Huang, Y., & Yang, Y., (2009), "A Quay Crane Dynamic Scheduling Problem by Hybrid Evolutionary Algorithm for Berth Allocation Planning", *Computers & Industrial Engineering*, 56(3), 1021–1028.
- Lin, C., Tsai, H., & Wu, J., (2013), "Collaboration Strategy Decision-Making Using the Miles and Snow Typology", *Journal of Business Research*.
- Lorentz, H., (2008), "Collaboration in Finnish-Russian Supply Chains of Experience", *Baltic Journal of Management*, 3, 246–265.
- Lozano, S., Moreno, P., Adenso-díaz, B., & Algaba, E., (2013), "Cooperative Game Theory Approach to Allocating Benefits of Horizontal Cooperation", *European Journal of Operational Research*, 229(2), 444–452.
- Mason, R., Lalwani, C., Boughton, R., & Logistics, M., (2005), "Combining Vertical and Horizontal Collaboration for Transport Optimisation", *Supply Chain Management an International Journal*, 12(3), 187–199.
- Mason, R., & Nair, R., (2013), "Supply-Side Strategic Flexibility Capabilities in Container Liner Shipping", *The International Journal of Logistics Management*, 24, 22–48.
- Meisel, F., & Bierwirth, C., (2009), "Heuristics for the Integration of Crane Productivity in the Berth Allocation Problem", *Transportation Research Part E*, 45(1), 196–209.
- Mena, C., Humphries, A., & Wilding, R., (2009), "A Comparison of Inter- and Intra-Organizational Relationships Two Case Studies from UK Food and Drink Industry", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39(9), 762–784.
- Moorthy, R., & Teo, C.-P., (2006), "Berth Management in Container Terminal : The Template Design Problem", *OR Spectrum*.
- Naesens, K., Gelders, L., & Pintelon, L., (2009), "A Swift Response Framework for Measuring the Strategic Fit for a Horizontal Collaborative Initiative", *Intern. Journal of Production Economics*, 121(2), 550–561.
- Nemati, A. R., Bhatti, A. M., Maqsal, M., Mansoor, I., & Naveed, F., (2010), "Impact of Resource Based View and Resource Dependence Theory on Strategic Decision Making", *International Journal of Business and Management*, 5(12), 110–115.
- Nishimura, E., Imai, A., & Papadimitriou, S., (2001), "Berth Allocation Planning in the Public Berth System by Genetic Algorithms", *European Journal of Operational Research*, 131, 282–292.
- Notteboom, T., & Cariou, P., (2013), "Slow Steaming in Container Liner Shipping : Is There Any Impact on Fuel Surcharge Practices ?", 24(1), 73–86.
- Notteboom, & Winkelmanns, (2001), "Structural Changes in Logistics: How Will Port Authorities Face the Challenge", *Maritime Policy and Management*, 28.
- Oliveira, R. M. de, Mauri, G. R., & Lorena, L. A. N., (2012), "Clustering Search for the Berth Allocation Problem", *Expert Systems With Applications*, 39(5), 5499–5505.

- Ouardighi, F. El, & Kim, B., (2010), "Supply Quality Management with Wholesale Price and Revenue-Sharing Contracts under Horizontal Competition", *European Journal of Operational Research*, 206(2), 329–340.
- Paixao, A. C., & Marlow, P. ., (2003), "Fourth Generation Ports - a Question of Agility", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 33.
- Park, N., & Dragovic, B., (2009), "A Study of Container Terminal Planning", *FME Transactions*, 37, 203–209.
- Park, Y. M., & Kim, K. H., (2003), "A Scheduling Method for Berth and Quay Cranes", *OR Spectrum*, 25, 1–23.
- Peng-fei, Z., & Hai-gui, K., (2008), "Study on Berth and Quay-Crane Allocation under Stochastic Environments in Container Terminal", *Systems Engineering - Theory & Practice*, 28(1), 161–169.
- Pramatari, K., & Papakiriakopoulos, D., (2010), "Collaborative Performance Measurement in Supply Chain", *Industrial Management & Data Systems*, 110(9), 1297–1318.
- Raa, B., Dullaert, W., & Schaeren, R. Van, (2011), "An Enriched Model for the Integrated Berth Allocation and Quay Crane Assignment Problem", *Expert Systems With Applications*, 38(11), 14136–14147.
- Radhika, (2012), "The New Role of Seaports as Integral Parts of Global Supply Chains", *Excel International Journal of Multidisciplinary Studies*, 2(4).
- Reniers, G., Dullaert, W., & Visser, L., (2010), "Empirically Based Development of a Framework for Advancing and Stimulating Collaboration in the Chemical Industry (ASC): Creating Sustainable Chemical Industrial Parks", *Journal of Cleaner Production*, 18(16–17), 1587–1597.
- Robinson, (2002), "Ports as Elements in Value-Driven Chain Systems: The New Paradigm", 25.
- Rodrigue, J., & Notteboom, T., (2012), "Dry Ports in European and North American Intermodal Rail Systems: Two of a Kind?", *Research in Transportation Business & Management*, 5, 4–15.
- Rossetti, M. D., (2010), "Simulation Modeling and Arena". John Wiley & Sons, Inc.
- Sargent, R. G., (2007), "Verification and Validation of Simulation Models", *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, 124–137.
- Shawki, K. M., Kilani, K., & Gomaa, M. A., (2015), "Analysis of Earth-Moving Systems Using Discrete-Event Simulation", *Alexandria Engineering Journal*.
- Sheppard, J. P., (1995), "Resources Dependence Approach to Organizational Failure", *Social Science Research*, 24, 28–62.
- Simatupang, T. M., & Sridharan, R., (2005), "An Integrative Framework for Supply Chain Collaboration", *The International Journal of Logistics Management*, 16(2), 257–274.
- Song, D.-W., & Panayides, P. M., (2008), "Evaluating the Integration of Seaport Container Terminals in Supply Chains", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(7), 562–584.
- Song, L., Cherrett, T., & Guan, W., (2012), "Study on Berth Planning Problem in a Container

- Seaport: Using an Integrated Programming Approach", *Computers & Industrial Engineering*, 62(1), 119–128.
- Souza, A.K.C., B., & Pettit S.J., 2003, (2003), "Liner Shipping Companies and Terminal Operators: Internationalization or Globalization", *Maritime Economics and Logistics*, 5.
- Steinicke, S., Wallenburg, C. M., & Schmoltzi, C., (2012), "Governing for Innovation in Horizontal Service Cooperations", *Journal of Service Management*, 23(2), 279–302.
- Tahar, R. M., & Hussain, H., (2013), "Simulation and Analysis for the Kelang Container Terminal Operations", *Logistic Information Management*, 13(1), 14–20.
- Talley, W. K., & Ng, M., (2013), "Maritime Transport Chain Choice by Carriers , Ports and Shippers", *Intern. Journal of Production Economics*, 142(2), 311–316.
- Tao, Y., & Lee, C., (2015), "Joint Planning of Berth and Yard Allocation in Transshipment Terminals Using Multi-Cluster Stacking Strategy", *Transportation Research Part E*, 83, 34–50.
- Ting, C., Lin, S., & Wu, K., (n.d.), "The Continuous Berth Allocation Problem by Simulated Annealing", *Asia Pacific Industrial Engineering and Management System*.
- Ting, C., Wu, K., & Chou, H., (2014), "Particle Swarm Optimization Algorithm for the Berth Allocation Problem", *Expert Systems With Applications*, 41(4), 1543–1550.
- Tongzon, J., Chang, Y., & Lee, S., (2009), "How Supply Chain Oriented Is the Port Sector ?", *Intern. Journal of Production Economics*, 122(1), 21–34.
- Tongzon, J., & Heng, W., (2005), "Port Privatization, Efficiency and Competitiveness : Some Empirical Evidence from Container Ports (Terminals)", *Transportation Research Part A*, 39(2005), 405–424.
- Tongzon, J. L., (2009), "Port Choice and Freight Forwarders", *Transportation Research Part E*, 45(1), 186–195.
- Tongzon, J. L., (2013), "Determinants of Port Performance and Efficiency", 29(3), 245–252.
- Tu, Z., Sebla, N., & Vayvay, Ö., (2014), "Theory of Constraints : A Literature Review", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 150(231), 930–936.
- Türkogulları, Y. B., Taskın, Z. C., Aras, N., & B, I. K. A., (2014), "Optimal Berth Allocation and Time-Invariant Quay Crane Assignment in Container Terminals", *European Journal of Operational Research*, 235, 88–101.
- UNCTAD, (2015), Trade and Development Report, *The Oxford Handbook of The Political Economy of International Trade*.
- Valentina, C., & Marcella, D., (2003), "The Changing Role of Ports in Supply Chain Management: An Empirical Analysis", *Maritime Policy and Management*, 30.
- Valeria, S., Tinoco, P., Creemers, S., & Boute, R. N., (2017), "Collaborative Shipping under Different Cost-Sharing Agreements", *European Journal of Operational Research*, 263(3), 827–837.
- Wang, S., & Meng, Q., (2012), "Liner Ship Route Schedule Design with Sea Contingency Time and Port Time Uncertainty", *Transportation Research Part B*, 46(5), 615–633.
- Wang, S., Meng, Q., & Liu, Z., (2013), "A Note on “Berth Allocation Considering Fuel

- Consumption and Vessel Emissions''", *49*, 48–54.
- Wang, X., Kopfer, H., & Gendreau, M., (2014), "Operational Transportation Planning of Freight Forwarding Companies in Horizontal Coalitions", *European Journal of Operational Research*, *237*(3), 1133–1141.
- Wiengarten, F., Humphreys, P., Mckittrick, A., & Fynes, B., (2012), "Investigating the Impact of E-Business Applications on Supply Chain Collaboration in the German Automotive Industry", *International Journal of Operations & Production Management*, *33*(1), 25–48.
- Wilhelm, M. M., (2011), "Managing Coopetition through Horizontal Supply Chain Relations : Linking Dyadic and Network Levels of Analysis", *Journal of Operations Management*, *29*(7–8), 663–676.
- Woo, S., Pettit, S. J., Kwak, D., & Beresford, A. K. C., (2013), "Seaport Research : A Structured Literature Review on Methodological Issues since the 1980s", *Transportation Research Part A*, *45*(7), 667–685.
- Wu, X., Kouvelis, P., Matsuo, H., & Sano, H., (2014), "Horizontal Coordinating Contracts in the Semiconductor Industry", *European Journal of Operational Research*, *237*(3), 887–897.
- Xu, D., Li, C., & Leung, J. Y., (2012), "Berth Allocation with Time-Dependent Physical Limitations on Vessels", *European Journal of Operational Research*, *216*(1), 47–56.
- Yang, C., Wang, X., & Li, Z., (2012), "An Optimization Approach for Coupling Problem of Berth Allocation and Quay Crane Assignment in Container Terminal", *Computers & Industrial Engineering*, *63*(1), 243–253.
- Yeo, G.-T., Roe, M., & Dinwoodie, J., (2011), "Measuring the Competitiveness of Container Ports: Logisticians' Perspectives", *European Journal of Marketing*, *45*(3), 455–470.
- Yilmaz, I., Yoon, S. W., & Seok, H., (2017), "A Framework and Algorithm for Fair Demand and Capacity Sharing in Collaborative Networks", *International Journal of Production Economics*, *193*(October 2016), 137–147.
- Yilmaz, O., & Savasaneril, S., (2012), "Collaboration among Small Shippers in a Transportation Market", *European Journal of Operational Research*, *218*(2), 408–415.
- Zeng, Q., & Yang, Z., (2009), "Integrating Simulation and Optimization to Schedule Loading Operations in Container Terminals", *Computers & Operations Research*, *36*, 1935–1944.
- Zhen, L., & Chang, D., (2012), "A Bi-Objective Model for Robust Berth Allocation Scheduling", *Computers & Industrial Engineering*, *63*(1), 262–273.
- Zhen, L., Hay, L., & Peng, E., (2011), "A Decision Model for Berth Allocation under Uncertainty", *European Journal of Operational Research*, *212*(1), 54–68.

