



TUGAS AKHIR - ME 184834

**OPTIMASI PERALATAN BONGKAR MUAT SEMI-OTOMATIK  
CONTAINER DI TERMINAL TELUK LAMONG (TTL)  
BERDASARKAN RENCANA PENGEMBANGAN TERMINAL  
FASE *ULTIMATE***

I GEDE WIDYA MAHARDIKA  
NRP 04211540000086

Dosen Pembimbing

Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc. Ph.D.

A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., S.T., MES., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019









---

TUGAS AKHIR - ME 184834

**OPTIMASI PERALATAN BONGKAR MUAT SEMI-OTOMATIK  
CONTAINER DI TERMINAL TELUK LAMONG (TTL)  
BERDASARKAN RENCANA PENGEMBANGAN TERMIINAL  
FASE *ULTIMATE***

I GEDE WIDYA MAHARDIKA  
NRP 0421154000086

Dosen Pembimbing:  
Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc. Ph.D.  
A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., S.T., MES., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



---

**BACHELOR THESIS - ME 184834**

**SEMI-AUTOMATIC CONTAINER HANDLING EQUIPMENT  
OPTIMIZATION AT LAMONG BAY TERMINAL (TTL) BASED ON  
ULTIMATE PHASE TERMINAL DEVELOPMENT PLAN**

**I GEDE WIDYA MAHARDIKA  
NRP 0421154000086**

**Supervisor:**

**Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc. Ph.D.**

**A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., S.T., M.E.S., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2019**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**OPTIMASI PERALATAN BONGKAR MUAT *SEMI*AUTOMATIC  
CONTAINER DI TERMINAL TELUK LAMONG (TTL)  
BERDASARKAN RENCANA PENGEMBANGAN TERMIINAL  
FASE *ULTIMATE***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana  
Teknik pada  
Bidang Studi *Reliability, Availability, Management, and Safety* (RAMS)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**I Gede Widya Mahardika**  
NRP 0421154000086

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

**Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc. Ph.D.**

**A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., S.T., MES., Ph.D.**

Handwritten signatures of the supervisors, Raja Oloan Saut Gurning and A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., in black ink.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

### OPTIMASI PERALATAN BONGKAR MUAT *SEMIAUTOMATIC* *CONTAINER* DI TERMINAL TELUK LAMONG (TTL) BERDASARKAN RENCANA PENGEMBANGAN TERMIINAL FASE *ULTIMATE*

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana  
Teknik pada  
Bidang Studi *Reliability, Availability, Management, and Safety* (RAMS)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**I Gede Widya Mahardika**  
NRP 04211540000086

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.**  
NIP. 199708022008011007

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## ABSTRAK

### **OPTIMASI PERALATAN BONGKAR MUAT SEMI-OTOMATIK CONTAINER DI TERMINAL TELUK LAMONG (TTL) BERDASARKAN RENCANA PENGEMBANGAN TERMINAL FASE *ULTIMATE***

**Nama Mahasiswa** : I Gede Widya Mahardika  
**NRP** : 04211540000086  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing 1** : Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc. Ph.D.  
**Dosen Pembimbing 2** : A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., S.T., MES., Ph.D.

Saat ini, peralatan bongkar muat kontainer PT Terminal Teluk Lamong tidak sesuai target utilisasi karena peningkatan trafik kontianer yang mencapai 103.31% pada tahun 2017. Ketidaktercapaian ini dikarenakan konfigurasi peralatan yang belum optimal, sehingga perlu ditentukan konfigurasi peralatan ship to shore crane (STS) dan combined terminal trailer (CTT) yang optimal pada fase ultimate. Pada penelitian ini dibuat model simulasi berdasarkan proses bongkar muat saat ini dan diperoleh skenario 6 dengan konfigurasi 33 STS (11 STS pada dermaga internasional, 12 STS pada dermaga domestik 1, dan 10 STS pada dermaga domestik 2) dengan performa 24 B/C/H dan dengan penugasan 130 unit CTT pada tingkat kepadatan dermaga 60% menghasilkan throughput sebesar 5.680.200 TEUs yang merupakan skenario dengan jumlah peralatan minimum yang mampu mencapai target pelayanan fase ultimate. Skenario 10B (13 STS pada dermaga internasional, 17 STS pada dermaga domestik 1, dan 11 STS pada dermaga domestik 2) menghasilkan luaran terbesar dengan nilai 8,704,155 TEUs dengan penugasan CTT sebanyak 130 CTT pada tingkat kepadatan dermaga 53.38%. Untuk meningkatkan throughput, dapat dilakukan peningkatan penggunaan sistem operasi twinlift yang dapat meningkatkan performa STS hingga 37%.

**Kata kunci:** Peralatan, Proses, Kontainer, Skenario

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## ABSTRACT

### SEMIAUTOMATIC CONTAINER HANDLING EQUIPMENT OPTIMIZATION AT LAMONG BAY TERMINAL (TTL) BASED ON ULTIMATE PHASE TERMINAL DEVELOPMENT PLAN

**Student Name** : I Gede Widya Mahardika  
**NRP** : 0421154000086  
**Department** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Supervisor 1** : Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc. Ph.D.  
**Supervisor 2** : A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., S.T., MES., Ph.D.

This time, PT Terminal Teluk Lamong container handling equipment is not in line with its utilization target because of the increase of container traffic reaching 103.31% in 2017. This unreachable target is caused by not optimal equipment utilization, therefore it needs to determine the optimal equipment configuration of ship to shore crane (STS) and combined terminal trailer (CTT) at the port ultimate phase development. In this study, a simulation model was made based on the current container handling process and resulting scenario 6 with a configuration of 33 STS (11 STS on international berth, 12 STS on domestic 1 berth, and 10 STS on domestic 2 berth) with a performance of 24 B/C/H and with the assignments of 130 units of CTT at 60% berth density rate, obtain throughput of 5,680,200 TEUs which is a scenario with the minimum amount of equipment that is able to reach the service target at port ultimate phase development. Scenario 10B (13 STS on international berth, 17 STS on domestic 1 berth, and 12 STS on domestic 2 berth) produces the largest output with a value of 8,704,155 TEUs with a CTT assignment 130 units of CTT at 53.38% berth density rate. To increase throughput, it can be done using the twinlift operating system that can increase STS performance by up to 37%.

**Keywords:** Equipment, Loading Unloading, Container, Process

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir tepat waktu. Penelitian ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan program studi sarjana pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengerjaan tugas akhir ini tidak berjalan baik tanpa bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua Gede Wiriana dan Ni Nengah Muliadi serta adik penulis Made Widya Karunananda yang selalu memberikan dukungan dan doa.
2. Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang banyak memberikan bimbingan akademik dan nonakademik serta selalu memberi nasihat sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dengan baik.
3. Bapak. Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama penulis yang selalu memberikan arahan, kritik, dan saran selama pengerjaan tugas akhir.
4. Bapak A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D selaku dosen pembimbing kedua penulis dan kepala Laboratorium RAMS yang selalu memberikan bimbingan dan dukungan moral selama menjadi member Laboratorium RAMS.
5. Kepada Ibu Luh Sekarini dari Divisi Accounting, Bapak Nurul Hafid dari Divisi Operasional, Ibu Tuti dari Divisi HR dan khususnya Mas Galih dari Divisi Teknik serta seluruh pegawai PT Terminal Teluk Lamong yang senantiasa membantu penulis memberikan pemahaman mengenai operasional pelabuhan dan menyediakan data untuk keperluan tugas akhir ini.
6. Haidar Amien, Mba Jijah Nasution, dan Mas Fuad Khanand yang membantu penulis dalam mengerjakan model simulasi tugas akhir.
7. Teman-teman Ekalawya, Hindu Surabaya, dan Salvage'15 yang senantiasa memberikan penulis pengalaman dan hal-hal baru.
8. Krisnadi dan Wirawan yang selalu setia menemani dan memberi nasehat penulis menjadi pribadi yang lebih baik.
9. Teman-teman seperjuangan member RAMS Almer, Gerald, Elfri, Ezra, Mba Dian, Widhi, Dhanang, Satrio, Nindio, Hugo, Tyas, Dheo, Radifan, Akbhar, dan Ronald.

Penulis menyadari bahwa pembuatan Tugas Akhir ini jauh dari kata sempurna dan masih dapat dikembangkan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi bayak pihak.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xviii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Pelabuhan.....	5
2.2 Terminal Kontainer.....	7
2.2.1 Sistem Bongkar Muat Terminal Kontainer.....	8
2.2.2 Peralatan Bongkar Muat.....	8
2.3 PT. Terminal Teluk Lamong (TTL).....	9
2.3.1 Fasilitas TTL.....	10
2.3.2 Alat Bongkar Muat.....	11
2.3.3 Rencana Pengembangan Pelabuhan.....	12
2.4 Kinerja Pelabuhan.....	13
2.5 Kinerja Fasilitas dan Peralatan.....	15
2.6 Simulasi.....	15
2.6.1 <i>Discrete Event Simulation</i> .....	16
2.6.2 <i>Komponen Discrete Event Simulation</i> .....	17
2.6.3 Tahapan Simulasi.....	17
2.7 Arena Simulation.....	18
2.7.1 <i>Fitting Distribution</i> .....	19
2.7.2 Teori Replikasi.....	19
2.7.3 Verifikasi.....	20
2.7.4 Validasi.....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	22
3.1 Umum.....	23
3.2 Perumusan Masalah.....	24
3.3 Studi Literatur.....	24
3.4 Pengumpulan Data.....	24
3.5 Pengolahan Data.....	25
3.6 Pembuatan Skenario Formasi Peralatan Bongkar Muat.....	25
3.7 Verifikasi.....	25
3.8 Simulasi dengan ARENA.....	25

3.9	Validasi .....	26
3.10	Pemilihan Skenario Formasi .....	26
3.11	Rekomendasi .....	26
<b>BAB IV</b>	<b>PENGOLAHAN DATA DAN SIMULASI MODEL SAAT INI .....</b>	<b>27</b>
4.1	Identifikasi Sistem .....	27
4.1.1	Data Layout Saat Ini .....	28
4.2	Model Konseptual Saat Ini .....	28
4.2.1	Elemen Sistem .....	29
4.2.2	Variabel Sistem .....	30
4.3	<i>Fitting Distribution</i> .....	32
4.4	Simulasi Model Saat Ini .....	34
4.4.1	Verifikasi Model .....	37
4.4.2	Uji Replikasi .....	37
4.4.3	Validasi Model Eksisiting .....	38
<b>BAB V</b>	<b>ANALISA DATA DAN SKENARIO .....</b>	<b>41</b>
5.1	Pengembangan TTL .....	41
5.2	Skenario Peralatan Bongkar Muat .....	43
5.2.1	Kondisi Operasional Pelabuhan .....	43
5.2.2	Skenario STS .....	44
5.2.3	Skenario CTT .....	48
5.3	Model Simulasi .....	50
5.4	Hasil Simulasi dan Analisa .....	52
5.4.1	Hasil Simulasi dan Analisa dengan Performa Saat Ini .....	52
5.4.2	Hasil Simulasi dan Analisa dengan Performa Peralatan <i>Semi-Automatic</i> .....	55
<b>BAB VI</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>63</b>
6.1	Kesimpulan .....	63
6.2	Rekomendasi .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN A</b>	<b>Layout Terminal Fase Ultimate .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN B</b>	<b>Data Kedatangan Kapal dan Kepadatan Dermaga .....</b>	<b>68</b>
<b>LAMPIRAN C</b>	<b>Hasil Pengukuran Layout .....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN D</b>	<b>Model Simulasi Eksisting .....</b>	<b>78</b>
<b>LAMPIRAN E</b>	<b>Model Simulasi Fase <i>Ultimate</i> .....</b>	<b>83</b>
<b>LAMPIRAN F</b>	<b>Hasil <i>Running</i> Simulasi Model Eksisting .....</b>	<b>92</b>
<b>LAMPIRAN G</b>	<b>Hasil <i>Running</i> Simulasi Model Pengembangan .....</b>	<b>109</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS</b>	.....	<b>125</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Data Container Throughput TTL.....	1
Gambar 1. 2	Rencana Skenario Konfigurasi Peralatan .....	3
Gambar 2. 1	Throughput Kontainer Indonesia.....	7
Gambar 2. 2	Lokasi Terminal Teluk Lamong .....	10
Gambar 2. 3	Layout Rencana Pengembangan TTL .....	12
Gambar 2. 4	Software Arena Simulation.....	18
Gambar 3. 1	Diagram proses pelaksanaan tugas akhir .....	23
Gambar 4. 1	Layout Terminal Eksisting .....	27
Gambar 4. 2	Diagram proses bongkar eksisting.....	31
Gambar 4. 3	Model proses bongkar di dermaga internasional .....	34
Gambar 4. 4	Model proses transfer menuju CY internasional .....	35
Gambar 4. 5	Perbedaan model proses stacking di CY domestik dan internasional...36	
Gambar 4. 6	Model proses muat di dermaga internasional .....	36
Gambar 5. 1	Layout dermaga dan CY.....	41
Gambar 5. 2	Batas gerak efektif STS .....	47
Gambar 5. 3	Model konseptual .....	51
Gambar 5. 4	Perbandingan Throughput Skenario Pada 22 B/C/H.....	53
Gambar 5. 5	Perbandingan Throughput Skenario Pada 24 B/C/H .....	54
Gambar 5. 6	Perbandingan Throughput Skenario Pada 29 B/C/H .....	56
Gambar 5. 7	Perbandingan Throughput Skenario Pada 32 B/C/H.....	58
Gambar 5. 8	Perbandingan performa B/S/H.....	60

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Empat Tahapan Perkembangan Pelabuhan.....	5
Tabel 2. 2	Empat tahapan Perkembangan Pelabuhan (lanjutan).....	6
Tabel 2. 3	Peralatan Bongkat Muat di TTL.....	11
Tabel 2. 4	Ultimate Plan TTL.....	12
Tabel 2. 5	Rekomendasi nilai BOR maksimum .....	14
Tabel 4. 1	Hasil simulasi .....	37
Tabel 5. 1	Perbandingan performa dan spesifikasi STS .....	44
Tabel 5. 2	Penugasan STS dan jumlah kontainer yang ditangani di dermaga internasional.....	45
Tabel 5. 3	Batas jumlah STS berdasarkan BOR .....	46
Tabel 5. 4	Skenario jumlah STS tiap dermaga untuk simulasi 5.4.1 .....	48
Tabel 5. 5	Proporsi jenis kontainer .....	49
Tabel 5. 6	Konfigurasi CTT tiap Blok CY .....	49
Tabel 5. 7	Proporsi penggunaan twinlift tahun 2018.....	55
Tabel 5. 8	Hasil Validasi Pada Skenario 10 22B/C/H BOR 50% .....	61

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran B. 1	Data kedatangan kapal dan penugasan STS .....	69
Lampiran B. 2	Data kedatangan kapal Internasional .....	73
Lampiran B. 3	Data kedatangan kapal Domestik .....	75
Lampiran B. 4	Data waktu ASC Handling .....	75
Lampiran B. 5	Data waktu transfer kontainer dari SC ke truk .....	76
Lampiran B. 6	Nilai BOR tahun 2018 .....	76
Lampiran D. 1	Model Simulasi Gabungan Eksisting Bongkar Internasional .....	78
Lampiran D. 2	Model Simulasi Gabungan Eksisting Bongkar Domestic .....	78
Lampiran D. 3	Model proses bongkar di dermaga internasional .....	79
Lampiran D. 4	Model proses transfer menuju CY internasional .....	79
Lampiran D. 5	Model proses stacking di CY internasional .....	79
Lampiran D. 6	Model proses muat di dermaga internasional .....	80
Lampiran D. 7	Model proses bongkar di dermaga domestik .....	80
Lampiran D. 8	Model proses transfer menuju CY domestik .....	80
Lampiran D. 9	Model proses penumpukan di CY domestik .....	81
Lampiran D. 10	Model proses muat di dermaga domestik .....	81
Lampiran E. 1	Model Simulasi Bongkar Dermaga Internasional .....	83
Lampiran E. 2	Model Simulasi Bongkar Dermaga Domestik 2 .....	84
Lampiran E. 3	Model Simulasi Bongkar Dermaga Domestik 1 .....	85
Lampiran E. 4	Model Simulasi Penumpukan Blok RF .....	86
Lampiran E. 5	Model Simulasi Penumpukan Blok MT .....	86
Lampiran E. 6	Model Simulasi Penumpukan Blok RF .....	87
Lampiran E. 7	Model Simulasi Penumpukan Blok RF .....	87
Lampiran E. 8	Model Simulasi Penumpukan Blok TK .....	88
Lampiran E. 9	Model Simulasi Muat dan Proses Container Handling CY Blok Dry Dermaga Internasional .....	88
Lampiran E. 10	Model Simulasi Muat dan Proses Container Handling CY Blok Dry Dermaga Domestik 2 .....	89
Lampiran E. 11	Model Simulasi Muat dan Proses Container Handling CY Blok Dry Dermaga Domestik 1 .....	90
Lampiran E. 12	Model Simulasi Gabungan .....	91
Lampiran F. 1	Rangkuman hasil simulasi kondisi eksisting .....	93
Lampiran F. 2	Hasil simulasi kondisi eksisting tiap replikasi .....	93
Lampiran G. 1	Hasil simulasi pada performa STS 22 B/C/H kondisi BOR 50% ..	109
Lampiran G. 2	Hasil simulasi pada performa STS 22 B/C/H kondisi BOR 53.38% .....	110
Lampiran G. 3	Hasil simulasi pada performa STS 22 B/C/H kondisi BOR 60% ..	111
Lampiran G. 4	Hasil simulasi pada performa STS 24 B/C/H kondisi BOR 50% ..	112
Lampiran G. 5	Hasil simulasi pada performa STS 24 B/C/H BOR kondisi 53.38% .....	113
Lampiran G. 6	Hasil simulasi pada performa STS 24 B/C/H kondisi BOR 60% ..	114
Lampiran G. 7	Hasil simulasi pada performa STS 29 B/C/H kondisi BOR 50% ..	115
Lampiran G. 8	Hasil simulasi pada performa STS 29 B/C/H kondisi BOR 53.38% .....	116

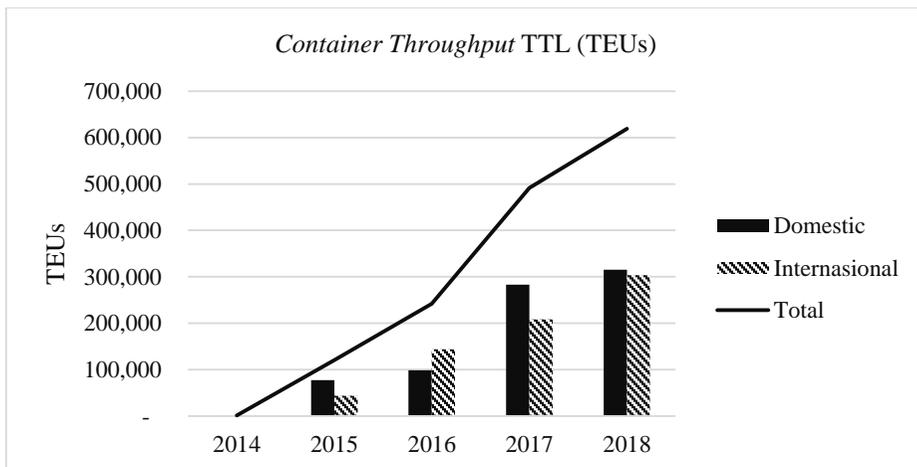
Lampiran G. 9	Hasil simulasi pada performa STS 29 B/C/H kondisi BOR 60% ..118
Lampiran G. 10	Hasil simulasi pada performa STS 32 B/C/H kondisi BOR 50% ..119
Lampiran G. 11	Hasil simulasi pada performa STS 32 B/C/H kondisi BOR 53.38% .....121
Lampiran G. 12	Hasil simulasi pada performa STS 32 B/C/H kondisi BOR 60% ..122

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2018, Indonesia dinobatkan sebagai negara dengan ekonomi terbesar ke-16 di dunia berdasarkan total *Gross Domestic Product* (World Bank, 2018). Hal ini juga diakibatkan pertumbuhan ekonomi Indonesia yang cukup konstan pada kuartal pertama 2017 sebesar 5.01% dan pada 2018 sebesar 5.06% (BPS, 2018). Hal ini berdampak seluruh komponen sektor perdagangan di Indonesia.

Salah satu komponen sektor yang terkena dampak langsung akibat pertumbuhan ekonomi ini adalah pelabuhan. Pelabuhan yang terkena dampak besar adalah Pelabuhan Tanjung Perak yang mengalami kenaikan volume barang sebesar 54,73% (BPS, 2016). Pelabuhan Tanjung Perak melayani berbagai jenis barang mulai dari curah kering, *liquid bulk*, hingga kontainer merupakan pusat pelayanan barang di Jawa Timur. Salah satu pelabuhan yang mengalami peningkatan *throughput* yang cukup tinggi adalah Terminal Teluk Lamong (TTL).



Gambar 1. 1 Data *Container Throughput* TTL

Sumber: [www.teluklamong.co.id](http://www.teluklamong.co.id)

TTL direncanakan menjadi pelabuhan kelas dunia, salah satu yang terbesar dari 16 pelabuhan yang ada dan yang direncanakan di wilayah Surabaya Raya (*The Greater Surabaya*) (Ravitharan *et al.*, 2017). Sejak awal peresmiannya, TTL telah mengalami peningkatan *throughput* tiap tahunnya.

Berdasarkan Gambar 1.1 TTL mengalami pertumbuhan yang konstan pada tiap tahunnya. Pertumbuhan terbesar terjadi pada tahun 2017 untuk kontainer (103.31%). Namun kondisi *throughput* yang terus meningkat tidak diikuti dengan penggunaan peralatan yang optimal. Berdasarkan data pada Tabel 1.1 realisasi penggunaan peralatan pada tahun 2017 masih belum sesuai dengan Rencana Kerja dan Anggaran Perusahaan (RKAP).

Pada Tabel 1.1 ditunjukkan bahwa adanya perbedaan antara realisasi utilisasi peralatan dengan RKAP. Hal ini menandakan penggunaan dari peralatan masih belum optimal. Peralatan STS (*ship to shore crane*) menunjukkan penggunaan yang melebihi batas RKAP sebesar 21.48% pada dermaga internasional dan 15.55% pada dermaga domestik. Nilai utilisasi yang melebihi tersebut dapat diakibatkan karena meningkatnya jumlah kapal yang ditangani.

Tabel 1. 1 Kondisi Utilisasi Peralatan TTL 2017  
Sumber: (Terminal Teluk Lamong, 2017)

<b>Peralatan</b>	<b>RKAP</b>	<b>Realisasi</b>
<i>Ship to Shore</i> (Internasional)	20,73 %	42,21 %
<i>Ship to Shore</i> (Domestik)	14,05 %	29,60 %
<i>Automated Stacking Crane</i>	63,95 %	41,39 %
<i>Reach Stacker</i>	34,23 %	62,97 %
<i>Straddle Carrier</i>	53,36 %	44, 27 %
<i>Forklift</i>	18,10 %	8,23 %
<i>Head Truck</i> (CTT)	69,37 %	45,03 %

TTL harus meningkatkan kapasitas peralatan agar dapat menangani permintaan pelayanan kontainer yang meningkat tiap tahun. Saat ini, TTL sedang dalam proses pembangunan yang direncanakan dalam lima fase selama 20 tahun yang termasuk dalam perencanaan jangka panjang (Hidayat, 2009).

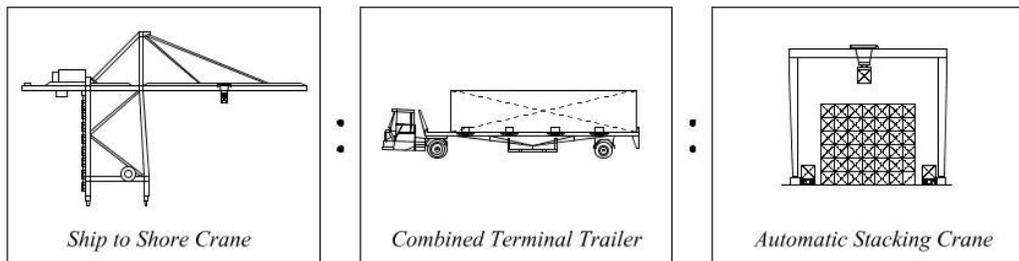
Sejalan dengan pengembangan ini, maka dilakukan penelitian untuk menentukan bagaimana penambahan peralatan bongkar muat pada pengembangan pelabuhan tahap akhir. Penelitian ini fokus untuk menentukan peralatan bongkar muat pada proses stevedoring yaitu STS (*ship to shore crane*) dan CTT (*combined terminal trailer*). Metode yang digunakan adalah simulasi diskrit. Metode simulasi diterapkan pada berbagai proses perencanaan terminal kontainer dan analisis operasional sistem penanganan kontainer.

Tahap awal dari penelitian ini adalah membuat model konseptual proses bongkar muat di TTL. Model konseptual dijadikan acuan dalam pembuatan model simulasi. Model ini sangat berguna sebagai alat pendukung keputusan selama perencanaan dan pemodelan operasi terminal kontainer (Kyu *et al.*, 2012). Model selanjutnya disimulasikan menggunakan *software* ARENA. ARENA merupakan *software* simulasi yang paling banyak digunakan untuk memodelkan operasi pelabuhan (Dragovic, 2016). Model yang disimulasikan adalah model pada kondisi saat ini dan pengembangan. Model eksisting selanjutnya divalidasi untuk dijadikan acuan representatif sistem nyata.

Model pengembangan adalah model yang dibentuk berdasarkan perencanaan tahap akhir TTL. Pada model pengembangan akan divariasikan jumlah STS yang perlu ditambah pada tiap dermaga dan jumlah CTT agar dapat menangani kontainer sesuai target sebanyak 5.500.000 TEUs (Gurning, 2017).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang sudah ditinjau, dengan konfigurasi peralatan saat ini tidak mampu mengakomodasi peningkatan jumlah kontainer di Terminal Teluk Lamong seiring dengan pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Selain itu, dengan adanya rencana pengembangan terminal, perlu ditentukan konfigurasi peralatan optimal yang mampu memenuhi target pelayanan kontainer pada fase *ultimate*. Maka perlu dilakukan rekonfigurasi terhadap peralatan bongkar muat seperti pada Gambar 1.2 yang terdiri dari *ship to shore crane* (STS), *combined terminal trailer* (CTT), dan *automatic stacking container* (ASC) yang mampu mengatasi peningkatan trafik dan memenuhi target pelayanan dengan optimal.



Gambar 1. 2 Rencana Skenario Konfigurasi Peralatan

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian hanya di Terminal Teluk Lamong.
2. Proses bongkar muat yang dioptimasi terjadi pada dermaga dan *container yard*.
3. Pemilihan peralatan bongkar muat hanya dilakukan untuk menentukan jumlah minimum.
4. Perubahan dimensi pada terminal berpengaruh dalam pembuatan model simulasi.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membuat model konseptual dan model simulasi proses bongkar muat TTL saat ini.
2. Membuat skenario konfigurasi peralatan bongkar muat pada dermaga dan lapangan penumpukan pada pengembangan terminal fase *ultimate*.
3. Membuat model konseptual dan model simulasi proses bongkar muat TTL pada pengembangan terminal fase *ultimate*.
4. Menentukan jumlah CTT (*combined terminal trailer*) optimal yang perlu ditambah pada pengembangan Terminal Teluk Lamong fase *ultimate*.

5. Menentukan jumlah STS crane optimal yang perlu ditambah pada pengembangan Terminal Teluk Lamong fase *ultimate*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui alternatif upaya yang dapat dilakukan untuk pengembangan pelabuhan.
2. Hasil penelitian yang diberikan dapat menjadi saran dalam pengambilan keputusan penambahan peralatan di Terminal Teluk Lamong.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pelabuhan

Pelabuhan adalah sebuah tempat terjadinya kegiatan pemerintahan dan layanan jasa yang terdiri dari area daratan dan area perairan. Fungsi utama dari pelabuhan adalah sebagai sebagai tempat kapal bersandar, berlabuh, naik turun penumpang dan/atau bongkar muat barang. Pelabuhan dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang, serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi (Gurning, 2007).

Sifat, peran dan fungsi pelabuhan terus berkembang sesuai dengan perkembangan dari aspek-aspek atau parameter penentu dari aktivitas kepelabuhanan. Secara umum perkembangan pelabuhan di dunia ini dapat dikelompokkan berdasarkan generasinya yang terkait pada jangkauan waktunya serta parameternya (Hidayat, 2010). Keterkaitan antara parameter dan masa waktunya dapat dijabarkan seperti pada Tabel berikut.

Tabel 2. 1 Empat Tahapan Perkembangan Pelabuhan  
Sumber: (Hidayat, 2010)

	<b>Generasi Pertama</b>	<b>Generasi Kedua</b>	<b>Generasi Ketiga</b>	<b>Generasi Keempat</b>
Periode Perkembangan	Sebelum tahun 1960-an	Tahun 1960 – 1980	Tahun 1980 – 2000	Setelah tahun 2000-an
Jenis Barang Utama	<i>Break Bulk Cargo</i> (muatan lepas)	<i>Break Bulk</i> (muatan lepas) dan muatan curah kering/cair	<i>Bulk</i> dan <i>unitisasi</i> , <i>Container</i>	Spesialisasi pada jenis cargo tertentu seperti <i>Container</i>
Perilaku & Strategi Pengembangan Pelabuhan	- Konservatif - Perubahan titik alih dari moda angkutan	- Ekspansif - Pusat transportasi, industri dan komersial	- Berorientasi komersial	- Berorientasi pada industri
Lingkup Kegiatan	1) Bongkar muat, penumpukan, pelayanan navigasi, tambatan dan daerah perairan	1) + 2) Transformasi barang, industri yang berkaitan dengan kapal dan layanan komersial perluasan areal pelabuhan	1) + 2) + 3) Distribusi barang dan informasi, aktifitas logistik, terminal dan jaringan distribusi ke daerah belakang	1) + 2) + 3) + 4) Berkembang sebagai pusat distribusi regional dan pusat logistik

Tabel 2.1 menjelaskan mengenai pengembangan pelabuhan berlangsung selama 4 generasi berdasarkan periode waktunya (Hidayat, 2010). Apabila ditinjau lebih jauh, tiap generasi berlangsung selama 20 tahun. Generasi pelabuhan pertama berlangsung sebelum

tahun 1960, generasi kedua pada tahun 1960 sampai 1980, generasi ketiga tahun 1980 sampai 2000, dan generasi keempat setelah tahun 2000.

Perkembangan tiap generasi juga mempengaruhi jenis barang utama yang ditangani. Semakin maju generasi, semakin spesifik jenis barang utama yang ditangani oleh pelabuhan. Pada generasi pertama, jenis barang yang ditangani adalah muatan lepas dan berkembang hingga generasi keempat dengan jenis barang yang lebih spesifik seperti kontainer.

Akibat jenis barang yang ditangani makin spesifik, membuat pelabuhan mengalami pergeseran dalam strategi pengembangannya. Semakin spesifik jenis barang yang ditangani membuat orientasi strategi pada industri tertentu. Namun dengan pengembangan ini, lingkup kegiatan dari pelabuhan menjadi lebih luas.

Pada generasi pertama, lingkup kegiatan di pelabuhan hanya bongkar muat, penumpukkan barang, pelayanan navigasi, tambatan dan daerah perairan. Sedangkan pada generasi keempat ketika strategi mengarah pada satu industri, lingkup kegiatan bertambah sebagai pusat distribusi regional dan pusat.

Tabel 2. 2 Empat tahapan Perkembangan Pelabuhan (lanjutan)

Sumber: (Hidayat, 2010)

	<b>Generasi Pertama</b>	<b>Generasi Kedua</b>	<b>Generasi Ketiga</b>	<b>Generasi Keempat</b>
Karakteristik Organisasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Terpisah dari aktifitas yang berkaitan dengan pelabuhan</li> <li>- Hubungan antara pelabuhan dengan pengguna jasa informal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hubungan erat antara pelabuhan dengan pengguna jasa</li> <li>- Hubungan tak erat dengan aktifitas yang berkaitan dengan pelabuhan</li> <li>- Hubungan tidak erat dengan pemerintah daerah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kesatuan masyarakat pelabuhan</li> <li>- Terintegrasi antara pelabuhan dengan perdagangan dan rantai transportasi</li> <li>- Hubungan erat antara pelabuhan dan pemerintah daerah perluasan organisasi pelabuhan</li> </ul>	Struktur pasar monopoli menjadi pasar oligopoly secara internal maupun eksternal
Karakteristik Produksi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aliran barang</li> <li>- Jasa layanan sederhana</li> <li>- Nilai tambah rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aliran barang</li> <li>- Transformasi barang</li> <li>- Jasa layanan kombinasi</li> <li>- Peningkatan nilai tambah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aliran barang/ informasi</li> <li>- Distribusi barang/ informasi</li> <li>- Paket jasa layanan beragam</li> <li>- Nilai tambah tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perimbangan antara skala ekonomi dan lingkup ekonomi</li> </ul>
Faktor Penentu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buruh/ modal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Teknologi/ pengetahuan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Teknologi informasi</li> </ul>

Pada Tabel 2.2 dijelaskan bahwa karakteristik organisasi pada generasi keempat menjadi pasar oligopoli. Pasar oligopoli adalah suatu bentuk pasar persaingan tidak sempurna dimana penawaran satu jenis barang dikuasai oleh beberapa perusahaan (Marina and Fatihudin, 2008). Perkembangan pelabuhan menunjukkan keterlibatan manusia semakin sedikit. Pada kolom faktor penentu pengembangan, pelabuhan generasi pertama mengandalkan buruh dan modal dalam pengembangannya. Hal ini karena proses bongkar muat pada generasi pertama menggunakan manusia.

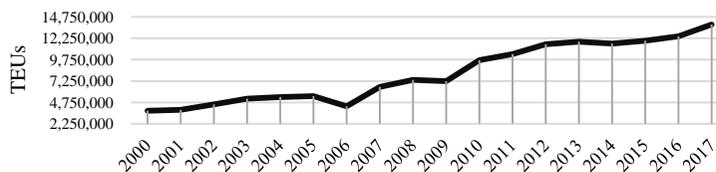
Namun seiring perkembangan generasi, faktor yang paling penting adalah teknologi informasi. Hal ini karena target dari pelabuhan saat ini adalah mampu melayani barang dengan cepat. Sehingga proses yang melibatkan pertukaran informasi dibuat secepat mungkin dengan pengaplikasian teknologi informasi pada prosesnya. Salah satu contoh penerapan ini adalah menggunakan teknologi peralatan otomatis untuk mempercepat waktu dan mengurangi biaya operator.

Pada Tabel 2.1 dan 2.2 dijelaskan mengenai 4 tahapan pengembangan pelabuhan. Apabila ditinjau dari jenis barangnya, perkembangan pelabuhan terjadi dari pelayanan untuk semua jenis barang menjadi spesialisasi pada jenis barang tertentu seperti kontainer. Spesialisasi ini juga bertujuan agar peralatan bongkar muat lebih spesifik sehingga pelayanan bongkar muat menjadi lebih baik. Menurut (Vacca, 2007) dalam proses pengembangan pelabuhan, terdapat tiga tahapan/tingkat perencanaan sebagai berikut.

1. Tingkat Strategis melibatkan keputusan jangka panjang mengenai tata letak, peralatan, infrastruktur, dan kerjasama strategis dengan industri lain.
2. Tingkat Taktis melibatkan keputusan jangka menengah dan jangka pendek mengenai dermaga dan tata letak lapangan penumpukan/*warehouse* serta kebijakan penyimpanan.
3. Tingkat Operasional melibatkan keputusan mengenai operasi harian dan *real-time* seperti operasi dermaga (alokasi dermaga, penjadwalan *crane* dermaga, penyimpanan kapal), operasi darat (operasi transfer dan manajemen lapangan penyimpanan), dan manajemen sumber daya manusia.

## 2.2 Terminal Kontainer

Terminal kontainer adalah tempat perpindahan moda angkutan darat dan angkutan laut kontainer (selanjutnya disebut kontainer) merupakan suatu area terbatas (*districted area*) mulai kontainer diturunkan dari kapal sampai dibawa keluar pintu pelabuhan. Pengiriman barang dengan menggunakan kontainer telah banyak dilakukan dan volumenya terus meningkat dari tahun ke-tahun.



Gambar 2. 1 *Throughput* Kontainer Indonesia  
Sumber: World Bank

Berdasarkan Gambar 2.1, sejak tahun 2000 hingga 2017 Indonesia mengalami peningkatan sebesar 265%. Peningkatan ini disebabkan pengangkutan dengan menggunakan kontainer memungkinkan macam - macam barang digabung menjadi satu dalam kontainer sehingga aktivitas bongkar muat dapat dimekanisasikan dan mempermudah proses bongkar muat. Hal ini dapat meningkatkan jumlah muatan yang bisa diangkut sehingga waktu bongkar muat menjadi lebih cepat.

Terminal sebagai suatu sub sistem dari pelabuhan berfungsi untuk menunjang kegiatan transportasi laut. Dimana, terminal/pelabuhan merupakan tempat pertemuan (*interface*) antara moda transportasi darat dan laut. terminal bertanggung jawab terhadap proses bongkar muat kontainer, namun aktivitas ini merupakan turunan dari kegiatan transportasi sehingga kelancaran arus kontainer pada terminal lebih banyak dipengaruhi oleh faktor luar seperti (Supriyono, 2010):

1. Terlambatnya kapal masuk pelabuhan, karena berbagai faktor misalnya, perubahan cuaca, kondisi pasang surut, pengalihan rute secara mendadak, kerusakan dan lain-lain.
2. Terlambatnya kontainer masuk terminal, ini juga disebabkan berbagai hal misalnya, kecelakaan, macet, dokumen yang belum lengkap, dan lain-lain.
3. Luasan lapangan penumpukan kontainer,
4. Kondisi peralatan bongkar muat yang tidak prima akibat kerusakan maupun keterbatasan kemampuan peralatan.

Secara umum, fungsi inti dari terminal kontainer antara lain:

1. Tempat pemuatan dan pembongkaran kontainer dari kapal-truk atau sebaliknya.
2. Pengepakan dan pembongkaran kontainer (CFS).
3. Pengawasan dan penjagaan kontainer beserta muatannya.
4. Penerimaan armada kapal.
5. Pelayanan cargo handling kontainer dan lapangan penumpukannya.

#### 2.2.1 Sistem Bongkar Muat Terminal Kontainer

Proses bongkar muat pada pelabuhan, umumnya dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu *stevedoring (A)*, *cargodoring (B)*, dan *receiving/delivery (C)*. *Stevedoring* adalah proses bongkar muat dari kapal ke dermaga dan sebaliknya. Pada terminal kontainer, alat yang digunakan adalah STS *crane*. *Cargodoring* adalah kegiatan memindahkan kontainer pada dermaga menuju lapangan penumpukan, begitupula sebaliknya. Peralatan yang digunakan dapat berupa truk maupun *straddle carrier*. *Receiving* adalah proses penyerahan kontainer dari tempat penumpukan menuju truk pengangkut atau kereta api dan juga proses penerimaan dari peralatan yang sama.

#### 2.2.2 Peralatan Bongkar Muat

Keberadaan peralatan bongkar muat sangat penting dalam pelayanan jasa pelabuhan. Peralatan bongkar muat mempengaruhi layanan suatu

pelabuhan/terminal. Oleh karena itu, pemilihan peralatan bongkar muat harus ditinjau dari berbagai aspek. Beberapa aspek yang perlu ditinjau dalam menentukan peralatan bongkar muat diantaranya adalah sistem penanganan barang, waktu, kuantitas, dan jalur operasional (Hidayat, 2010).

Untuk perhitungan jumlah peralatan tiap kategori, kapasitas, jarak jangkauan dan aspek teknis lainnya guna perhitungan produktivitas penanganan muatan yang realistis, perlu dipertimbangkan hal-hal berikut (Hidayat, 2010).

1. Prakiraan kunjungan kapal
2. Data statistik jumlah palka kapal saat kerja
3. Distribusi penanganan bongkar muat barang langsung, ke dan dari gudang serta ke dan dari lapangan penumpukan
4. Distribusi ukuran muatan dan beratnya
5. Lokasi fasilitas penumpukan
6. Tinggi penumpukan barang
7. Jumlah peralatan lainnya yang terkait
8. Tingkat kesiapan dari alat yang diharapkan
9. Jumlah jam kerja dalam 24 jam
10. Buruh, produktivitas dan pengawasannya

Pada saat ini, peralatan bongkar muat di pelabuhan sudah berkembang menjadi lebih maju dalam segi operasional dan teknologinya. Saat ini perkembangan peralatan bongkar muat menuju ke arah *automatic* (otomatis) dan *semi-automatic* (semi otomatis) untuk mengefisienkan sistem operasional di pelabuhan. Beberapa peralatan *automatic* dan *semi-automatic* pada pelabuhan antara lain sebagai berikut (Coeveld, 2017).

1. *Quay crane semi-automatic*
2. *Automated Stacking Crane (ASC)*
3. *Automotive Terminal Trailer (ATT)*
4. *Automated Guided Vehicle (AGV)*

### **2.3 PT. Terminal Teluk Lamong (TTL)**

PT Terminal Teluk Lamong (TTL) berdiri pada tanggal 13 Maret 2014. Terminal Teluk Lamong yang berlokasi di wilayah perbatasan antara kota Surabaya dan Kabupaten Gresik (kota Gresik), merupakan terminal *multipurpose* yang diapit oleh 2 (dua) pelabuhan milik PT. Pelabuhan Indonesia III yaitu Pelabuhan Gresik di sebelah barat, dan Pelabuhan Utama Tanjung Perak di sebelah timur (Terminal Teluk Lamong, 2017).



Gambar 2. 2 Lokasi Terminal Teluk Lamong  
Sumber: Google Maps

Secara garis besar, tahap pengembangan perusahaan terbagi menjadi 5 (lima), yaitu (Terminal Teluk Lamong, 2017):

- a. Tahap awal dalam pengembangan jangka panjang atau tahap *early development* di tahun 2013 sampai dengan 2014 yang merupakan tahap awal pendirian perusahaan.
- b. Tahap *developing industry leader* di tahun 2015 sampai dengan tahun 2016 yang merupakan tahap pengembangan untuk menjadi perusahaan yang efisien dan ramah lingkungan.
- c. Tahap *emerging industry leader* di tahun 2017 sampai dengan 2021, yakni tahap dimana Terminal Teluk Lamong senantiasa mengembangkan usahanya.
- d. Tahap *industry leader* di tahun 2022 hingga 2026, dimana perusahaan terus mengembangkan tahap ketiga hingga mencapai target menjadi terminal terdepan di industri pelabuhan.
- e. Tahap akhir dari proses pengembangan perusahaan adalah di tahun 2027 sampai dengan 2030, yakni Terminal Teluk Lamong menjadi terminal berkelas dunia yang dijadikan *benchmark* atas terminal lain di dunia.

### 2.3.1 Fasilitas TTL

Secara umum, fasilitas dasar atau infrastruktur pelabuhan adalah konstruksi bangunan yang menunjang kegiatan di pelabuhan. Fasilitas tersebut berupa konstruksi permanen yang berada baik di perairan maupun daratan. Seluruh fasilitas tersebut umumnya disebut dengan fasilitas utama pelabuhan. Fasilitas dasar (infrastruktur dasar) adalah sarana yang harus selalu ada dari kegiatan di pelabuhan yang terdiri dari: alur pelayaran, kolam pelabuhan, penahan gelombang (*breakwater*), dan pelampung tambat (*mooring buoy*) (Gurning, 2007). Beberapa fasilitas yang ada pada TTL adalah sebagai berikut (Terminal Teluk Lamong, 2017).

1. *Berth Area/Wharf* (Dermaga)  
Sebagai tempat bersandarnya kapal dan mempunyai panjang dan kedalaman tertentu. TTL memiliki dermaga yang tergabung seluas 48.000 m<sup>2</sup>

2. *Marshaling Yard*  
Tempat untuk menyusun barang yang siap bongkar dan muat dari kapal. Lapangan ini terletak di dekat apron.
3. *Container Yard*  
Lapangan yang digunakan untuk menangani/menyimpan kontainer yang mengendap, TTL memiliki lapangan seluas 25.5 ha.
4. *Container Freight Service (CFS)*  
Tempat yang ditunjuk pengirim barang untuk menyusun dan membongkar barangnya dari kontainer. TTL memiliki CFS dengan luas area sebesar 0.5 ha.
5. *Maintenance and Repair Shop*  
Tempat untuk memperbaiki dan perawatan kontainer
6. *Control Tower*  
Tempat untuk mengawasi kegiatan di *Marshaling Yard* dan *Container Yard*.
7. *Weighting Bridge*  
Jembatan timbang untuk menghitung berat *container* yang dimuat dan dibongkar dari kapal.

### 2.3.2 Alat Bongkar Muat

Untuk menunjang pelayanan kapal dan barang maka perlu disediakan peralatan penunjang di pelabuhan. Peralatan pelabuhan yang diperlukan dalam proses bongkar muat barang dapat dikategorikan menjadi tiga jenis (Hidayat, 2009):

1. Peralatan pelabuhan untuk melayani kapal yang akan berlabuh
2. Peralatan pelabuhan untuk melayani kegiatan bongkar muat barang dari/ke kapal, di lapangan penumpukan/gudang dan masuk/keluar area pelabuhan
3. Instalasi penunjang untuk kapal, barang dan penumpang seperti limbah, listrik, dan air.

Tabel 2.3 Peralatan Bongkar Muat di TTL  
Sumber: (Terminal Teluk Lamong, 2017)

No	Deskripsi	Jumlah (unit)
Milik Sendiri		
1	<i>Electric forklift</i>	2
2	<i>Diesel forklift</i>	1
3	<i>Excavator</i>	2
4	<i>Wheel Loader</i>	1
Sewa		
5	<i>Grab Ship Unloader</i>	2
6	<i>Conveyor</i>	2
7	<i>STS</i>	10
8	<i>Automated Stacking Crane (ASC)</i>	20
9	<i>Combined Terminal Trailer (CTT)</i>	50
10	<i>Stradle Carrier</i>	5
11	<i>Reach Stacker</i>	6

Pada Tabel 2.3 dijelaskan bahwa sebagian besar peralatan yang ada pada TTL adalah menyewa dari pihak lain. Beberapa peralatan yang ada sudah *semi-automatic* yaitu ASC. Peralatan lainnya juga mendukung visi TTL sebagai greenport dengan mengurangi penggunaan bahan bakar konvensional.

### 2.3.3 Rencana Pengembangan Pelabuhan

Berdasarkan (DEPHUB & BAPPENAS, 2019) Terminal Teluk Lamong dengan rencana jangka panjang TTL akan melakukan pengembangan pelabuhan dengan jangka waktu 2015-2019 berupa pembangunan dermaga kontainer, pembangunan dermaga curah kering, pengembangan luas terminal dan lapangan penumpukan curah kering internasional, pembangunan *container yard*, dan pengadaan peralatan.

Tabel 2. 4 Ultimate Plan TTL  
Sumber: (Gurning, 2017)

Deskripsi	- mLWS	Wharf (m)	On Shore Equipment	Yard Equipment	Terminal	Capacity
International Container	-14	1000	8 STS	20 ASC	114 Ha	2.000.000 TEUs
Domestic Container	-13	2400	20 STS	40 ASC		3.500.000 TEUs
Dry Bulk	-14	500	4 Ship Unloader	Conveyor/ Warehouse	26 Ha	20.000.000 Ton

Pada Tabel 2.4 dijelaskan mengenai *ultimate plan* dari TTL dengan dimensi akhir yang akan dicapai dengan pelebaran area terminal.



Gambar 2. 3 Layout Rencana Pengembangan TTL  
Sumber: (Moedak, 2017)

Pada Gambar 2.3 dijelaskan mengenai pengembangan TTL. Kondisi eksisting ditunjukkan dengan area berwarna hijau. Area hasil pengembangan

adalah berwarna merah dengan penambahan area untuk terminal, *cargo consolidation & distribution*, *port associated industry*, dan pengembangan berth. Tahapan dari tiap pengembangan pelabuhan dijelaskan sebagai berikut (<https://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1815744>).

1. Tahap 1  
Tahap ini adalah inisiasi pembangunan pelabuhan yang dilaksanakan mulai dari tahun 2012 sampai 2014. Pengembangan yang dilakukan berupa pembangunan dermaga kontainer internasional seluas 500×50 m<sup>2</sup>, dermaga kontainer domestik seluas 450×30 m<sup>2</sup>, jembatan jenghubung sepanjang 1500×20 m<sup>2</sup>, *container yard* seluas 2.,86 Ha. Selain itu diadakan juga penambahan peralatan berupa Ship to Shore (STS) *crane* internasional 2 unit, STS crane domestik 3 unit, dan *Automated Stacking Crane* (ASC) 10 unit.
2. Tahap 2  
Pada tahap ini, pengembangan pelabuhan dilaksanakan mulai tahun 2014 hingga 2016. Pembangunan dilakukan pada dermaga curah kering seluas 250×30 m<sup>2</sup>, *container yard*, 15 unit *power plant*, reklamasi area penunjang. Selain itu diadakan juga penambahan peralatan 2 unit STS internasional, 3 unit STS domestik, dan 10 unit ASC. Tahapan ini telah selesai dilaksanakan.
3. Tahap 3  
Tahap ini dilakukan pengembangan dari tahun 2021 sampai 2023. Pengembangan dilakukan berupa penambahan kapasitas infrastruktur dan peralatan, dan reklamasi untuk area lapangan penumpukan kontainer.
4. Tahap 4  
Tahap ini merupakan tahap akhir dari pengembangan TTL yang dilaksanakan dari tahun 2028 sampai 2030. Pengembangan berupa penambahan kapasitas infrastruktur dan peralatan, reklamasi untuk area industri dan lapangan penumpukan kontainer.

Tiap tahapan pengembangan pelabuhan berdampak pada perubahan sistem operasional dari peralatan bongkar muat. Hal ini dikarenakan peralatan harus menyesuaikan dengan pengembangan infrastruktur. Selain itu, pengembangan infrastruktur berdampak pada penambahan peralatan yang harus diintegrasikan dengan peralatan lama agar memberikan hasil aktivitas operasional terbaik.

## 2.4 Kinerja Pelabuhan

Kinerja pelabuhan ditunjukkan oleh *Berth Occupancy Ratio* (BOR) atau tingkat pemakaian dermaga, yaitu perbandingan antara jumlah waktu pemakaian tiap dermaga yang tersedia dengan jumlah waktu yang tersedia selama satu periode waktu yang dinyatakan dalam presentase.

Nilai BOR juga merupakan indikator yang menentukan apakah sebuah pelabuhan masih memenuhi syarat untuk melayani dan barang atau membutuhkan pengembangan. Berdasarkan data dari (UNCTAD, 1985), nilai BOR direkomendasikan sesuai dengan jumlah tambatan sebagai berikut.

Tabel 2. 5 Rekomendasi nilai BOR maksimum  
Sumber: (UNCTAD, 1985)

<b>Jumlah Tambatan</b>	1	2	3	4	5	6 - 10
<b>Rekomendasi Nilai BOR Maksimum (%)</b>	40	50	55	60	65	70

Untuk perhitungan tingkat pemakaian dermaga / tambatan dibedakan menurut jenis dermaga/tambatan dengan alternatif sebagai berikut (Teknik, Fakultas and Diponegoro, 2008).

1. Dermaga yang Terbagi

Tambatan terbagi atas beberapa tempat tambatan (untuk satu/beberapa kapal) maka penggunaan tidak dipengaruhi panjang kapal, sehingga menggunakan perhitungan:

$$BOR = \frac{\text{Jumlah waktu terpakai}}{\text{Jumlah waktu tersedia}} \times 100\% \quad (1)$$

2. Tambatan yang Terus Menerus (*Continuous Berth*)

Tambatan/dermaga yang terbagi atas beberapa tempat tambatan. Dermaga yang tidak terbagi atas beberapa tempat tambatan (*continuous berth*), perhitungan penggunaan tambatan didasarkan pada panjang kapal (*Length of Overall/LOA*) ditambah 5 meter sebagai faktor pengaman muka-belakang. Sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$BOR = \frac{\sum((\text{Panjang kapal}+5) \times \text{waktu tambat})}{\text{Panjang Dermaga} \times \text{waktu tersedia}} \times 100\% \quad (2)$$

3. Tambatan Yang Digunakan Untuk Kapal Secara Susun Sirih

Tambatan yang dipergunakan untuk penambatan kapal secara susun sirih adalah kapal yang tertambat tidak pada posisi lambung kapal, panjang yang diperhitungkan tidak mengikuti panjang kapal, melainkan panjang tambatan yang nyata di pakai. Sehingga perhitungan rumus sebagai berikut.

$$BOR = \frac{\sum(\text{Panjang terpakai} \times \text{waktu tambat})}{\text{Panjang tambatan tersedia} \times 24 \times \text{Hari kalender}} \times 100\% \quad (3)$$

## 2.5 Kinerja Fasilitas dan Peralatan

Ada berbagai faktor dalam menilai kinerja suatu alat bongkar muat. Kondisi dan jenis alat bongkar muat menjadi salah satu faktor yang menentukan banyaknya jumlah muatan yang dipindahkan. Selain itu jumlah alat bongkar muat dan jumlah gang (TKBM/tenaga kerja bongkar muat dalam satu grup) juga menjadi faktor penting terhadap jumlah muatan yang dipindahkan. Berikut adalah berbagai macam parameter untuk menilai kinerja alat bongkar muat kapal (Saputro, 2015).

- a. T/C/H adalah jumlah muatan dalam ton yang mampu dipindahkan oleh satu alat bongkar muat dalam waktu satu jam.
- b. B/C/H adalah jumlah muatan dalam box yang mampu dipindahkan oleh satu alat bongkar muat dalam waktu satu jam.
- c. B/S/H adalah jumlah muatan dalam box yang mampu dipindahkan pada satu kapal dalam satu jam.
- d. T/G/H adalah jumlah muatan dalam ton yang mampu dipindahkan oleh satu gang dalam waktu satu jam.

## 2.6 Simulasi

Istilah "simulasi" mengacu pada kumpulan teknik untuk meniru perilaku/aktivitas/proses tertentu dari sistem nyata, menggunakan sumber daya (waktu dan pengetahuan) untuk menjawab pertanyaan yang diteliti ketika eksperimen nyata terlalu mahal atau tidak mungkin dilakukan (Junior, 2018). Teknik ini dilandasi oleh beberapa asumsi dan batasan tertentu sehingga sistem tersebut bisa dipelajari secara ilmiah. Simulasi dapat memberikan alternatif dan solusi untuk pemecahan masalah yang sedang diteliti. Model simulasi menggambarkan hubungan antara *input* dan *output* dari sebuah sistem yang kompleks.

Metode simulasi dipilih karena operator terminal cenderung mengandalkan mengandalkan simulasi untuk membantu prediksi, mengidentifikasi hambatan, memahami kompleksitas sistem, mengukur dampak kebijakan operasional baru, modifikasi desain terminal, dan penyebaran teknologi baru (Kotachi, 2016). Hal yang terpenting dalam melakukan simulasi adalah melakukan pemetaan sistem. Pada dasarnya, model simulasi dikelompokkan dalam tiga dimensi, yaitu:

1. Model Simulasi Statis dengan Dinamis  
Kedua model simulasi ini dibedakan berdasarkan pengaruh terhadap waktu. Model simulasi statis digunakan untuk mempresentasikan sistem pada saat tertentu atau sistem yang tidak terpengaruh oleh perubahan waktu. Sedangkan model simulasi dinamis digunakan jika sistem yang dikaji dipengaruhi oleh perubahan waktu.
2. Model Simulasi Deterministik dengan Stokastik  
Kedua model simulasi ini dibedakan berdasarkan sifat probabilistik. Jika model simulasi yang dibentuk tidak mengandung variabel yang bersifat acak, maka model simulasi tersebut dikatakan sebagai simulasi deterministik. Pada umumnya sistem yang dimodelkan dalam simulasi mengandung beberapa *input* yang bersifat acak,

maka pada sistem seperti ini model simulasi yang dibangun disebut model simulasi stokastik

### 3. Model Simulasi Kontinu dengan Diskret

Kedua model simulasi ini dibedakan berdasarkan perubahan tiap satuan waktu. Untuk mengelompokkan suatu model simulasi apakah diskret atau kontinyu, sangat ditentukan oleh sistem yang dikaji. Suatu sistem dikatakan diskret jika variabel sistem yang mencerminkan status sistem berubah pada titik waktu tertentu. Kebanyakan dari sistem manufaktur dimodelkan sebagai simulasi kejadian dinamis, diskrit, stokastik, dan menggunakan variabel random untuk memodelkan rentang kedatangan, antrian, proses, dan sebagainya. Sedangkan sistem dikatakan kontinyu jika perubahan variabel sistem berlangsung secara berkelanjutan seiring dengan perubahan waktu sebagai contoh aliran fluida dalam pipa.

Pada penelitian ini dipilih metode simulasi diskret untuk melakukan simulasi dari pelabuhan. Setiap model matematika dari fasilitas pelabuhan harus memperhitungkan berbagai kendala operasional dan nuansa sistem pelabuhan itu sendiri. Dan akibatnya, waktu pengembangan untuk model tertentu dapat menjadi signifikan. Untuk alasan ini, perangkat lunak simulasi port dikembangkan yang memungkinkan pembangunan model port spesifik dari model komponen generik (Dahal, 2007).

#### 2.6.1 *Discrete Event Simulation*

*Discrete Event Simulation* (DES) adalah salah satu metode pendekatan untuk memodelkan suatu sistem dalam bentuk simulasi. DES adalah simulasi dimana perubahan statusnya terjadi pada titik-titik waktu yang dipicu oleh kejadian (*event*). Dalam titik waktu ini akan terjadi suatu *event*, dimana *event* didefinisikan sebagai suatu kejadian yang dapat mengubah kondisi suatu sistem. Contoh *event* adalah kedatangan pelanggan ke operator: Operator yang sebelumnya menganggur, setelah kedatangan pelanggan akan menjadi sibuk.

DES digunakan untuk memodelkan suatu sistem yang berevolusi terhadap waktu sehingga variabel state sistem hanya berubah nilai pada waktu-waktu tertentu yang banyaknya dapat dihitung. *Discrete Model* merupakan lawan dari *Continuous Model*, dimana *Continuous Model* adalah simulasi yang menampilkan perubahan dari suatu state secara terus-menerus dan memiliki jumlah state yang tak terhingga. Meskipun DES dapat diselesaikan secara analitik namun banyaknya data yang harus diolah menunjukkan bahwa DES harus diselesaikan dengan komputasi. DES dapat digunakan untuk membuat keputusan dari sistem operasional dalam waktu tertentu.

Ada dua pendekatan pokok yang digunakan untuk meningkatkan waktu simulasi yaitu mempercepat waktu *event* berikutnya dan mempercepat interval. Pendekatan pertama telah digunakan secara umum dan pendekatan kedua adalah kasus khusus dari pendekatan pertama.

### 2.6.2 Komponen *Discrete Event Simulation*

Berikut ini adalah komponen-komponen tertentu yang akan ditemukan di dalam model yang menggunakan pendekatan mempercepat waktu berikutnya (Kelton, 1991).

1. Kondisi sistem (*system state*) yaitu kumpulan variabel kondisi yang dibutuhkan untuk menjelaskan suatu sistem dalam waktu tertentu
2. Waktu simulasi (*simulation clock*) yaitu variabel yang menggunakan nilai saat ini dari waktu di dalam simulasi.
3. Daftar kejadian (*event list*) yaitu daftar yang mengandung waktu berikutnya ketika masing-masing tipe kejadian akan terjadi
4. Inisialisasi rutin (*initization routine*) yaitu sub-program untuk menginisialisasi model simulasi pada waktu ke-0
5. *Timing routine* yaitu bagian program yang menentukan kejadian berikutnya dari daftar kejadian (*event list*) dan kemudian mempercepat waktu simulasi ke waktu ketika event terjadi.
6. *Event routine* yaitu bagian program yang memperbarui kondisi sistem ketika kejadian tertentu terjadi (hanya ada satu *event routine* untuk masing-masing tipe kejadian)
7. *Library routine* yaitu himpunan dari sub-program yang digunakan untuk menghasilkan pengamatan acak dari distribusi peluang sebagai bagian dari model simulasi.
8. *Report generator* yaitu sub-program untuk mengestimasi pengukuran yang diinginkan dari performansi dan menghasilkan laporan ketika simulasi berakhir.
9. Program utama (*main program*) yaitu sub-program yang memanggil *timing routine* untuk menentukan kejadian selanjutnya kemudian tranfers kontrol ke *event routine* terkait untuk memperbarui status sistem secara tepat. Program utama juga mengecek pemutusan dan menentukan *report generator* ketika simulasi berakhir.

### 2.6.3 Tahapan Simulasi

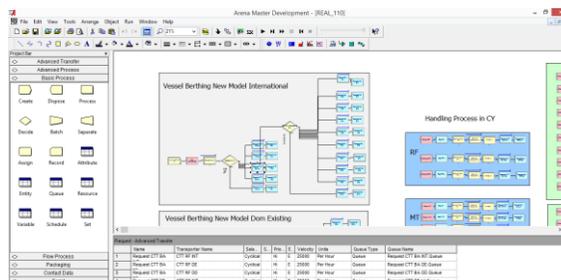
Beberapa langkah yang dilakukan dalam proses simulasi adalah sebagai berikut (Kelton, 1991).

1. Penentuan identifikasi  
Menentukan batasan sistem dan identifikasi variabel yang signifikan.
2. Pengumpulan data dan penentuan model  
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data sesuai dengan model simulasi yang dibuat. Data yang baik didapat dari penentuan model yang tepat.

3. Verifikasi  
Model simulasi yang dibangun harus kredibel. Representasi kredibel sistem nyata oleh model simulasi ditunjukkan oleh verifikasi dan validasi model.
4. Pembuatan model  
Model dibuat menggunakan program komputer, dalam hal ini adalah *software* ARENA.
5. Analisis dan validasi  
Analisis hasil simulasi dilakukan setelah proses running program selesai dan laporan hasil simulasi juga telah ditampilkan. Validasi dilakukan untuk mengecek kesesuaian program dengan logika model yang dibuat. Apabila model berjalan sesuai dengan logika yang diberikan, maka dilakukan analisa terhadap hasil simulasi.
6. Pendokumentasian  
Penyimpanan hasil output model, termasuk asumsi-asumsi yang digunakan.

## 2.7 Arena Simulation

Arena adalah sebuah program penyusun model dan simulator. Arena dikembangkan oleh perusahaan Rockwell yang dapat diaplikasikan pada ilmu teknik industri, mulai ilmu manufaktur hingga ilmu *supply chain* (termasuk logistik, pergudangan, dan pendistribusian).



Gambar 2. 4 *Software* Arena Simulation

- Arena digunakan pada penelitian ini karena memiliki beberapa kelebihan, yaitu:
1. Arena merupakan perangkat lunak simulasi yang berbasis *Graphical User Interface* yang sangat interaktif yang membuat pemodelan sistem dan analisa hasil simulasi menjadi lebih mudah. *Software* ini dapat melakukan animasi setiap kali simulasi dijalankan, sehingga perilaku sistem dapat ditampilkan secara numerik dan visual pada hasil simulasi. Selain itu dapat melakukan analisa dengan lebih mendalam dan luas dalam mengenali sistem dan membuat model konseptualnya.
  2. Beragamnya modul dan blok yang ada membawa fleksibilitas dalam membangun model.
  3. Dapat digunakan untuk memodelkan dan mensimulasikan sistem manufaktur.

### 2.7.1 *Fitting Distribution*

Dalam proses pengolahan data diskrit, perlu diketahui jenis distribusi data untuk mengetahui kecenderungan hasil dari sebuah sistem. Arena berisi berbagai fungsi bawaan untuk menghasilkan varian acak dari distribusi probabilitas yang umum digunakan.

Distribusi dibagi menjadi 2, yaitu distribusi kontinu dan distribusi diskrit. Distribusi kontinu adalah distribusi yang memiliki interval dari bilangan real dalam intervalnya. Biasanya dinyatakan dalam suatu pengukuran yang memiliki dimensi atau satuan. Distribusi probabilitas diskrit adalah distribusi probabilitas dimana semesta variabel acaknya dapat dihitung atau berhingga (nilai variabel acaknya bernilai integer). Distribusi yang termasuk distribusi kontinu di antaranya adalah sebagai berikut.

- a. *Distribusi Uniform*  
Distribusi ini mengasumsikan data memiliki probabilitas yang sama untuk terjadinya dimana saja dalam suatu sub interval sepanjang yang ada dalam interval  $a$  sampai  $b$ .
- b. *Distribusi Eksponensial*  
Sering digunakan untuk memodelkan waktu tunggu sampai sebuah peristiwa terjadi, dan juga untuk memodelkan waktu antar terjadi peristiwa.
- c. *Distribusi Normal*  
Variabel random  $X$  berdistribusi normal, dengan parameter  $\mu$  (rata-rata) dan  $\sigma$  (standar deviasi). Distribusi ini sering digunakan untuk merepresentasikan waktu proses dari sebuah pemrosesan oleh mesin.
- d. *Distribusi Weibull*  
Distribusi weibull digunakan dalam model keandalan untuk mewakili masa pakai (*lifetime*) sebuah perangkat. Jika suatu sistem terdiri dari sejumlah besar bagian yang gagal secara independen, dan jika sistem ini gagal ketika ada bagian yang gagal, maka waktu antara kegagalan berturut-turut mengikuti distribusi weibull.

### 2.7.2 *Teori Replikasi*

Simulasi menganut sistem random input random output (RIRO). Hal ini berarti masukan (*input*) dari simulasi bersifat acak yang menyebabkan hasil luarannya (*output*) bersifat acak pula. Simulasi yang dijalankan sebanyak satu kali, tidak dapat dipastikan memberikan hasil yang representatif terhadap real system. Oleh karena itu, untuk mengatasi RIRO di simulasi dilakukanlah replikasi. Replikasi merupakan sebuah mekanisme menjalankan simulasi beberapa kali untuk mengatasi hasil random yang diakibatkan variabilitas dari sistem dengan harapan model simulasi mampu mewakili *real* (QMIPA Labs, 2018).

### 2.7.3 Verifikasi

Verifikasi adalah proses untuk memastikan model tersebut dapat dijalankan untuk melakukan optimasi pada peralatan bongkar muat. Kondisi nyata dapat digambarkan dengan membuat model konseptual pada perangkat lunak simulasi. Verifikasi ini memiliki tujuan untuk meyakinkan bahwa model yang didesain telah ditransformasikan ke perangkat lunak simulasi komputer dengan benar. Proses verifikasi dilakukan menggunakan fungsi khusus dalam *software* ARENA (QMIPA Labs, 2018).

### 2.7.4 Validasi

Langkah yang paling penting dalam permodelan simulasi adalah validasi model. Validasi model bertujuan untuk memastikan apakah model yang dibangun sudah mampu merepresentasikan *real-system* nya. Jika verifikasi merupakan proses “*building the model right*” maka validasi merupakan proses “*building the right model*” (QMIPA Labs, 2018). Validasi model memungkinkan untuk menggunakan kombinasi dari model validasi. Validasi model dilakukan dengan cara membandingkan performansi model dengan performansi sistem nyata yang diteliti dengan menggunakan uji statistik. Validasi model juga bertujuan untuk memperkuat batasan dan asumsi yang digunakan, serta menambah keyakinan terhadap model yang dibuat. Suatu model dapat dikatakan valid jika hasil dari perbandingan antara model simulasi dengan model nyata menunjukkan tidak adanya perbedaan ataupun masih dalam batas perbedaan yang telah ditentukan.

Salah satu cara untuk melakukan validasi adalah dengan menggunakan uji *t-test*. Uji ini dilakukan untuk membandingkan apakah ada perbedaan antara model simulasi dengan *real system* dalam konteks outputnya (*point estimate* rata-rata). Uji ini digunakan untuk membuktikan apakah terdapat perbedaan rata-rata antara 2 (dua) sampel yang saling independen. Tes ini merupakan teknik statistik parametrik dimana terdapat asumsi yang harus terpenuhi terlebih dahulu, yaitu distribusi masing-masing kelompok data yang kemudian dibandingkan. Berikut adalah langkah-langkah melakukan uji *t-test* (QMIPA Labs, 2018).

1. Tentukan hipotesis alternatif mengenai rata-rata output sistem aktual ( $\mu_1$ ) dan rata-rata output model simulasi ( $\mu_2$ ) yang dapat ditulis sebagai berikut.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad (4)$$

$$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \quad (5)$$

Jika selisih kedua output sistem nol, maka terbukti bahwa tidak ada perbedaan antara model simulasi dengan *real system*, yang berarti model valid. Namun jika hipotesis nol ditolak, berarti ada perbedaan yang signifikan antara model simulasi dengan *real system*, berarti model tidak valid.

2. Hitung rata-rata dan standar deviasi untuk masing-masing populasi. Hitung pula *pooled standard deviation* ( $s_p$ ), yakni standar deviasi gabungan dari dua populasi yang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (6)$$

Dimana:

- $n_1$  = jumlah data output *real system*
- $n_2$  = jumlah data output model simulasi
- $s_1$  = standar deviasi *real system*
- $s_2$  = standar deviasi model simulasi

3. Tentukan *level of significance* ( $\alpha$ ) untuk mencari nilai *critical* di Tabel *student's-t* dengan mencocokkan nilai  $\alpha/2$  dan *degree of freedom* dengan persamaan berikut.

$$df = n_1 + n_2 - 2 \quad (7)$$

*Level of significance* adalah besarnya batas toleransi dalam menerima kesalahan hasil hipotesis terhadap nilai parameter populasinya.

4. Hitung nilai *t test* dengan menggunakan persamaan berikut.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (8)$$

Karena di hipotesis nol dinyatakan dengan  $\mu_1 = \mu_2$  maka  $\mu_1 - \mu_2 = 0$

5. Mengambil kesimpulan dengan membandingkan nilai *t-test* dengan *t-critical*. Performansi model valid apabila memenuhi persamaan berikut.

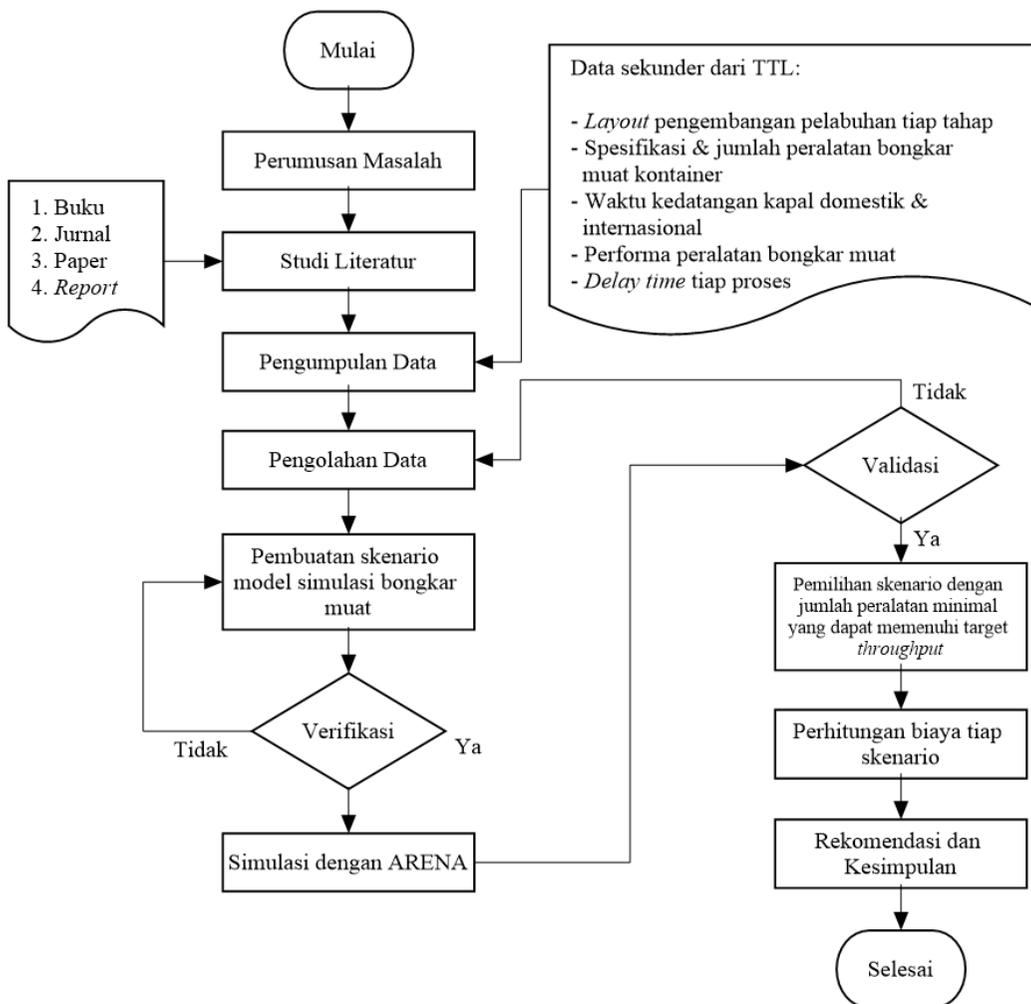
$$t_{critical\ bawah} \leq t_{test} \leq t_{critical\ atas} \quad (9)$$

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Umum

Metodologi adalah sebuah metode yang akan digunakan pada pengerjaan penelitian ini sehingga bisa didapatkan hasil yang memiliki relevansi dengan tujuan yang sebelumnya telah ditentukan. Pada metodologi penelitian ini, akan diuraikan tiap tahapan penelitian yang akan dilakukan mengenai Optimasi Peralatan Bongkar Muat *Semi-Automatic Container* di Terminal Teluk Lamong (TTL) Berdasarkan Rencana Pengembangan Terminal Fase *Ultimate*. Tahapan penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram proses pelaksanaan tugas akhir

### 3.2 Perumusan Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi beberapa permasalahan yang didapatkan saat melakukan pengamatan sehingga bisa dilakukan sebuah penelitian. Kemudian dirumuskan permasalahan yang ingin dijawab berdasarkan topik yang telah ditentukan, yaitu Optimasi Peralatan Bongkar Muat *Semi-Automatic Container* di Terminal Teluk Lamong (TTL) Berdasarkan Pengembangan Terminal Fase *Ultimate*. Hasil identifikasi awal ini akan digunakan untuk menentukan rumusan permasalahan dengan jelas dan menentukan tujuan penelitian.

### 3.3 Studi Literatur

Tahap ini adalah tahap dimana dilakukannya pembelajaran dari literatur-literatur yang berkaitan dengan topik penelitian. Literatur-literatur yang digunakan dapat berupa buku, jurnal nasional maupun jurnal internasional, dan paper nasional maupun paper internasional. Berikut adalah beberapa hal yang harus dipahami dalam proses penelitian ini.

- a. Proses Bongkar Muat Terminal *Container*  
Studi literatur mengenai proses bongkar muat dilakukan dengan mempelajari secara mendalam proses bongkar muat mulai dari *stevedoring*, *cargodoring*, dan *receiving/delivery*. Pada penelitian ini, peralatan dan sistem operasional pada tiap tahapan dipelajari untuk menunjang pembuatan model dan skenario untuk simulasi optimasi.
- b. Model Simulasi *Discrete Event Simulation* (DES)  
Studi literatur mengenai model simulasi perlu dilakukan untuk dapat merepresentasikan kondisi real dari proses bongkar muat pada terminal kontainer surabaya. Studi mengenai simulasi spesifik menggunakan metode DES.
- c. Penggunaan *Software* ARENA  
Studi mengenai penggunaan *software* ARENA dilakukan untuk membantu menjalankan simulasi dari proses bongkar muat kontainer. Studi ini meliputi tata cara pembuatan model yang benar dan proses evaluasi model yang disimulasi.

### 3.4 Pengumpulan Data

Untuk menunjang sebuah penelitian digunakan beberapa data primer dan sekunder. Data primer didapat dari observasi atau pengalaman langsung di lapangan. Sedangkan data sekunder adalah data yang telah dikumpulkan oleh perseorangan/ organisasi. Pada penelitian ini hanya digunakan data sekunder berupa:

1. *Layout* pengembangan pelabuhan tiap tahap
2. Spesifikasi & jumlah peralatan bongkar muat kontainer
3. Waktu kedatangan kapal domestik & internasional

4. Performa peralatan bongkar muat
5. *Delay time* tiap proses bongkar muat

### 3.5 Pengolahan Data

1. Penentuan Lokasi  
Untuk membuat model simulasi, perlu diketahui lokasi tiap terjadinya proses bongkar muat. Pada penelitian ini, lokasi yang ditinjau adalah dermaga dan blok pada *container yard* (CY). Lokasi ini dapat diketahui melalui *layout* TTL.
2. Kedatangan Entitas  
Kedatangan entitas berpengaruh pada performa bongkar muat pelabuhan. Dalam penelitian ini, entitas yang diteliti adalah kontainer. Waktu kedatangan tiap entitas selanjutnya diolah menggunakan *software* Input Analyzer yang terdapat pada ARENA Simulation untuk mengetahui karakteristik distribusi kedatangan dari kontainer.
3. Waktu Proses  
Untuk mengetahui lamanya proses yang terjadi dalam sebuah lokasi perlu diketahui waktu proses tiap peralatan.

### 3.6 Pembuatan Skenario Formasi Peralatan Bongkar Muat

Formasi peralatan yang ditentukan pada penelitian ini adalah formasi STS dan CTT. Skenario dibuat berdasarkan variasi jumlah STS dan CTT yang berbeda. Skenario ini kemudian disimulasi pada kondisi kepadatan pelayanan kapal dan performa peralatan yang berbeda.

### 3.7 Verifikasi

Verifikasi adalah proses untuk memastikan model tersebut dapat diaplikasikan untuk melakukan optimasi pada peralatan bongkar muat. Kondisi nyata dapat digambarkan dengan membuat model konseptual pada perangkat lunak simulasi. Verifikasi ini memiliki tujuan untuk meyakinkan bahwa model yang didesain telah ditransformasikan ke perangkat lunak simulasi komputer dengan benar.

### 3.8 Simulasi dengan ARENA

Simulasi dilakukan dengan melakukan kombinasi dari skenario formasi pada tiap tahapan proses bongkar muat. Simulasi dilakukan satu-per-satu terhadap masing-masing kombinasi skenario.

Dalam membuat simulasi, perlu ditambahkan beberapa asumsi dan batasan. Batasan dan asumsi ini akan digunakan untuk menjalankan simulasi pada seluruh skenario. Asumsi dan batasan yang akan digunakan dalam simulasi ini mengacu pada (Meng and Wang, 2010) adalah sebagai berikut.

1. Jumlah kontainer dinyatakan dalam satuan *box*, ukuran kontainer yang digunakan adalah 1 TEUs/20ft.

2. STS hanya dapat menangani 1 kapal hingga proses bongkar muat selesai.
3. Jumlah kapal yang bisa diakomodasi dimaksimalkan dengan standar BOR dari UNCTAD.
4. Tingkat penggunaan STS disesuaikan dengan kebutuhan pelayanan berdasarkan kepadatan dermaga dalam kondisi yang bervariasi.
5. Jumlah ASC yang beroperasi hanya dibatasi oleh luas *container yard*.
6. Jumlah CTT yang beroperasi diberikan variasi sebanyak 110, 120, dan 130 CTT.
7. CTT disimulasi berdasarkan sistem *dedicated* pada tiap blok.
8. Konfigurasi peralatan pada tiap skenario baik untuk STS maupun CTT menggunakan acuan proporsi tiap jenis kontainer dan rasio ppanjang dermaga.

### **3.9 Validasi**

Validasi model bertujuan untuk memastikan bahwa simulasi yang dilakukan sudah merepresentasikan *real system*-nya.

### **3.10 Pemilihan Skenario Formasi**

Pada tahap simulasi akan dihasilkan nilai *throughput* pada masing-masing skenario. Selanjutnya akan dipilih skenario dengan formasi peralatan minimum yang mampu memenuhi target pelayanan sebesar 5.500.000 TEUs tiap tahun.

### **3.11 Rekomendasi**

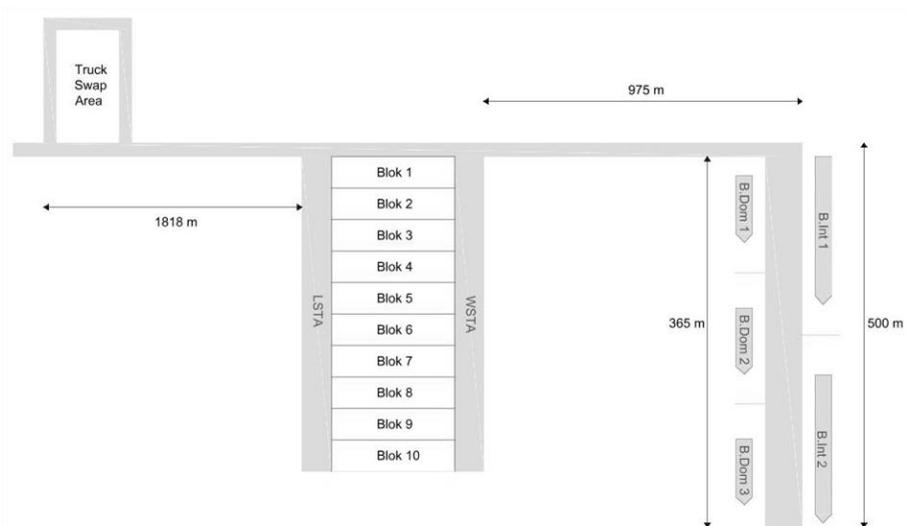
Tahap ini merupakan akhir dari pengerjaan yang dilakukan oleh peneliti, dimana kesimpulan ini dapat memberi masukan pada pihak yang telah dijadikan objek penelitian, hingga kedepannya penelitian ini dapat memberikan masukan terkait dengan pengembangan Terminal Teluk Lamong kedepan.

## BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN SIMULASI MODEL SAAT INI

Pada bab ini, dijelaskan mengenai pengumpulan data penelitian yang meliputi data proses bongkar, proses muat, dan lain-lain. Data tersebut selanjutnya diolah menggunakan *input analyzer* untuk mengetahui jenis distribusi data yang dimiliki. Luaran yang dihasilkan adalah sebuah ekspresi distribusi yang akan digunakan dalam model seimulasi. Di samping itu, pada bab ini akan dijelaskan mengenai proses pembuatan dan pengembangan model simulasi untuk menganalisis proses bongkar muat eksisting.

### 4.1 Identifikasi Sistem

PT Terminal Teluk Lamong (TTL) yang berlokasi diperbatasan Gresik-Surabaya mulai dioperasikan sejak tahun 2014. TTL beroperasi dengan sistem *green port* yaitu menggunakan bahan bakar nonfosil untuk proses operasinya seperti menggunakan *solar cell*, listrik dan AC *non Freon*. Sampai saat ini (2016) TTL telah memiliki beberapa fasilitas penunjang seperti *berthing area* (tempat untuk sandar kapal pengangkut *container*) yang berjumlah 5 lokasi dengan pembagian 3 lokasi digunakan untuk tempat sandar kapal domestik dan 2 lokasi untuk sandar kapal internasional seperti pada Gambar 4.1. Di samping itu, PT Terminal Teluk Lamong memiliki beberapa sumber daya fasilitas dan alat operasional dijelaskan pada Gambar 4.1. berikut.



Gambar 4. 1 Layout Terminal Eksisting  
Sumber: Dokumen TTL, 2019

Pada Gambar 4.1 dijelaskan mengenai tata letak dermaga internasional (kanan), dermaga domestic (kiri), dan lokasi *container yard*. Saat ini TTL memiliki 9 STS (*ship to shore crane*) yang berada 4 di dermaga internasional dengan kemampuan *twinlift* (SWL 60 ton) dan 5 di dermaga domestik dengan kemampuan *singlelift* (SWL 40 ton).

*Container yard* saat ini memiliki 10 blok penyimpanan yang aktif beroperasi dimana ini 5 blok penyimpanan untuk melayani kontainer domestik dan 5 lainnya digunakan untuk melayani kontainer internasional. Setiap blok penyimpanan dilayani oleh 2 unit *Automatic Stacking Cranes* untuk membantu proses *handling* di dalam blok dimana unit ASC yang dekat dengan sisi laut dinamakan *waterside transfer area* (WSTA) ASC dan unit yang melayani *pick up* dan *drop off* di sisi darat dinamakan *landside transfer area* (LSTA) ASC.

Setiap blok penyimpanan memiliki 40 *slot*, 9 baris, dan maksimal 5 tumpukan (*tier*). Setiap *slot* tersebut memiliki dimensi untuk menampung 4 TEUs dan memiliki penomoran *slot* yang diawali angka ganjil. Sedangkan untuk kontainer ukuran 45 *feet* khusus ditempatkan pada *slot* 43 dan 41. Di samping itu, untuk *slot* 39 dan 37 digunakan sebagai *buffer area* yaitu tempat penyimpanan sementara guna memindahkan kontainer dari jangkauan *landside* ASC dan *waterside* ASC.

TTL memiliki *swap area* yaitu sebuah fasilitas penunjang yang menyediakan area untuk perpindahan *container* dari truk yang berbahan bakar minyak dipindah pada truk berbahan bakar gas (OTL/*open truck load*) yang disediakan oleh PT Terminal Teluk Lamong. Untuk memindahkan kontainer tersebut dari eksternal truk digunakan *reach stacker* yang berjumlah 1 unit dan *straddle carrier* yang berjumlah 5 unit.

Saat ini OTL yang dimiliki berjumlah 25 unit dengan proporsi 5 unit untuk melayani setiap blok ASC. OTL ini memiliki kecepatan angkut baik *full* atau *empty* sebesar 30 km/jam. Untuk mengangkat kontainer dari dermaga menuju kontainer yard dan TTL menggunakan CTT. Saat ini, CTT yang dimiliki oleh TTL berjumlah sebanyak 50 unit.

#### 4.1.1 Data Layout Saat Ini

Layout yang ditampilkan pada Gambar 4.1 digunakan sebagai acuan dalam pembuatan model konseptual dan model simulasi. Untuk itu, perlu dipertimbangkan dimensi dari tiap fasilitas yang berkaitan langsung dengan proses bongkar muat. Data tersebut dirangkum dan disajikan sebagai berikut.

a.	Panjang berth internasional	500	m
b.	Panjang berth domestik	365	m
c.	Panjang jalan berth ke WSTA CY	1010	m
d.	Panjang jalan main gate ke LSTA CY	667	m
e.	Panjang jalan swap area ke main gate	489	m
f.	Panjang CY per blok	415	m
g.	Jarak tiap CTT dock	3	m
h.	Jarak manuver jalan utama ke blok ke-1	137	m
i.	Jarak tiap blok CY	38	m

## 4.2 Model Konseptual Saat Ini

Model simulasi dibuat berdasarkan model konseptual dengan *software* ARENA. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam membuat simulasi ini adalah sebagai berikut.

- a. Setiap diagram blok dalam model konseptual dapat mewakili masing-masing blok simulasi.
- b. Setiap blok pada model simulasi memiliki urutan sesuai dengan aliran proses pada model konseptual.

#### 4.2.1 Elemen Sistem

Adapun elemen-elemen sistem yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Entitas  
Entitas pada penelitian ini dibagi adalah kontainer yang menjadi fokus mengukur model berupa nilai *throughput* sebagai *output* simulasi.
- a. Aktivitas  
Aktivitas-aktivitas berikut ini merupakan aktivitas yang dilakukan untuk memproses entitas:
  1. *Berthing etup* kapal ketika tiba di BA.
  2. Pemindahan kontainer dari kapal menuju CTT dengan menggunakan STS.
  3. Pemindahan kontainer dari BA menuju CY dengan menggunakan CTT.
  4. Pemindahan kontainer dari CTT menuju CY dengan menggunakan SC untuk domestik dan secara langsung melalui *docking* CTT untuk blok internasional.
  5. Pemindahan kontainer untuk ditumpuk menggunakan ASC.
  6. Pemindahan kontainer dari CY menuju CTT menggunakan ASC.
  7. Pemindahan kontainer dari CY menuju BA menggunakan CTT.
  8. Pemindahan kontainer dari CTT menuju kapal menggunakan STS.
  9. *Departure setup* kapal setelah melakukan proses bongkar dan muat.
- b. *Resource*  
*Resource* adalah alat yang digunakan untuk memproses entitas, dalam penelitian ini terdapat beberapa *resource* yaitu:
  1. STS *crane* sebagai alat untuk memindahkan kontainer dari dan menuju kapal.
  2. ASC sebagai alat untuk memindahkan kontainer dari dan menuju CY.
  3. *Combined Terminal Trailer* (CTT) sebagai alat transportasi.
- c. *Control*  
*Control* yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:
  1. Aturan FIFO (*First In First Out*) sebagai aturan dalam antrian yang terjadi pada BA, STS, dan ASC.

2. Jam Operasional pada Terminal Teluk Lamong, 24 jam dalam satu hari

#### 4.2.2 Variabel Sistem

Variabel sistem dibagi menjadi tiga yaitu, variabel keputusan, variabel respon, dan variabel *state*. Berikut ini merupakan variabel sistem pada penelitian ini:

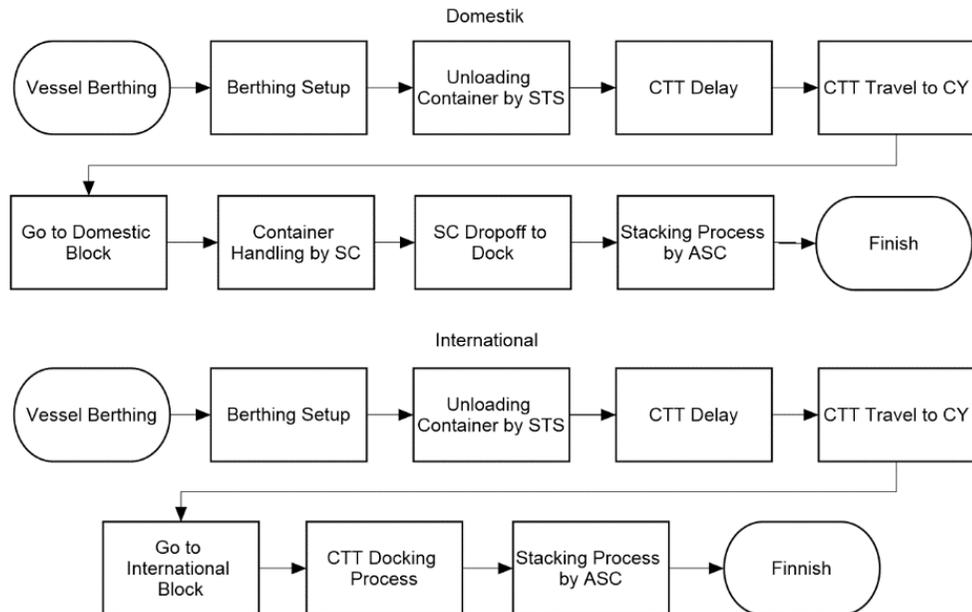
- a. Variabel Keputusan  
Variabel keputusan merupakan variabel yang berada di bawah control pemegang keputusan dan nilainya ditentukan oleh pemegang keputusan. Variabel keputusan pada penelitian ini sebagai berikut:
  1. Jumlah kontainer bongkar dan muat yang dikategorikan berdasarkan kebutuhan.
  2. Jumlah CTT
  3. Kecepatan CTT pada Terminal Teluk Lamong
  4. Jumlah STS
  5. Performa bongkar muat STS
- b. Variabel Respon  
Variabel respon atau variabel hasil merupakan keluaran dari model dan ditentukan oleh variabel keputusan. Variabel respon pada penelitian ini adalah *throughput*, yaitu jumlah kontainer yang mampu ditangani oleh terminal dalam satuan waktu tertentu.
- c. Variabel *State*  
Variabel *state* adalah status sistem pada titik-titik waktu tertentu. Variabel *state* pada penelitian ini adalah total *throughput* pada waktu X.

Sebelum membuat model simulasi, proses bongkar muat dibuat dalam model konseptual, yang merupakan tampilan ilustratif yang menjelaskan aliran proses dan data.

#### A. Proses Bongkar

Proses bongkar adalah proses pemindahan kontainer dari kapal menuju CY. Tahap awal pada proses ini adalah memberi masukan kedatangan kapal. Tahap ini dipisahkan antara kedatangan kapal domestik dan internasional karena lokasi dermaga yang berbeda.

Proses selanjutnya adalah melakukan *unloading*/bongkar kontainer dengan menggunakan STS. Kontainer kemudian diangkut oleh CTT menuju CY. Pada model ini, sistem penugasan CTT bersifat *undedicated*. Hal ini berarti CTT dapat pergi ke blok CY manapun sesuai dengan jenis kontainernya.



Gambar 4. 2 Diagram proses bongkar eksisiting

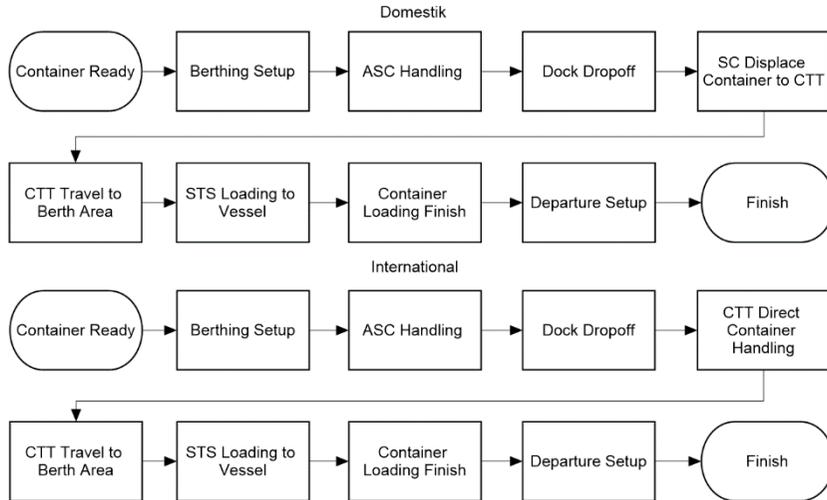
Setelah tiba di CY, kontainer dipindahkan dengan menggunakan ASC menuju blok penyimpanan. Pada Gambar 4.2 terdapat perbedaan proses bongkar pada area CY untuk blok domestik dan blok internasional. Pada blok domestik, kontainer dipindahkan menggunakan *straddle carrier* karena fasilitas *dock* CTT belum tersedia. Sedangkan pada blok internasional CTT dapat langsung melakukan proses *docking* tanpa membutuhkan bantuan dari SC. Hal ini membuat proses bongkar internasional dapat lebih singkat.

Proses *docking* adalah proses meletakkan kontainer pada sebuah *dock* oleh CTT. Hal ini dimungkinkan karena CTT memiliki kemampuan *lifting*. Tahap terakhir dari rangkaian proses bongkar adalah menumpuk kontainer di lapangan penumpukan menggunakan ASC. Apabila proses penumpukan dan bongkar telah selesai, maka selanjutnya proses muat dimulai.

## B. Proses Muat

Proses muat merupakan proses pemindahan kontainer dari CY menuju kapal. Proses muat dimulai ketika kontainer untuk muat siap pada CY. Kemudian ASC akan memindahkan kontainer menuju CTT. CTT akan bergerak menuju BA tujuan kontainer tersebut. Setibanya di BA, kontainer akan dipindahkan ke atas kapal dengan menggunakan STS.

Pada Gambar 4.3 terdapat perbedaan proses bongkar pada area CY. Pada *container* domestik, kontainer dipindahkan menggunakan SC karena fasilitas *dock* CTT belum tersedia. Sedangkan pada blok internasional CTT dapat langsung melakukan proses *docking* tanpa membutuhkan bantuan dari SC. Hal ini membuat proses muat internasional dapat lebih singkat.



Gambar 4. 3 Diagram proses muat eksisting domestik dan internasional

Tahap terakhir dari rangkaian proses muat adalah memuat kontainer ke kapal. Pada tahap ini, seluruh kontainer yang akan dimuat berasal dari masing-masing blok ditrasfer menggunakan CTT. Setelah kontainer berada di dermaga, selanjutnya diproses oleh STS. Proses terakhir adalah menunggu kapal agar terisi kontainer agar dapat meninggalkan dermaga.

Apabila kapal telah terisi kontainer, maka selanjutnya adalah persiapan kapal meninggalkan dermaga. Proses ini diwakilkan dengan modul *departure setup*. Proses ini merupakan tahapan akhir sebelum kapal dapat meninggalkan dermaga berupa menyiapkan kapal untuk memandu/menunda kapal menjauhi dermaga serta penyelesaian proses administrasi.

### 4.3 *Fitting Distribution*

Untuk mengakomodasi sifat keacakan atau kerandoman dari data yang dikumpulkan, maka diperlukan *fitting* distribusi untuk melihat pola persebaran data dengan tingkat *error* yang minimum. Data hasil *fitting* distribusi selanjutnya digunakan sebagai *input* model simulasi. *Tool* yang terdapat pada *software* Arena digunakan untuk mengolah data tersebut. Pada subbab ini penulis akan melampirkan hasil pengolahan data dengan menggunakan Input Analyzer pada Arena. Adapun data yang diolah adalah sebagai berikut.

#### A. Kedatangan kapal

Data kedatangan kapal digunakan sebagai masukan dalam model simulasi. Data pada Lampiran A digunakan untuk mencari interval antar kedatangan kapal. Interval tersebut selanjutnya dibagi dengan nilai 40% sebagai asumsi bahwa kapal tidak bersandar sepanjang *berth* yang tersedia. Angka ini didapat dari rekomendasi BOR (*berth occupancy ratio*) untuk terminal yang memiliki satu tambatan. Dalam hal ini tidak digunakan dua tambatan karena tambatan domestik dan internasional terpisah. Data ini selanjutnya diolah menggunakan Input Analyzer.

Hasil pengolahan Input Analyzer menyatakan bahwa distribusi yang paling sesuai untuk kedatangan kapal domestik adalah  $4 + \text{EXPO}(71.1)$  dengan nilai *square error* 0.014821 dan kedatangan kapal internasional  $2 + \text{EXPO}(27.8)$  dengan nilai *square error* 0.007418. Kedua data ini dapat digunakan karena nilai *square error*  $\leq 0.05$ . Hasil *fitting distribution* juga sesuai dengan karakteristik umum dari waktu kedatangan yang disajikan menggunakan distribusi eksponensial.

B. *Berthing setup*

*Berthing setup* adalah waktu yang dibutuhkan oleh kapal dan juga QC sebelum benar-benar melakukan proses bongkar muat kontainer di kapal. Jenis distribusi yang diperoleh sesuai dengan distribusi yang ditunjukkan dalam pemrosesan data menggunakan perangkat lunak ARENA. Yaitu, distribusi Normal dengan ekspresi  $\text{NORM}(48, 0.0806)$

C. *Departure setup*

Jenis distribusi yang diperoleh sesuai dengan distribusi yang ditunjukkan dalam pemrosesan data menggunakan perangkat lunak Arena. Yaitu, distribusi Uniform dengan ekspresi  $\text{UNIF}(100, 265)$ .

D. Pick up dan drop off ASC (ASC Handling)

ASC bertugas untuk memindahkan kontainer dari CY ke CTT melalui dock maupun SC. Jenis distribusi yang diperoleh sesuai dengan distribusi yang ditunjukkan dalam pemrosesan data menggunakan perangkat lunak ARENA. Yaitu, distribusi normal dengan ekspresi  $\text{NORM}(7.03, 1.64)$ .

E. *SC Handling*

SC bertugas untuk memindahkan kontainer dari CTT ke dock untuk selanjutnya diletakkan di CY oleh ASC. Jenis distribusi yang diperoleh sesuai dengan distribusi yang ditunjukkan dalam pemrosesan data menggunakan perangkat lunak ARENA. Yaitu, distribusi lognormal dengan ekspresi  $1 + \text{LOGN}(0.29, 0.201)$  dengan nilai *square error* sebesar 0.006220.

F. Waktu loading kontainer STS internasional

Proses untuk melakukan bongkar dan muat pada dermaga berbeda-beda untuk bongkar dan muat. Hal ini karena beban yang diterima STS berbeda. Untuk STS pada dermaga internasional menggunakan STS berjenis *twinlift* dengan kemampuan angkat 50% lebih tinggi dari STS pada dermaga domestik. Berdasarkan hasil pengumpulan data, didapat distribusi data untuk proses *handling* kontainer menggunakan STS pada masing-masing dermaga sebagai berikut.

Loading Internasional	: $-0.5 + \text{LOGN}(4.54, 3.11)$
Discharge internasional	: $0.5 + \text{GAMM}(1.83, 1.31)$
Loading domestik	: $0.5 + \text{LOGN}(2.77, 2.67)$
Discharge domestik	: $0.5 + \text{LOGN}(2.32, 2.87)$

- G. Kedatangan kontainer di dermaga internasional & domestik  
Selain mempertimbangkan waktu antar kedatangan, simulasi juga membutuhkan jumlah kontainer yang disertakan bersama kapal. Berdasarkan fitting distribusi, untuk kontainer internasional memiliki ekspresi  $211 + EXPO(267)$  dengan nilai *square error* 0.004158 dan UNIF(248, 1.22e+003) dengan nilai *square error* 0.028395 untuk domestik.

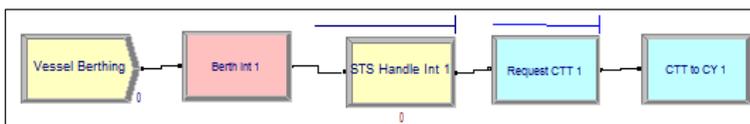
Berdasarkan seluruh hasil *fitting distribution* maka didapat masukan model simulasi sebagai berikut.

1. Kedatangan kapal	-0.001 + EXPO(37.7)	Jam
2. <i>Berthing setup</i>	NORM(48, 0.0806)	Menit
3. <i>Departure setup</i>	UNIF(100, 265)	Menit
4. <i>Pick up dan drop off ASC (ASC Handling)</i>	NORM(7.03, 1.64)	Menit
5. Waktu CTT domestik transfer ke CY	NORM(16.8, 4.15)	Menit
6. Waktu CTT internasional transfer ke CY	7 + 32 * BETA(2.08, 3.67)	Menit
7. Waktu kontainer <i>loading</i> STS internasional	- 0.5 + LOGN(4.54, 3.16)	Menit
8. Waktu container <i>discharge</i> STS internasional	0.5 + GAMM(1.83, 1.35)	Menit
9. Waktu container <i>loading</i> STS domestik	0.5 + LOGN(2.77, 2.55)	Menit
10. Waktu container <i>discharge</i> STS domestik	0.5 + LOGN(2.32, 2.55)	Menit
11. Kedatangan kontainer dari kapal	-0.001 + EXPO(225)	TEUs

Pemilihan distribusi yang sesuai dilakukan berdasarkan nilai *square error*  $< \alpha$ . Selain itu distribusi dapat dipilih berdasarkan penggunaan distribusi tersebut pada umumnya. Sebagai contoh, distribusi exponential biasanya digunakan dalam proses kedatangan.

#### 4.4 Simulasi Model Saat Ini

Berdasarkan identifikasi sistem bongkar dan muat eksisting, serta analisa distribusi data tiap proses bongkar muat, dibuat model simulasi sebagai acuan pembuatan skenario optimasi. Model simulasi yang dibuat pada *software* Arena disajikan dalam Gambar berikut.



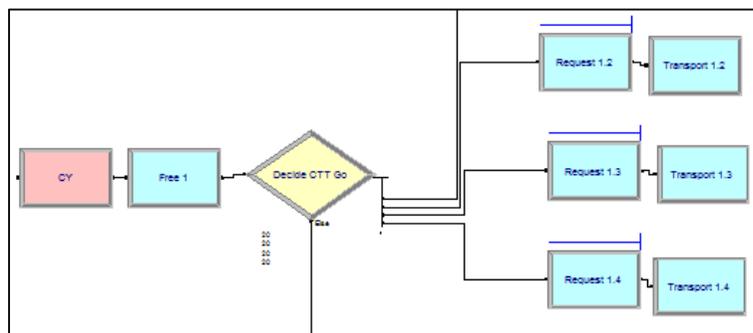
Gambar 4. 3 Model proses bongkar di dermaga internasional

Tahap awal pada model ini adalah memberi masukan kedatangan kapal sesuai pada data Lampiran A. Tahap ini dipisahkan antara kedatangan kapal domestik dan internasional sesuai dengan hasil *fitting distribution* pada subbab 4.3. Kedatangan kapal dituliskan dalam sebuah ekspresi hasil berupa  $-0.001 + EXPO(37.7)$ . Ekspresi ini menunjukkan bahwa kedatangan kapal memiliki distribusi data eksponensial dengan variabel tetap  $-0.001$  dan standar deviasi  $37.7$ .

Modul selanjutnya setelah modul *entry* adalah modul *station* yang berfungsi untuk mendefinisikan lokasi terjadinya proses bongkar kontainer yaitu pada *berth area*. Pada modul ini, CTT akan mulai melakukan proses bongkar muat yang diawali dengan proses *STS handling*. CTT yang telah dimuati kontainer, selanjutnya menuju CY untuk mentransfer kontainer.

Agar CTT dapat meninggalkan *station Berth Int 1*, maka diberi modul *request* dan *transport*. Fungsi dari modul *request* adalah untuk memanggil CTT dari *station Berth Int 1*. Modul *transport* 'CTT to CY 1' berfungsi menugaskan CTT menuju *station* selanjutnya yaitu 'CY'. Setelah masuk *station CY*, diberikan modul *free* untuk melepaskan kontainer agar dapat dibagi menuju blok masing-masing.

Proses pembagian kontainer ditunjukkan pada Gambar 4.4 menggunakan modul *decide*. Persentase untuk tiap cabang adalah 20% bertujuan untuk membagi rata ke seluruh blok sesuai dengan kondisi saat ini. Proses selanjutnya adalah memanggil CTT untuk mengangkut kontainer menuju blok masing-masing.



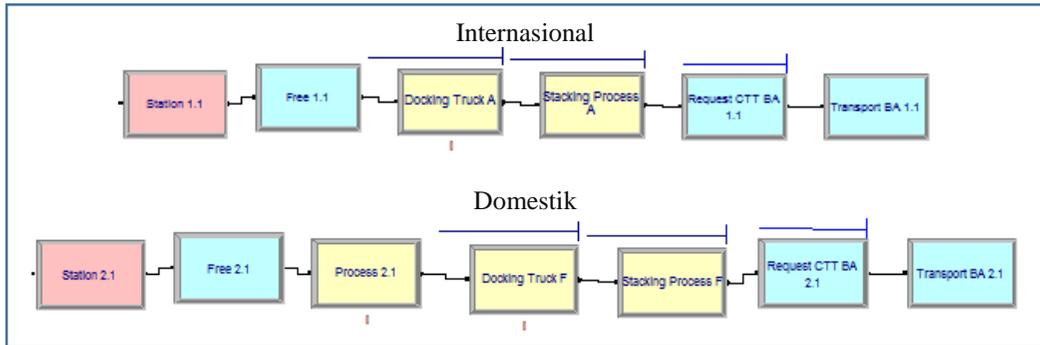
Gambar 4. 4 Model proses transfer menuju CY internasional

Agar CTT dapat meninggalkan *station CY*, maka diberi modul *request* dan *transport*. Fungsi dari modul *request* adalah untuk memanggil CTT dari *station CY*. Modul *transport* 1.1 sampai *transport* 1.5 berfungsi menugaskan CTT menuju *station* masing-masing sesuai penomoran ke *station* 1.1 sampai *station* 1.5. Tiap *station* mewakili 1 blok CY.

Proses selanjutnya dibedakan antara penanganan kontainer internasional dan domestik di CY. Proses bongkar kontainer internasional lebih sederhana, yaitu CTT langsung menuju *buffer area* dan melakukan *docking* kontainer. Proses *docking* adalah proses meletakkan kontainer pada sebuah *dock* oleh CTT. Hal ini dimungkinkan karena CTT memiliki kemampuan *lifting*.

Selanjutnya CTT dapat langsung meninggalkan *buffer area* untuk menuju ke dermaga mengambil kontainer. Saat kontainer telah berada di *dock*, ASC akan menempatkan kontainer secara otomatis sesuai perencanaan. Keberadaan *dock*

mempercepat proses bongkar muat karena CTT tidak perlu menunggu untuk didatangi oleh ASC

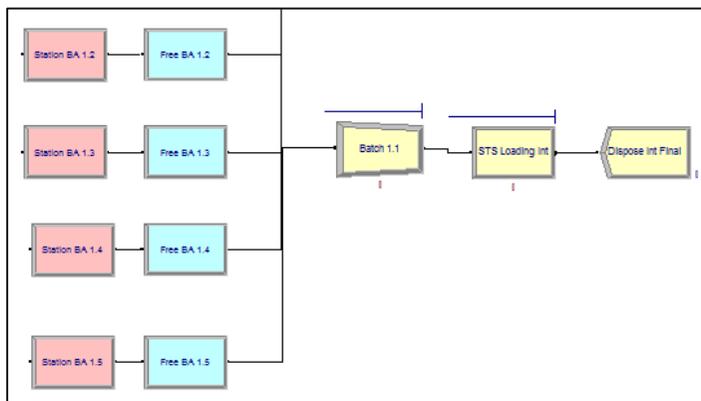


Gambar 4. 5 Perbedaan model proses stacking di CY domestik dan internasional

Pada proses penanganan kontainer domestik, proses *docking* tetap ada namun tidak dilakukan oleh CTT. Hal ini karena saat kunjungan berlangsung, fasilitas *dock* belum selesai dikerjakan. Sehingga untuk mengatasi keterbatasan ini, digunakan *straddle carrier* untuk mengambil kontainer dari CTT dan meletakkannya pada *buffer area*. Proses oleh *straddle carrier* ditunjukkan pada Gambar 4.5 oleh *process 2.1*.

Gambar 4.5 menunjukkan adanya modul *docking process* pada proses penumpukkan blok domestik. Modul ini mewakili proses peletakan kontainer di *buffer area* oleh *straddle carrier*. *Process 2.1* mewakili proses pengambilan kontainer dari CTT oleh *straddle carrier* dan menuju *buffer area*. Sedangkan modul *stacking process* adalah proses penyusunan kontainer di blok yang dilakukan oleh ASC.

Tahap terakhir dari rangkaian proses bongkar muat adalah memuat kontainer ke kapal. Pada tahap ini, seluruh kontainer yang akan dimuat berasal dari masing-masing blok ditrasfer menggunakan CTT. Proses transfer ditunjukkan pada Gambar 4.5 dengan modul *request CTT BA*. CTT ditugaskan untuk mentransfer kontainer dari *station 1.1* dan *2.1* menuju *station BA* yang merupakan *berth area/dermaga*.



Gambar 4. 6 Model proses muat di dermaga internasional

Setelah kontainer berada di dermaga, proses selanjutnya adalah memisahkan kontainer pada CTT agar dapat diproses oleh STS. Untuk memisahkan kontainer, digunakan modul *free* yang dilanjutkan dengan modul *batch* untuk menggabungkan seluruh kontainer dari semua blok untuk diproses.

Proses terakhir adalah menunggu kapal agar terisi kontainer agar dapat meninggalkan dermaga. Proses ini menggunakan modul *dispose*. Seluruh proses muat pada dermaga domestik dan dermaga internasional memiliki proses yang sama. Namun akibat kemampuan STS yang berbeda, dimana STS pada dermaga internasional memiliki kemampuan angkat hingga 60 Ton dengan sistem *twinlift* dan STS dermaga domestik dengan kemampuan angkat hingga 40 Ton dengan sistem *single lift* membuat proses pada dermaga internasional menjadi lebih cepat.

STS pada dermaga internasional yang lebih cepat dibuktikan dengan hasil *fitting distribution* waktu muat kontainer pada dermaga internasional memiliki ekspresi  $0.5 + \text{GAMM}(1.83, 1.35)$  dan STS dermaga domestik  $0.5 + \text{LOGN}(2.32, 2.55)$ . Ekspresi tersebut memiliki notasi GAMM (rata-rata, standar deviasi) yang menunjukkan bahwa rata-rata proses kontainer di dermaga internasional 0.49 menit lebih cepat.

#### 4.4.1 Verifikasi Model

Verifikasi adalah sebuah proses untuk mengetahui apakah model simulasi sudah mencerminkan model konseptual dengan benar. Verifikasi model sangat penting karena dalam proses pembuatannya sangat rawan untuk terjadi error yang dapat menghambat proses simulasi. Error yang ingin diketahui melalui verifikasi model adalah jenis *syntax error* yang merupakan kesalahan akibat pengetikan nilai, notasi, penamaan modul, dll yang menyebabkan simulasi tidak dapat berjalan.

Pada ARENA terdapat fitur untuk melakukan verifikasi dengan menekan tombol “F4” pada keyboard. Apabila tidak terdapat error pada model, maka akan muncul *notification window* dengan pesan “*No error or warnings in model*”.

#### 4.4.2 Uji Replikasi

Tahap pertama dalam melakukan uji replikasi adalah menjalankan simulasi sebanyak 5 atau 10 sebagai jumlah replikasi awal. Hasil simulasi model eksisting dengan replikasi awal ( $n_0 = 10$ ) diperoleh data pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil simulasi

Replikasi	Simulasi (TEUs)	Replikasi	Simulasi (TEUs)
1	43380	6	40938
2	31598	7	56438
3	52752	8	36816
4	18248	9	42718
5	35788	10	50810
<b>Rata-rata</b>			40949

Data pada Tabel 4.1 selanjutnya digunakan untuk menghitung jumlah replikasi berdasarkan nilai *relative error* sebagai berikut.

1. Menghitung standar deviasi dengan nilai  $n = 10$  (jumlah replikasi awal)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 11215.0331$$

2. Menentukan nilai *relative error* ( $\gamma$ ) yang dalam simulasi ini ditentukan sebesar 10%.
3. Menentukan nilai  $z_{\alpha/2}$  yang diperoleh dari Tabel normal atau dari fungsi Excel =NORM.S.INV (*probability*) dengan nilai probabilitas 0.975 didapat hasil 1.96.
4. Menghitung jumlah replikasi dengan memberi nilai

$$n = \left[ \frac{(z_{\alpha/2})s}{\left(\frac{\gamma}{1+\gamma}\right)\bar{x}} \right]^2 = 35 \text{ replikasi}$$

Simulasi pada model eksisting dilakukan dengan *timeframe* 29 hari dengan jumlah jam per hari sebanyak 24 jam. Simulasi dilakukan dengan menggabungkan proses pada dermaga domestik dan internasional. Hasil dari simulasi disajikan pada Lampiran E

#### 4.4.3 Validasi Model Eksisting

Tahap selanjutnya adalah melakukan validasi model untuk memastikan apakah model yang dibangun sudah mampu merepresentasikan *real-system* nya. Jika verifikasi merupakan proses “*building the model right*” maka validasi merupakan proses “*building the right model*”. Validasi model dilakukan dengan cara membandingkan performansi model dengan performansi sistem nyata yang diteliti dengan menggunakan uji statistik.

Salah satu cara untuk melakukan validasi adalah dengan menggunakan uji *t-test*. Uji ini dilakukan untuk membandingkan apakah ada perbedaan antara model simulasi dengan *real system* dalam konteks outputnya (*point estimate* rata-rata). Uji ini digunakan untuk membuktikan apakah terdapat perbedaan rata-rata antara 2 (dua) sampel yang saling independen. Berikut adalah langkah-langkah melakukan uji *t-test*.

1. Tentukan hipotesis alternatif mengenai rata-rata output sistem aktual ( $\mu_1$ ) dan rata-rata output model simulasi ( $\mu_2$ ) yang dapat ditulis sebagai berikut.

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_1 &= \mu_2 \\ H_A : \mu_1 &\neq \mu_2 \end{aligned}$$

Jika selisih kedua output sistem nol, maka terbukti bahwa tidak ada perbedaan antara model simulasi dengan *real system*, yang berarti model

valid. Namun jika hipotesis nol ditolak, berarti ada perbedaan yang signifikan antara model simulasi dengan *real system*, berarti model tidak valid.

2. Hitung rata-rata dan standar deviasi untuk masing-masing populasi dan *pooled standard deviation*, yakni standar deviasi gabungan dari dua populasi yang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Dimana:

$n_1$	= jumlah data output <i>real system</i>	= 10
$n_2$	= jumlah data output model simulasi	= 35
$s_1$	= standar deviasi <i>real system</i>	= 0
$s_2$	= standar deviasi model simulasi	= 9696.467676

Tentukan *level of significance* ( $\alpha$ ) untuk mencari nilai *critical* di Tabel *student's-t* dengan mencocokkan nilai  $\alpha/2$  dan *degree of freedom* dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} df &= n_1 + n_2 - 2 \\ df &= 10 + 23 - 2 \\ df &= 43 \end{aligned}$$

3. Hitung nilai *t test* dengan menggunakan persamaan berikut.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Karena di hipotesis nol dinyatakan dengan  $\mu_1 = \mu_2$  maka  $\mu_1 - \mu_2 = 0$ . Didapat hasil nilai *t test* yaitu 1.6282

4. Menghitung nilai *t critical* menggunakan fungsi T.INV.2T didapat hasil sebesar 2.016. Karena ini merupakan uji *2 tails*, maka *t critical* ada dua yaitu -2.016 dan 2.039
5. Selanjutnya membandingkan nilai *t-test* dengan *t-critical*. Performansi model valid apabila memenuhi persamaan berikut.

$$t_{critical\ bawah} \leq t_{test} \leq t_{critical\ atas}; \text{ maka } -2.016 \leq 1.628 \leq 2.016$$

Nilai *t-test* berada dalam *range t critical*, sehingga model simulasi dapat dinyatakan **valid**.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

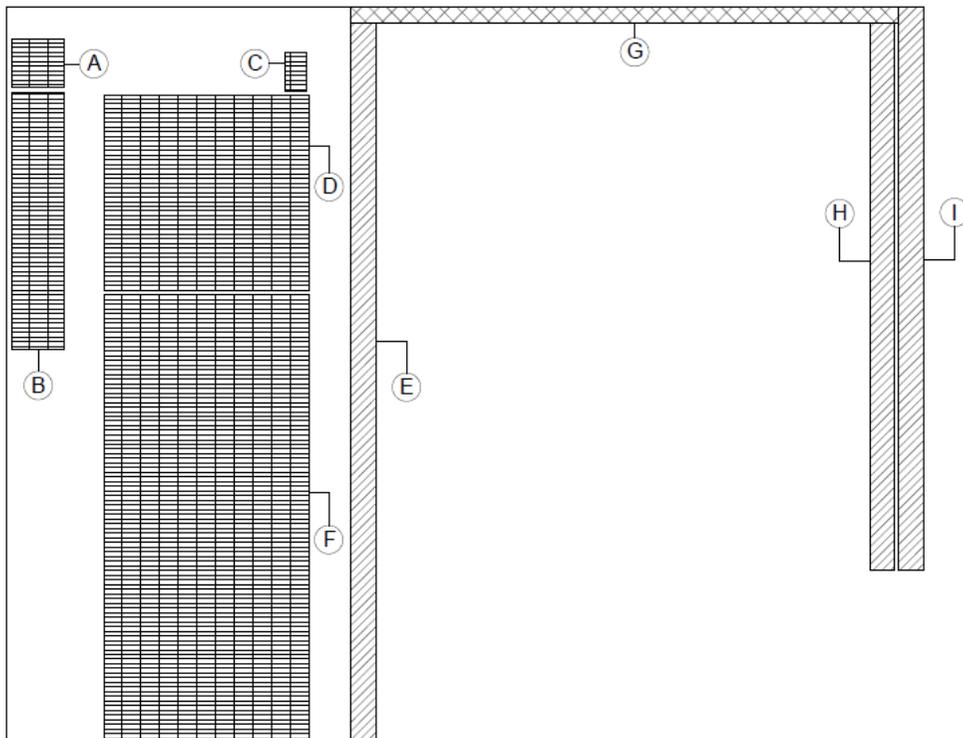
## BAB V ANALISA DATA DAN SKENARIO

Pada bab ini, dijelaskan mengenai simulasi dari skenario pengembangan terminal fase *ultimate*. Skenario tersebut nantinya akan dianalisa dengan cara membandingkan luaran yang dihasilkan dari masing-masing skenario untuk dicari skenario yang mampu mencapai target pelayanan dengan jumlah peralatan minimum

### 5.1 Pengembangan TTL

Terminal Teluk Lamong dalam tahap pengembangannya akan melakukan pembangunan dermaga kontainer, pembangunan dermaga curah kering, pengembangan luas terminal dan lapangan penumpukan curah kering internasional, pembangunan *container yard*, dan pengadaan peralatan (DEPHUB & BAPPENAS, 2019). Pengembangan ini perlu diketahui untuk melakukan identifikasi sistem dalam pembuatan model simulasi. Untuk itu diperlukan *layuot* pengembangan akhir sebagai acuan pembuatan model simulasi yang disajikan pada Lampiran A.

Layout pada Lampiran A menampilkan kondisi tahap akhir pengembangan pelabuhan. Penelitian ini difokuskan pada pengembangan fasilitas untuk kontainer, sehingga layout tersebut disederhanakan untuk mempermudah pengerjaan menjadi Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5. 1 *Layout* dermaga dan CY

Dimana

- A : Lokasi blok MT (*empty container*)  
 B : Lokasi blok RF (*reefer*), OG (*out of gauge/over dimension*), dan TK (*tank*)  
 C : Lokasi blok DG (*dangerous goods*)  
 D : Lokasi blok DG (*dangerous goods*)  
 E : Dermaga domestik 1 (dermaga pengembangan)  
 F : Lokasi blok *Dry* pengembangan  
 G : Jalan penghubung dermaga menuju CY  
 H : Dermaga domestik 2  
 I : Dermaga internasional

Gambar 5.1 menampilkan pengembangan tahap akhir TTL. Perubahan yang terjadi akibat pengembangan ini adalah waktu proses bongkar muat khususnya pada dermaga domestik. Pada Gambar 5.1 ditampilkan dermaga domestik 1 berada disebelah CY tepat pada WSTA (*water side transfer area*). Hal ini dapat memotong waktu perjalanan CTT dalam mengangkut *container*.

Layout pengembangan pada Gambar 5.1 selanjutnya dihitung dimensi yang berpengaruh terhadap proses bongkar muat. Perhitungan dimensi dilakukan dengan *software* AutoCAD. Hasil dari pengukuran adalah sebagai berikut.

a.	Panjang dermaga internasional (saat ini)	500	m
b.	Panjang dermaga internasional (tahap akhir)	1080	m
c.	Panjang dermaga domestik 2 (saat ini)	450	m
d.	Panjang dermaga domestik 2 (tahap akhir)	1030	m
e.	Panjang dermaga domestik 1 (tahap akhir)	1356	m
f.	Jarak Blok MT ke dermaga internasional dan domestik 2	2088	m
g.	Jarak Blok MT ke dermaga domestik 1	578	m
h.	Jarak Blok DG ke dermaga internasional dan domestik 2	1591	m
i.	Jarak Blok DG ke dermaga domestik 1	759	m
j.	Jarak Blok RF, OG, dan TK ke dermaga internasional	2169	m
k.	Jarak Blok RF, OG, dan TK ke dermaga domestik 2	2169	m

Saat ini CY di TTL berjumlah 10 blok. Sedangkan blok pengembangan ditandai dengan warna hijau dengan penambahan sebanyak 23 blok, sehingga total blok pada tahap akhir berjumlah 33 blok. Namun sampai saat ini, pihak TTL belum menentukan proporsi jumlah untuk blok domestik dan internasional. Untuk itu pada penelitian ini, proporsi ditentukan dengan asumsi berdasarkan panjang dermaga pada tahap akhir.

$$n_{DI} = \frac{l_{DI}}{\sum l_{DA}} \times 33 = 10.28 = 10 \quad (8)$$

$$n_{DI} = \frac{l_{DD1}}{\sum l_{DA}} \times 33 = 12.91 = 13 \quad (9)$$

$$n_{DI} = \frac{l_{DD2}}{\sum l_{DA}} \times 33 = 9.8 = 10 \quad (10)$$

Dimana:

$n_{DI}$	= Jumlah blok <i>dry</i> untuk dermaga internasional	
$n_{DD1}$	= Jumlah blok <i>dry</i> untuk dermaga domestik 1	
$n_{DD2}$	= Jumlah blok <i>dry</i> untuk dermaga domestik 2	
$l_{DI}$	= Panjang dermaga internasional	= 1080 m
$l_{DD1}$	= Panjang dermaga domestik 1	= 1356 m
$l_{DD2}$	= Panjang dermaga domestik 2	= 1030 m
$\sum l_{DA}$	= Panjang dermaga domestik 2	= 3466 m

Berdasarkan perhitungan 8, perhitungan 9, dan perhitungan 10, didapat jumlah blok yang difungsikan khusus untuk tiap-tiap dermaga. Hasil perhitungan disajikan pada Lampiran C. Berikut ditampilkan proporsi pembagian area di CY untuk tiap jenis kontainer berdasarkan perhitungan dari *layout* fase *ultimate*.

Dry	= 90.746%
Dangerous Goods	= 0.743%
Empty	= 2.877%
Reefer	= 1.878%
Out of Gauge	= 1.878%
Tank	= 1.878%

Proporsi area terbesar adalah untuk kontainer berjenis *dry*. Dari seluruh jenis ini, jenis kontainer RF, OG, dan TK untuk saat ini belum ditentukan lokasi penumpukannya. Namun, terdapat area pada Gambar 5.1 pada blok B yang dapat digunakan untuk ketiga jenis kontainer tersebut. Sehingga diasumsikan bahwa ketiga jenis kontainer tersebut mendapatkan proporsi area yang sama.

## 5.2 Skenario Peralatan Bongkar Muat

### 5.2.1 Kondisi Operasional Pelabuhan

Kinerja pelabuhan ditunjukkan oleh *Berth Occupancy Ratio* (BOR) atau tingkat pemakaian dermaga. Tiap pelabuhan memiliki standar nilai BOR yang berbeda tergantung dari pembagian tambatan pada tiap dermaga. Saat ini, dermaga pada TTL tidak memiliki pembagian tambatan pada dermaga. Berdasarkan (UNCTAD, 1985), TTL memiliki 3 tambatan yang direkomendasikan memiliki nilai BOR maksimum hingga 55%. Berdasarkan data pada tahun 2018 nilai BOR tahun 2018 sebesar 53.38% yang menunjukkan bahwa kondisi pelabuhan masih dibawah batas rekomendasi maksimum nilai BOR.

Nilai BOR tersebut dijadikan acuan dalam model simulasi, dimana model disimulasi pada kondisi saat ini menggunakan nilai BOR. Selain itu ditambah kondisi lain yaitu jika kepadatan pelabuhan berada pada BOR 50% dan 60%.

### 5.2.2 Skenario STS

STS *crane* pada TTL saat ini masih memiliki performa yang rendah, khususnya pada dermaga domestik. Pada Tabel 5.1 dijelaskan bahwa meskipun STS pada dermaga internasional memiliki spesifikasi teknis yang lebih baik, namun secara performa operasional masih lebih rendah dari STS pada dermaga domestik.

Tabel 5. 1 Perbandingan performa dan spesifikasi STS

<b>Deskripsi</b>	<b>Internasional</b>	<b>Domestik</b>
B/C/H	20.29	20.10
SWL	60 Ton	40 Ton
<i>Rail Span</i>	21 m	16 m
<i>Trolley Maximum Out-Reach</i>	38.5 m	38.5 m
<i>Spreader Lifting Height above Site Rail Level</i>	40 m	28 m
<i>Lifting</i>	<i>Twinlift</i>	<i>Singlelift</i>

Tabel 5.1 menampilkan kapasitas angkat maksimum (SWL) yang dimiliki STS pada dermaga internasional 20 Ton lebih tinggi dari STS pada dermaga domestik. Hal ini mempengaruhi performa B/C/H dari tiap STS. Semakin tinggi nilai SWL, maka STS memiliki kemampuan angkat yang lebih tinggi sehingga dapat menerapkan sistem operasi *twinlift*.

Penggunaan sistem operasi *twinlift* pada STS dapat meningkatkan jumlah *box* dalam sekali angkat. Namun pada saat ini, sistem operasi ini hanya dapat digunakan untuk kontainer berukuran 20ft. Terlihat pada STS dermaga domestik memiliki nilai B/C/H yang lebih tinggi dikarenakan menggunakan sistem operasi *twinlift*.

Selain itu, apabila ditinjau dari sisi dimensinya, STS dermaga internasional memiliki dimensi yang lebih besar untuk mengakomodasi kapal. Kedua STS tersebut memiliki jangkauan maksimal sebesar 38.5 m yang cukup untuk melayani kapal berukuran panamax.

Namun STS dermaga domestik tidak mampu menangani kapal dengan tinggi *tier* melebihi 28 m dari permukaan dermaga. Hal ini menjadi batasan pelayanan. Sehingga berdasarkan komparasi STS ini, ditentukan bahwa STS pada dermaga internasional menjadi acuan pemilihan STS pada fase *ultimate*.

#### A. Penentuan Batas Jumlah STS

Jumlah STS yang semakin banyak digunakan akan memberikan hasil *throughput* yang semakin tinggi. Namun pada jumlah tertentu akan membuat STS tidak efektif karena pergerakannya terganggu. Untuk itu ditentukan jumlah STS maksimum yang dapat ditambah agar menjangkau seluruh dermaga dengan optimal.

Jumlah maksimum STS dibatasi oleh panjang dermaga dan area yang dibutuhkan untuk beroperasi. Penentuan pertama adalah dengan menggunakan jumlah penugasan STS pada kapal dengan karakteristik panjang tertentu. Penugasan STS pada dermaga internasional dan domestik ditampilkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Penugasan STS dan jumlah kontainer yang ditangani di dermaga internasional

Deskripsi	Jumlah STS yang Ditugaskan			
	1	2	3	4
Dermaga Internasional				
Jumlah maksimum kontainer yang ditangani (TEUs)	408.0	1168.0	2002.0	2417.0
Jumlah rata-rata kontainer yang ditangani (TEUs)	221.9	560.1	1148.8	1561.0
Jumlah minimum kontainer yang ditangani (TEUs)	46.0	150.0	579.0	810.0
Panjang kapal maksimum (m)	139.0	222.0	269.0	262.0
Panjang kapal rata-rata (m)	101.6	151.1	231.5	245.4
Panjang kapal minimum (m)	91.0	107.0	209.0	209.0
Dermaga Domestik				
Jumlah maksimum kontainer yang ditangani (TEUs)	412.0	4897.0	1564.0	
Jumlah rata-rata kontainer yang ditangani (TEUs)	226.5	566.7	772.7	
Jumlah minimum kontainer yang ditangani (TEUs)	29.0	147.0	300.0	
Panjang kapal maksimum (m)	129.0	194.0	216.0	
Panjang kapal rata-rata (m)	93.6	126.9	199.7	
Panjang kapal minimum (m)	61.0	101.0	145.0	

Tabel 5.2 menampilkan mengenai penugasan STS pada tiap kapal berdasarkan jumlah kontainer yang ditangani dan panjang kapal. Pada dermaga internasional, ditunjukkan bahwa penugasan STS paling banyak mencapai 4 unit dengan jumlah maksimum yang ditangani berdasarkan data Tahun 2018 2417 TEUs.

Panjang kapal maksimum yang ditangani dengan menugaskan 4 STS yaitu 262 m. Namun pada penugasan 3 STS terdapat kapal dengan panjang 269 m. Hal ini dikarenakan faktor yang mempengaruhi penugasan STS tidak hanya panjang kapal, melainkan jumlah kontainer yang ditangani. Apabila ditinjau dari jumlah kontainer yang ditangani, dengan penugasan 4 STS ditujukan untuk melayani hingga 2417 TEUs, sedangkan dengan 3 STS mencapai 2002 TEUs. Hal ini menunjukkan pada dermaga internasional, jumlah penugasan STS diprioritaskan berdasarkan jumlah kontainer yang ditangani.

Pada dermaga domestik, ditunjukkan bahwa penugasan STS paling banyak mencapai 3 unit dengan jumlah maksimum yang ditangani mencapai 1564 TEUs. Panjang kapal maksimum yang ditangani dengan menugaskan 3 STS yaitu 216 m. Apabila ditinjau dari jumlah kontainer yang ditangani, dengan penugasan 3 STS ditujukan untuk melayani hingga 1564 TEUs, sedangkan dengan 2 STS mencapai 1260 TEUs. Hal ini menunjukkan pada dermaga domestik, jumlah penugasan STS sebanding dengan panjang kapal dan jumlah muatan.

Untuk menentukan jumlah maksimum STS yang ditugaskan, maka ditentukan kapal dengan dimensi panjang paling kecil yang menggunakan STS terbanyak, yaitu 209 m. Selanjutnya menentukan jumlah kapal maksimal yang mampu bersandar pada dermaga dengan menggunakan persamaan BOR berikut.

$$BOR = \frac{\Sigma((Panjang\ kapal+5) \times waktu\ tambat)}{Panjang\ Dermaga \times waktu\ tersedia} \times 100\% \quad (11)$$

Dimana diasumsikan bahwa:

- waktu tambat = waktu tersedia
- BOR = 50%; 55%; 60%

Sehingga:

$$50\% = \frac{\Sigma(Panjang\ kapal+5)}{Panjang\ Dermaga} \times 100\%$$

Untuk dermaga internasional:

$$0.5 = \frac{n(209+5)}{1080}$$

$$n = \frac{540}{214} \times Jumlah\ STS\ yang\ digunakan$$

$$n = 2.52 \times 4$$

$$n = 10.09 \approx 10\ STS$$

Sehingga jumlah STS maksimum yang dapat ditempatkan pada dermaga berdasarkan nilai BOR adalah sebagai berikut.

Tabel 5. 3 Batas jumlah STS berdasarkan BOR

	<b>Dermaga Internasional</b>	<b>Dermaga Domestik 1</b>	<b>Dermaga Domestik 2</b>
Panjang dermaga	1080 m	1356 m	1030 m
Jumlah STS maksimal BOR 50%	10	13	10
Jumlah STS maksimal BOR 55%	12	15	12
Jumlah STS maksimal BOR 60%	13	17	12

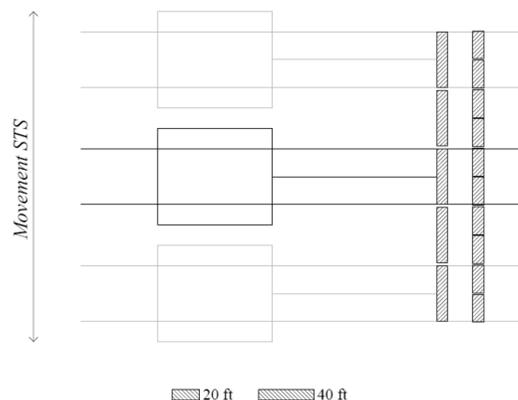
Tabel 5.3 menunjukkan hasil dari penentuan batas jumlah maksimum STS yang dapat dioperasikan di tiap dermaga dengan memberikan batasan kepadatan pelayanan. Hal yang menjadi pembatas pengoperasian STS adalah panjang tiap dermaga. Panjang dermaga didapatkan dari hasil pengukuran *layout* fase *ultimate* pada Lampiran A.

Jumlah STS maksimum yang perlu ditambah apabila terminal menetapkan batas kepadatan dermaga 50%, maka didapat bahwa cukup mengoperasikan 10 STS di dermaga internasional, 13 STS di dermaga domestik 1, dan 10 di dermaga domestik 2. Hal ini dikarenakan tingkat kepadatan yang rendah menyebabkan kapal yang masuk sedikit, sehingga jumlah STS yang perlu melayani menjadi berkurang.

Jumlah STS maksimum yang perlu ditambah apabila terminal menetapkan batas kepadatan dermaga 53.38% atau sama dengan kondisi saat ini, maka didapat bahwa cukup mengoperasikan 12 STS di dermaga internasional, 15 STS di dermaga domestik 1, dan 12 STS di dermaga domestik 2.

Jumlah STS maksimum yang perlu ditambah apabila terminal menetapkan batas kepadatan dermaga 60%, maka didapat bahwa cukup mengoperasikan 13 STS di dermaga internasional, 17 STS di dermaga domestik 1, dan 12 di dermaga domestik 2.

Pada kondisi ini dibutuhkan lebih banyak STS untuk melayani kapal karena jumlah kapal yang berlabuh semakin banyak karena terminal mengizinkan adanya kenaikan batas kepadatan dermaga. Untuk memvalidasi hasil perhitungan pada Tabel 5.3, maka dilakukan *plotting* menggunakan *software* AutoCAD pada dermaga masing-masing yang ditampilkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5. 2 Batas gerak efektif STS

Penentuan ini menggunakan batasan dimensi STS pada dermaga internasional sesuai Tabel 5.3, karena STS ini akan menjadi acuan penambahan pada tahap akhir pengembangan pelabuhan. Berdasarkan hasil *plotting* pada Gambar 5.2 didapat bahwa tiap STS memiliki ruang gerak minimal yang dapat digunakan untuk beroperasi dengan jarak 5 bays untuk

kontainer 40ft dan 10 bays untuk kontainer 20ft. Gambar 5.2 menjelaskan mengenai batas gerak STS yang ditentukan dari bongkar muat pada kontainer 20ft dan 40ft.

Saat beroperasi, jika ruang gerak yang diberikan pada STS kurang dari 5 kontainer 40ft, akan terjadi *overlapping* antar STS yang menyebabkan adanya satu *row* kontainer tidak dapat ditangani sampai salah satu STS berpindah posisi. Berdasarkan batasan tersebut, maka didapat batasan penambahan yaitu 13 STS pada dermaga internasional, 17 STS pada dermaga domestik 1, dan 12 STS pada dermaga domestik 2.

## B. Penentuan Skenario

Skenario optimasi dibentuk dengan membuat variasi jumlah total STS yang melayani bongkar muat dengan nilai B/C/H yang berbeda. Sehingga dibuat menjadi 10 skenario konfigurasi STS sebagai berikut.

Tabel 5. 4 Skenario jumlah STS tiap dermaga untuk simulasi 5.4.1

Jumlah Skenario	Dermaga Internasional	Dermaga Domestik 1	Dermaga Domestik 2
Skenario 1 -10	6 - 13	9 - 14	6 - 12
Skenario 1B – 10B	6 – 13	9 - 17	6 - 12

Tabel 5.4 menunjukkan 2 kelompok skenario konfigurasi STS pada dermaga internasional, dermaga domestik 1, dan dermaga domestik 2. Kelompok pertama, yaitu skenario 1 sampai skenario 10 digunakan sebagai masukan model simulasi untuk mencari konfigurasi peralatan minimum yang mampu mencapai target pelayanan pada fase pengembangan *ultimate*.

Kelompok kedua, yaitu skenario 1B sampai skenario 10B digunakan sebagai masukan untuk mensimulasikan kinerja pelabuhan apabila ditugaskan peralatan hingga batas maksimum yang sebelumnya telah ditentukan pada subbab 5.2.2. Pada kelompok 2, skenario konfigurasi minimum ditentukan sama dengan kelompok 1 untuk memberi gambaran kinerja dari rentang jumlah peralatan rendah hingga batas maksimal.

STS tiap skenario dioperasikan sesuai dengan tingkat kepadatan kedatangan kapal dari dermaga. Kepadatan mempengaruhi jumlah STS yang dioperasikan. Semakin tinggi tingkat kepadatan maka jumlah STS yang ditugaskan semakin banyak. Penugasan STS dapat diukur menggunakan *crane density*. *Crane density* pada penelitian ini dihubungkan dengan nilai BOR dengan cara mencari perbandingan kondisi yang diterapkan pada model skenario dengan kondisi saat ini sebesar 55.11%. Sehingga didapat nilai *crane density* pada BOR 50% adalah sebesar 51.62% dan pada BOR 60% adalah 61.94%.

### 5.2.3 Skenario CTT

Pada penelitian ini, dibuat skenario dimana tiap CTT *dedicated* ke masing-masing blok CY. Selain itu jumlah dari CTT selanjutnya divariasikan dalam

jumlah 110, 120, dan 130 unit untuk mencari jumlah CTT optimal pada TTL. Sistem ini membuat tiap blok memiliki CTT masing-masing. Untuk menentukan jumlah CTT pada tiap blok, digunakan acuan proporsi jenis kontainer yang ditangani TTL selama tahun 2019 pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 5 Proporsi jenis kontainer

Jenis kontainer	Dry	Empty	Dangerous Goods	Reefer	Out of Gauge	Tank
<b>International</b>	62.9%	35.01%	0.01%	0.69%	0.93%	0.46%
<b>Domestic</b>	77.53%	18.12%	1.56%	1.88%	0.20%	0.73%

Pada Tabel 5.5 terlihat perbedaan jenis kontainer yang ditangani di tiap dermaga. Dermaga internasional didominasi oleh kontainer jenis *dry* sebanyak 77.53% dari keseluruhan kontainer. Jenis kontainer lain pada dermaga internasional yang terbanyak adalah *empty* dengan persentase sebesar 18.12%. Sedangkan sisa jenis kontainer lain bervariasi di nilai 1%.

Pada dermaga domestik didominasi oleh kontainer jenis *dry* sebanyak 62.90% dari keseluruhan kontainer. Jenis kontainer lain pada dermaga internasional yang terbanyak adalah *empty* dengan persentase sebesar 35.01%. Persentase kontainer jenis *empty* pada dermaga domestik 93.21% lebih banyak dari dermaga internasional. Namun pada jenis lain, kontainer pada dermaga domestik memiliki persentase lebih kecil dari dermaga internasional kecuali pada jenis *out of gauge*.

Data ini mengindikasikan bahwa kapal internasional lebih banyak membawa kontainer jenis *dry* dari jenis lainnya. Sedangkan pada dermaga domestik terdapat 2 jenis kontainer yang dominan yaitu *dry* dan *empty*.

Tabel 5. 6 Konfigurasi CTT tiap Blok CY

Jenis Kontainer	Jumlah CTT								
	110			120			130		
	DI	DD1	DD2	DI	DD1	DD2	DI	DD1	DD2
<i>Dry</i>	28	23	18	31	25	19	34	27	21
<i>Empty</i>	7	12	10	8	14	11	9	15	12
<i>Dangerous Goods</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Reefer</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Out of Gauge</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Tank</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Keterangan:

- DI : dermaga internasional
- DD1 : dermaga domestik 1
- DD2 : dermaga domestik 2

Proporsi kontainer pada Tabel 5.5 selanjutnya dibagi lagi untuk tiap dermaga. Hal ini dikarenakan *throughput* dari tiap dermaga berbeda karena jumlah STS dan panjang tiap dermaga berbeda. Sehingga penentuan selanjutnya adalah membagi proporsi tiap kontainer berdasarkan rasio antara dermaga internasional, dermaga domestik 1, dan dermaga domestik 2 dengan perbandingan 10:13:10 sehingga didapat hasil pada Tabel 5.6.

Berdasarkan Tabel 5.6, jenis kontainer selain *dry* dan *empty* memiliki proporsi nilai yang jauh lebih kecil, sehingga dalam proses perhitungan menyebabkan jumlah CTT yang dibutuhkan kurang dari 1 unit. Untuk itu, agar tiap blok memiliki *dedicated* CTT, ditetapkan jumlah CTT yang ditugaskan untuk jenis kontainer selain *dry* dan *empty* sebanyak 1 unit.

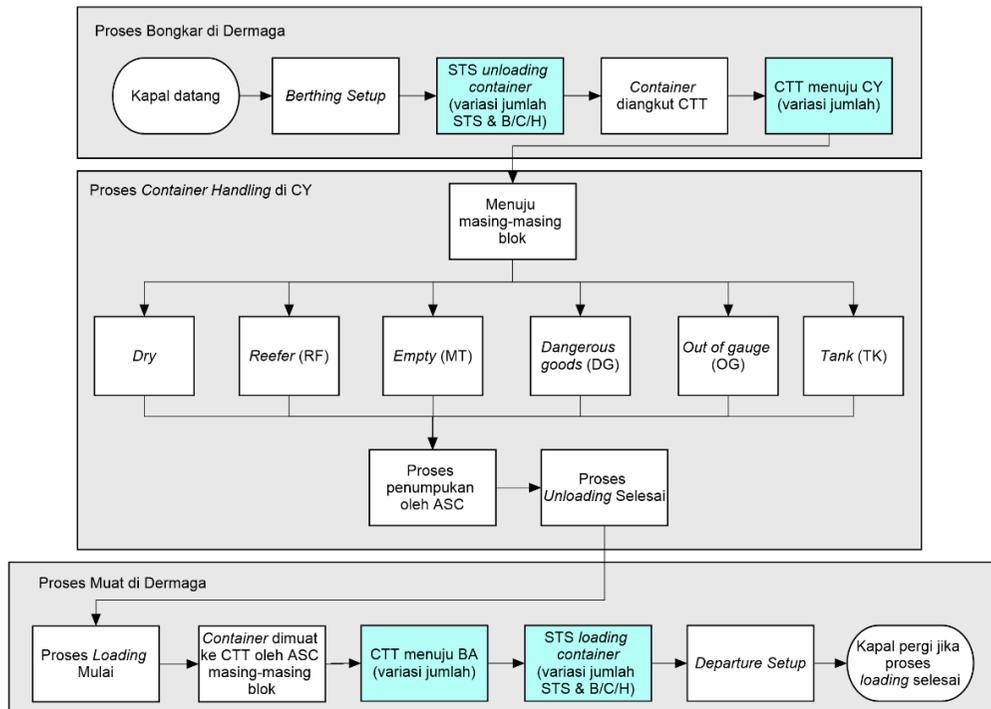
Pada setiap konfigurasi, jenis kontainer selain *dry* dan *empty* tidak mengalami perubahan jumlah. CTT untuk kontainer jenis *dry* selalu paling banyak ditugaskan pada dermaga internasional karena persentase pada dermaga ini sebesar 77%, lebih besar dari dermaga domestik yang hanya 62%.

Sedangkan CTT yang ditugaskan untuk blok *empty* selalu menunjukkan lebih banyak ditugaskan pada dermaga domestik. Hal ini karena persentase pada dermaga ini sebesar 35%, lebih besar dari dermaga internasional yang hanya 18%. Jumlah CTT pada dermaga domestik 1 lebih banyak dari dermaga domestik 2 karena proporsi panjang dermaga yang lebih panjang.

### 5.3 Model Simulasi

Sebelum membuat model simulasi pada *software* Arena Simulation, diagram proses simulasi harus dibuat dulu. Hal ini bertujuan untuk memeriksa logika simulasi sesuai dengan kondisi nyata. Pada Gambar 5.3 dijelaskan mengenai proses bongkar muat secara keseluruhan. Modul berwarna biru merupakan komponen yang akan dilakukan optimasi, yaitu STS dan CTT. Pada diagram ini ditekankan mengenai perlakuan berbeda tiap jenis kontainer.

Perlakuan ini ditunjukkan dari modul “Menuju masing-masing blok” yang memisahkan kontainer sesuai dengan jenisnya. Hal ini penting karena tiap kontainer membutuhkan perlakuan khusus dalam proses bongkar muat. Kontainer OG sebagai salah satu contoh, memerlukan tambahan pemasangan *over height frame* dalam proses bongkar muat yang menyebabkan adanya tambahan waktu *setup*. Seluruh proses bongkar muat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu: proses bongkar di dermaga, proses di CY, dan proses muat di dermaga.



Gambar 5. 3 Model konseptual

Gambar 5.3 menjelaskan proses bongkar muat di terminal secara keseluruhan. Tahap awal pada proses ini adalah kedatangan kapal. Proses selanjutnya melakukan *unloading*/bongkar kontainer dengan menggunakan STS. Pada tahap ini, dilakukan variasi jumlah STS dan variasi performa berdasarkan konfigurasi pada Tabel 5.12. Kontainer kemudian diangkat oleh CTT menuju CY dengan variasi jumlah penugasan CTT pada Tabel 5.6. Pada model ini, sistem penugasan CTT bersifat *dedicated* pada tiap blok CY. Hal ini berarti CTT hanya bertugas dan melayani satu blok yang ditetapkan. Terdapat 6 jenis blok CY yang ditetapkan sebagai fasilitas penumpukan.

Setelah tiba di CY, kontainer dipindahkan dengan menggunakan ASC menuju blok penyimpanan. Ketika proses penumpukan oleh ASC telah selesai, maka proses bongkar dinyatakan berakhir. Proses yang dijalankan selanjutnya adalah proses muat dari CY ke dermaga. Proses muat dimulai ketika kontainer untuk muat siap pada CY.

Tahap terakhir dari rangkaian proses muat adalah memuat kontainer ke kapal. Pada tahap ini, seluruh kontainer yang akan dimuat berasal dari masing-masing blok ditrasfer menggunakan CTT. Pada proses ini, CTT divariasikan lagi sesuai dengan penentuan pada Tabel 5.16. ASC memindahkan kontainer di CY menuju CTT yang kemudian bergerak menuju dermaga tujuan masing-masing kontainer. Setibanya di dermaga, kontainer akan dipindahkan ke atas kapal dengan menggunakan STS. Pada proses ini, divariasikan kembali jumlah STS dan performa tiap STS sesuai Tabel 5.12. Proses terakhir adalah menunggu kapal agar terisi kontainer agar dapat meninggalkan dermaga.

Apabila kapal telah terisi kontainer, maka selanjutnya adalah persiapan kapal meninggalkan dermaga. Proses ini diwakilkan dengan modul *departure setup*. Proses ini

merupakan tahapan akhir sebelum kapal dapat meninggalkan dermaga berupa menyiapkan kapal untuk memandu/menunda kapal menjauhi dermaga serta penyelesaian proses administrasi.

Pada Gambar 5.3, ditunjukkan bahwa setelah modul “CTT menuju CY” terdapat modul yang membagi tiap kontainer ke blok masing- masing sesuai jenisnya. Untuk melakukan pembagian ini, digunakan data dari rekapitulasi *historical data* kontainer yang ditangani oleh TTL pada tahun 2019. Hasil dari rekapitulasi tersebut disajikan pada Tabel 5.5.

## 5.4 Hasil Simulasi dan Analisa

Model simulasi selanjutnya disimulasi dengan *software* Arena Simulation dan didapat hasil sebagai berikut.

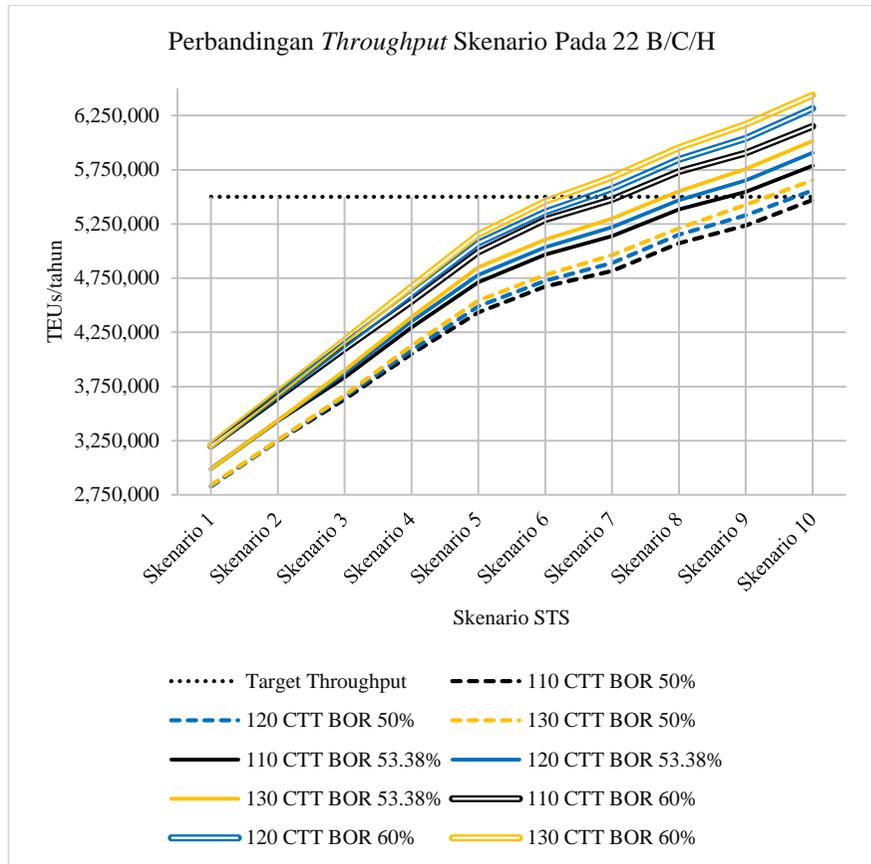
### 5.4.1 Hasil Simulasi dan Analisa dengan Performa Saat Ini

Simulasi ini menjalankan skenario STS dan CTT yang telah ditentukan pada subbab 5.2.2 dan subbab 5.2.3. Tiap skenario dijalankan dengan 3 kondisi kepadatan dermaga yaitu: BOR 50%, 53.38%, dan 60% dengan perhitungan tiap kondisi sesuai dengan subbab 5.2.1. Pada simulasi ini STS dioperasikan pada performa 22 B/C/H dan 24 B/C/H. Simulasi bertujuan untuk menunjukkan *throughput* kontainer apabila dioperasikan pada performa dan tingkat kepadatan yang sama saat ini namun dengan skala terminal yang lebih besar tanpa adanya inovasi pada peralatan bongkar muat.

#### 1. Skenario pada performa STS 22 B/C/H

Hasil simulasi dengan performa STS 22 B/C/H pada Gambar 5.4 menunjukkan tingkat peningkatan luaran *throughput* yang sama pada tiap skenario untuk setiap kondisi. Naiknya luaran berbanding lurus dengan bertambahnya tingkat kepadatan pelayanan. Hal ini sesuai dengan persamaan kepadatan BOR pada subbab 2.4, persamaan 2 yang menyebutkan faktor jumlah kapal berbanding lurus dengan BOR. Sehingga apabila BOR semakin tinggi, maka jumlah kapal meningkat dan masukan (*input*) sistem berupa jumlah kontainer juga meningkat.

Kondisi pertama dengan tingkat kepadatan dermaga 50% atau 3.38% lebih rendah dari kondisi saat ini. Gambar 5.4 menunjukkan skenario minimum yang dapat memenuhi target *throughput* adalah skenario 10 dengan jumlah CTT sebanyak 120 unit. Pada kondisi ini, jumlah kontainer yang mampu dilayani sebanyak 5.558.098 TEUs atau 1.05% dari target pelayanan kontainer.



Gambar 5. 4 Perbandingan *Throughput* Skenario Pada 22 B/C/H

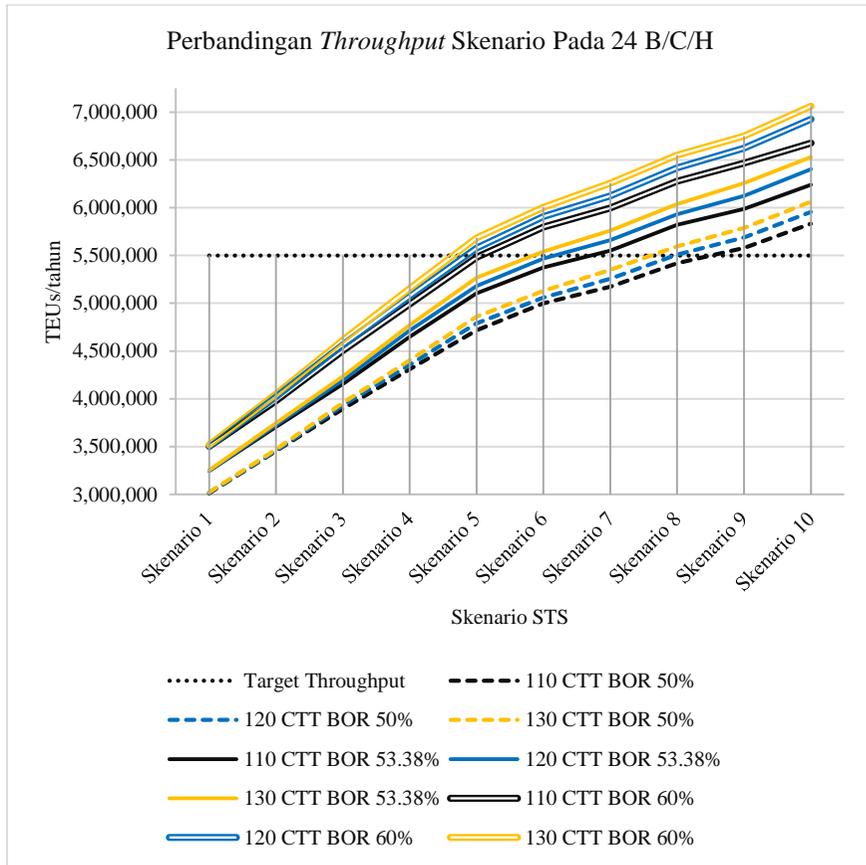
Kondisi kedua memiliki tingkat kepadatan dermaga diatur agar samadengan tingkat kepadatan operasional pelabuhan saat ini sebesar BOR 53.38%. Gambar 5.4 menunjukkan skenario minimum yang dapat memenuhi target *throughput* adalah skenario 8 untuk dengan CTT sebanyak 130 unit. Pada kondisi ini, jumlah kontainer yang mampu dilayani sebanyak 5.553.353 TEUs atau 0.97% dari target pelayanan kontainer.

Kondisi ketiga memiliki tingkat kepadatan dermaga diatur melebihi dari kondisi saat ini untuk mengetahui bagaimana kinerja pelayanan jika tingkat kepadatan naik dari batas rekomendasi UNCTAD sebesar 55%. Pada kondisi BOR 60% skenario minimum yang dapat memenuhi target *throughput* adalah skenario 7 dengan jumlah CTT sebanyak 120 unit. Pada kondisi ini, jumlah kontainer yang mampu dilayani sebanyak 5.680.200 TEUs atau 3.276% dari target pelayanan.

## 2. Skenario pada performa STS 24 B/C/H

Hasil simulasi dengan performa STS 24 B/C/H pada Gambar 5.5 menunjukkan tingkat peningkatan luaran *throughput* yang sama pada tiap

skenario untuk setiap kondisi. Naiknya luaran berbanding lurus dengan bertambahnya tingkat kepadatan pelayanan.



Gambar 5. 5 Perbandingan *Throughput* Skenario Pada 24 B/C/H

Hal ini sesuai dengan persamaan kepadatan BOR pada subbab 2.4, persamaan 2 yang menyebutkan faktor jumlah kapal berbanding lurus dengan BOR. Sehingga apabila BOR semakin tinggi, maka jumlah kapal meningkat dan masukan (*input*) sistem berupa jumlah kontainer juga meningkat.

Kondisi pertama dengan tingkat kepadatan dermaga 50% atau 3.38% lebih rendah dari kondisi saat ini. Gambar 5.5 menunjukkan pada kondisi ini, skenario minimum yang dapat memenuhi target *throughput* adalah skenario 8 dengan jumlah CTT sebanyak 120 unit. Pada kondisi ini, jumlah kontainer yang mampu dilayani sebanyak 5.509.680 atau 0.176% dari target pelayanan kontainer.

Kondisi kedua memiliki tingkat kepadatan dermaga diatur agar samadengan tingkat kepadatan operasional pelabuhan saat ini sebesar BOR 53.38%. Gambar 5.5 menunjukkan bahwa skenario minimum yang dapat memenuhi target *throughput* adalah skenario 6 dengan jumlah CTT

sebanyak 130 unit. Pada kondisi ini, jumlah kontainer yang mampu dilayani sebanyak 5.541.308 atau 0.75% dari target pelayanan kontainer.

Kondisi ketiga memiliki tingkat kepadatan dermaga diatur melebihi dari kondisi saat ini untuk mengetahui bagaimana kinerja pelayanan jika tingkat kepadatan naik dari batas rekomendasi UNCTAD sebesar 55%. Gambar 5.5 menunjukkan pada kondisi 24 B/C/H dengan BOR 60% skenario minimum yang dapat memenuhi target *throughput* adalah skenario 5 untuk jumlah CTT sebanyak 120 unit. Pada kondisi ini, jumlah kontainer yang mampu dilayani sebanyak 5.578.268 atau 1.432% dari target pelayanan kontainer

#### 5.4.2 Hasil Simulasi dan Analisa dengan Performa Peralatan Semi-Otomatik

Pada subbab 5.4.1 telah dibahas hasil simulasi dengan operasi STS pada performa saat ini. Pada subbab ini dibahas hasil simulasi dengan sistem *automatic twinlift* pada STS. Saat ini, proporsi kontainer yang ditangani dengan sistem operasi *twinlift* yang ditunjukkan pada Tabel 5.7 masih sangat kecil sebesar 15.92%.

Tabel 5. 7 Proporsi penggunaan *twinlift* tahun 2018

Bulan	20ft	40ft	<i>Twinlift</i> 20 ft
Januari	25,197	11,033	7,277
Februari	24,146	10,371	6,918
Maret	24,335	10,773	6,511
April	23,815	11,408	6,439
Mei	23,264	11,609	5,553
Juni	15,114	7,642	4,879
Juli	27,319	15,000	8,447
Agustus	25,067	12,472	7,387
September	24,885	8,835	5,314
Oktober	26,033	12,468	7,217
November	23,627	10,168	6,615
Desember	24,860	11,491	7,138
Total	287,662	133,270	79,695
<b>Proporsi</b>	<b>57.46%</b>	<b>26.62%</b>	<b>15.92%</b>

Penggunaan sistem operasi *twinlift* merupakan faktor eksternal. Berdasarkan hasil survey dan wawancara pada pegawai TTL, sistem *twinlift* bergantung pada letak penyusunan kontainer di kapal. Sehingga apabila penyusunan dari kapal tidak sesuai (dua kontainer 20ft pada *bay* yang sama) maka sistem operasi *twinlift* tidak dapat digunakan.

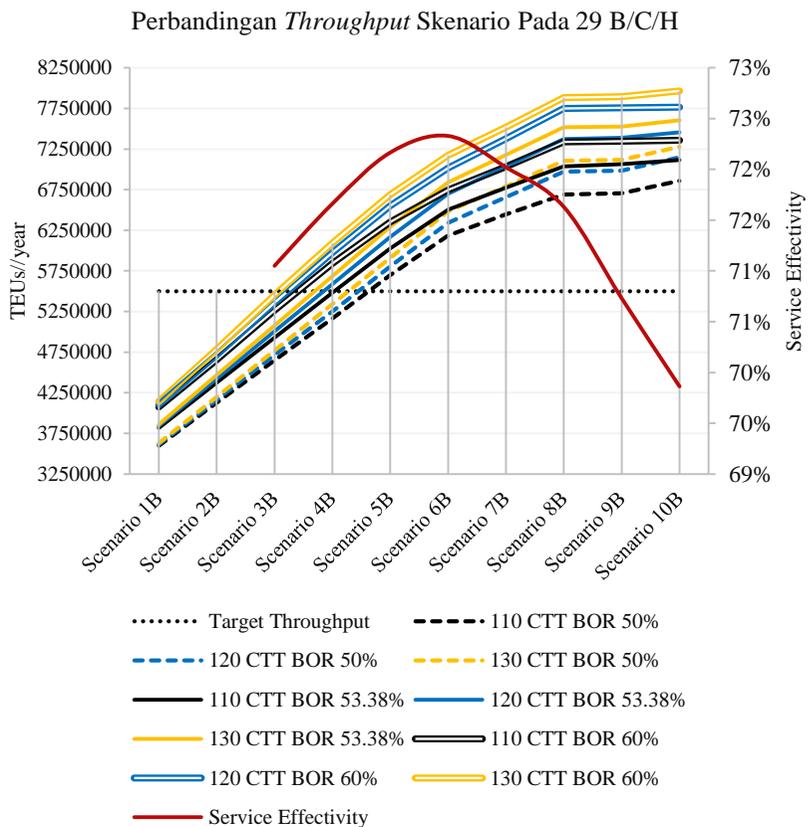
Selain faktor eksternal tersebut, faktor internal pelabuhan berupa kapasitas angkat STS juga menjadi batasan penggunaan sistem operasi *twinlift*. STS yang mampu beroperasi pada sistem ini adalah STS pada dermaga internasional dengan

spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 5.7. Keterbatasan ini menyebabkan sistem *twinlift* hanya dapat menangani kontainer 20ft.

Untuk memaksimalkan sistem *twinlift* maka proporsi penggunaannya perlu dimaksimalkan. Pada penelitian ini disimulasikan proses bongkar muat dengan proporsi yang ditentukan dengan proporsi penggunaan *twinlift* 20ft sebesar 25% memberikan nilai performa sebesar 29 B/C/H dan penggunaan *twinlift* sebesar 50% memberikan nilai performa sebesar 32 B/C/H. Nilai B/C/H didapatkan dengan menghitung jumlah kontainer yang dapat ditangani dengan peningkatan jumlah kontainer 20ft sesuai peningkatan proporsi penggunaan *twinlift*.

1. Skenario pada performa STS 29 B/C/H

Skenario penggunaan *twinlift* diatur sesuai Tabel 5.18 dengan proporsi 25% dari total kontainer 20ft ditangani dengan sistem *twinlift* menghasilkan nilai 29 B/C/H tiap STS. Hasil simulasi pada Gambar 5.6 menunjukkan tingkat peningkatan luaran *throughput* yang sama pada tiap skenario untuk setiap kondisi.



Gambar 5. 6 Perbandingan *Throughput* Skenario Pada 29 B/C/H

Naiknya luaran berbanding lurus dengan bertambahnya tingkat kepadatan pelayanan. Hal ini sesuai dengan persamaan kepadatan BOR pada subbab 2.4, persamaan 2 yang menyebutkan faktor jumlah kapal berbanding lurus dengan BOR. Sehingga apabila BOR semakin tinggi, maka jumlah kapal meningkat dan masukan (*input*) sistem berupa jumlah kontainer juga meningkat.

Pada skenario ini, diukur pula efektivitas pelayanan dengan peningkatan penggunaan sistem *twinlift*. Efektivitas pelayanan diukur dengan membandingkan luaran akhir simulasi (*throughput* akhir bongkar muat) dengan luaran awal simulasi (*throughput* proses bongkar). Nilai ini menunjukkan seberapa efektif terminal dengan konfigurasi peralatan yang diberikan untuk menangani kontainer. Nilai efektivitas yang dihasilkan dari simulasi menunjukkan fluktuasi tinggi apabila ditinjau dengan rentang hasil 70-75% dengan nilai standar deviasi sebesar 23.77% (1.18% jika ditinjau dari rentang 1-100%). Untuk itu nilai fluktuasi perlu diturunkan dengan menggunakan metode *Moving Average interval* 3 poin dan dihasilkan nilai standar deviasi 15.62% (0.78% jika ditinjau dari rentang 1-100%).

Hasil penilaian efektivitas menunjukkan semakin tinggi *throughput* pada tiap kondisi skenario menurun apabila melewati skenario 6. Hal ini terlihat dari grafik bahwa penambahan *throughput* melambat setelah melewati skenario 6. Skenario skenario 6 menghasilkan nilai efektivitas tertinggi dengan nilai 72.72%. Nilai ini menunjukkan sebanyak 27.28% masukan sistem belum selesai ditangani hingga proses muat selesai.

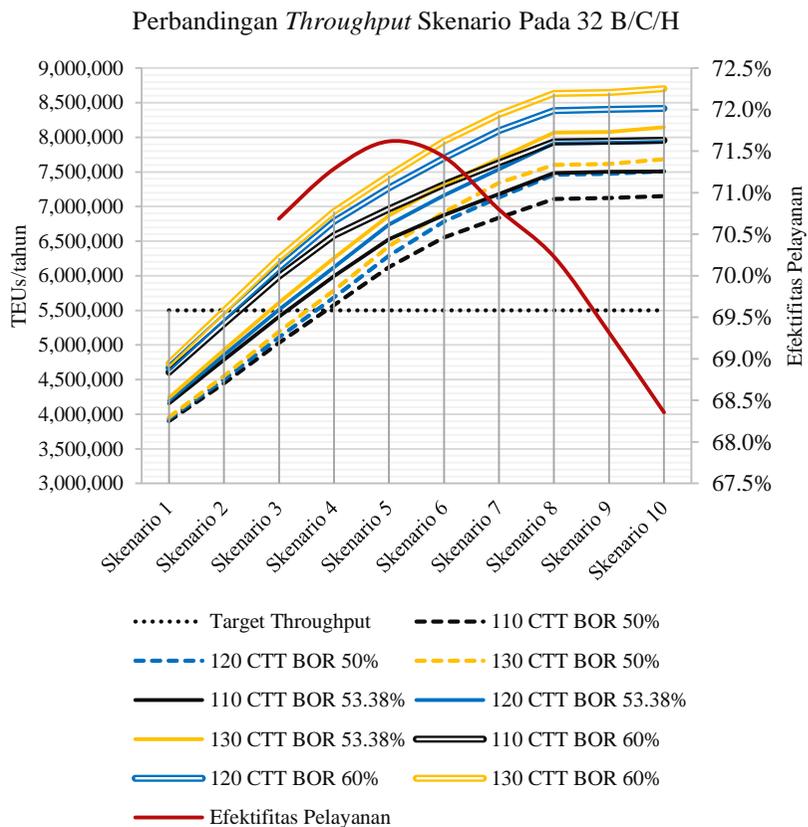
Kondisi pertama dengan tingkat kepadatan dermaga 50% atau 3.38% lebih rendah dari kondisi saat ini. Gambar 5.6 menunjukkan pada kondisi ini, skenario minimum yang dapat memenuhi target *throughput* adalah skenario 5 dengan jumlah CTT sebanyak 110 unit. Pada kondisi ini, jumlah kontainer yang mampu dilayani sebanyak 5.698.867 TEUs. Skenario 10 menghasilkan luaran terbesar dengan nilai 7.278.100 TEUs dengan penugasan CTT sebanyak 130 CTT.

Kondisi kedua memiliki tingkat kepadatan dermaga diatur agar samadengan tingkat kepadatan operasional pelabuhan saat ini sebesar BOR 53.38%. Gambar 5.6 menunjukkan bahwa skenario minimum yang dapat memenuhi target *throughput* adalah skenario 4B dengan jumlah CTT sebanyak 110 unit. Pada kondisi ini, jumlah kontainer yang mampu dilayani sebanyak 5,992,448 TEUs. Skenario 10 menghasilkan luaran terbesar dengan nilai 8,704,155 TEUs dengan penugasan CTT sebanyak 130 CTT.

Kondisi ketiga memiliki tingkat kepadatan dermaga diatur melebihi dari kondisi saat ini untuk mengetahui bagaimana kinerja pelayanan jika tingkat kepadatan naik dari batas rekomendasi UNCTAD sebesar 55%. Gambar 5.6 menunjukkan pada kondisi BOR 60% skenario minimum yang dapat memenuhi target *throughput* adalah skenario 4 untuk jumlah CTT sebanyak 110 unit. Pada kondisi ini, jumlah kontainer yang mampu dilayani sebanyak 5.840.520. Skenario 10 menghasilkan luaran terbesar dengan nilai 7.964.280 TEUs dengan penugasan CTT sebanyak 130 CTT.

## 2. Skenario pada performa STS 29 B/C/H

Skenario penggunaan *twinlift* diatur dengan proporsi 50% dari total kontainer 20ft ditangani dengan sistem *twinlift* menghasilkan nilai 32 B/C/H tiap STS. Hasil simulasi pada Gambar 5.7 menunjukkan tingkat peningkatan luaran *throughput* yang sama pada tiap skenario untuk setiap kondisi. Naiknya luaran berbanding lurus dengan bertambahnya tingkat kepadatan pelayanan. Hal ini sesuai dengan persamaan kepadatan BOR pada subbab 2.4, persamaan 2 yang menyebutkan faktor jumlah kapal berbanding lurus dengan BOR. Sehingga apabila BOR semakin tinggi, maka jumlah kapal meningkat dan masukan (*input*) sistem berupa jumlah kontainer juga meningkat.



Gambar 5. 7 Perbandingan *Throughput* Skenario Pada 32 B/C/H

Pada skenario ini, diukur pula efektivitas pelayanan dengan peningkatan penggunaan sistem *twinlift*. Nilai efektivitas yang dihasilkan dari simulasi menunjukkan fluktuasi tinggi apabila ditinjau dengan rentang hasil 70-75% dengan nilai standar deviasi sebesar 29.14% (1.46% jika ditinjau dari rentang 1-100%). Untuk itu nilai fluktuasi perlu diturunkan dengan menggunakan metode *Moving Average interval* 3 poin dan

dihasilkan nilai standar deviasi 21.123% (1.06% jika ditinjau dari rentang 1-100%).

Hasil penilaian efektivitas menunjukkan semakin tinggi *throughput* pada tiap kondisi skenario menurun apabila melewati skenario 6. Hal ini terlihat dari grafik bahwa penambahan *throughput* melambat setelah melewati skenario 6. Skenario skenario 5 menghasilkan nilai efektivitas tertinggi dengan nilai 71.62%. Nilai ini menunjukkan sebanyak 28.38% masukan sistem belum selesai ditangani hingga proses muat selesai. Apabila dibandingkan dengan kondisi pengoperasian STS pada 29 B/C/H, ditemukan bahwa efektivitas tiap skenario menurun. Hal ini sesuai dengan grafik efisiensi bahwa semakin tinggi *throughput*, maka nilai inefisiensi juga menurun.

Kondisi pertama dengan tingkat kepadatan dermaga 50% atau 3.38% lebih rendah dari kondisi saat ini. Gambar 5.7 menunjukkan pada kondisi ini, skenario minimum yang dapat memenuhi target *throughput* adalah skenario 4 dengan jumlah CTT sebanyak 110 unit. Pada kondisi ini, jumlah kontainer yang mampu dilayani sebanyak 5.577.360 TEUs. Skenario 10 menghasilkan luaran terbesar dengan nilai 7.683.960 TEUs dengan penugasan CTT sebanyak 130 CTT.

Kondisi kedua memiliki tingkat kepadatan dermaga diatur agar samadengan tingkat kepadatan operasional pelabuhan saat ini sebesar BOR 53.38%. Gambar 5.6 menunjukkan bahwa skenario minimum yang dapat memenuhi target *throughput* adalah skenario 4 dengan jumlah CTT sebanyak 120 unit. Pada kondisi ini, jumlah kontainer yang mampu dilayani sebanyak 5.585.838 TEUs. Skenario 10 menghasilkan luaran terbesar dengan nilai 7.605.748 TEUs dengan penugasan CTT sebanyak 130 CTT.

Kondisi ketiga memiliki tingkat kepadatan dermaga diatur melebihi dari kondisi saat ini untuk mengetahui bagaimana kinerja pelayanan jika tingkat kepadatan naik dari batas rekomendasi UNCTAD sebesar 55%. Gambar 5.7 menunjukkan pada kondisi BOR 60% skenario minimum yang dapat memenuhi target *throughput* adalah skenario 3 untuk jumlah CTT sebanyak 110 unit. Pada kondisi ini, jumlah kontainer yang mampu dilayani sebanyak 5.992.448. Skenario 10 menghasilkan luaran terbesar dengan nilai 8.704.155 TEUs dengan penugasan CTT sebanyak 130 CTT.

### 3. Konversi performa menjadi B/S/H (Box/Ship/Hour)

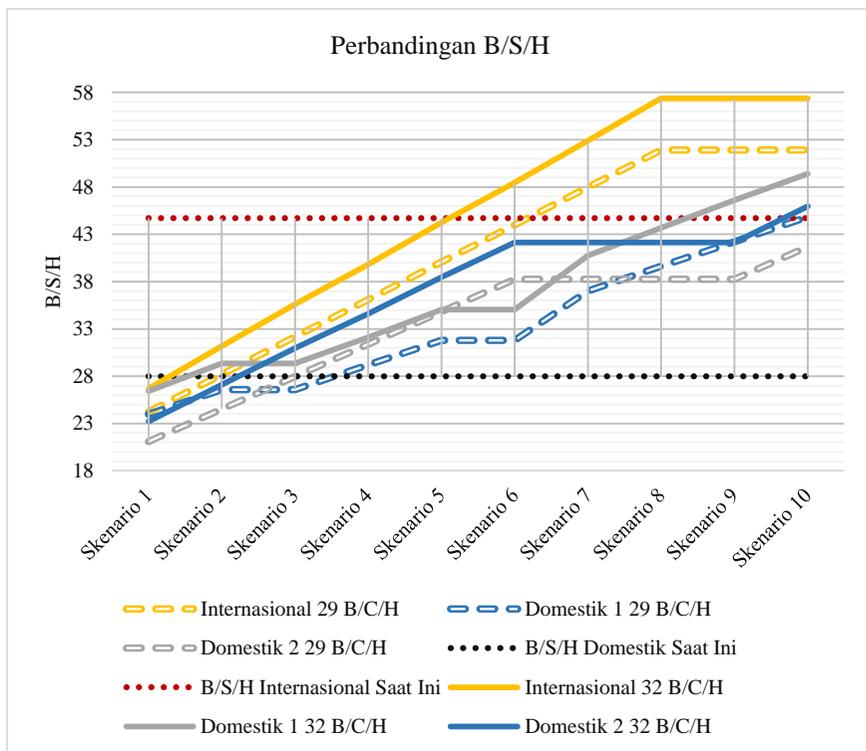
Pada subbab 2.5 telah dijelaskan mengenai berbagai jenis indikator untuk mengukur performa peralatan bongkaar muat. Dari berbagai indikator tersebut yang digunakan untuk mengukur kinerja peralatan bongkar muat kontainer adalah B/C/H dan B/S/H. Nilai B/C/H digunakan untuk mengukur performa untuk satu STS. Sedangkan B/S/H adalah jumlah box yang mampu dipindahkan pada satu kapal dalam satu jam.

Seluruh skenario yang dibuat pada subbab 5.4.1 dan subbab 5.4.2 disimulasi berdasarkan satuan performa B/C/H yang telah ditentukan. Hal ini menunjukkan pada hasil simulasi subbab 5.4.2 bahwa peningkatan

performa pada tiap STS menunjukkan adanya peningkatan luaran *throughput* yang tinggi pula.

Pengukuran performa menggunakan B/S/H pada Gambar 5.8 belum dilakukan perbandingan peningkatan dengan kondisi saat ini sebelumnya sehingga perlu dikonversi. Konversi dilakukan dengan menghitung jumlah kontainer yang dapat ditangani dalam satu kapal dengan menggunakan data ukuran kapal terbesar yang telah melakukan bongkar muat. Kapal terbesar yang berlabuh di dermaga internasional memiliki dimensi panjang 262 m. Sedangkan kapal terbesar yang berlabuh di dermaga domestik memiliki dimensi panjang 216 m.

Dimensi dermaga dan jumlah STS yang mengalami perubahan menjadi faktor penting terhadap nilai B/S/H. Hal ini karena jumlah kapal dan STS yang ditugaskan berbeda dengan kondisi saat ini. Jumlah STS yang digunakan adalah sebanyak batas maksimal penugasan yaitu 13 STS di dermaga internasional, 17 dermaga domestik 1, dan 12 dermaga domestik 2. Sehingga diperoleh jumlah STS yang ditugaskan untuk tiap kapal dengan panjang 262 m di dermaga internasional sebanyak 3 STS. Jumlah STS yang ditugaskan untuk tiap kapal dengan panjang 216 m di dermaga domestik 1 dan domestik sebanyak 3 STS.



Gambar 5. 8 Perbandingan performa B/S/H

Gambar 5.8 menunjukkan perbandingan nilai B/S/H pada dermaga dan internasional saat ini dan fase pengembangan *ultimate*. Perbandingan

dilakukan langsung pada skenario 10 dengan kondisi kepadatan dermaga sebesar 53.38 BOR untuk membandingkan konfigurasi yang diusulkan dengan konfigurasi saat ini dengan faktor eksternal yang sama.

Skenario 10 memiliki jumlah STS paling banyak. Dermaga internasional STS dengan performa 29 B/C/H memberikan hasil performa sebesar 51 B/S/H atau 6 B/S/H lebih tinggi dari kondisi saat ini. Apabila performa STS ditingkatkan menjadi 32 B/C/H hasil performa yang diberikan sebesar 57 B/S/H atau 13 B/S/H lebih tinggi dari kondisi saat ini.

Pada dermaga domestik 1 STS dengan performa 29 B/C/H memberikan hasil performa sebesar 44 B/S/H atau 17 B/S/H lebih tinggi dari kondisi saat ini. Apabila performa STS ditingkatkan menjadi 32 B/C/H hasil performa yang diberikan sebesar 49 B/S/H atau 22 B/S/H lebih tinggi dari kondisi saat ini.

Pada dermaga domestik 2 STS dengan performa 29 B/C/H memberikan hasil performa sebesar 41 B/S/H atau 14 B/S/H lebih tinggi dari kondisi saat ini. Apabila performa STS ditingkatkan menjadi 32 B/C/H hasil performa yang diberikan sebesar 45 B/S/H atau 17 B/S/H lebih tinggi dari kondisi saat ini. Maka konfigurasi dengan menerapkan konfigurasi ini, performa B/S/H yang diperoleh sudah melebihi performa saat ini.

Parameter yang diubah dalam model pengembangan adalah jumlah STS yang beroperasi pada tiap dermaga dan jumlah CTT yang ditugaskan. Pada penggunaan dengan performa 22 B/C/H dengan kondisi BOR 50%, menunjukkan bahwa skenario 10 adalah skenario minimal yang mampu mencapai target pelayanan *container*. Skenario ini melebihi target capaian hingga 1.825%. Untuk menguji apakah skenario mampu mencapai target pelayanan dan memiliki kapasitas produksi yang lebih tinggi daripada model nyata (dalam penelitian ini adalah target pelayananan), dilakukan uji hipotesis berikut.

Tabel 5. 8 Hasil Validasi Pada Skenario 10 22B/C/H BOR 50%

<i>t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances</i>	Skenario 10 (22 B/C/H BOR 50%)	Target <i>throughput</i>
<i>Mean</i>	452054.7945	448832
<i>Variance</i>	3.76459E-21	581928.8889
<i>Observations</i>	10	10
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>df</i>	9	
<i>t Stat</i>	<b>13.35972928</b>	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	1.53543E-07	
<i>t Critical one-tail</i>	1.833112933	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	3.07085E-07	
<i>t Critical two-tail</i>	<b>2.262157163</b>	

Dari hasil perhitungan pada Tabel 5.8, nilai t-Stat lebih tinggi dari nilai t *Critical two-tail*, yaitu  $2.2621 < t\text{-Stat}$ , maka hipotesis dapat diterima dan disimpulkan bahwa ada peningkatan *output throughput* dari skenario ini dibandingkan dengan target yang telah ditentukan.

## **BAB VI PENUTUP**

### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan perhitungan dan hasil dari optimasi peralatan bongkar muat *semiautomatic container* di Terminal Teluk Lamong (TTL) berdasarkan rencana pengembangan pelabuhan baru yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil simulasi model fase *ultimate* dengan variasi performa STS yang sama saat ini, memberikan hasil skenario dengan konfigurasi peralatan minimal yang dapat memenuhi target kapasitas pelayanan sebagai berikut.
  - a. Skenario dengan performa operasi STS 24 B/C/H menghasilkan skenario 6 dengan konfigurasi 11 STS pada dermaga internasional, 12 STS pada dermaga domestik 1, dan 10 STS pada dermaga domestik 2 yang dioperasikan pada tingkat kepadatan dermaga 60% menghasilkan output *throughput* sebesar 5.680.200 TEUs dengan penugasan 130 unit CTT.
  - b. Skenario dengan performa operasi STS 22 B/C/H menghasilkan skenario 7 dengan konfigurasi 11 STS pada dermaga internasional, 13 STS pada dermaga domestik 1, dan 11 STS pada dermaga domestik 2 yang dioperasikan pada tingkat kepadatan dermaga 60% menghasilkan output *throughput* tertinggi sebesar 5.574.960 TEUs dengan penugasan 120 unit CTT
2. Skenario kedua adalah skenario dengan proporsi penggunaan sistem operasi *twinlift* yang lebih tinggi dengan konfigurasi STS 13 unit di dermaga internasional, 17 unit di dermaga domestik 1, dan 12 dermaga domestik 2. Berdasarkan hasil simulasi hasil *throughput* maksimal sebagai berikut.
  - a. Skenario dengan performa operasi STS 29 B/C/H (25% kontainer dilayani dengan *twinlift*) yang dioperasikan pada tingkat kepadatan dermaga 60% menghasilkan output *throughput* sebesar 7.964.280 TEUs dengan penugasan 130 unit CTT.
  - b. Skenario dengan performa operasi STS 32 B/C/H (50% kontainer dilayani dengan *twinlift*) yang dioperasikan pada tingkat kepadatan dermaga 60% menghasilkan output *throughput* sebesar 8.704.155 TEUs dengan penugasan 130 unit CTT.
3. Untuk meningkatkan *throughput*, dapat dilakukan peningkatan penggunaan sistem operasi *twinlift* yang dapat meningkatkan performa dalam B/C/H hingga 37% dan performa dalam B/S/H hingga 29% dengan sistem penugasan STS dan tingkat kepadatan pelayanan yang sama dengan saat ini.

## 6.2 Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data masih ada beberapa hal yang harus disempurnakan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dan dapat diterapkan langsung di lapangan. Rekomendasi berikut dapat mendukung penelitian:

1. Untuk meningkatkan performa pelayanan pada dermaga, peningkatan spesifikasi STS khususnya pada *spreader* perlu dilakukan agar dapat menggunakan sistem operasi *twinlift/tandem* pada kontainer berukuran 40ft dan 45ft.
2. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar mempertimbangkan dampak biaya operasional dan pemasukan dari pelayanan, ketersediaan energi untuk peralatan, dan risiko yang muncul akibat pemakaian sistem peralatan *semiautomatic* untuk keputusan pemilihan peralatan yang lebih baik. Selain itu, pada penelitian selanjutnya, dapat mempertimbangkan sistem operasi *dedicated* CTT dan ASC ke tiap STS.

## DAFTAR PUSTAKA

- BPS (2016) Statistik Transportasi Laut 2016. Indonesia.
- BPS (2018) 'STATISTIK Pertumbuhan Ekonomi', (40), pp. 1–12.
- Coeveld (2017) Container Terminal Robotization.
- Dahal, K. P. (2007) 'Modelling , simulation and optimisation of port system management Modelling , simulation and optimisation of port system management Keshav Dahal \* Stuart Galloway Ian Hopkins', (January). doi: 10.1504/IJASM.2007.015683.
- DEPHUB & BAPPENAS (2019) Konsep Tol Laut dan Implementasi 2015 - 2019. Jakarta.
- Dragovic, B. (2016) 'Simulation modelling in ports and container terminals : literature overview and analysis by research field , application area and tool', (February). doi: 10.1007/s10696-016-9239-5.
- Gurning, S. (2017) EVALUASI TERMINAL TELUK LAMONG ( TTL ).
- Hidayat, E. (2009) 'Manajemen Kepelabuhanan', 02(04), pp. 202–213.
- Hidayat, E. (2010) Perencanaan, Perancangan dan Pembangunan Pelabuhan. II. Jakarta: PT Pelabuhan Indonesia (Persero).
- Homayouni, S. M. and Tang, S. H. (2016) 'Optimization of integrated scheduling of handling and storage operations at automated container terminals', *WMU Journal of Maritime Affairs*. *WMU Journal of Maritime Affairs*, pp. 17–39. doi: 10.1007/s13437-015-0089-x.
- Junior, W. (2018) 'Discrete Simulation-based Optimization Methods for Industrial Engineering Problems: A Systematic Literature Review', *Computers & Industrial Engineering*. *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.cie.2018.12.073.
- Kelton, L. (1991) SIMULATION MODELLING AND ANALYSIS. Second. *McGraw-Hill*.
- Kotachi, M. (2016) 'A DISCRETE EVENT SIMULATION FOR THE LOGISTICS OF HAMAD'S CONTAINER TERMINAL OF QATAR', in. Abu Dhabi: *IEEE*, pp. 2262–2271.
- Kyu, N. et al. (2012) 'Simulation Approach of Container Terminal Modelling', p. 6.
- Marina, A. and Fatihudin, D. (2008) 'PASAR OLIGOPOLI DI INDONESIA ( Kasus Trading Term dan Dominansi Carrefour pada Pasar Ritel Modern di Indonesia )', (9).
- Meng, Q. and Wang, W. (2010) 'Optimization for Container Handling Equipments Allocation Based on ARENA', pp. 2–5. doi: 10.1109/ICIEEM.2010.5645982.
- Mutumbo, K. and Ölçer, A. (2017) 'Towards port infrastructure adaptation : a global port climate risk analysis'. *WMU Journal of Maritime Affairs*, pp. 161–173. doi: 10.1007/s13437-016-0113-9.
- Moedak, O. P. (2017) 'Logistic Control for Asian Port', in. Kobe: PT Pelindo III, p. 22.
- QMIPA Labs (2018) 'Arena Training Module'. Surabaya: *QMIPA Laboratory*.

- R.O. Saut Gurning, E. H. B. (2007) *Manajemen Bisnis Pelabuhan*. Edited by 1. *APE Publishing*.
- Ravitharan, R. et al. (2017) 'Rail Infrastructure in Port City – Surabaya , Indonesia', *Procedia Engineering*. The Author(s), 188, pp. 486–492. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.512.
- Saputro, S. S. (2015) *Penentuan Jenis Alat Bongkar Muat Kapal Ketika Stevedoring Studi Kasus Pelindo III Tanjung Perak*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Slutej, A. (2009) 'Advances In Container Cranes Automation', pp. 1–5.
- Supriyono (2010) 'Analisa Kinerja Terminal Petikemas di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya'.
- Teknik, J., Fakultas, S. and Diponegoro, T. (2008) 'Analisa Kinerja Terminal Petikemas di Tanjung Perak Surabaya ( Study Kasus : PT . Terminal Petikemas Surabaya )', pp. 89–97.
- Terminal Teluk Lamong (2017) *Annual Report 2018 - Chasing Momentum : Amplifying Capabilities*.
- UNCTAD (1985) *Port development*.
- Vacca, I. (2007) 'Optimization at Container Terminals : Status , Trends and Perspectives Michel Bierlaire , Transport and Mobility Laboratory , *EPFL Optimization at Container Terminals : Status , Trends and Perspectives*'.
- World Bank (2018) *Gross Domestic Product 2017*.

## LAMPIRAN A

### Layout Terminal Fase Ultimate



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN B

### Data Kedatangan Kapal dan Kepadatan Dermaga

Lampiran B. 1 Data kedatangan kapal dan penugasan STS

No	Nama Kapal	Berth Area	TEUS			L (m)	STS Deployed
			Estimasi Bongkar	Estimasi Muat	Total		
1	Selat mas	International	368	300	668	164	2
2	Meratus Pekanbaru	International	323	0	323	117	1
3	Nothern Volition	International	258	550	808	222	3
4	OOCL Norflok	International	396	622	1018	260	3
5	Segara Mas	Domestic	409	350	759	216	3
6	Alfa Trans Satu	Domestic	69	55	124	61	1
7	Pratiwi Raya	Domestic	136	0	136	97	1
8	Sawu Sea	Domestic	0	229	229	130	2
9	Bali Sanur	Domestic	0	162	162	97	1
10	Nothern Volition	International	348	600	948	222	3
11	Meratus Gorontalo	Domestic	640	450	1090	162	2
12	Hijau Sejuk	International	0	150	150	129	2
13	Balthasar Schulte	International	596	1100	1696	231	3
14	Meratus Gorontalo	Domestic	778	360	1138	162	2
15	Spring Mas	Domestic	550	450	1000	184	3
16	Ayer Mas	Domestic	0	200	200	108	2
17	Armada Permata	Domestic	248	349	597	130	2
18	Isa Clarity	International	0	205	205	97	1
19	Derajat	Domestic	26	140	166	96	1
20	Muara Mas	Domestic	278	150	428	108	2
21	Segara Mas	International	543	600	1143	216	2
22	Spectrum N	International	416	300	716	209	3
23	Sungai Mas	Domestic	334	400	734	194	3
24	Tanto Tangguh	Domestic	583	320	903	145	2
25	Segara Mas	Domestic	0	300	300	216	3
26	Bali Sanur	Domestic	122	126	248	97	1
27	Guenther Schulte	International	393	744	1137	231	3
28	Tanto Tangguh	Domestic	536	0	536	145	3
29	Intan Daya 9	Domestic	186	137	323	90	1
30	Alfa Trans Satu	Domestic	39	61	100	61	1
31	Segara Mas	International	255	427	682	216	3

32	Bali Sanur	International	182	135	317	97	1
33	Hongkong Bridge	International	492	694	1186	266	3
34	GH Zonda	International	676	977	1653	231	3
35	Bahar Mas	Domestic	246	36	282	108	2
36	AS Columbia	International	182	550	732	222	3
37	Meratus Pekanbaru	International	330	300	630	117	2
38	Marina Star 1	Domestic	282	312	594	148	2
39	Bali Sanur	Domestic	202	210	412	97	1
40	Ayer Mas	Domestic	247	30	277	108	1
41	Meratus Barito	Domestic	0	200	200	107	1
42	Armada Permata	Domestic	0	362	362	130	2
43	Meratus Palembang	International	280	250	530	117	2
44	MP The Law	International	925	1492	2417	259	4
45	Fortune	Domestic	113	150	263	96	1
46	Mentari Persada	Domestic	0	300	300	129	2
47	Pahala	Domestic	247	150	397	96	1
48	Meratus Pekanbaru	International	240	220	460	117	2
49	Sinar Belawan	Domestic	257	200	457	146	2
50	Meratus Borneo	Domestic	20	210	230	107	2
51	Uni Fortuna	International	143	1050	1193	239	3
52	Meratus Jayapura	International	600	15	615	206	2
53	Mulianim	Domestic	129	130	259	98	1
54	Selat mas	Domestic	189	200	389	164	2
55	Buxhansa	International	450	250	700	208	2
56	AS Columbia	International	143	470	613	222	3
57	Pahala	Domestic	140	140	280	96	1
58	Meratus Gorontalo	Domestic	0	400	400	162	2
59	Sendang Mas	Domestic	122	440	562	216	3
60	Palung Mas	International	0	230	230	108	1
61	Red Resource	International	0	230	230	101	1
62	Intan Daya 4	Domestic	0	139	139	90	1
63	Maria Katharina S	International	918	250	1168	209	2
64	Meratus Borneo	Domestic	200	200	400	107	2
65	Ariana	International	479	250	729	211	2
66	Lintas Batang hari	Domestic	147	94	241	86	1
67	Meratus Borneo	Domestic	252	210	462	107	2
68	Armada Segara	International	0	150	150	121	2

69	GH Leste	International	263	1125	1388	229	3
70	Sawu Sea	Domestic	269	182	451	130	2
71	Bali Sanur	Domestic	0	167	167	97	1
72	Gulf Mas	Domestic	147	0	147	108	2
73	Spil Ningsih	International	2300	0	2300	209	4
74	Pratiwi Raya	Domestic	141	0	141	96	1
75	Ayer Mas	Domestic	158	230	388	108	2
76	Teluk Flaminggo	Domestic	0	150	150	115	1
77	Nothern Volition	International	255	500	755	222	3
78	Sawu Sea	International	0	252	252	130	2
79	Sendang Mas	Domestic	289	401	690	216	3
80	Curug Mas	Domestic	73	104	177	108	2
81	New Glory	International	0	93	93	91	1
82	Bali Sanur	International	168	240	408	97	1
83	Meratus Gorontalo	Domestic	712	0	712	162	2
84	Mentari Success	Domestic	0	160	160	86	1
85	AS Constatina	International	204	550	754	222	3
86	Mulianim	International	129	132	261	98	1
87	Bahar Mas	Domestic	249	241	490	108	2
88	Teluk Mas	Domestic	0	220	220	108	1
89	Meratus Borneo	Domestic	230	210	440	107	2
90	Armada Permata	Domestic	370	310	680	130	3
91	Armada Permata	Domestic	382	380	762	130	2
92	Teluk Berau	Domestic	237	0	237	115	2
93	Meratus Dili	International	0	300	300	119	2
94	Navios Tempo	International	750	442	1192	262	4
95	Meratus Dili	International	0	300	300	119	2
96	Hongkong Bridge	International	468	659	1127	262	4
97	MP The Law	International	502	1500	2002	259	3
98	Hijau Samudra	Domestic	613	500	1113	167	2
99	Sawu Sea	Domestic	228	313	541	130	2
100	GH Zonda	International	676	1200	1876	231	3
101	Meratus Borneo	Domestic	230	210	440	107	2
102	Armada Permata	Domestic	433	400	833	130	2
103	KMTC Chennai	International	523	750	1273	261	3
104	Ever Ally	International	478	380	858	165	2
105	Flores Sea	Domestic	257	377	634	130	2

106	Isa Clarity	International	0	190	190	97	1
107	Phonix	Domestic	158	135	293	86	1
108	Curug Mas	Domestic	104	249	353	108	2
109	Sungai Mas	Domestic	204	292	496	194	3
110	Meratus Bontang	Domestic	0	200	200	107	2
111	Sendang Mas	Domestic	200	400	600	216	3
112	Hijau Sejuk	Domestic	253	0	253	129	1
113	Hijau Samudra	Domestic	613	500	1113	167	2
114	Bahar Mas	International	157	240	397	108	2
115	AS Columbia	International	299	560	859	222	3
116	Gulf Mas	Domestic	318	225	543	108	2
117	Palung Mas	International	280	223	503	108	2
118	Meratus Borneo	Domestic	87	210	297	107	2
119	Ever Ally	International	478	380	858	165	2
120	Gulf Mas	Domestic	220	0	220	108	2
121	Flores Sea	Domestic	402	324	726	130	2
122	AS Constatina	International	206	550	756	222	3
123	Curug Mas	Domestic	0	250	250	108	2
124	Meratus Borneo	International	200	170	370	107	2
125	Pratiwi Raya	Domestic	222	136	358	97	1
126	Situ Mas	Domestic	430	275	705	216	3
127	GH Leste	International	630	1063	1693	229	3
128	AS Columbia	International	164	450	614	222	2
129	KMTC Nhava Sheva	International	536	700	1236	222	3
130	Hijau Samudra	Domestic	728	579	1307	162	3
131	Oriental Emerald	International	641	350	991	160	2
132	Sungai Mas	Domestic	442	450	892	194	3
133	Red Resource	Domestic	0	220	220	101	2
134	GH Leste	International	885	1050	1935	229	4
135	Uni Fortuna	International	561	800	1361	239	3
136	Meratus Palembang	International	230	320	550	117	2
137	Pratiwi Satu	International	161	0	161	97	1
138	Hijau Samudra	Domestic	0	450	450	167	2
139	Sungai Mas	Domestic	79	350	429	194	2
140	Ayer Mas	Domestic	224	231	455	108	2
141	Lintas Batang hari	Domestic	135	47	182	86	1
142	Marina Star 1	Domestic	426	281	707	148	2

143	Pahala	International	135	155	290	96	1
144	AS Columbia	International	260	550	810	222	4
145	Nothern Defender	International	551	1050	1601	231	3
146	Meratus Pekanbaru	International	198	300	498	117	2
147	Meratus Borneo	Domestic	252	210	462	107	2
148	AS Columbia	International	208	480	688	222	3
149	Meratus Benoa	Domestic	0	215	215	107	2
150	Red Rover	Domestic	242	234	476	101	2

Lampiran B. 2 Data kedatangan kapal Internasional

<b>International Berth</b>			
<b>VESSEL ID</b>	<b>VESSEL NAME</b>	<b>VOL (BOX)</b>	<b>B/C/H NET</b>
MAS1022	MARINA STAR 1	865	22.98
SEGA030	SEGARA MAS	517	31.64
PAHA055	PAHALA	374	16.95
MEKR001	MERATUS KARIMATA	227	17.60
AYMA052	AYER MAS	392	19.35
CUMA031	CURUG MAS	231	20.00
MERI012	MERATUS MAMIRI	1099	15.16
AKSI015	AKASHIA	223	23.71
MAMA002	MARE MAS	229	29.46
SAWU055	SAWU SEA	503	16.49
SPMA024	SPRING MAS	729	18.69
LUBA005	LUMOSO BAHAGIA	243	18.54
MULI018	MULIANIM	314	21.90
SIBE050	SINAR BELAWAN	615	15.49
GULF039	GULF MAS	504	13.48
MEPA003	MERATUS KAMPAR	229	20.88
SEGA031	SEGARA MAS	238	17.12
SEGA031	SEGARA MAS	238	17.12
MEKR002	MERATUS KARIMATA	259	25.55
TABE019	TANTO BERSINAR	1251	18.63
AKSI016	AKASHIA	176	35.68
CUMA032	CURUG MAS	352	22.93
PAHA056	PAHALA	293	14.08
SUMA033	SUNGAI MAS	564	16.44
LIBE007	LINTAS BENGKULU	364	26.89

HISA015	HIJAU SAMUDRA	864	20.56
ALTS096	ALFA TRANS SATU	102	16.01
MULI019	MULIANIM	254	17.54
MEPA004	MERATUS KAMPAR	94	22.86
AYMA053	AYER MAS	365	25.61
GULF040	GULF MAS	11	22.32
SEAS035	SENDANG MAS	387	29.69
CUMA033	CURUG MAS	394	24.58
LUBA006	LUMOSO BAHAGIA	250	19.95
MERI013	MERATUS MAMIRI	667	21.03
PAHA057	PAHALA	399	24.14
MEBO082	MERATUS BORNEO	197	16.48
LIRI013	LINTAS BATANGHARI	211	18.33
AYMA054	AYER MAS	381	16.09
SITU039	SITU MAS	1178	17.03
MEWA001	MERATUS WAIGEO	476	10.98
FONE024	FORTUNE	125	18.22
BAMA019	BAHAR MAS	183	26.59
SEGA032	SEGARA MAS	609	12.57
MULI020	MULIANIM	276	19.86
MAMA003	MARE MAS	474	20.60
CUMA034	CURUG MAS	313	14.66
KIMA028	KISIK MAS	430	19.60
SAWU056	SAWU SEA	621	11.47
SEAS036	SENDANG MAS	604	21.55
MEBO083	MERATUS BORNEO	412	18.96
TABE020	TANTO BERSINAR	1239	15.50
AYMA055	AYER MAS	355	24.48
PAHA058	PAHALA	168	27.27
SIPE001	SINAR PENIDA	238	23.22
ALTS097	ALFA TRANS SATU	118	12.34
FONE025	FORTUNE	235	30.18
LUBA007	LUMOSO BAHAGIA	310	15.76
MESE018	MERATUS SEMARANG	750	19.39
MULI021	MULIANIM	238	16.65
HISA016	HIJAU SAMUDRA	855	17.55
SUMA034	SUNGAI MAS	851	30.32

Lampiran B. 3 Data kedatangan kapal Domestik

<b>DOMESTIC BERTH</b>			
<b>VESSEL ID</b>	<b>VESSEL NAME</b>	<b>VOL (BOX)</b>	<b>BCH NET</b>
KMCH028	KMTC CHENNAI	1221	19.45
MPBR004	MP THE BROWN	1011	21.38
NERY060	NEW GLORY	175	19.62
MELE017	MERATUS PALEMBANG	607	19.24
POSE019	POSEN	878	21.02
ISTY052	ISA CLARITY	248	16.64
EVOM001	EVER BLOOM	844	21.74
EVOM001	EVER BLOOM	844	21.74
KMVA027	KMTC NHAVA SHEVA	1148	17.67
MERU050	MERATUS PEKANBARU	288	21.54
MPLA004	MP THE LAW	881	21.28
ASNA014	AS CONSTANTINA	788	25.40
BBEC001	BBC ECHO	15	4.30
WIAL001	WIDE ALPHA	2014	23.21
ASCO018	AS COLUMBIA	596	22.59
MERU051	MERATUS PEKANBARU	378	23.14
NERY061	NEW GLORY	169	17.27
MELE018	MERATUS PALEMBANG	755	16.80
NADE005	NAVIOS DEDICATION	1202	19.61
HOBRO32	HONGKONG BRIDGE	1197	17.81
NOGU002	NORTHERN GUILD	2019	22.32
NOVO043	NORTHERN VOLITION	860	25.94
POAD006	PORT ADELAIDE	578	22.63

Lampiran B. 4 Data waktu ASC Handling

<b>Data Waktu Pick up dan Drop off ASC</b>							
<b>No</b>	<b>Waktu (m)</b>	<b>No</b>	<b>Waktu (m)</b>	<b>No</b>	<b>Waktu (m)</b>	<b>No</b>	<b>Waktu (m)</b>
1	5	11	7	21	9	31	8
2	9	12	6	22	7	32	9
3	8	13	7	23	5	33	7
4	6	14	9	24	4	34	4
5	10	15	8	25	7	35	7
6	9	16	8	26	8	36	6
7	5	17	7	27	6	37	6

No	Waktu (m)						
8	7	18	8	28	4	38	6
9	5	19	7	29	5	39	8
10	8	20	7	30	11	40	8

Lampiran B. 5 Data waktu transfer kontainer dari SC ke truk

SC TO TRUCK (SC transfer container to truck)									
No	Time (m)	No	Time (m)	No	Time (m)	No	Time (m)	No	Time (m)
1	1.14	11	4.46	21	1.17	31	1.19	41	1.11
2	1.32	12	1.12	22	1.37	32	1.53	42	1.26
3	1.37	13	1.08	23	1.17	33	1.12	43	1.39
4	1.5	14	1.09	24	1.16	34	1.17	44	1.12
5	1.5	15	1.51	25	1.16	35	1.42	45	1.75
6	1.8	16	1.74	26	1.15	36	1.18	46	1.57
7	1.32	17	1.39	27	1.19	37	1.16	47	1.23
8	1.13	18	1.1	28	1.11	38	1.45	48	2.04
9	1.49	19	1.11	29	1.32	39	1.26	49	1.1
10	1.12	20	1.35	30	1.1	40	1.12	50	1.15

Lampiran B. 6 Nilai BOR tahun 2018

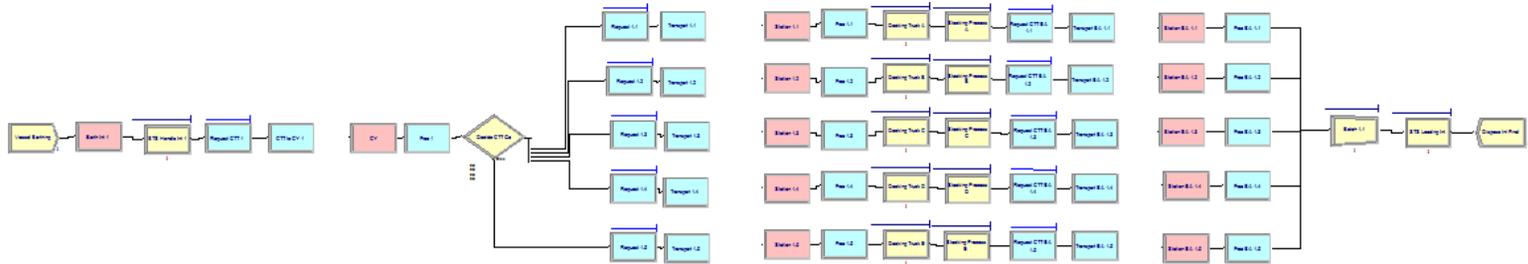
Bulan	BOR (%)	Bulan	BOR (%)
Januari	57.08	Juli	58.99
Februari	58.50	Agustus	55.49
Maret	52.30	September	47.85
April	55.52	Oktober	54.11
Mei	51.34	November	54.53
Juni	41.64	Desember	53.25
<b>Total BOR 2018</b>		<b>53.38</b>	

**LAMPIRAN C**  
**Hasil Pengukuran Layout**

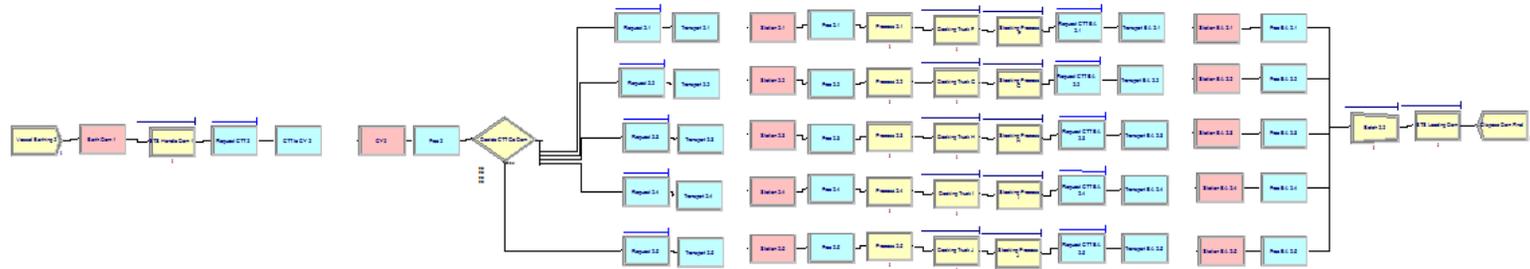
<b>Dermaga</b>	<b>Blok</b>	<b>Jarak Dermaga ke Blok (m)</b>
Internasional	Blok 1	1700
	Blok 2	1738
	Blok 3	1776
	Blok 4	1814
	Blok 5	1852
	Blok 6	1890
	Blok 7	1928
	Blok 8	1966
	Blok 9	2004
	Blok 10	2042
Domestik 2	Blok 11	2080
	Blok 12	2118
	Blok 13	2156
	Blok 14	2194
	Blok 15	2232
	Blok 16	2270
	Blok 17	2308
	Blok 18	2346
	Blok 19	2384
	Blok 20	2422
Domestik 1	Blok 21	746
	Blok 22	784
	Blok 23	822
	Blok 24	860
	Blok 25	898
	Blok 26	936
	Blok 27	974
	Blok 28	1012
	Blok 29	686
	Blok 30	724
	Blok 31	762
	Blok 32	800
	Blok 33	838

## LAMPIRAN D Model Simulasi Eksisting

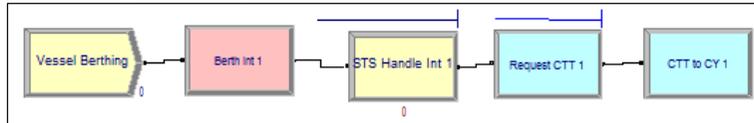
Lampiran D. 1 Model Simulasi Gabungan Eksisting Bongkar Internasional



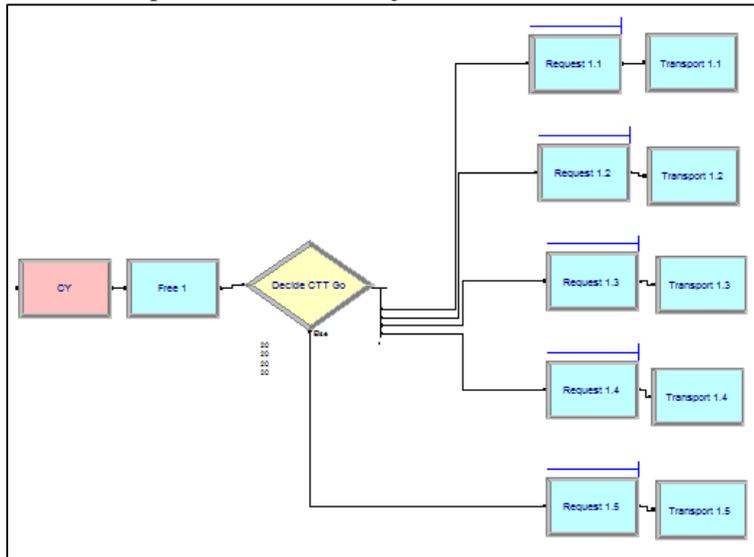
Lampiran D. 2 Model Simulasi Gabungan Eksisting Bongkar Domestic



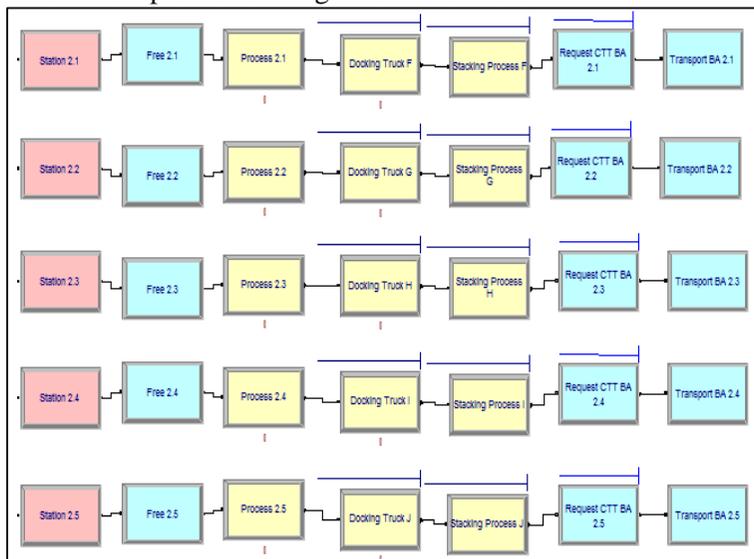
Lampiran D. 3 Model proses bongkar di dermaga internasional



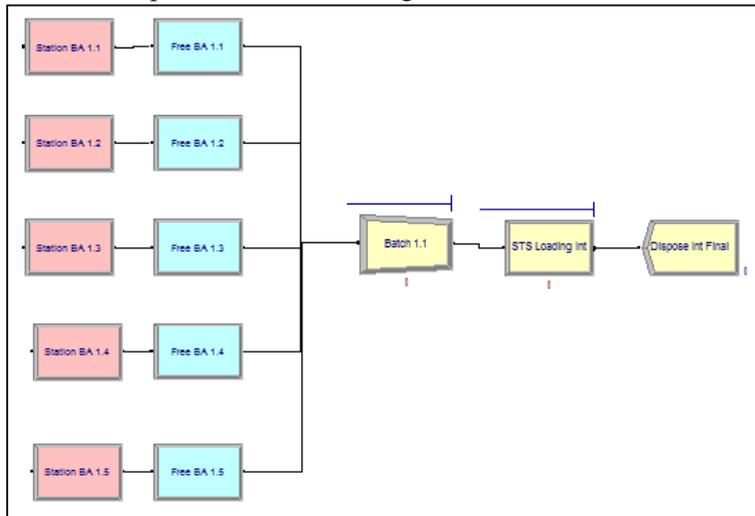
Lampiran D. 4 Model proses transfer menuju CY internasional



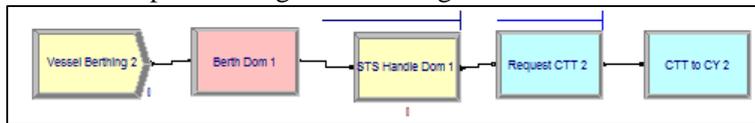
Lampiran D. 5 Model proses stacking di CY internasional



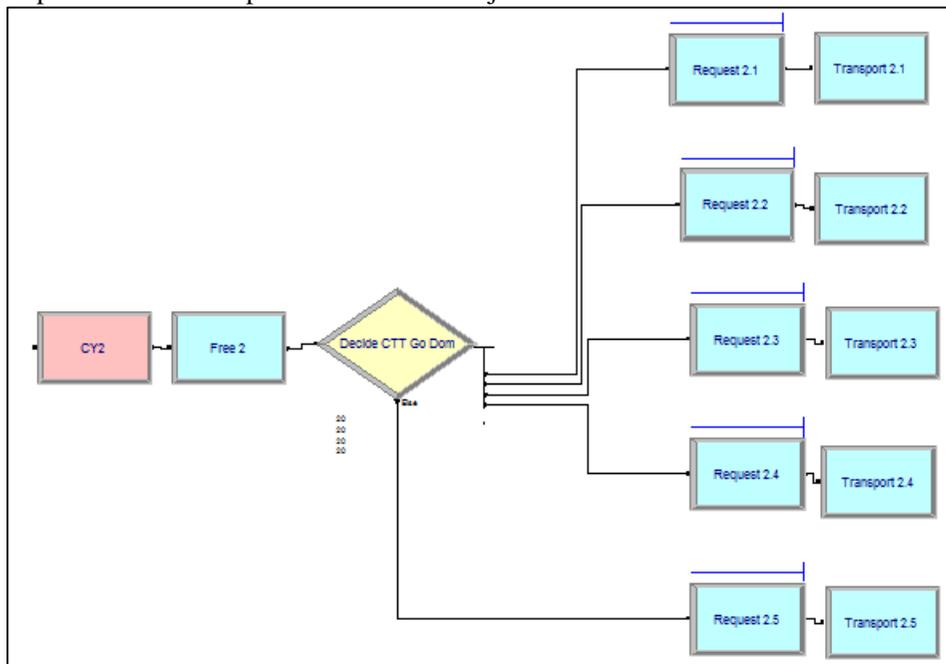
Lampiran D. 6 Model proses muat di dermaga internasional



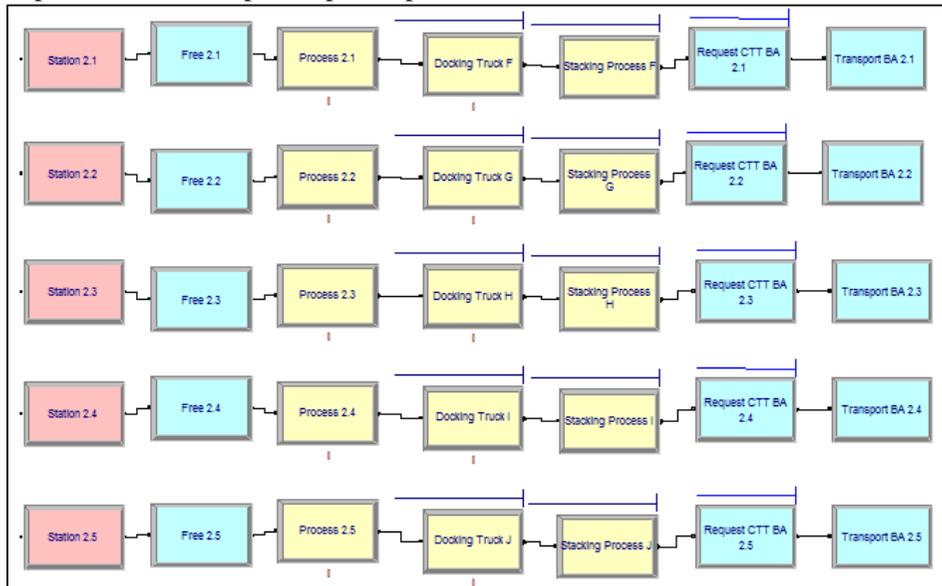
Lampiran D. 7 Model proses bongkar di dermaga domestik



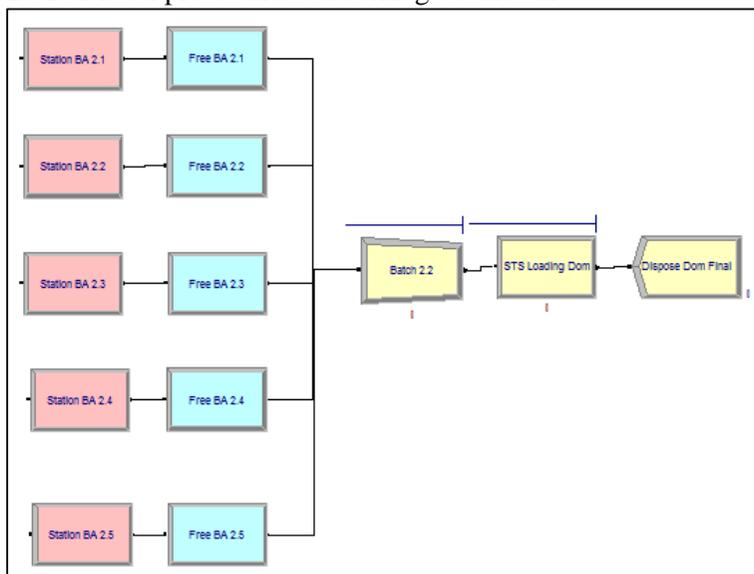
Lampiran D. 8 Model proses transfer menuju CY domestik



Lampiran D. 9 Model proses penumpukan di CY domestik



Lampiran D. 10 Model proses muat di dermaga domestik

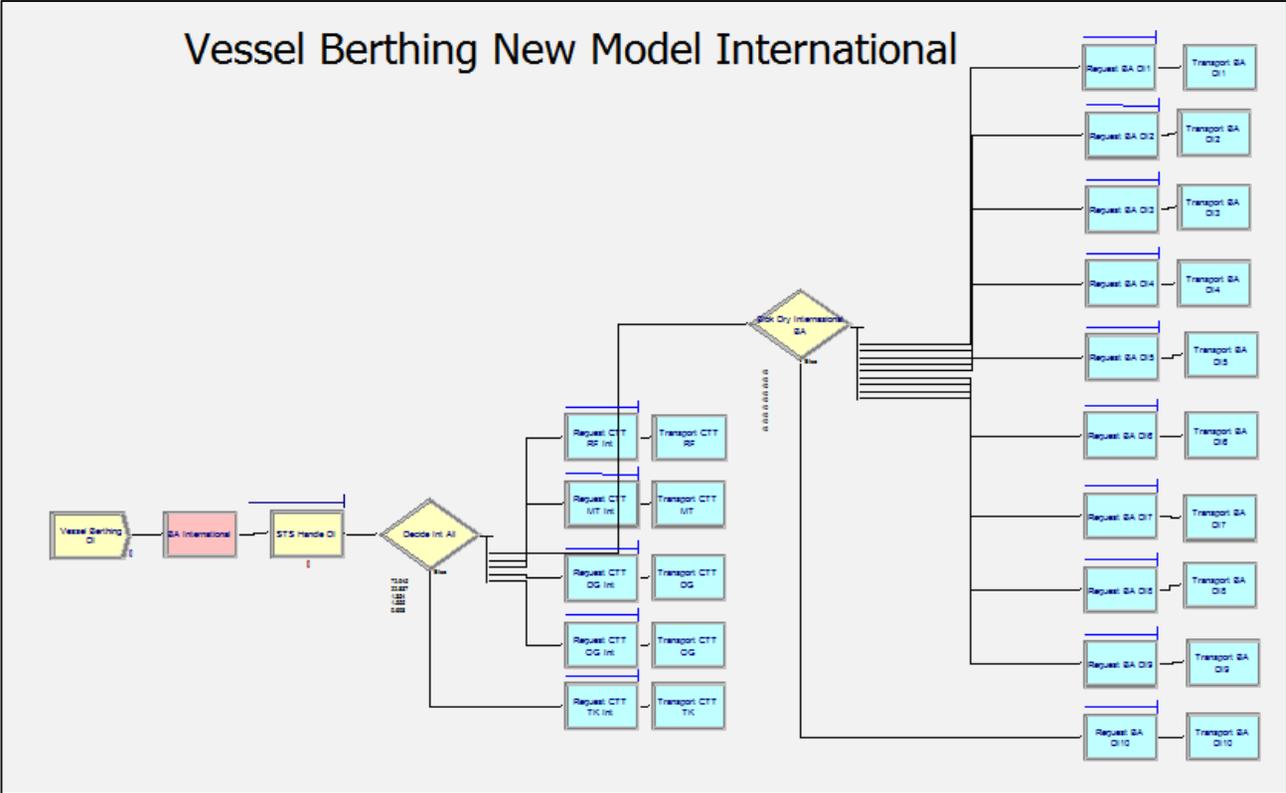


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

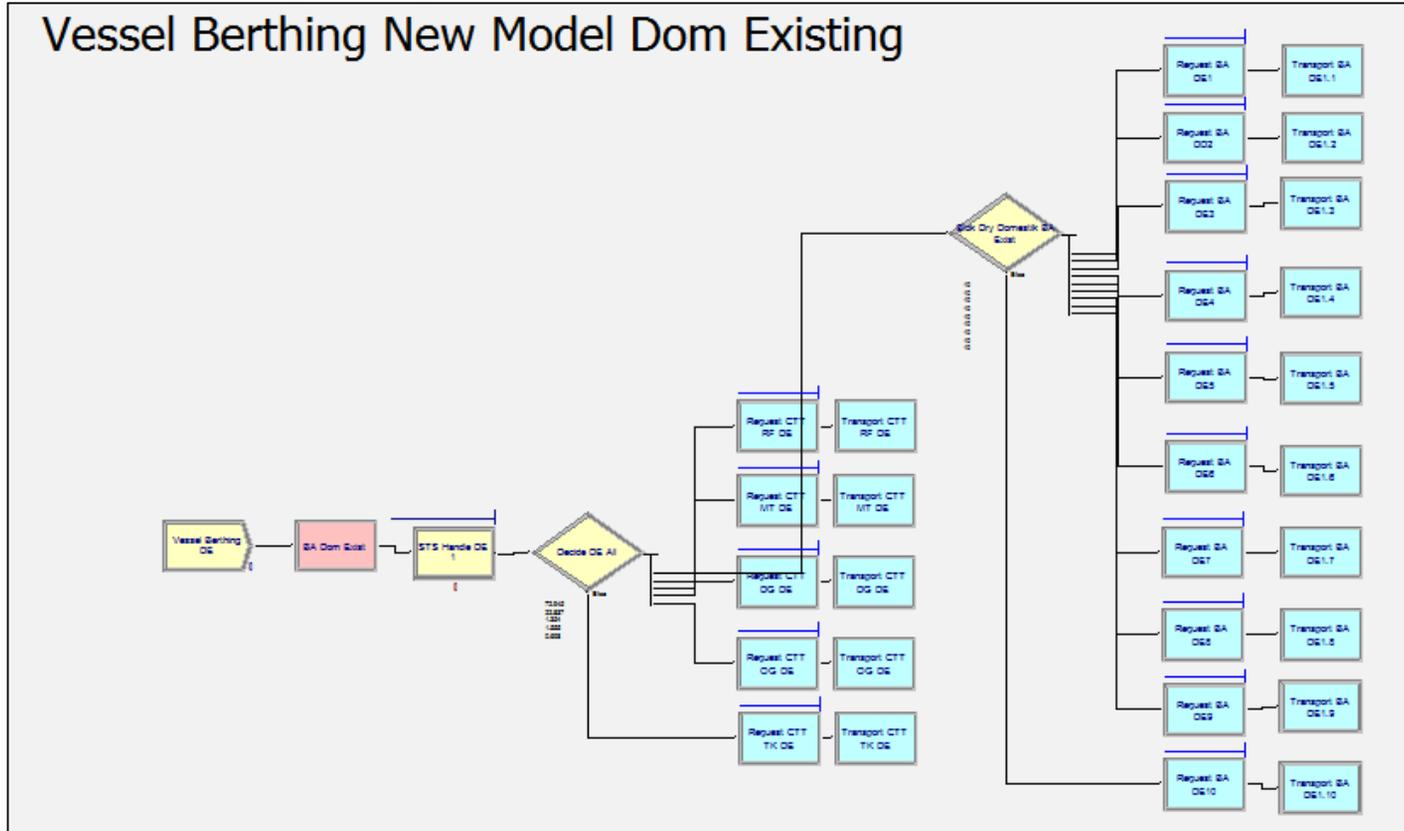
# LAMPIRAN E

## Model Simulasi Fase *Ultimate*

Lampiran E. 1 Model Simulasi Bongkar Dermaga Internasional

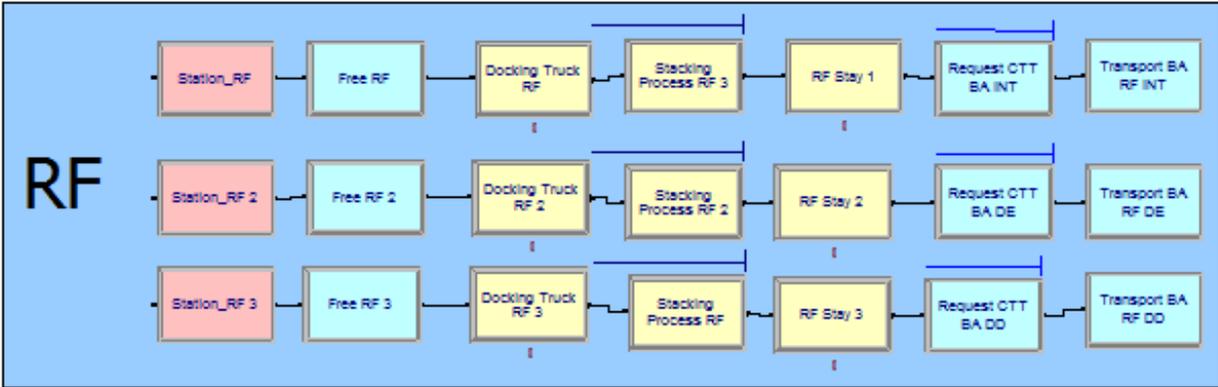


Lampiran E. 2 Model Simulasi Bongkar Dermaga Domestik 2

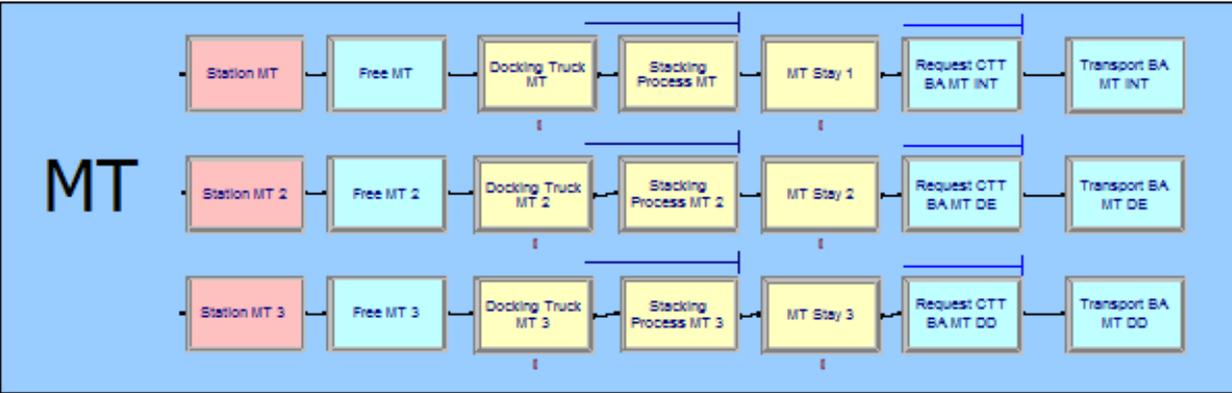




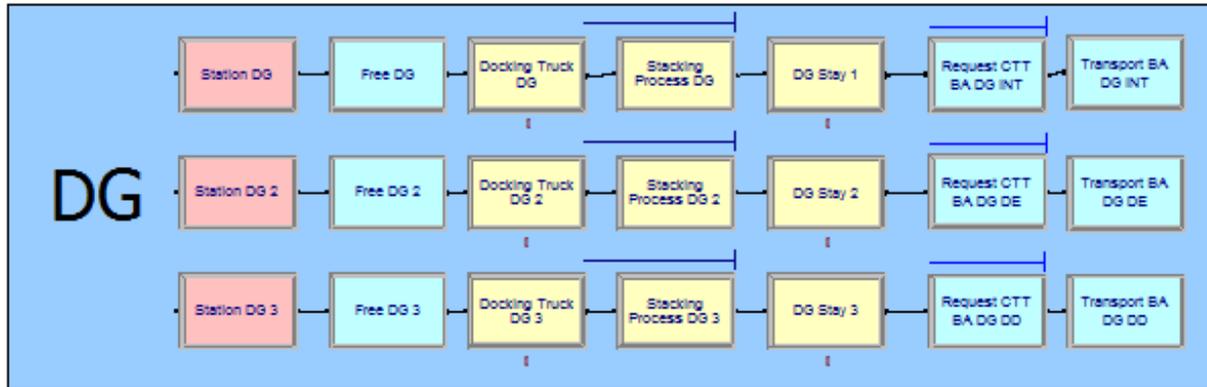
Lampiran E. 4 Model Simulasi Penumpukan Blok RF



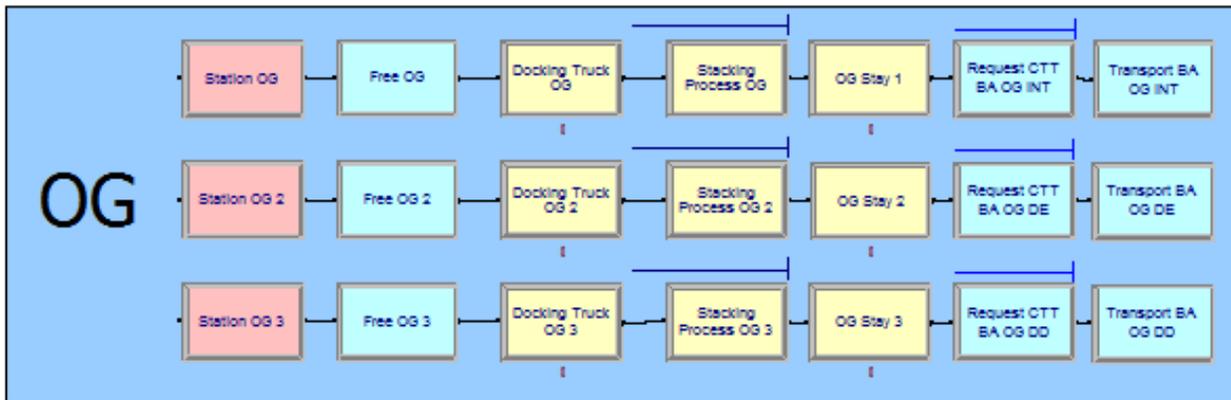
Lampiran E. 5 Model Simulasi Penumpukan Blok MT



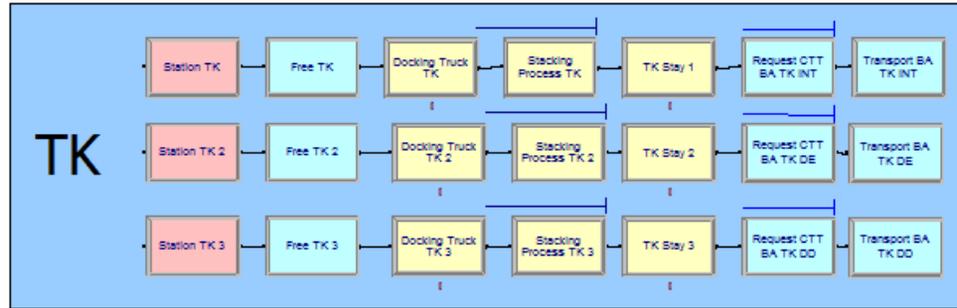
Lampiran E. 6 Model Simulasi Penumpukan Blok RF



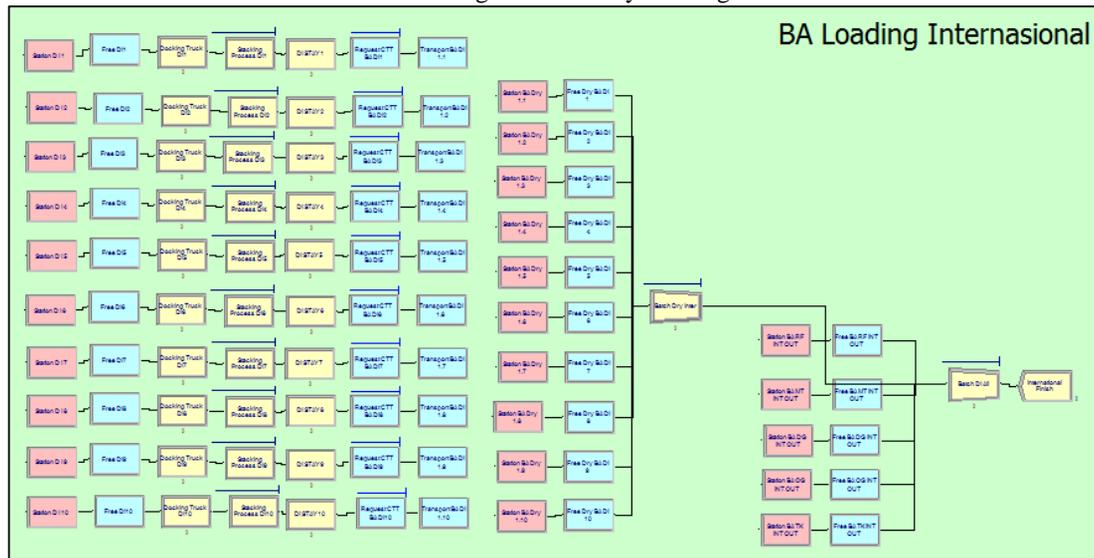
Lampiran E. 7 Model Simulasi Penumpukan Blok RF



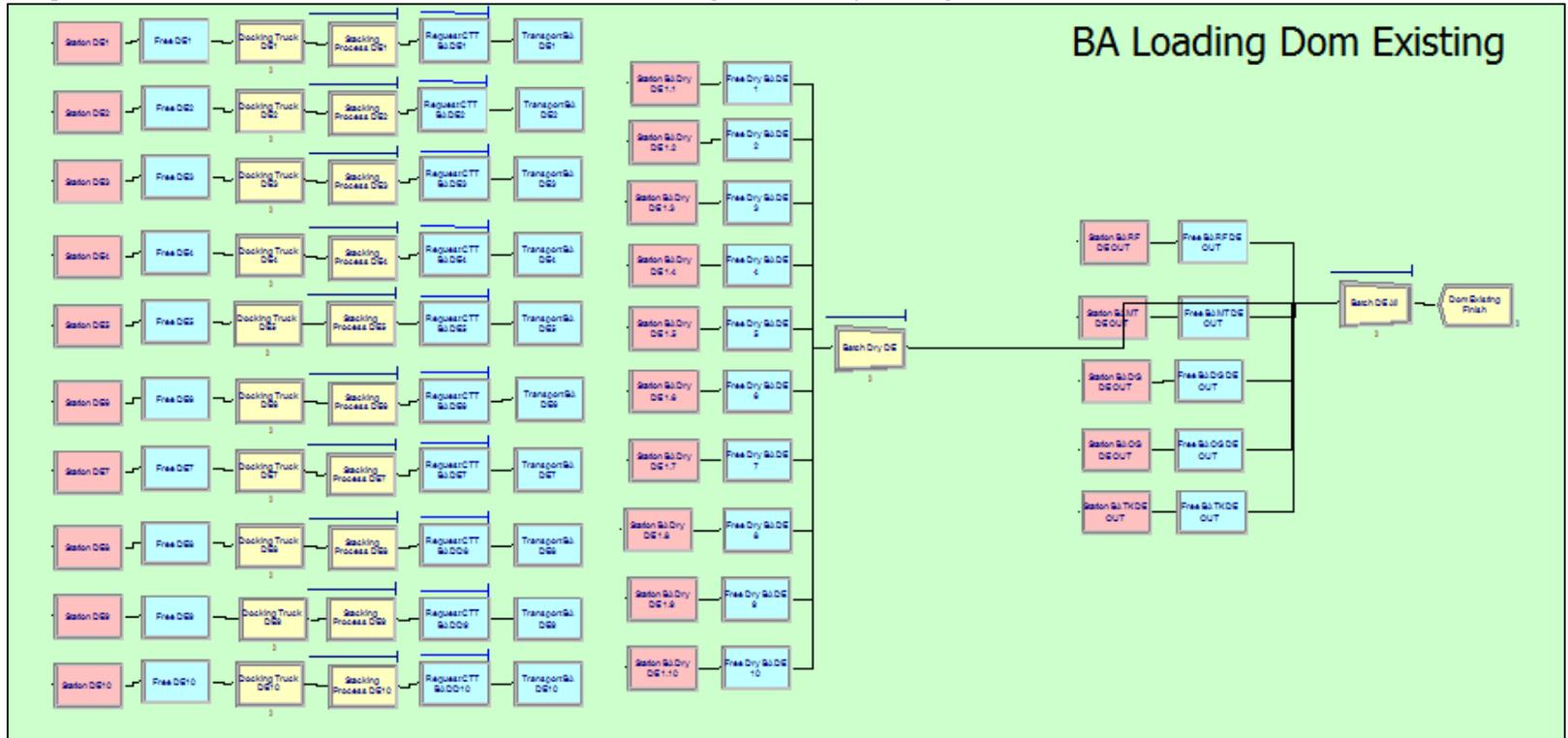
Lampiran E. 8 Model Simulasi Penumpukan Blok TK



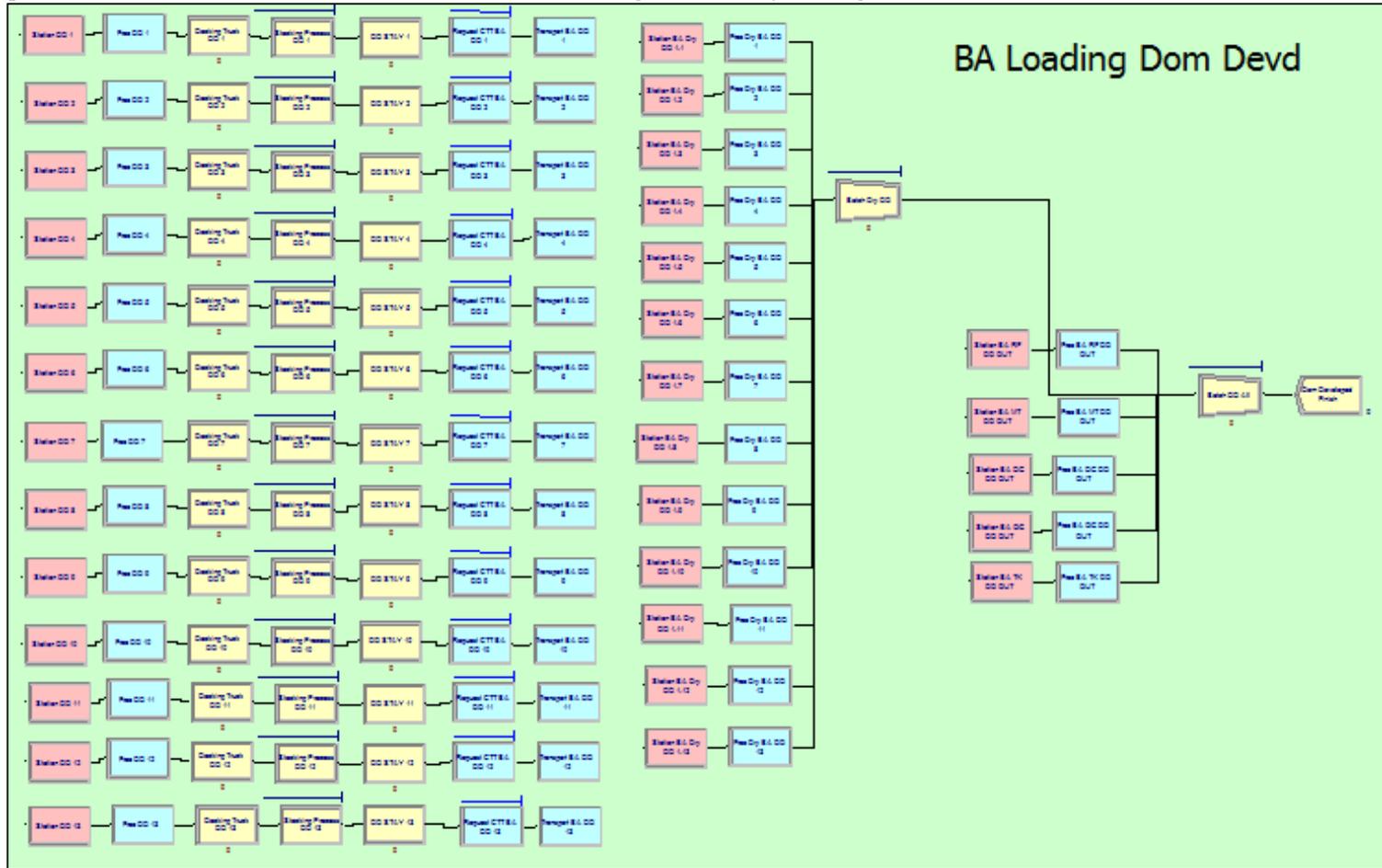
Lampiran E. 9 Model Simulasi Muat dan Proses Container Handling CY Blok Dry Dermaga Internasional



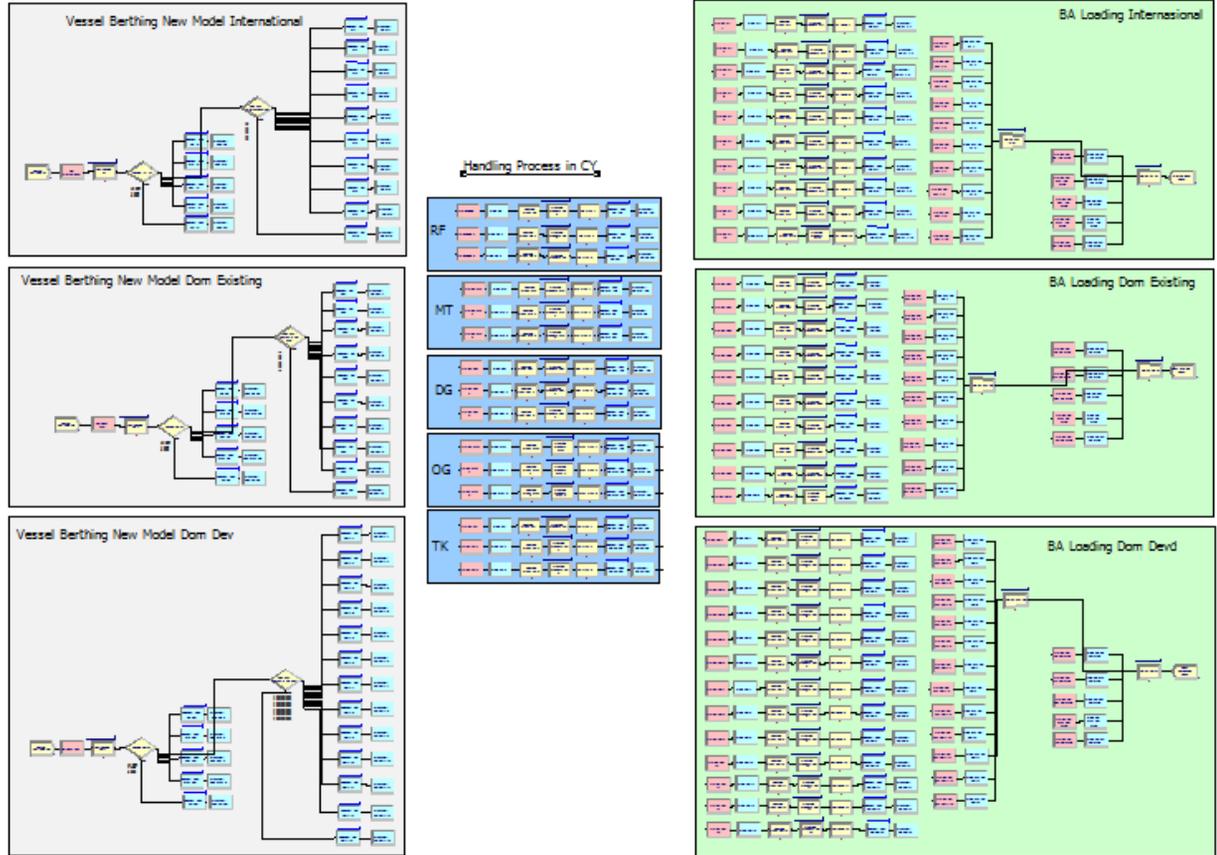
Lampiran E. 10 Model Simulasi Muat dan Proses Container Handling CY Blok Dry Dermaga Domestik 2



Lampiran E. 11 Model Simulasi Muat dan Proses Container Handling CY Blok Dry Dermaga Domestik 1



Lampiran E. 12 Model Simulasi Gabungan



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN F

### Hasil Running Simulasi Model Eksisting

Lampiran F. 1 Rangkuman hasil simulasi kondisi eksisting

Replikasi	Simulasi (TEUs)	Replikasi	Simulasi (TEUs)	Replikasi.	Simulasi (TEUs)
1	43,380	13	42,326	25	52,540
2	31,598	14	34,270	26	36,602
3	52,752	15	42,330	27	27,450
4	18,248	16	31,852	28	40,878
5	35,788	17	52,022	29	30,472
6	40,938	18	42,692	30	48,846
7	56,438	19	67,864	31	38,630
8	36,816	20	46,868	32	43,928
9	42,718	21	35,764	33	29,720
10	50,810	22	41,440	34	36,266
11	50,152	23	31,390	35	45,018
12	33,800	24	30,428		

Lampiran F. 2 Hasil simulasi kondisi eksisting tiap replikasi

#### ARENA Simulation Results

Widya Mahardika - License: 7328734345

Project: Unnamed Project  
 Run execution date : 7/15/2019  
 Analyst: Rockwell Automation  
 Model revision date: 7/15/2019

Replication ended at time : 696.0 Hours  
 Base Time Units: Hours

#### Summary for Replication 1 of 35

#### OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	39144.
Container.NumberOut	38568.
Dock.NumberSeized	19691.
Dock.ScheduledUtilization	.14142

ASC.NumberSeized	19456.
ASC.ScheduledUtilization	.37271
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	19284.

Summary for Replication 2 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	49144.
Container.NumberOut	49144.
Dock.NumberSeized	24572.
Dock.ScheduledUtilization	.17578
ASC.NumberSeized	24572.
ASC.ScheduledUtilization	.47073
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	24572.

Summary for Replication 3 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	39638.
Container.NumberOut	39638.
Dock.NumberSeized	19819.
Dock.ScheduledUtilization	.14168
ASC.NumberSeized	19819.
ASC.ScheduledUtilization	.37967
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	19819.

Summary for Replication 4 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
------------	-------

Container.NumberIn	15535.
Container.NumberOut	14238.
Dock.NumberSeized	7815.0
Dock.ScheduledUtilization	.05553
ASC.NumberSeized	7344.0
ASC.ScheduledUtilization	.14069
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	7119.0

Summary for Replication 5 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	45820.
Container.NumberOut	45820.
Dock.NumberSeized	22910.
Dock.ScheduledUtilization	.16386
ASC.NumberSeized	22910.
ASC.ScheduledUtilization	.43888
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	22910.

Summary for Replication 6 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	18098.
Container.NumberOut	18098.
Dock.NumberSeized	9049.0
Dock.ScheduledUtilization	.06466
ASC.NumberSeized	9049.0
ASC.ScheduledUtilization	.17335
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	9049.0

Summary for Replication 7 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	50190.
Container.NumberOut	50190.
Dock.NumberSeized	25095.
Dock.ScheduledUtilization	.17969
ASC.NumberSeized	25095.
ASC.ScheduledUtilization	.48074
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	25095.

Summary for Replication 8 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	25468.
Container.NumberOut	25468.
Dock.NumberSeized	12734.
Dock.ScheduledUtilization	.09166
ASC.NumberSeized	12734.
ASC.ScheduledUtilization	.24395
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	12734.

Summary for Replication 9 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	39864.
Container.NumberOut	39312.
Dock.NumberSeized	19967.
Dock.ScheduledUtilization	.14218
ASC.NumberSeized	19900.

ASC.ScheduledUtilization	.38122
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	19656.

Summary for Replication 10 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	27239.
Container.NumberOut	26664.
Dock.NumberSeized	13677.
Dock.ScheduledUtilization	.09801
ASC.NumberSeized	13565.
ASC.ScheduledUtilization	.25985
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	13332.

Summary for Replication 11 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	52368.
Container.NumberOut	52016.
Dock.NumberSeized	26184.
Dock.ScheduledUtilization	.18800
ASC.NumberSeized	26184.
ASC.ScheduledUtilization	.50160
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	26008.

Summary for Replication 12 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
------------	-------

Container.NumberIn	32119.
Container.NumberOut	31552.
Dock.NumberSeized	15776.
Dock.ScheduledUtilization	.11185
ASC.NumberSeized	15776.
ASC.ScheduledUtilization	.30222
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	15776.

Summary for Replication 13 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	52588.
Container.NumberOut	52222.
Dock.NumberSeized	26111.
Dock.ScheduledUtilization	.18691
ASC.NumberSeized	26111.
ASC.ScheduledUtilization	.50021
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	26111.

Summary for Replication 14 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	16260.
Container.NumberOut	16260.
Dock.NumberSeized	8130.0
Dock.ScheduledUtilization	.05824
ASC.NumberSeized	8130.0
ASC.ScheduledUtilization	.15575
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	8130.0

Summary for Replication 15 of 35

## OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	53346.
Container.NumberOut	51914.
Dock.NumberSeized	26392.
Dock.ScheduledUtilization	.18754
ASC.NumberSeized	26109.
ASC.ScheduledUtilization	.50018
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	25957.

Summary for Replication 16 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	28630.
Container.NumberOut	28630.
Dock.NumberSeized	14315.
Dock.ScheduledUtilization	.10190
ASC.NumberSeized	14315.
ASC.ScheduledUtilization	.27423
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	14315.

Summary for Replication 17 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	29588.
Container.NumberOut	29588.
Dock.NumberSeized	14794.
Dock.ScheduledUtilization	.10616
ASC.NumberSeized	14794.
ASC.ScheduledUtilization	.28341

STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	14794.

Summary for Replication 18 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	41516.
Container.NumberOut	41516.
Dock.NumberSeized	20758.
Dock.ScheduledUtilization	.14804
ASC.NumberSeized	20758.
ASC.ScheduledUtilization	.39766
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	20758.

Summary for Replication 19 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	34914.
Container.NumberOut	34914.
Dock.NumberSeized	17457.
Dock.ScheduledUtilization	.12553
ASC.NumberSeized	17457.
ASC.ScheduledUtilization	.33442
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	17457.

Summary for Replication 20 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	36321.
Container.NumberOut	35770.
Dock.NumberSeized	18205.
Dock.ScheduledUtilization	.13081
ASC.NumberSeized	18120.
ASC.ScheduledUtilization	.34711
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	17885.

Summary for Replication 21 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	47276.
Container.NumberOut	47276.
Dock.NumberSeized	23638.
Dock.ScheduledUtilization	.16854
ASC.NumberSeized	23638.
ASC.ScheduledUtilization	.45283
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	23638.

Summary for Replication 22 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	31068.
Container.NumberOut	31068.
Dock.NumberSeized	15534.
Dock.ScheduledUtilization	.11038
ASC.NumberSeized	15534.

ASC.ScheduledUtilization	.29758
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	15534.

Summary for Replication 23 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	33830.
Container.NumberOut	33830.
Dock.NumberSeized	16915.
Dock.ScheduledUtilization	.12073
ASC.NumberSeized	16915.
ASC.ScheduledUtilization	.32404
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	16915.

Summary for Replication 24 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	43834.
Container.NumberOut	43834.
Dock.NumberSeized	21917.
Dock.ScheduledUtilization	.15748
ASC.NumberSeized	21917.
ASC.ScheduledUtilization	.41987
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	21917.

Summary for Replication 25 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	62936.
Container.NumberOut	62936.
Dock.NumberSeized	31468.
Dock.ScheduledUtilization	.22503
ASC.NumberSeized	31468.
ASC.ScheduledUtilization	.60284
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	31468.

Summary for Replication 26 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	26968.
Container.NumberOut	26968.
Dock.NumberSeized	13484.
Dock.ScheduledUtilization	.09703
ASC.NumberSeized	13484.
ASC.ScheduledUtilization	.25831
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	13484.

Summary for Replication 27 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	32245.
Container.NumberOut	31250.
Dock.NumberSeized	16383.
Dock.ScheduledUtilization	.11779

ASC.NumberSeized	15864.
ASC.ScheduledUtilization	.30390
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	15625.

Summary for Replication 28 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	31090.
Container.NumberOut	31090.
Dock.NumberSeized	15545.
Dock.ScheduledUtilization	.11128
ASC.NumberSeized	15545.
ASC.ScheduledUtilization	.29779
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	15545.

Summary for Replication 29 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	51882.
Container.NumberOut	51882.
Dock.NumberSeized	25941.
Dock.ScheduledUtilization	.18494
ASC.NumberSeized	25941.
ASC.ScheduledUtilization	.49696
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	25941.

Summary for Replication 30 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	40552.
Container.NumberOut	40552.
Dock.NumberSeized	20276.
Dock.ScheduledUtilization	.14329
ASC.NumberSeized	20276.
ASC.ScheduledUtilization	.38842
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	20276.

Summary for Replication 31 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	40430.
Container.NumberOut	40430.
Dock.NumberSeized	20215.
Dock.ScheduledUtilization	.14515
ASC.NumberSeized	20215.
ASC.ScheduledUtilization	.38727
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	20215.

Summary for Replication 32 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	39386.
Container.NumberOut	39094.
Dock.NumberSeized	19622.
Dock.ScheduledUtilization	.14034

ASC.NumberSeized	19574.
ASC.ScheduledUtilization	.37497
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	19547.

Summary for Replication 33 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	33082.
Container.NumberOut	33082.
Dock.NumberSeized	16541.
Dock.ScheduledUtilization	.11672
ASC.NumberSeized	16541.
ASC.ScheduledUtilization	.31688
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	16541.

Summary for Replication 35 of 35  
OUTPUTS

Identifier	Value
Container.NumberIn	46468.
Container.NumberOut	46468.
Dock.NumberSeized	23234.
Dock.ScheduledUtilization	.16568
ASC.NumberSeized	23234.
ASC.ScheduledUtilization	.44510
STS.NumberSeized	.00000
STS.ScheduledUtilization	.00000
System.NumberOut	23234.

Output Summary for 35 Replications  
OUTPUTS

Identifier Replications	Average	Half-width	Minimum	Maximum	#
Container.NumberIn	38006.	3825.4	15535.	62936.	35
Container.NumberOut	37790.	3837.6	14238.	62936.	35
Dock.NumberSeized	18995.	1905.2	7815.0	31468.	35
Dock.ScheduledUtilization	.13575	.01361	.05553	.22503	35
ASC.NumberSeized	18943.	1914.7	7344.0	31468.	35
ASC.ScheduledUtilization	.36291	.03668	.14069	.60284	35
STS.NumberSeized	.00000	.00000	.00000	.00000	35
STS.ScheduledUtilization	.00000	.00000	.00000	.00000	35
System.NumberOut	18895.	1918.8	7119.0	31468.	35

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

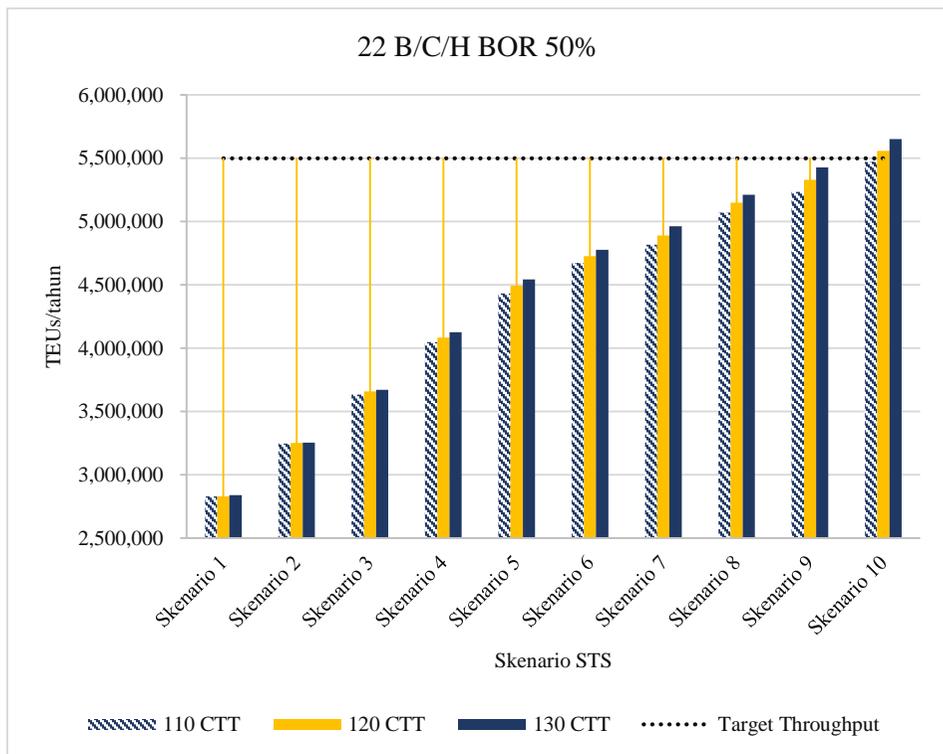
## LAMPIRAN G

### Hasil *Running* Simulasi Model Pengembangan

#### PERFORMA 22 B/C/H

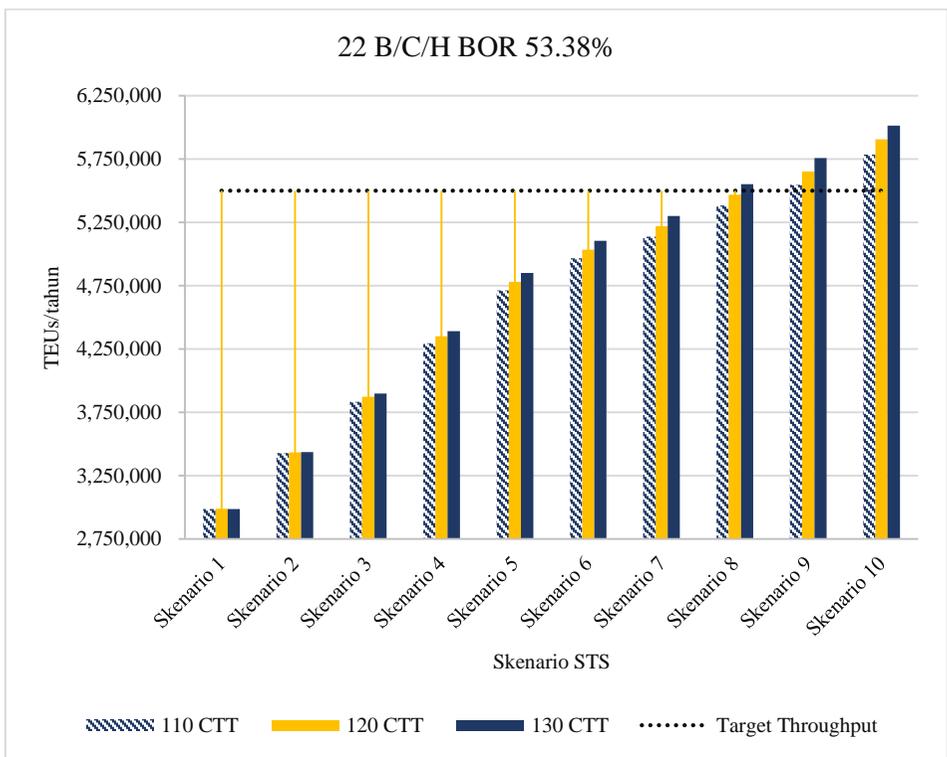
Lampiran G. 1 Hasil simulasi pada performa STS 22 B/C/H kondisi BOR 50%

Skenario	110 CTT	120 CTT	130 CTT	Limit
Skenario 1	2,829,723	2,828,263	2,838,483	5500000
Skenario 2	3,246,675	3,250,933	3,253,853	5500000
Skenario 3	3,633,332	3,657,300	3,670,197	5500000
Skenario 4	4,048,458	4,082,890	4,125,960	5500000
Skenario 5	4,433,168	4,491,690	4,541,938	5500000
Skenario 6	4,673,460	4,725,412	4,777,242	5500000
Skenario 7	4,817,027	4,889,905	4,963,392	5500000
Skenario 8	5,071,797	5,149,785	5,211,227	5500000
Skenario 9	5,235,073	5,330,095	5,427,550	5500000
Skenario 101	5,472,810	5,558,098	5,652,512	5500000



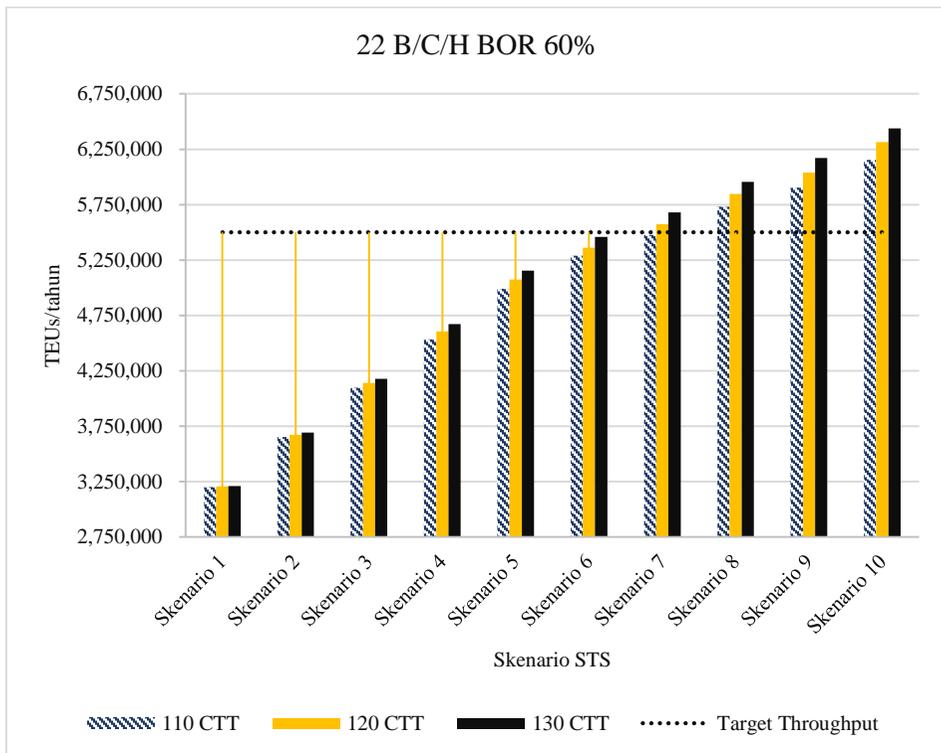
Lampiran G. 2 Hasil simulasi pada performa STS 22 B/C/H kondisi BOR 53.38%

Skenario	110 CTT	120 CTT	130 CTT
Skenario 1	2,987,890	2,989,350	2,986,552
Skenario 2	3,430,148	3,433,555	3,436,718
Skenario 3	3,834,203	3,872,650	3,898,443
Skenario 4	4,296,415	4,350,678	4,391,437
Skenario 5	4,712,393	4,779,918	4,850,242
Skenario 6	4,967,407	5,035,905	5,105,133
Skenario 7	5,138,227	5,219,865	5,300,895
Skenario 8	5,383,872	5,470,620	5,553,353
Skenario 9	5,546,418	5,652,390	5,759,092
Skenario 10	5,785,980	5,907,890	6,015,808



Lampiran G. 3 Hasil simulasi pada performa STS 22 B/C/H kondisi BOR 60%

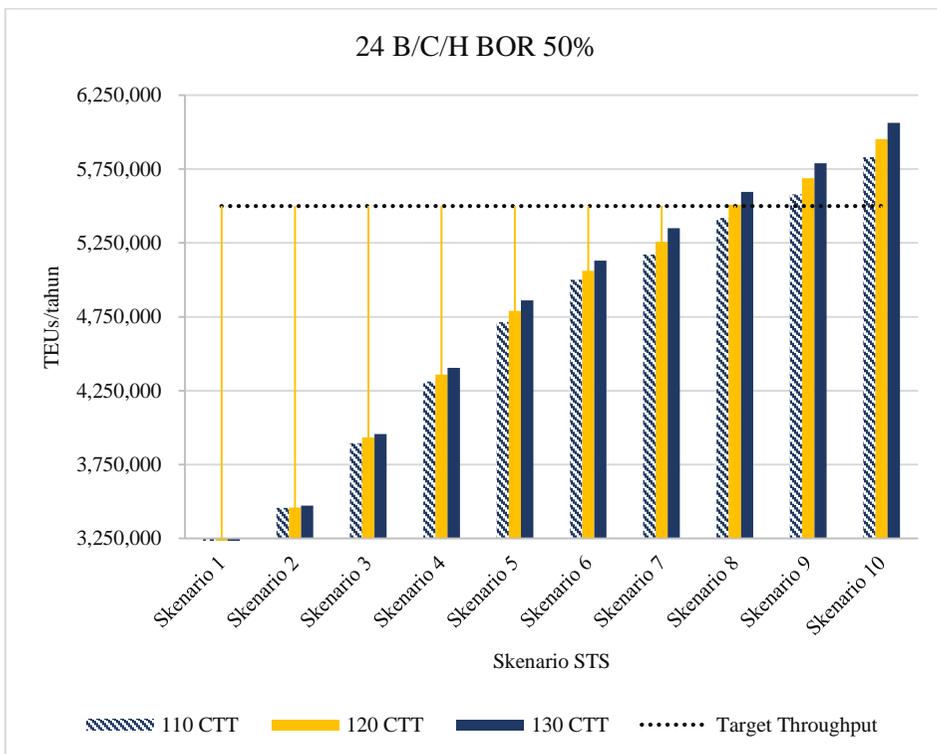
Skenario	110 CTT	120 CTT	130 CTT
Skenario 1	3,202,200	3,206,400	3,209,280
Skenario 2	3,651,360	3,673,680	3,693,600
Skenario 3	4,097,160	4,139,760	4,178,760
Skenario 4	4,535,040	4,607,280	4,670,640
Skenario 5	4,990,440	5,074,680	5,153,280
Skenario 6	5,290,080	5,360,880	5,457,840
Skenario 7	5,475,240	5,574,960	5,680,200
Skenario 8	5,733,120	5,847,360	5,954,400
Skenario 9	5,905,080	6,038,760	6,170,040
Skenario 10	6,152,880	6,315,840	6,438,360



### PERFORMA 24 B/C/H

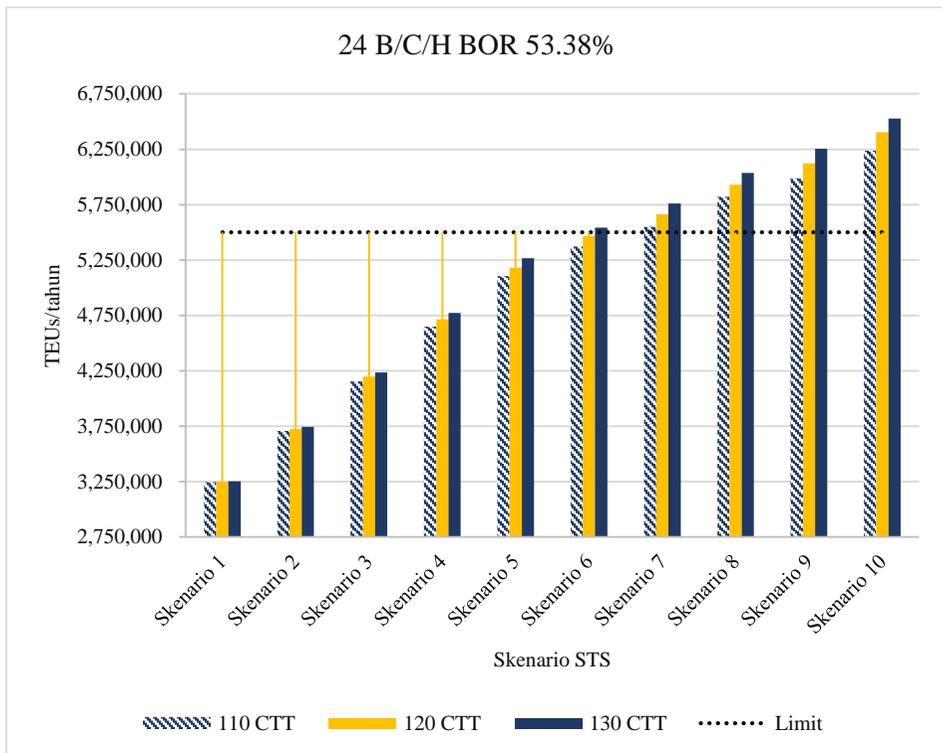
Lampiran G. 4 Hasil simulasi pada performa STS 24 B/C/H kondisi BOR 50%

Skenario	110 CTT	120 CTT	130 CTT
Skenario 1	3,013,200	3,020,040	3,021,480
Skenario 2	3,456,480	3,459,480	3,472,800
Skenario 3	3,894,360	3,931,800	3,956,520
Skenario 4	4,311,360	4,358,280	4,405,080
Skenario 5	4,715,160	4,789,200	4,860,840
Skenario 6	5,001,240	5,060,520	5,129,760
Skenario 7	5,171,880	5,257,080	5,349,360
Skenario 8	5,418,960	5,509,680	5,596,680
Skenario 9	5,578,080	5,687,400	5,790,360
Skenario 10	5,831,280	5,953,560	6,063,360



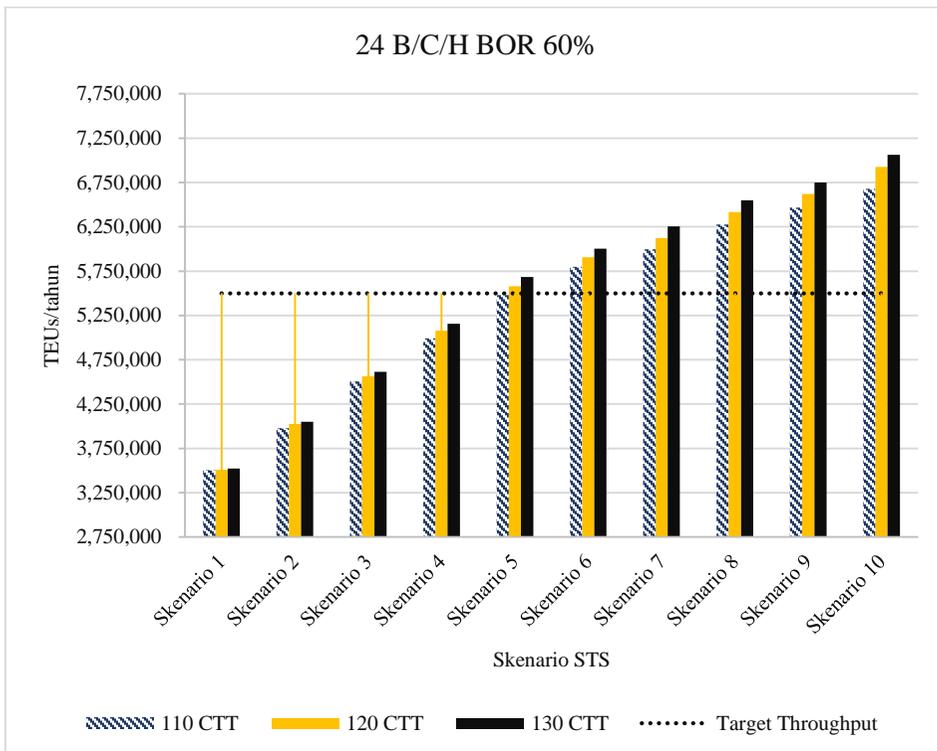
Lampiran G. 5 Hasil simulasi pada performa STS 24 B/C/H kondisi BOR 53.38%

Skenario	110 CTT	120 CTT	130 CTT
Skenario 1	3,245,580	3,247,527	3,253,853
Skenario 2	3,707,548	3,724,703	3,744,900
Skenario 3	4,156,012	4,197,257	4,236,798
Skenario 4	4,648,153	4,715,435	4,772,010
Skenario 5	5,105,133	5,181,662	5,266,342
Skenario 6	5,372,678	5,468,430	5,541,308
Skenario 7	5,551,772	5,661,637	5,759,092
Skenario 8	5,819,803	5,928,573	6,037,100
Skenario 9	5,987,095	6,122,632	6,255,735
Skenario 10	6,238,337	6,403,560	6,527,782



Lampiran G. 6 Hasil simulasi pada performa STS 24 B/C/H kondisi BOR 60%

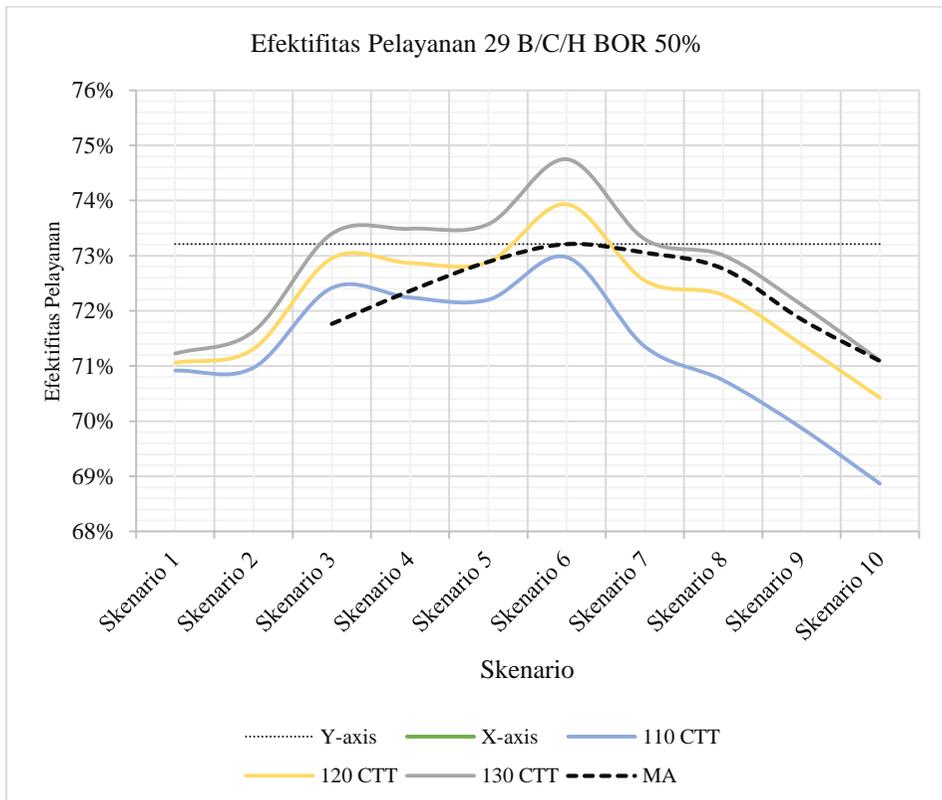
Skenario	110 CTT	120 CTT	130 CTT
Skenario 1	3,504,487	3,506,920	3,521,033
Skenario 2	3,978,622	4,023,517	4,048,702
Skenario 3	4,505,317	4,565,420	4,614,817
Skenario 4	4,992,713	5,075,933	5,155,138
Skenario 5	5,480,475	5,578,782	5,684,632
Skenario 6	5,798,268	5,906,552	6,002,182
Skenario 7	5,995,388	6,122,632	6,255,735
Skenario 8	6,277,766	6,416,457	6,549,195
Skenario 9	6,466,063	6,622,438	6,749,458
Skenario 10	6,676,702	6,926,240	7,061,777

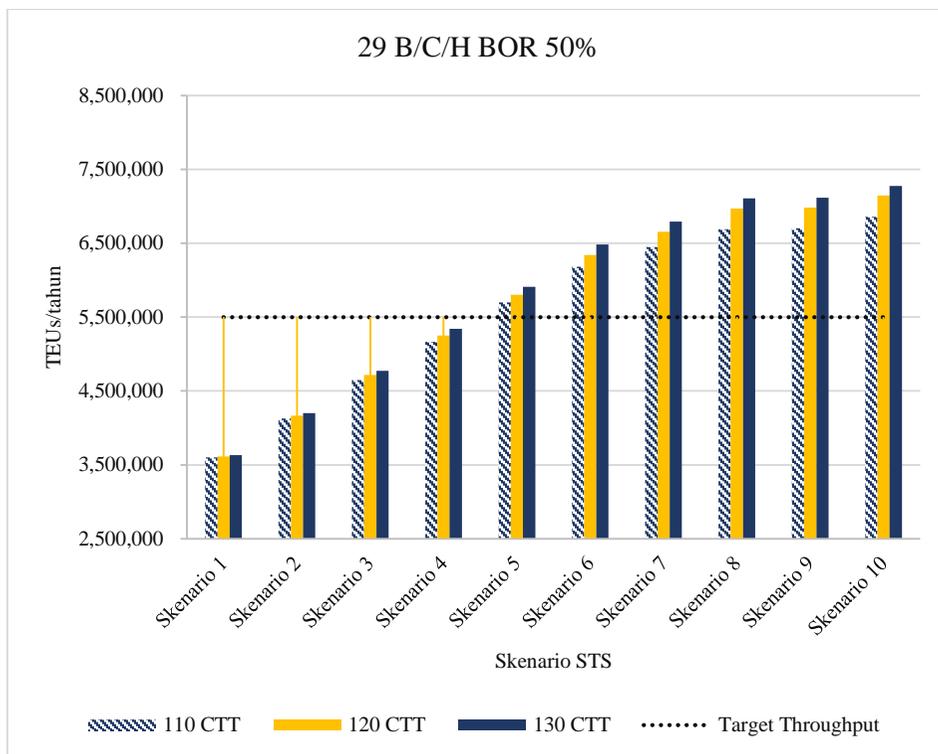


### Performa 29 B/C/H

Lampiran G. 7 Hasil simulasi pada performa STS 29 B/C/H kondisi BOR 50%

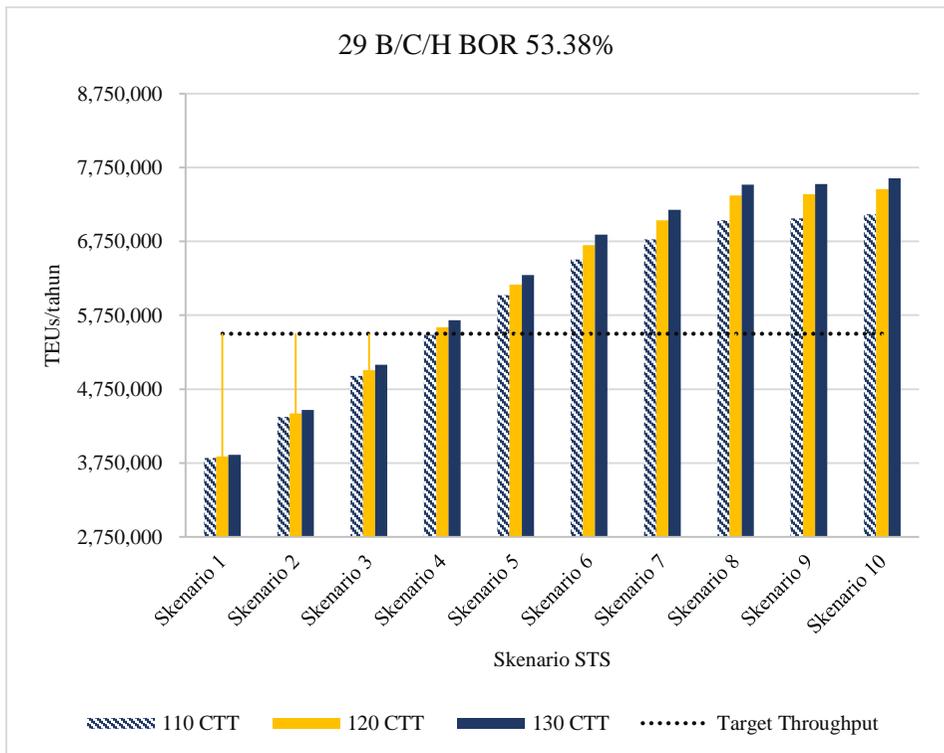
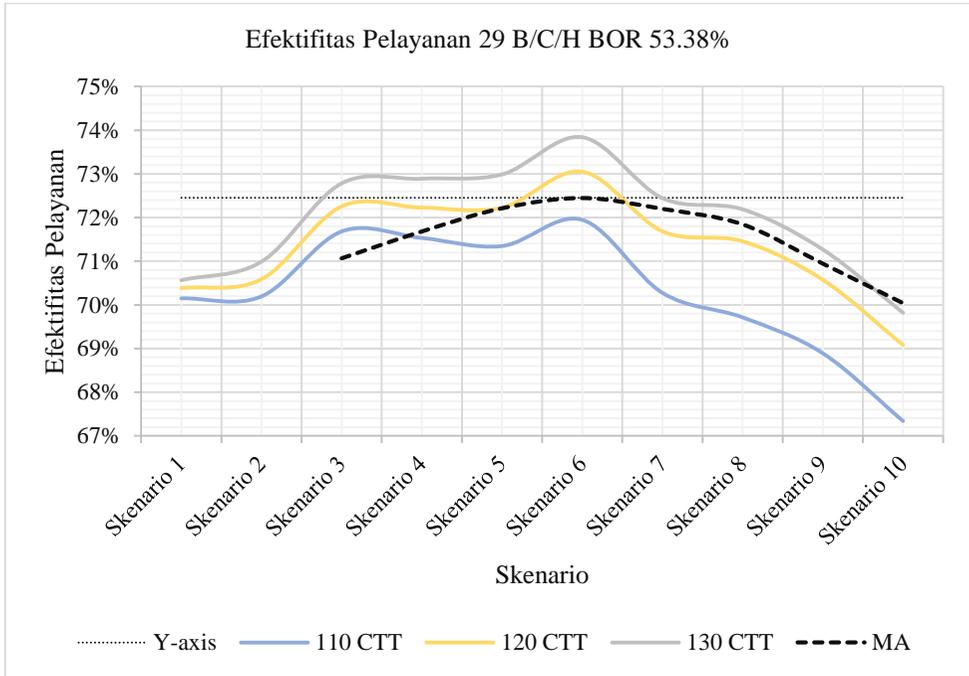
Skenario	110 CTT	120 CTT	130 CTT
Skenario 1	3,600,360	3,613,622	3,630,168
Skenario 2	4,126,447	4,164,163	4,199,690
Skenario 3	4,648,153	4,715,435	4,772,010
Skenario 4	5,166,453	5,252,593	5,340,923
Skenario 5	5,698,867	5,804,473	5,912,027
Skenario 6	6,182,857	6,342,970	6,482,400
Skenario 7	6,447,725	6,657,357	6,792,528
Skenario 8	6,688,868	6,970,892	7,106,063
Skenario 9	6,704,563	6,982,693	7,118,595
Skenario 10	6,856,525	7,147,552	7,278,100





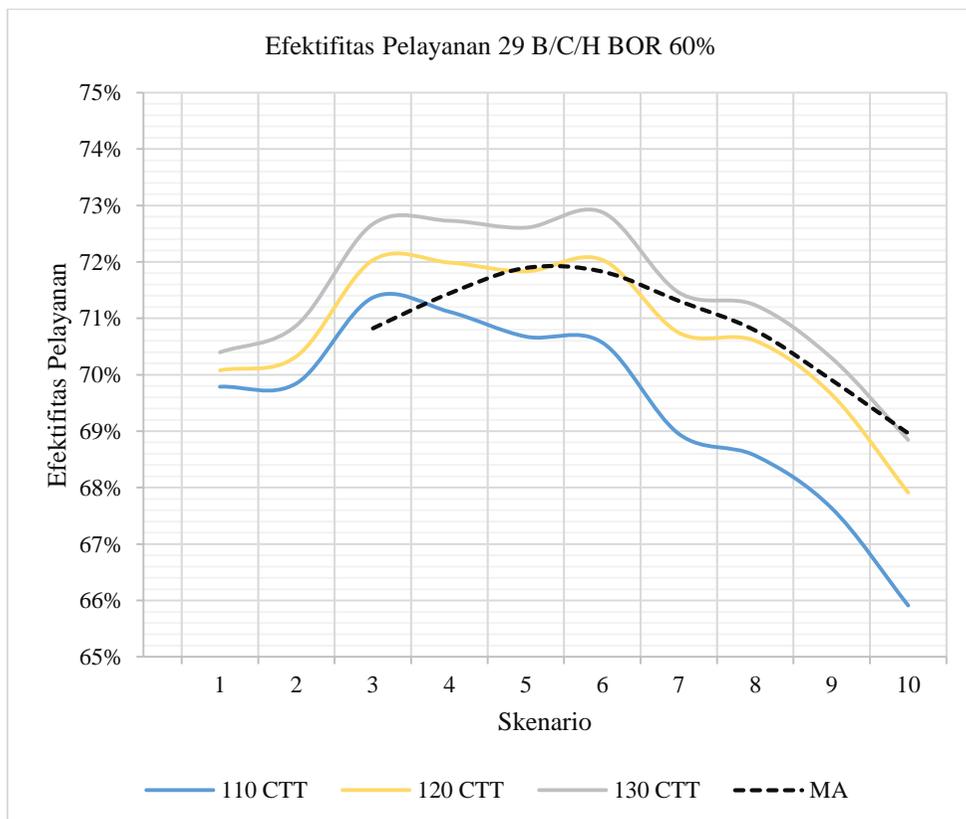
Lampiran G. 8 Hasil simulasi pada performa STS 29 B/C/H kondisi BOR 53.38%

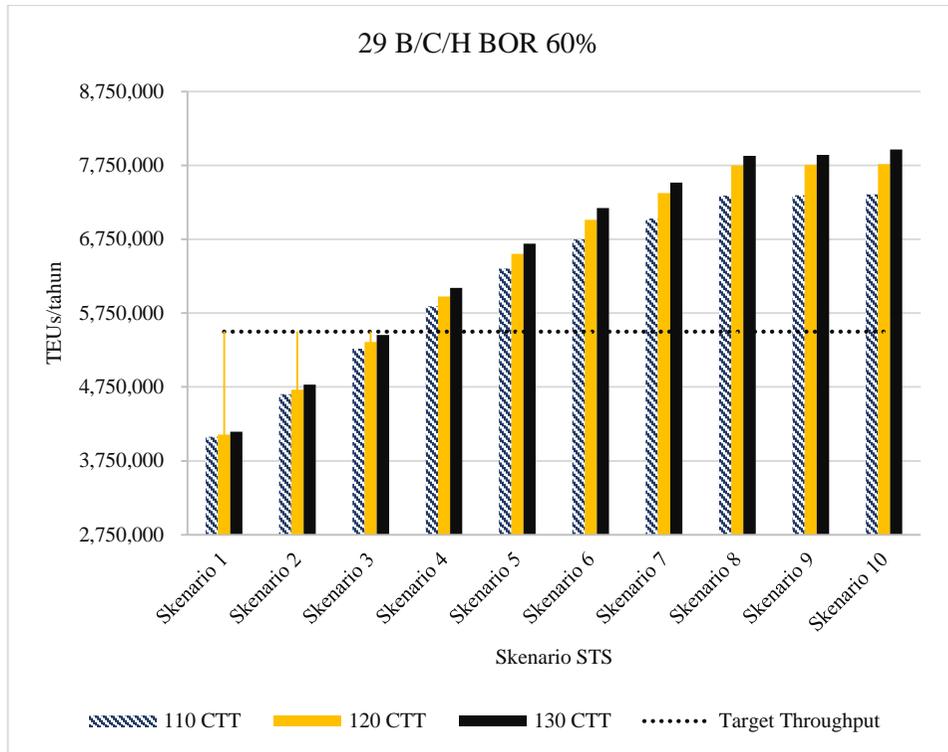
Skenario	110 CTT	120 CTT	130 CTT
Skenario 1	3,816,197	3,839,922	3,858,415
Skenario 2	4,371,970	4,418,812	4,466,262
Skenario 3	4,930,785	5,007,070	5,077,758
Skenario 4	5,482,543	5,585,838	5,684,632
Skenario 5	6,024,568	6,166,918	6,293,938
Skenario 6	6,505,638	6,700,427	6,842,777
Skenario 7	6,775,617	7,036,227	7,179,307
Skenario 8	7,036,957	7,372,757	7,518,878
Skenario 9	7,062,628	7,387,843	7,526,908
Skenario 10	7,115,432	7,456,220	7,605,748



Lampiran G. 9 Hasil simulasi pada performa STS 29 B/C/H kondisi BOR 60%

	110 CTT	120 CTT	130 CTT
Skenario 1	4,075,320	4,107,120	4,142,160
Skenario 2	4,654,320	4,714,440	4,783,800
Skenario 3	5,267,040	5,361,000	5,453,400
Skenario 4	5,840,520	5,973,480	6,092,520
Skenario 5	6,353,040	6,552,360	6,689,760
Skenario 6	6,745,680	7,015,200	7,174,800
Skenario 7	7,031,280	7,376,160	7,518,600
Skenario 8	7,339,200	7,749,960	7,881,360
Skenario 9	7,344,720	7,757,640	7,893,000
Skenario 10	7,359,360	7,766,640	7,964,280

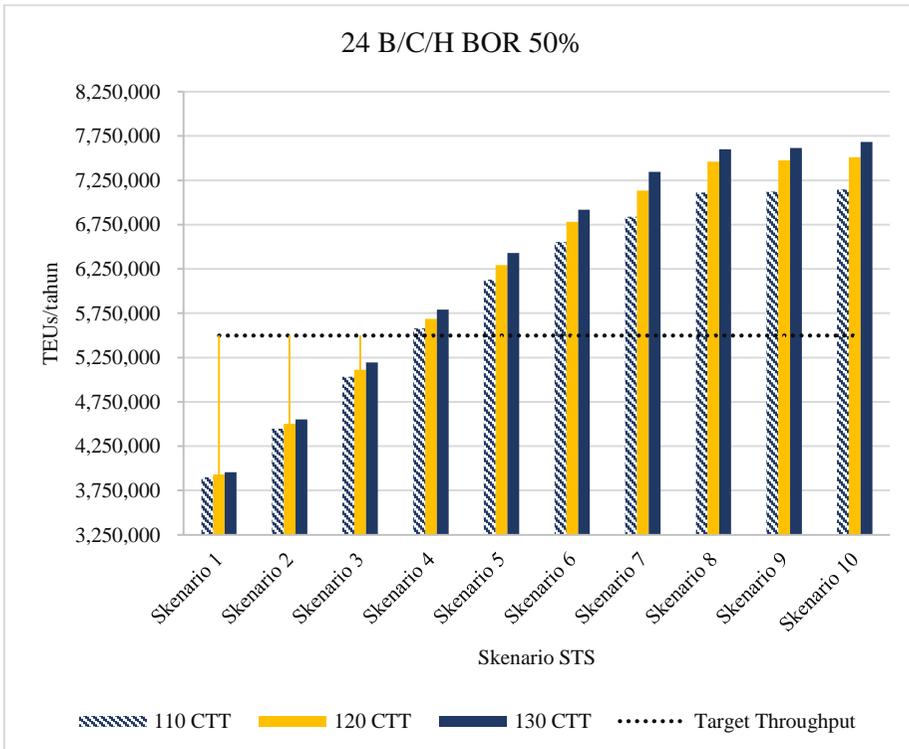
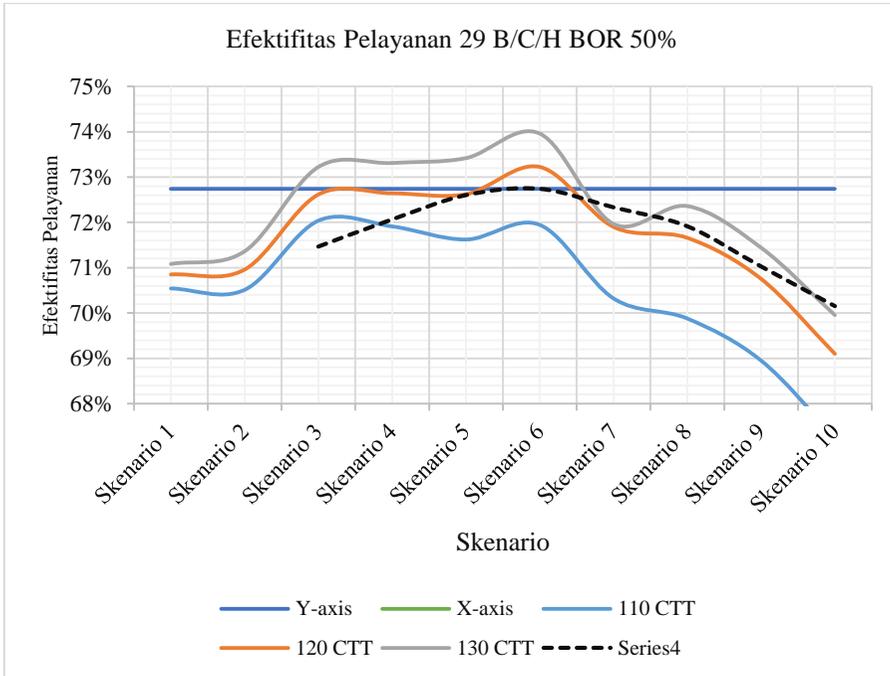




### PERFORMA 32 B/C/H

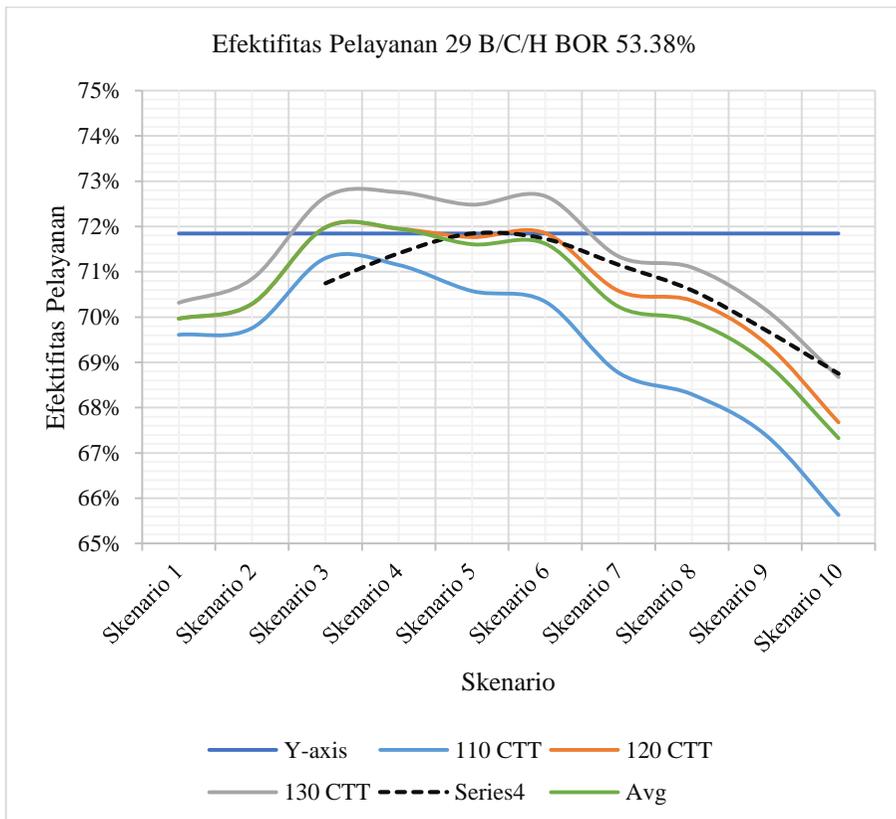
Lampiran G. 10 Hasil simulasi pada performa STS 32 B/C/H kondisi BOR 50%

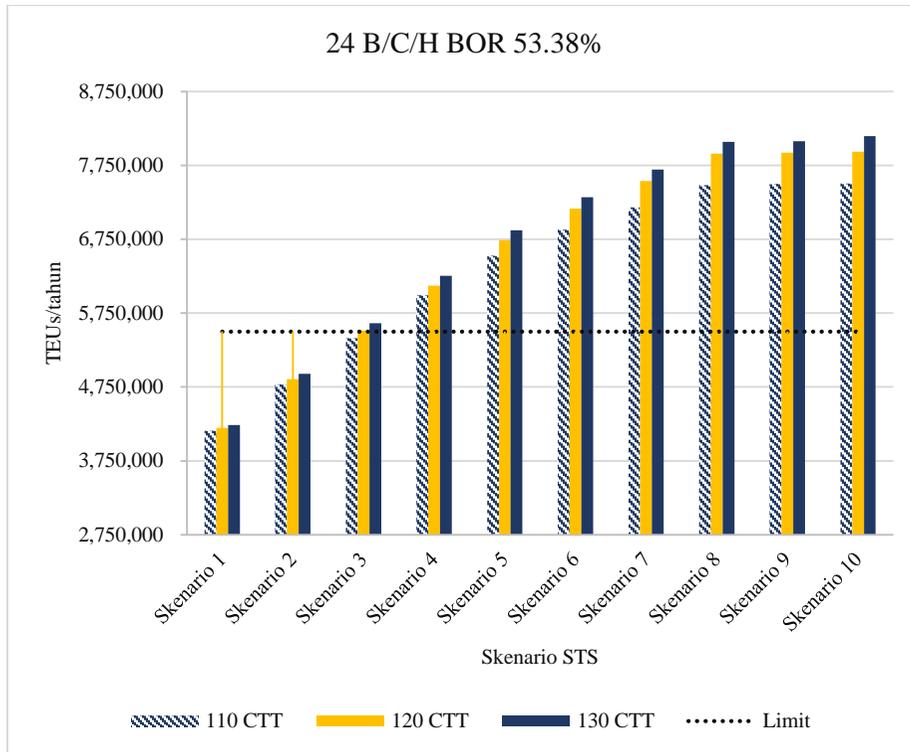
Skenario	110 CTT	120 CTT	130 CTT
Skenario 1	3,899,520	3,931,800	3,956,520
Skenario 2	4,449,240	4,502,880	4,551,600
Skenario 3	5,032,680	5,110,680	5,194,200
Skenario 4	5,577,360	5,687,400	5,790,360
Skenario 5	6,127,200	6,293,160	6,428,280
Skenario 6	6,553,920	6,781,440	6,916,440
Skenario 7	6,837,600	7,132,320	7,344,480
Skenario 8	7,111,320	7,458,720	7,599,960
Skenario 9	7,121,400	7,474,440	7,613,520
Skenario 10	7,148,880	7,509,600	7,683,960



Lampiran G. 11 Hasil simulasi pada performa STS 32 B/C/H kondisi BOR 53.38%

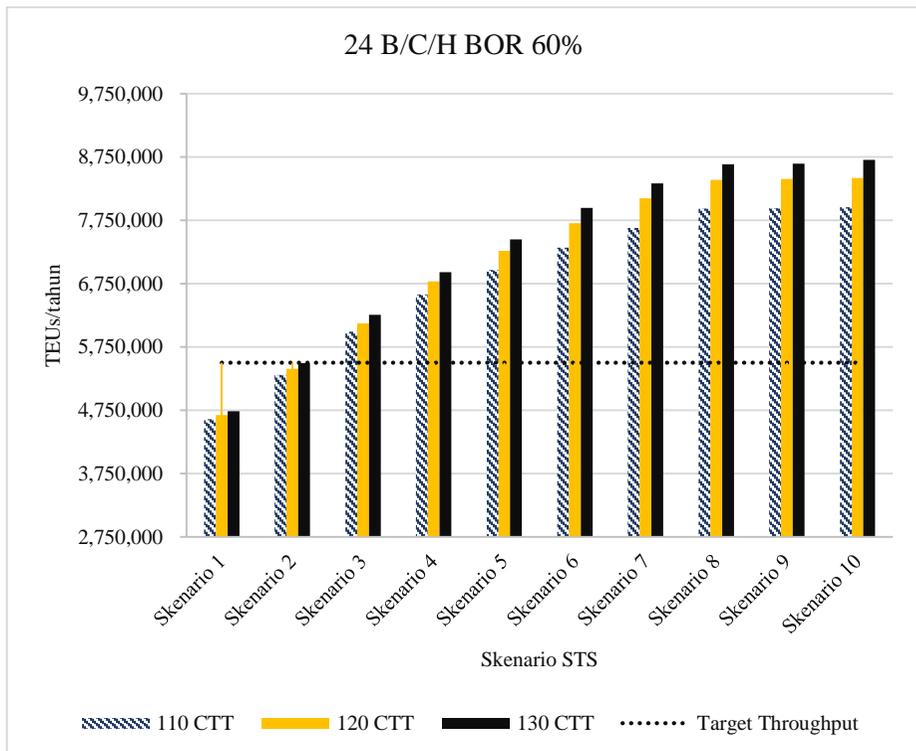
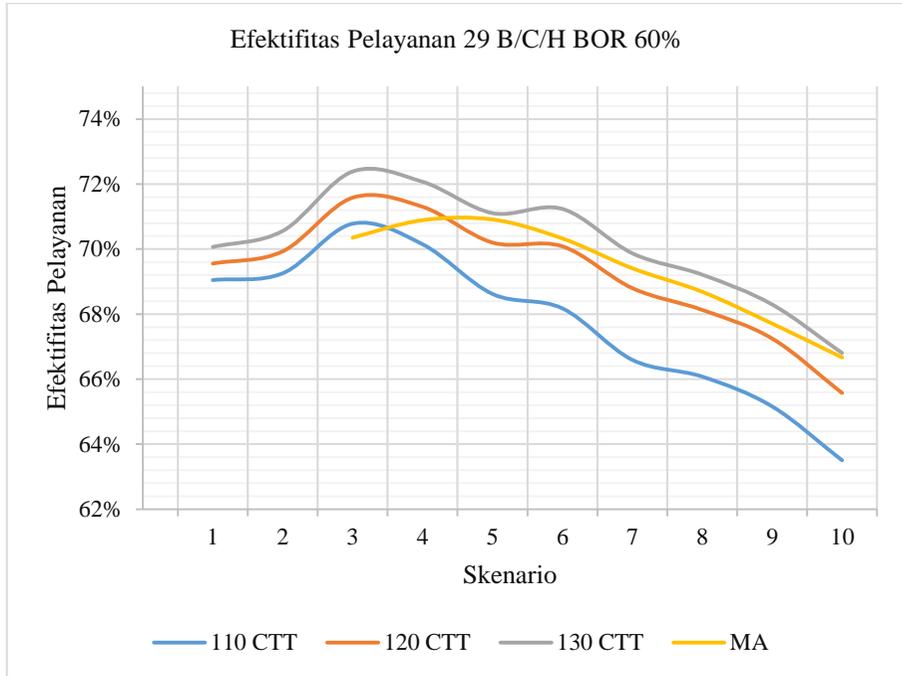
Skenario	110 CTT	120 CTT	130 CTT
Skenario 1	4,157,350	4,197,257	4,236,798
Skenario 2	4,787,218	4,855,717	4,928,352
Skenario 3	5,412,950	5,512,717	5,611,632
Skenario 4	5,992,448	6,122,632	6,255,735
Skenario 5	6,528,268	6,739,482	6,869,543
Skenario 6	6,877,938	7,162,395	7,320,440
Skenario 7	7,182,348	7,538,832	7,693,835
Skenario 8	7,483,595	7,910,767	8,067,838
Skenario 9	7,500,385	7,920,865	8,078,667
Skenario 10	7,506,347	7,933,153	8,147,652





Lampiran G. 12 Hasil simulasi pada performa STS 32 B/C/H kondisi BOR 60%

Skenario	110 CTT	120 CTT	130 CTT
Skenario 1	4,608,368	4,671,270	4,735,510
Skenario 2	5,306,978	5,403,703	5,495,075
Skenario 3	5,992,448	6,122,632	6,255,735
Skenario 4	6,581,072	6,786,932	6,928,430
Skenario 5	6,966,512	7,267,880	7,446,487
Skenario 6	7,318,372	7,702,352	7,943,252
Skenario 7	7,629,595	8,095,700	8,331,368
Skenario 8	7,935,465	8,386,970	8,633,953
Skenario 9	7,943,008	8,403,760	8,645,025
Skenario 10	7,958,095	8,419,333	8,704,155



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



I Gede Widya Mahardika (dilahirkan pada 24 September 1998) adalah anak pertama dari 2 bersaudara dari Gede Wiriana dan Ni Nengah Muliadi. Lahir dan dibesarkan di Semarapura Bali, penulis menyelesaikan sekolah di SMAN 2 Semarapura. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama masa perkuliahan, penulis pernah aktif di berbagai kegiatan dan organisasi dengan mengikuti Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, mengikuti organisasi kerohanian TPKH-ITS sebagai Kepala Departemen Media Kreatif, serta kegiatan intrakampus lainnya. Penulis pernah mengikuti kerja praktek di PT Orela Shipyard dan PT Wartsila Indonesia. Selama penelitian tugas akhir, penulis menjadi bagian sebagai member Laboratorium Marine Reliability and Safety (RAMS). Apabila ingin berdiskusi, penulis dapat dihubungi melalui email: [widyaklk@hotmail.com](mailto:widyaklk@hotmail.com).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*