



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENENTUAN RUTE DAN JADWAL PENGIRIMAN MULTI
PRODUK PADA DISTRIBUSI BAHAN BAKAR UNTUK
MENJAGA *SAFETY STOCK* DENGAN PENDEKATAN
BRANCH AND BOUND
(Studi Kasus Wilayah IV)**

TESIS

Tesis diajukan sebagai salah satu syarat
untuk mencapai gelar master pada
Fakultas Teknik
Universitas Indonesia

SLAMET HARIANTO

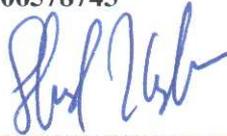
0906578743

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JULI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Slamet Harianto
NPM : 0906578743



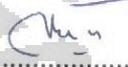
Tanda Tangan :
Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Slamet Harianto
NPM : 0906578743
Program Studi : Transportasi dan Logistik – Fakultas Teknik
Judul Tesis : Penentuan Rute dan Jadwal Pengiriman Multi Produk pada Distribusi Bahan Bakar untuk Menjaga *Safety Stock* dengan Pendekatan *Branch and Bound* (Studi Kasus Wilayah IV)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Transportasi dan Logistik, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ing. Amalia Suzianti, ST, Msc (.....) 
Pembimbing : Ir. Amar Rachman, MEIM (.....) 
Penguji : Prof. Dr. Ir. T. Yuri M. Z., M. EngSc (.....)
Penguji : Ir. M. Dachyar, MSc (.....)
Penguji : Ir. Yadrifil, MSc (.....) 
Penguji : Ir. Akhmad Hidayatno, MBT (.....) 

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal :

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Slamet Harianto
Tempat, Tanggal Lahir : Malang, 22 – 02 – 1979
Alamat : Grand Prima Bintara D5 No.23 Bintara Bekasi Barat

Pendidikan :

- a. SD SDN Ardimulyo 1 Singosari Malang (1985 – 1991)
- b. SLTP SLTP Negeri 1 Singosari (1991 – 1994)
- c. SMU SMU Negeri Lawang (1994 – 1997)
- d. S-1 Teknik Mesin – Universitas Brawijaya, Malang (1997 – 2002)



KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah dan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat atas rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan thesis ini. Penulisan thesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik pada Fakultas Teknik. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan thesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan thesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ing. Amalia Suzianti, ST, Msc selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini
- (2) Ir. Amar Rachman, MEIM, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini
- (3) Bapak Nurhadi Siswanto, sebagai rekan diskusi dalam penulisan program, Yuda Munarko atas bantuan jurnal terkini di bidang marine.
- (4) Istri tercinta Raditya Sari W. Widi dan putri tersayang Arcisha Alzan atas dukungan waktu dan moral yang diberikan.
- (5) PT Pertamina (Persero) selaku pemberi beasiswa.
- (6) Rekan-rekan S2 khusus Pertamina angkatan 2009

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu, Semoga thesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Salemba, Juni 2011

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Slamet Harianto
NPM : 0906578743
Program Studi : Transportasi dan Logistik
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Penentuan Rute dan Jadwal Pengiriman Multi Produk pada Distribusi Bahan Bakar untuk Menjaga *Safety Stock* dengan Pendekatan *Branch and Bound* (Studi Kasus Wilayah IV)

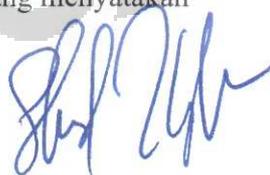
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan), Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pertanyaan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di :

Pada tanggal :

Yang menyatakan



(Slamet Harianto)

ABSTRAK

Nama : Slamet Harianto
Program Studi : Magister Teknik
Judul : Penentuan Rute dan Jadwal Pengiriman Multi Produk pada Distribusi Bahan Bakar untuk Menjaga *Safety Stock* dengan Pendekatan *Branch & Bound* (Studi Kasus Wilayah IV)

Tesis ini membuat model untuk menentukan rute dan jadwal pengiriman bahan bakar multi produk (Premium, Kerosene dan Solar) dengan menggunakan kapal heterogen untuk menjaga *safety stock* sehingga deviasi kapal dapat dihindari.

Terdapat dua depot yang mempunyai keterbatasan draft, konsumsi harian antar depot dan tiap produk berbeda. Suplai point dianggap tidak terbatas dan kapal yang digunakan adalah tipe Medium Range (MR) serta Genereal Purpose (GP).

Model ditulis dalam *commercial software* Lingo dengan penyelesaian menggunakan algoritma *Branch and Bound*. Pada wilayah operasi IV total 8 pelabuhan dan 3 *dedicated* kapal menunjukkan bahwa model dapat menjaga *safety stock* selama planning horizon dengan rute dan dan jadwal yang optimum.

Kata Kunci : *Multi produk*, Rute, Jadwal / *Schedule*, *Safety stock*, *Draft*, *Algoritma branch and bound*.

ABSTRACT

Name : Slamet Harianto
Program Study: Magister Teknik
Judul : Multi Product Routing and Scheduling for Distribution Fuel Oil to maintain safety stock using Branch and Bound Approach (Case Study Region IV)

This thesis formulates a model to determine the route and schedule delivery of multi-product fuel (Premium, Kerosene and Diesel) using heterogeneous ships to maintain safety stock so that the vessel deviation can be avoided.

There are two depots with limited draft, daily consumption between depot and each product is different. Supply point is considered infinite and the type of ship used in this case is Medium Range (MR) and General Purpose (GP).

Models written in commercial software LINGO and solve by Branch and Bound algorithm. For operation region IV with total 8 ports and three dedicated vessels showed that the model can maintain the safety stock during the planning horizon with optimum route and schedule.

Keywords: Multi-product, Routes, Schedules / Schedule, Safety stock, Draft, branch and bound algorithm.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv

1. PENDAHULUAN

1.1 Pokok Permasalahan.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan	5
1.3 Batasan Masalah.....	7
1.4 Ruang Lingkup.....	7
1.5 Tujuan, Manfaat dan Output.....	7
1.6 Langkah-langkah dan Metodologi Penelitian.....	8
1.7 Sistematika Penulisan.....	9

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Operation Research dalam Transportasi Maritim.....	10
2.2 Maritime Inventory Routing and Scheduling.....	11
2.3 Teori Branch And Bound.....	14
2.4 Langkah-langkah algoritma Branch & Bound.....	19
2.5 Pembuatan Model.....	19

3. DATA DAN PENGOLAHAN DATA

3.1	Pendahuluan.....	29
3.2	Pengoperasian Kapal Tanker	31
3.3	Data.....	31
3.3.1	Pelabuhan.....	32
3.3.1.1	Pelabuhan Suplai.....	33
3.3.1.2	Pelabuhan Demand.....	34
3.3.2	Kapal.....	36
3.4	Olah Data.....	38
3.4.1	Realisasi Pengoperasian Kapal.....	38
3.4.2	Biaya Kapal.....	39
3.4.3	Un (loading) time.....	40
3.4.4	Sea time.....	41
3.4.5	Fuel Oil Consumption (FOC)	42
4.	PEMBAHASAN	
4.1	Verifikasi Model.....	44
4.1.1	Penambahan Biaya Pinalti dan Biaya Pelabuhan.....	45
4.1.1.1	Contoh Model Dasar.....	45
4.1.1.2	Contoh Model dengan Pinati.....	48
4.1.1.2	Contoh Model dengan Pinati dan Biaya Pelabuhan....	52
4.1.2	Penambahan Kendala Draft.....	53
4.2	Validasi Model.....	56
4.3	Analisis Rute.....	60
4.3.1	Rute Menuju Pelabuhan TTM.....	61

4.3.2 Rute Menuju Pelabuhan TWI dan SBY.....	63
4.3.3 Rute Menuju KUP.....	64
4.4 Analisis Jadwal dan Biaya Kapal.....	65

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran.....	68

DAFTAR REFERENSI

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Penyebab Deviasi Bulan Januari	2
Gambar 1.2	Penyebab Deviasi Bulan Maret	3
Gambar 1.3	Penyebab Deviasi Bulan Juni	3
Gambar 1.4	Pola Operasi Bahan Bakar Minyak Wilayah IV	4
Gambar 1.5	Diagram Keterkaitan Masalah	6
Gambar 2.1	Karakteristik Operasional Moda Transportasi	11
Gambar 2.2	Ruang Pemecahan ILP	15
Gambar 2.3	Pembagian Ruang Pemecahan (Branching)	16
Gambar 2.4	Pembuatan LPI dan LP2	17
Gambar 2.5	Ilustrasi Inventory & Time Table	20
Gambar 3.1	Posisi Pelabuhan	32
Gambar 3.2	Kilang BPP	33
Gambar 3.3	Dimensi Kapal	37
Gambar 4.1	Kompartemen Kapal untuk Tiap Produk	45
Gambar 4.2	Posisi Awal dan Kapal Tiba di Pelabuhan 2	46
Gambar 4.3	Kapal Selesai Unloading dan Akhir Planning Horizon	46
Gambar 4.4	Pergerakan Level Inventory Tiap Produk	47
Gambar 4.5	Posisi Awal dan Kapal Tiba di Pelabuhan 2	49
Gambar 4.6	Kapal Selesai Unloading dan Akhir Planning Horizon	50
Gambar 4.7	Pergerakan Level Inventory Tiap Produk (dengan Pinalti)	50

Gambar 4.8	Perbandingan Hasil	53
Gambar 4.9	Kapasitas Kapal untuk Tiap Produk	54
Gambar 4.10	Pergerakan Kapal dari Awal Sampai Akhir Planning Horizon	55
Gambar 4.11	Posisi Awal Kapal	58
Gambar 4.12	Posisi Akhir Kapal	59
Gambar 4.13	Posisi Awal Kapal	60
Gambar 4.14	Hasil Rute Kapal	60
Gambar 4.15	Rute Sebelum Kapal Dedicated	61
Gambar 4.16	Rute Setelah Kapal Dedicated	61
Gambar 4.17	TWI Sebelum Dedicated	63
Gambar 4.18	SBY Sebelum Dedicated	63
Gambar 4.19	Setelah Dedicated	63
Gambar 4.17	Posisi Awal Kapal	60
Gambar 4.20	KUP Sebelum Dedicated	64
Gambar 4.21	KUP Setelah Dedicated	64

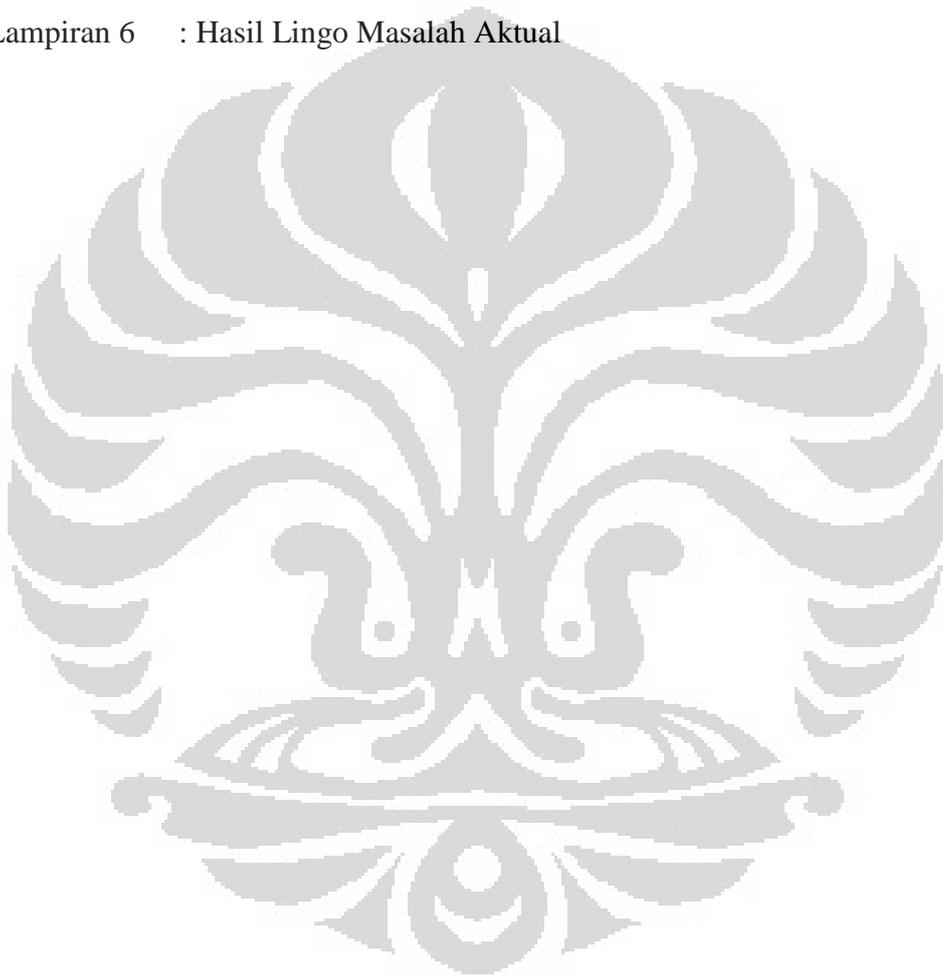
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Operasional Moda Transportasi	11
Tabel 2.2	Jurnal Utama	13
Tabel 3.1	Jarak Antar Pelabuhan	36
Tabel 3.2	Stok di Pelabuhan	36
Tabel 3.3	Ship Particular Kapal GP dan MR	37
Tabel 3.4	Kapasitas Kompartemen Kapal GP dan MR	38
Tabel 3.5	Kapal GP di Wilayah IV Selama Tahun 2010	39
Tabel 3.6	Kapal MR di Wilayah IV Selama Tahun 2010	39
Tabel 3.7	Biaya Kapal MR dan GP	40
Tabel 3.8	<i>Loading dan Unloading Time (Hari/KL)</i>	41
Tabel 3.9	<i>Sea Time Ballast dan Full Load Condition Kapal GP (Hari)</i>	42
Tabel 3.10	<i>Sea Time Ballast and Full Load Condition Kapal MR (Hari)</i>	42
Tabel 3.11	<i>Fuel oil Consumption Kapal GP</i>	43
Tabel 3.12	<i>Fuel oil Consumption Kapal MR</i>	43
Tabel 4.1	Batas Variabel pada Lingo	44
Tabel 4.2	Data Inventory Tiap Produk di Pelabuhan	45
Tabel 4.3	Perhitungan Kebutuhan Kargo	47
Tabel 4.4	Perhitungan Kegiatan <i>Loading</i>	48
Tabel 4.5	Perhitungan Kegiatan <i>Unloading</i>	48
Tabel 4.6	Perhitungan Kargo Setelah Bongkar dan Sisa Kargo	48

Tabel 4.7	Data Awal	51
Tabel 4.8	Pelabuhan 1 Saat Kapal <i>Loading</i>	51
Tabel 4.9	Pelabuhan 2 Saat Kapal <i>Unloading</i>	51
Tabel 4.10	Inventory Pelabuhan 2 Saat Selesai <i>Unloading</i>	52
Tabel 4.11	Kondisi Kapal Saat <i>loading</i>	54
Tabel 4.12	Data Produk di Pelabuhan	54
Tabel 4.13	Kapal	56
Tabel 4.14	Biaya	56
Tabel 4.15	Pelabuhan	57
Tabel 4.16	Waktu Tempuh Kapal MR Antar Pelabuhan (Hari)	58
Tabel 4.17	Waktu Tempuh Kapal GP Antar Pelabuhan (Hari)	58
Tabel 4.18	Rute Suplai Bahan Bakar ke TTM Tahun 2010	61
Tabel 4.19	Rute Suplai Bahan Bakar ke TWI dan SBY Tahun 2010	63
Tabel 4.20	Rute Suplai Bahan Bakar ke KUP Tahun 2010	65
Tabel 4.21	Jadwa l Kapal (Hari)	66
Tabel 4.22	Biaya Kapal	67

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Hasil Verifikasi Model Dasar
- Lampiran 2 : Hasil Verifikasi Model dengan Pinalti
- Lampiran 3 : Hasil Verifikasi Pinalti dan Biaya Pelabuhan
- Lampiran 4 : Hasil Verifikasi dengan Draft Constraint
- Lampiran 5 : Hasil Validasi
- Lampiran 6 : Hasil Lingo Masalah Aktual



BAB 1

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan bahan bakar baik subsidi maupun non subsidi terus meningkat dari tahun ke tahun walaupun untuk konsumsi rumah tangga sudah berkurang oleh program konversi minyak tanah ke elpiji, hal ini dapat dipahami sebagai akibat peningkatan jumlah kebutuhan industri yang semakin pesat setelah krisis moneter tahun 1997 dan kendaraan bermotor dengan rata-rata pertumbuhan di atas lima juta per tahun (Media Pertamina 31 Mei 2010). Untuk mengatasi kebutuhan bahan bakar yang terus meningkat ini, PT. Pertamina (Persero) melalui salah satu divisinya yaitu Pertamina Perkapalan telah mengoperasikan sekitar 184 unit tanker baik charter maupun kapal milik dengan berbagai ukuran (mulai dari 1.500 DWT sampai VLCC 260.000 DWT) dengan tonase yang diangkut sekitar 40.5 juta kilo liter di tahun 2009 (www.pertaminashipping.com).

Mendistribusikan dan menjaga stok bahan bakar di kilang maupun depot seluruh wilayah Indonesia merupakan tugas yang diamanahkan PT. Pertamina (Persero) kepada Pertamina perkapalan, dimana jumlah bahan bakar harus dijaga di atas *safety stock* dan tidak boleh melebihi kapasitas tangki karena akan dapat menghentikan proses produksi di kilang. Pola operasi yang dilakukan oleh Pertamina ini dapat dikategorikan sebagai *Industrial Shipping* (M. Christiansen *Maritime transportation*, 2007) karena operator kapal merupakan pemilik kargo dan dapat mengontrol kapal yang akan digunakan untuk mendistribusikannya.

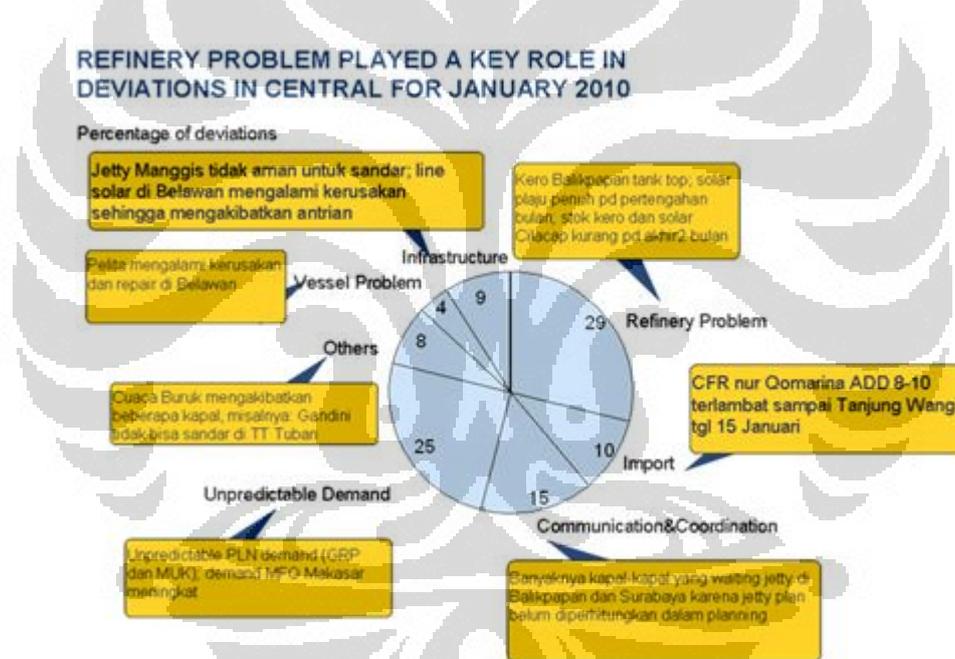
1.1 Pokok Permasalahan

Pendistribusian bahan bakar menggunakan jalur laut mempunyai tingkat *uncertainty* yang tinggi sehingga deviasi atau perubahan yang terjadi baik pada rute, tempat loading, unloading, jenis muatan dan jumlah muatan yang diangkut atau di discharge merupakan suatu hal yang lazim di temui di dunia perkapalan. Hal ini sangat berbeda dengan pola distribusi di darat dimana perubahan rute dan tujuan sangat jarang terjadi.

Data bulan Januari sampai Juli tahun 2010 dapat diketahui bahwa terdapat 3 penyebab utama deviasi, yaitu:

1. Loading port → loading port kritis (kekurangan kargo) disebabkan oleh produksi kilang yang turun sehingga kapal harus berlayar ke tempat lain, atau kelebihan kargo sehingga tangki penuh dan harus cepat diambil oleh kapal untuk menghindari penghentian produksi.
2. Depot → depot kritis sebagai akibat peningkatan permintaan bahan bakar yang melonjak.
3. Koordinasi antar bagian; menyebabkan kapal menumpuk di satu tempat.

Berikut adalah data penyebab deviasi pada bulan Januari, Maret dan Juni 2010

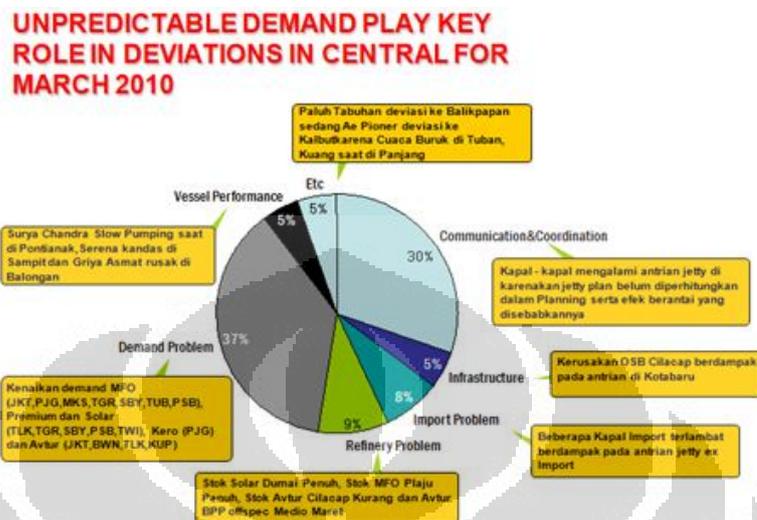


Gambar 1.1. Penyebab Deviasi Bulan Januari (Telah di Olah Kembali)

(Sumber :ISP-Integrated Strategic Planning)

Tiga penyebab deviasi terbesar pada bulan Januari adalah 29% refinery problem, 25% unpredictable demand (depot problem), 15% komunikasi dan koordinasi. Penyebab lain seperti *infrastructure* dan *vessel problem* tidak mempunyai pengaruh yang terlalu besar.

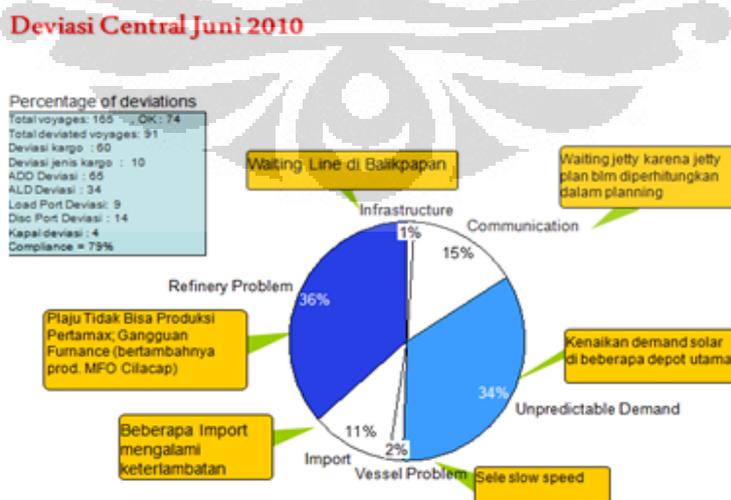
Pada bulan maret 2010, deviasi disebabkan oleh depot (demand problem) 37%, komunikasi dan koordinasi 30%, dan 9% refinery problem



Gambar 1.2. Penyebab Deviasi Bulan Maret (Telah di Olah Kembali)

(Sumber :ISP-Integrated Strategic Planning)

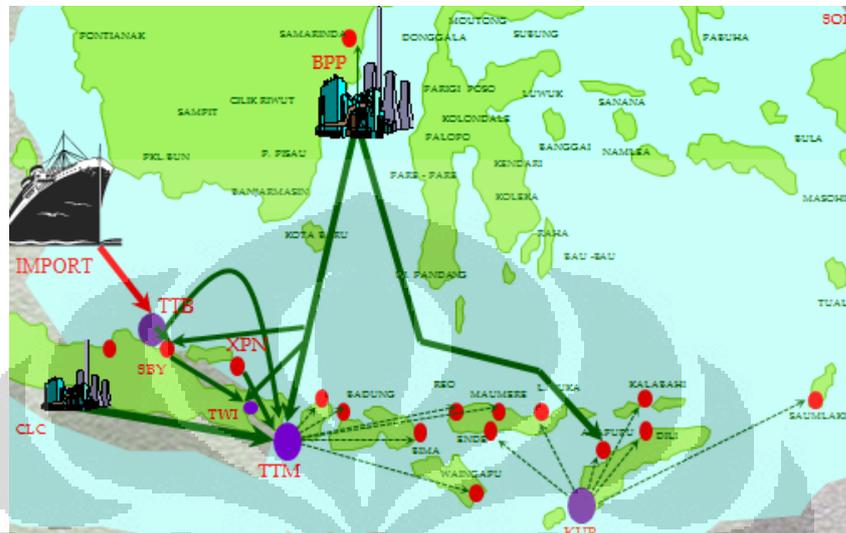
Penyebab deviasi pada bulan Juni 2010 memiliki kesamaan dengan bulan Januari maupun Maret 2010. Hal ini dapat kita pahami dari gambar 1.3. bahwa tiga penyebab terbesar deviasi yaitu refinery problem mendapatkan prosentase terbesar 36%, 34% unpredictable demand (depot problem), 15% komunikasi dan koordinasi.



Gambar 1.3. Penyebab Deviasi Bulan Juni (Telah di Olah Kembali)

(Sumber :ISP- Integrated Strategic Planning)

Berikut adalah gambaran pola distribusi BBM (Bahan Bakar Minyak) untuk wilayah IV, garis tebal menunjukkan distribusi dari suplai point menuju depot utama, dimana hal tersebut akan dikaji lebih lanjut dalam penelitian ini.



Gambar 1.4. Pola Operasi Bahan Bakar Minyak Wilayah IV

(Sumber :Operasi Perkapalan)

Terdapat 4 pelabuhan suplai, yaitu BPP, CLC, TTB, XPN dan 4 pelabuhan demand (SBY, TWI, TTM serta KUP). Pelabuhan TWI dan KUP, mempunyai alur/ *draft* dangkal sehingga kebutuhan bahan balarnya tidak dapat di suplai oleh kapal besar. Kapal yang digunakan untuk wilayah ini adalah jenis MR (Medium Range) dan GP (General Purpose) yang mempunyai ruang muat serta *draft* lebih kecil dibanding MR. Pada kondisi operasional, kapal GP dan MR tidak didedikasikan pada suatu wilayah tertentu. Namun dalam penelitian ini kita anggap bahwa tiga kapal akan dikhususkan untuk melayani wilayah IV. Kargo yang di bahas adalah *white product* terdiri dari 3 produk yaitu Premium, Kerosene dan Solar.

Dari kondisi dan permasalahan diatas menarik untuk di kaji, bagaimana mengoptimasikan rute dan jadwal distribusi bahan bakar dengan mendedikasikan sejumlah kapal pada wilayah tersebut sehingga dapat mempertahankan *safety stock*, mengurangi terjadinya deviasi dan berujung pada minimnya biaya operasi yang dikeluarkan perusahaan.

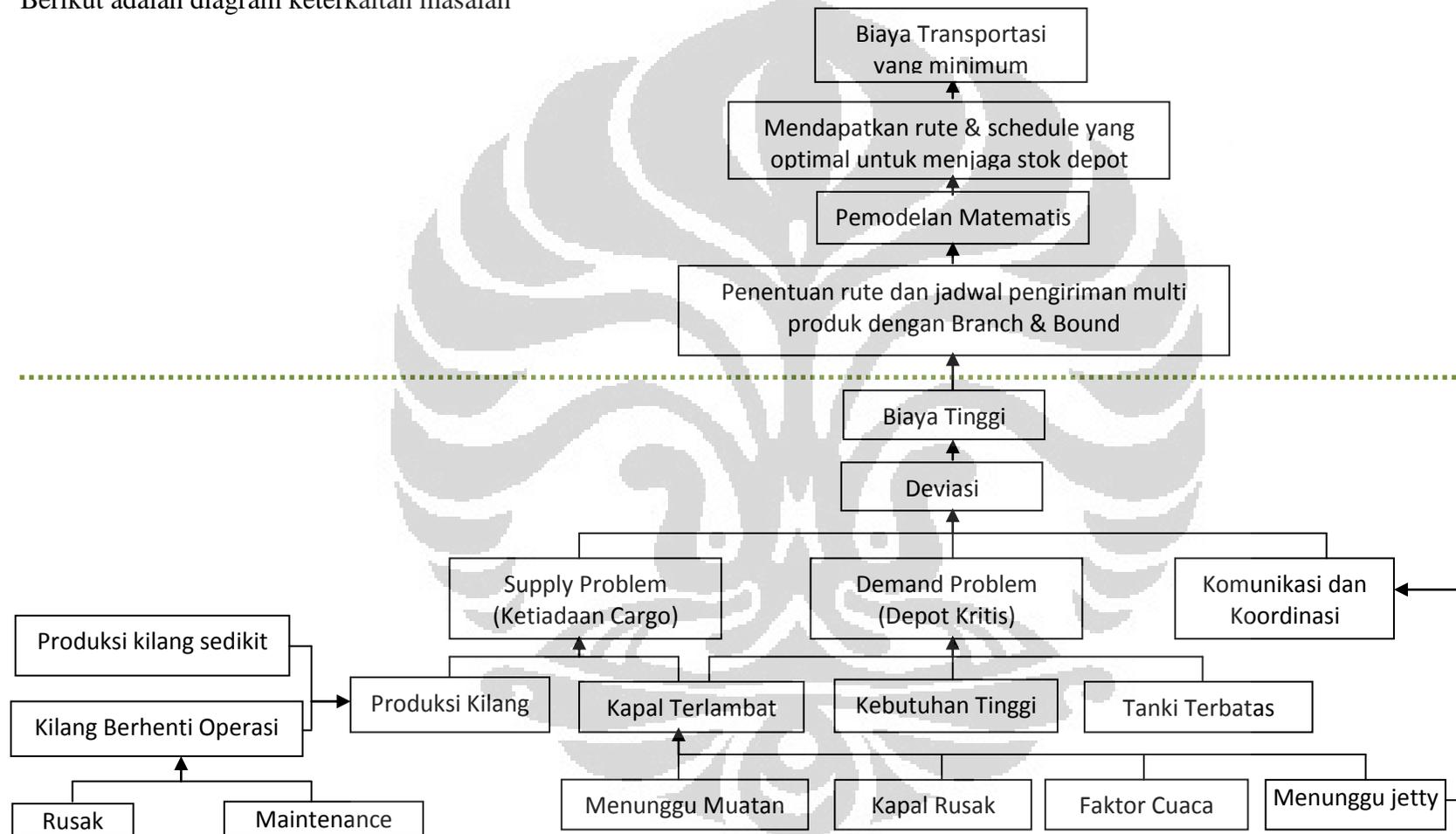
Adapun kondisi yang di hadapi secara garis besar adalah sebagai berikut:

- **Keterbatasan Stok**
Setiap supply point dan depot mempunyai tangki untuk tiga jenis muatan bahan bakar yaitu: premium, kerosene dan solar. Setiap tanki memiliki stok minimum dan maksimum serta *safety stock* yang harus dijaga keberadaannya.
- **Kemampuan Bongkar**
Setiap depot memiliki kemampuan berbeda untuk membongkar muatan tergantung dari kapasitas pompa yang dimiliki, demikian halnya dengan kapal.
- **Produk**
 - a. Kapal dapat mengangkut tiga produk yang berbeda dan tidak boleh tercampur antara satu dengan lainnya.
 - b. Suplai point (BPP dan CLC) memproduksi tiga produk yang berbeda, kecuali TTB (2 produk) dan XPN (1 produk).
- **Pelabuhan**
Tidak semua depot dapat dimasuki kapal karena memiliki keterbatasan draft.
- **Kapal**
Setiap kapal mempunyai karakteristik yang berbeda baik kecepatan, *draft*, maupun kapasitas angkutnya.
- **Biaya**
Terdiri dari biaya tetap (biaya pelabuhan), biaya variabel (bahan bakar untuk kapal berlayar) dan biaya penalti jika kapal terlambat sampai di pelabuhan tujuan.

1.2 Keterkaitan Masalah

Deviasi kapal merupakan akumulasi dari berbagai hal yang diperlihatkan melalui diagram keterkaitan masalah pada gambar 1.4. Dapat dimengerti bahwa terdapat 3 hal pokok yang menyebabkan deviasi: *Supply problem*, *demand problem*, komunikasi dan koordinasi.

Berikut adalah diagram keterkaitan masalah



Gambar 1.5. Diagram Keterkaitan

1.3 Batasan Masalah

Dari latar belakang permasalahan dan analisa diagram keterkaitan, maka permasalahan yang akan di bahas dalam tesis ini adalah

- Bagaimana menentukan pola distribusi bahan bakar multi produk (rute dan *schedule*) dari titik suplai menuju depot untuk menjaga *safety stock* sehingga dapat mengurangi terjadinya deviasi dan akhirnya berdampak pada minimnya biaya operasi.

1.4 Ruang Lingkup

Untuk memberikan arah yang jelas dari tesis ini agar sesuai dengan tujuan yang hendak dicapai, analisis masalah akan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

- Hanya dibahas distribusi BBM wilayah IV (dari Suplai point ke depot utama)
- Stok di titik suplai dianggap tak terbatas
- Konsumsi tiap depot berbeda dan di asumsikan konstan selama periode tersebut
- Biaya *safety stok* tidak dimasukkan karena bukan termasuk biaya operasional kapal

1.5 Tujuan, Manfaat dan Output

Tujuan

Mendapatkan rute dan *schedule* transportasi dengan biaya minimum dengan menjaga *safety stock* di tiap depot.

Adapun manfaat yang dapat diambil dengan adanya tesis ini adalah

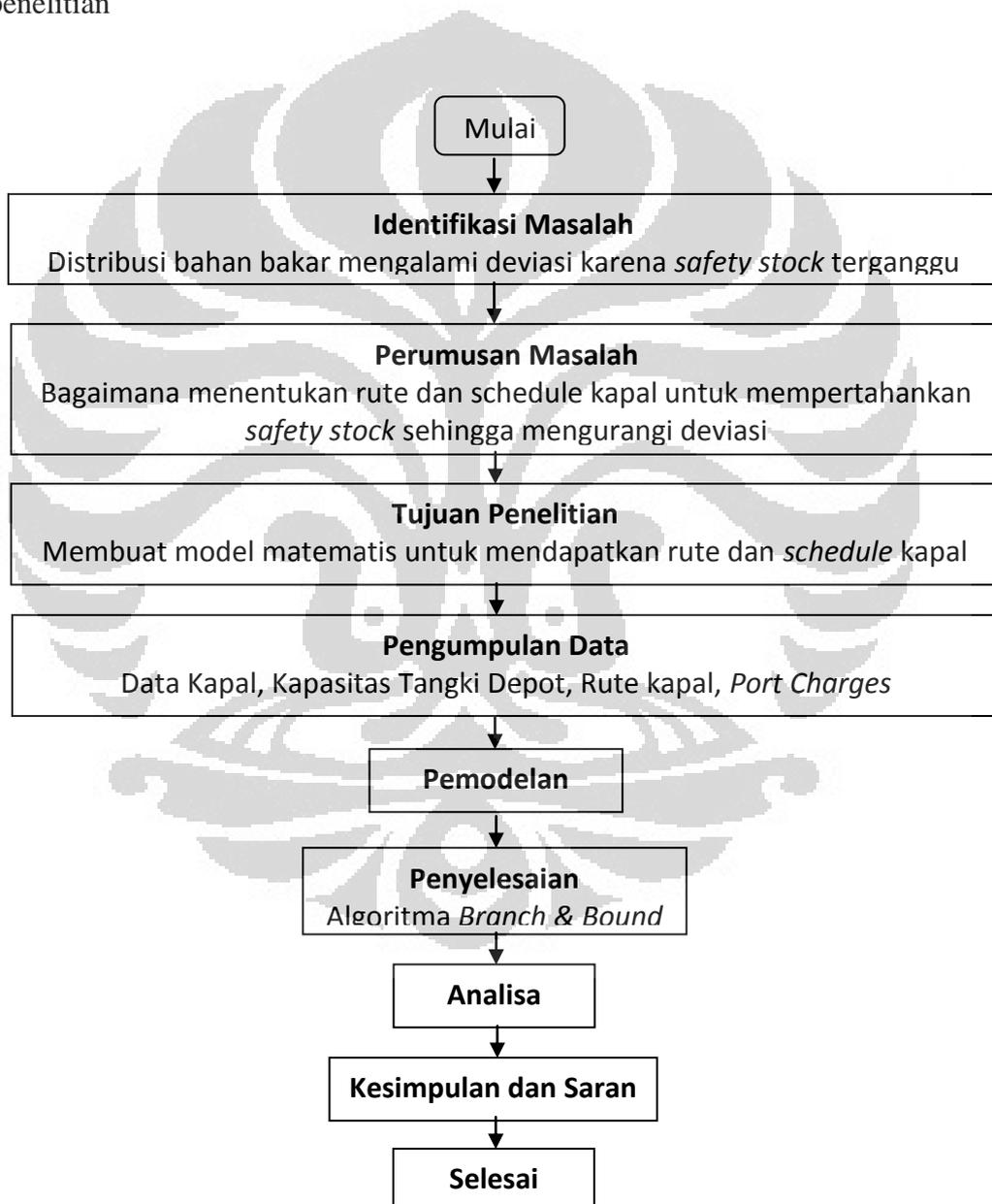
1. Memberikan model matematis sebagai referensi perhitungan dalam menentukan rute dan jadwal kapal yang dibutuhkan pada suatu wilayah operasi.
2. Mendapatkan rute dan jadwal kapal optimal yang diharapkan dapat mengurangi biaya transportasi pada wilayah tersebut sehingga dapat menaikkan profit perusahaan

Output

Berupa model, yang dapat menentukan rute dan jadwal kapal pada suatu daerah selama periode tertentu untuk mempertahankan *safety stock* sehingga mengurangi terjadinya deviasi.

1.6. Langkah-langkah dan Metodologi Penelitian

Berikut adalah langkah-langkah yang akan diambil dalam menyelesaikan penelitian



1.7 Sistematika Penulisan

Tesis ini terdiri dari 6 bagian.

BAB 1 : PENDAHULUAN. Berisi latar belakang, pokok permasalahan, memberikan penjelasan mengenai alasan yang mendasari tesis, tujuan, manfaat serta sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA. Berisikan teori yang digunakan sebagai konsep dasar dari pengerjaan tesis, disertai dengan *overview* tentang jurnal-jurnal sebelumnya yang membahas bidang ini dan kegiatan operasional kapal tanker PT. Pertamina Perkapalan dalam berhubungannya dengan penentuan rute dan jadwal kapal.

BAB 3 : METODOLOGI. Metodologi yang digunakan adalah *Branch & Bound*.

BAB 4 : PENGOLAHAN DATA. Mengembangkan model matematika yang akan digunakan untuk menentukan rute dan schedule kapal pada suatu daerah selama periode. Menyajikan data yang di dapat baik itu berupa kapasitas tanki pelabuhan, kebutuhan harian depot maupun biaya transportasi kapal,

BAB 5 : HASIL DAN PEMBAHASAN. Berisi pembahasan tentang hasil rumusan progam matematika dan dibandingkan dengan kondisi operasional saat ini.

BAB 6 : KESIMPULAN, SARAN DAN REKOMENDASI. Merupakan tahapan akhir dalam penyusunan tesis yang berisi kesimpulan dan disampaikan pula rekomendasi terkait hasil yang didapat serta pengembangan penelitian ini ke depannya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Operation Research dalam Transportasi Maritim

M. Christiansen et al (2004) berpendapat bahwa secara operasional transportasi maritim dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu : *liner*, *tramp* dan *industrial*. *Liners* tergantung pada jadwal tetap yang telah dipublikasikan dan *schedule*-nya sama dengan trayek bus yang mempunyai *schedule* yang teratur (contoh: kapal *ferry*). *Tramp* mempunyai ciri khusus dimana kapal mengikuti keberadaan cargo, hampir mirip dengan *taxi*. Kapal *tramp* disewa dengan istilah *contracts of affreightment* yang didalamnya menyebutkan jumlah kargo yang harus diangkut ke suatu pelabuhan dalam waktu tertentu dengan persetujuan pembayaran per unit kargo. Operator *Liner* dan *tramp* berusaha memaksimalkan keuntungan per unit waktu. Berbeda dengan *Liner* dan *Tramp*, *Industrial* operator biasanya mempunyai kargo sendiri yang akan di kapalkan dan mengontrol kapal yang akan digunakan. Kapal mungkin saja milik sendiri atau sewa. Tujuan *Industrial* operator bukan untuk memaksimalkan keuntungan, namun berusaha meminimalkan biaya angkut kargo tersebut. Merujuk pada penjelasan yang dilakukan oleh M. Christiansen, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dipandang sebagai *shipping Industrial*.

Masalah transportasi telah banyak didiskusikan dalam literatur namun secara umum hanya didedikasikan kepada transportasi udara dan darat dengan truk maupun bus sebagai armada angkutnya. Moda transportasi lain seperti kapal untuk dunia maritime jarang mendapatkan perhatian. Terdapat beberapa alasan yang menyebabkan mengapa dunia maritim belum banyak terdapat dalam literatur:

- a. *Low Visibility*. Hampir disetiap wilayah manusia melihat truk, pesawat dan kereta api, namun tidak dengan kapal. Banyak perusahaan yang mengoperasikan truk, tapi sangat sedikit perusahaan yang terjun dalam dunia perkapalan.
- b. *Maritime transportation planning problem are less structured*. Dalam dunia transportasi laut terdapat variasi masalah yang cukup besar.

- a. Kebutuhan penyesuaian dengan *decision support system*, akan menimbulkan biaya yang lebih mahal.
- b. *Maritime operation much more uncertainty*. Kapal dapat terlambat karena masalah cuaca, masalah mekanik, dan pemogokan (baik di kapal maupun di pelabuhan).
- c. *The ocean shipping industry has a long tradition and is fragmented*. Kapal telah ada sekitar ratusan tahun yang lalu oleh karena itu industri ini mungkin bersifat konservatif dan tidak terbuka terhadap ide baru.

Perbedaan karakteristik antara transportasi laut dan yang lainnya dapat kita pahami pada table di bawah ini

Tabel 2.1 Karakteristik Operasional Moda Transportasi

Sumber : Ronen et al (2004) dan Gkanatsas (2005)

Operational Characteristics	Mode of Transportation			
	SHIP	AIRCRAFT	TRUCK	TRAIN
Barriers to entry	Small	Medium	Small	Large
Industry concentration	High	Medium	Low	High
Fleet variety (physical & economic)	Large	Small	Small	Small
Power unit is an integral part of the transportation unit	Yes	Yes	Often	No
Transportation unit size	Fixed	Fixed	Usually Fixed	Variable
Operating around the clock	Usually	Seldom	Seldom	Usually
Trip (or voyage) length	Days-Weeks	Hours-days	Hours-days	Hours-days
Operational uncertainty	Larger	Larger	Smaller	Smaller
Right of way	Shared	Shared	Shared	Dedicated
Pays port fees	Yes	Yes	No	No
Route Tolls	Possible	None	Possible	Possible
Destination change while underway	Possible	No	No	No
Port period spans multiple operational time window	Yes	No	No	Yes
Vessel-port compatibility depends on load weight	Yes	No	No	No
Multiple products shipped together	Yes	Seldom	No	Yes
Returns to origin	No	No	Yes	No

Pada tabel 2.1 dapat dimengerti bahwa *fleet variety* pada kapal sangat besar dibandingkan dengan sarana transportasi lain. Hal ini dapat dipahami karena kapal khususnya tanker bukanlah hasil produksi massal seperti truk, namun lebih bersifat *tailor made* sehingga kapal dengan ukuran dan jenis yang sama bisa jadi mempunyai karakteristik yang berbeda. Selain itu terdapat perbedaan yang

mendasar bahwa tujuan kapal dapat berubah (terdeviasi) dari tujuan awalnya saat kapal dalam perjalanan (*destination change while underway*).

2.2 Maritime Inventory Routing and scheduling

Maritime inventory routing and scheduling pada awalnya hanya membahas pengiriman produk tunggal antara titik suplai dan titik *demand*. Perkembangan penting dalam *inventory routing single product* dilakukan oleh M. Christiansen dan B. Nygreen pada tahun 2004 dengan memperkenalkan *soft inventory constraint* dan biaya pinalti dalam modelnya untuk mensiasati ketidakpastian yang tinggi pada *sailing time* dan mengurangi kemungkinan melanggar *inventory constraint*. Dengan cara ini, M. Christiansen & B. Nygreen mencoba memaksa solusi jauh dari *inventory bound* sehingga mendapatkan rute lebih kuat (*robust*).

Pada tahun yang sama, permasalahan *multi product inventory routing and scheduling* yang selama ini sulit diselesaikan, M. Christiansen et al p.251 (2004), akhirnya dipecahkan oleh F. Al khayyal dan S.J. Hwang (2005) dengan mengasumsikan bahwa produk yang diangkut harus diletakkan pada *dedicated kompartement* dalam kapal. Jurnal tersebut membahas berapa banyak tiap produk harus dibawa dari pelabuhan suplai ke pelabuhan demand, agar inventori level di setiap pelabuhan tetap terjaga pada level tertentu.

Nurhadi Siswanto et al (2009) mengembangkan model yang dibuat oleh F. Al khayyal dan S.J. Hwang (2005) dengan perbedaan mendasar, yaitu merubah *dedicated compartment* menjadi *undedicated compartment*. Contoh *illustrative* disajikan dan permasalahan diselesaikan dengan menggunakan dua metode yaitu *one step greedy heuristic* dan *branch & Bound* menggunakan software lingo.

Fitri et al (2010) menambahkan *product load compability constraint* pada model multi produk. Kendala tersebut membatasi produk yang tidak mempunyai karakteristik sama dengan yang lainnya tidak dapat diangkut pada kompartement atau kapal yang sama. Penyelesaian model digunakan *branch and bound* dengan software lingo.

Tabel 2.2 Jurnal Utama

Penulis	Judul	Inti Jurnal	Metode
M. Christiansen & B. Nygreen (2004)	<i>Robust Inventory Ship Routing By Column Generation</i>	<i>Inventory routing single product dengan penambahan <i>soft inventory constraint</i> dan biaya pinalti</i>	<i>Column Generation</i>
F. Al-Khayyal & S.J. Hwang (2004)	<i>Inventory Constrained Maritime Routing and Scheduling for multi-commodity liquid bulk, Part I: Applications and Model</i>	<i>Inventory routing and scheduling multi product with dedicated compartment</i>	
N. Siswanto et al (2009)	<i>Solving the ship inventory routing and scheduling problem with undedicated compartment</i>	<i>Inventory routing and scheduling multi product with undedicated compartment</i>	<i>One step greedy heuristic, Branch & Bound</i>
F. K. Rani et al	<i>Mixed Integer Linear Programming Model for Multi-Product Inventory Ship Routing Problem Considering Product Loading Compability Constraint</i>	<i>Inventory routing and scheduling multi product with compability constraint</i>	<i>Branch & Bound</i>

Model dalam tesis akan dikembangkan berdasarkan F. Al-Khayyal & S.J. Hwang (2004) dengan menambahkan *soft inventory constraint* dan biaya pinalti yang didapat dari M. Christiansen & B. Nygreen (2004) ditambah dengan *constraint* yang dihadapi PT. Pertamina dalam mengoperasikan kapal. Penyelesaian model menggunakan *branch&bound*.

Teori Branch And Bound

Pemecahan masalah pemrograman *integer* dapat dilakukan dengan metode *branch-and-bound*. Prinsip dasar metode ini adalah memecah daerah fisibel suatu masalah PL-relaksasi dengan membuat *subproblem-subproblem*. Ada dua konsep dasar dalam algoritma *branch-and-bound*.

- Cabang (*Branch*)

Membuat partisi daerah solusi dari masalah utama (PL-relaksasi) dengan membentuk *subproblem-subproblem*, tujuannya untuk menghapus daerah solusi yang tidak fisibel. Hal ini dicapai dengan menentukan kendala yang penting untuk menghasilkan solusi IP, secara tidak langsung titik integer yang tidak fisibel terhapus. Dengan kata lain, hasil pengumpulan lengkap dari subproblem-subproblem ini menunjukkan setiap titik integer yang fisibel dalam masalah asli. Karena sifat partisi tersebut, maka prosedur ini dinamakan pencabangan (*branching*).

- Batas (*Bound*)

Misalkan masalah utamanya berupa masalah maksimisasi, nilai objektif yang optimal untuk setiap subproblem dibuat dengan membatasi pencabangan dengan batas atas dari nilai objektif yang dihubungkan dengan sembarang nilai integer yang fisibel. Hal ini sangat penting untuk mengatur dan menempatkan solusi optimal. Operasi pembatasan ini dinamakan pembatasan (*bounding*). (Taha, 1975)

Metode *branch-and-bound* diawali dari menyelesaikan PL-relaksasi dari suatu integer programming. Jika semua nilai variabel keputusan solusi optimal sudah berupa integer, maka solusi tersebut merupakan solusi optimal IP. Jika tidak, dilakukan pencabangan dan penambahan batasan pada PL-relaksasinya kemudian diselesaikan. Winston (2004) menyebutkan bahwa nilai fungsi objektif optimal untuk IP \leq nilai fungsi objektif optimal untuk PL-relaksasi (masalah maksimisasi), sehingga nilai fungsi objektif optimal PL-relaksasi merupakan batas atas bagi nilai fungsi objektif optimal untuk masalah IP. Diungkapkan pula oleh Winston (2004) bahwa nilai fungsi objektif optimal untuk suatu kandidat solusi merupakan batas

bawah nilai fungsi objektif optimal untuk masalah IP asalnya. Suatu kandidat solusi diperoleh jika solusi dari suatu subproblem sudah memenuhi kendala integer pada masalah IP, artinya fungsi objektif dan semua variabelnya sudah bernilai integer.

Untuk mempermudah penjelasan mengenai dasar-dasar algoritma *branch-and-bound* (B&B) diberikan sebuah contoh sebagai berikut:

- Maksimumkan $z = 5x_1 + 4x_2$ dengan batasan :

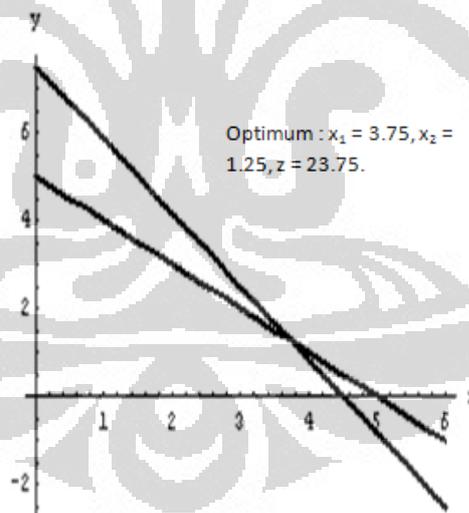
$$x_1 + x_2 \leq 5$$

$$10x_1 + 6x_2 \leq 45$$

$$x_1 \leq 3$$

$$x_1, x_2 \geq 0 \text{ dan integer}$$

- Penyelesaian:

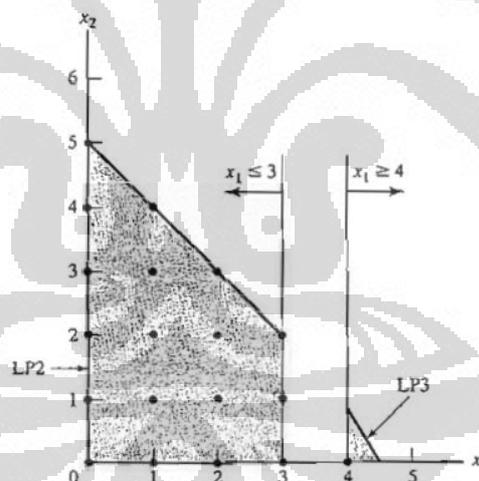


Gambar 2.2 Ruang Pemecahan ILP

Dalam gambar 2.2, ruang pemecahan ILP ini diperlihatkan dengan titik-titik. Ruang pemecahan LP yang berkaitan, LP0 didefinisikan dengan mengabaikan batasan integer tersebut. Pemecahan optimum LP0 ini diberikan dalam gambar 9-1 sebagai $x_1 = 3.75, x_2 = 1.25$, dan $z = 23.75$.

Prosedur B&B didasari oleh penanganan masalah LP saja. Karena pemecahan LP optimum ($x_1 = 3.75$, $x_2 = 1.25$, dan $z = 23.75$) tidak memenuhi persyaratan integer, algoritma B&B menuntut “modifikasi” terhadap ruang pemecahan LP ini dengan cara yang akan akhirnya memungkinkan untuk mengidentifikasi pemecahan ILP optimum. Pertama, memilih salah satu variabel yang nilainya saat ini dalam pemecahan LP0 optimum melanggar persyaratan integer tersebut. Dengan memilih $x_1 = 3.75$ secara sembarang, diamati bahwa bidang ($3 < x_1 < 4$) dari ruang pemecahan LP0, berdasarkan definisinya, tidak akan memuat pemecahan ILP yang layak. Karena itu memodifikasi ruang pemecahannya LP tersebut dengan meyingkirkan bidang yang tidak menjanjikan pemecahan ini, yang pada akhirnya adalah setara dengan mengganti ruang LP0 semula dengan ruang LP. LP1 dan LP2, yang didefinisikan sebagai berikut:

1. ruang LP1 = ruang LP0 + ($x_1 \leq 3$)
2. ruang LP2 = ruang LP0 + ($x_1 \geq 4$)



Gambar 2.3 Pembagian Ruang Pemecahan (Branching)

Gambar 2.3 memperlihatkan LP dan LP2 secara grafik. Kedua ruang ini memuat titik-titik integer yang layak yang sama dari model ILP ini. Hal ini berarti bahwa dari sudut pandang masalah ILP semula, menangani LP1 dan LP2 ini adalah sama dengan menangani LP0 semula. Perbedaan utamanya adalah bahwa pemilihan batasan baru ($x_1 \leq 3$ dan $x_1 \geq 4$) akan meningkatkan kemungkinan untuk memaksa titik ekstrim optimum dari LP1 dan LP2 ke arah memenuhi persyaratan integer

tersebut. Pada kenyataannya, batasan tersebut berada di “sekitar pemecahan” LP0 yang kontinu akan meningkatkan peluang untuk menghasilkan pemecahan integer yang baik.

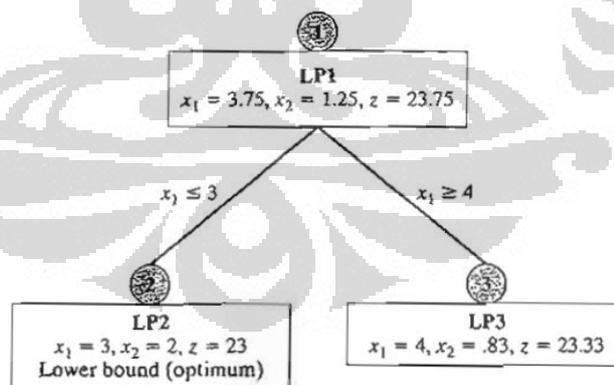
Seperti dapat dilihat dalam gambar 2, karena batasan baru $x_1 \leq 3$ dan $x_1 \geq 4$ tidak dapat dipenuhi secara bersamaan. LP1 dan LP2 harus ditangani sebagai dua program linear yang berbeda. Dikotomi ini menimbulkan konsep **percabangan** (*branching*) dalam algoritma B&B. Akibatnya, percabangan menunjukkan pemisahan ruang pemecahan saat ini ke dalam beberapa bagian yang terpisah. Diketahui bahwa ILP optimum akan berada di LP1 atau LP2. tetapi dengan tidak ada ruang untuk menentukan di mana optimum itu berada. Akibatnya, pemilihan kita satu-satunya adalah meneliti kedua masalah ini. Hal ini dilakukan dengan mengerjakan masalah ini satu persatu (LP1 atau LP2). Anggaplah bahwa dimiliki secara sembarang LP1 yang berkaitan dengan $x_1 \leq 3$. Dengan memecahkan masalah berikut ini :

Maksimumkan $z = 5x_1 + 4x_2$

dengan batasan $x_1 + x_2 \leq 5$

$10x_1 + 6x_2 \leq 45$

$x_1 \leq 3$



Gambar 2.4. Pembuatan LP1 dan LP2

Gambar 2.4 menunjukkan pembuatan LP1 dan LP2 dari LP. Cabang tersebut didefinisikan dengan batasan $x_1 \leq 3$ dan $x_1 \geq 4$, dimana x_1 disebut **variabel percabangan**.

LP1 merupakan LP0 dengan tambahan batas atas $x_1 \leq 3$. Jadi algoritma batas atas primal dapat digunakan untuk memecahkan masalah ini. Ini akan menghasilkan pemecahan optimum baru yaitu $x_1 = 3, x_2 = 2$, dan $z = 23$. Karena pemecahan ini memenuhi persyaratan integer, maka dapat dikatakan LPI telah terukur yang berarti bahwa LP1 tidak dapat menghasilkan pemecahan IPL yang lebih baik dan karena itu tidak perlu diteliti lebih lanjut.

Mendapatkan pemecahan integer ditahap awal dari perhitungan yang layak adalah penting untuk meningkatkan efisiensi algoritma B&B. Pemecahan seperti ini menetapkan batas bawah terhadap nilai tujuan optimum dari masalah ILP tersebut yang dapat digunakan secara otomatis untuk menyingkirkan bagian – bagian masalah yang tidak diteliti (seperti LP2) yang tidak menghasilkan pemecahan integer yang lebih baik. Dalam contoh ini, LP1 menghasilkan batas bawah $z = 23$. Ini berarti bahwa setiap pemecahan integer yang lebih baik akan memiliki nilai z yang lebih tinggi dari 23. Tetapi, karena pemecahan optimum dari masalah LP0 (semula) memiliki $z = 23,75$ dan karena semua koefisien dari fungsi tujuan kebetulan merupakan integer, dapat disimpulkan bahwa tidak ada bagian masalah yang berasal dari LP0 dapat menghasilkan nilai z yang lebih baik dari 23. Sebagai hasilnya, tanpa meneliti lebih lanjut, LP2 dapat disingkirkan. Dalam kasus ini LP2 dikatakan terukur karena tidak dapat menghasilkan pemecahan integer yang lebih baik.

Dari pembahasan di atas, dapat dilihat bahwa sebuah bagian masalah menjadi **terukur** jika salah satu dari kondisi berikut terpenuhi:

1. Bagian masalah tersebut menghasilkan pemecahan integer yang layak bagi masalah IPL tersebut.
2. Bagian masalah tersebut tidak dapat menghasilkan pemecahan yang lebih baik daripada batas bawah (nilai z) terbaik yang tersedia dari masalah IPL tersebut. (Satu kasus khusus dari kondisi ini adalah ketika bagian masalah tersebut tidak memiliki pemecahan yang layak sama sekali).

Dalam contoh ini LP1 dan LP2 terukur berdasarkan kondisi 1 dan 2 secara berturut – turut. Karena tidak ada lagi bagian masalah yang akan diteliti, prosedur

ini berakhir dan pemecahan integer optimum dari masalah ILP tersebut berkaitan dengan batas bawah saat ini yaitu $x_1 = 3$, $x_2 = 2$, dan $z = 23$.

2.4 Langkah-langkah Algoritma *Branch & Bound*

Metode *branch and bound* mempunyai beberapa langkah:

1. Selesaikan masalah program linear dengan metode biasa (simpleks) yaitu dengan bilangan real (biasa).
2. Teliti solusi optimumnya. Apabila variabel basis yang diharapkan berbentuk bilangan bulat, maka pekerjaan telah selesai. Solusi itu adalah solusi optimum. Tetapi bila solusinya bukan bilangan bulat, maka lakukan langkah selanjutnya.
3. Nilai solusi yang tidak bulat yang layak dicabangkan ke dalam sub-sub masalah, dengan tujuan untuk menghilangkan solusi yang tidak memenuhi persyaratan bilangan bulat. Pencabangan ini dilakukan dengan kendala-kendala *mutually exclusive* yang perlu untuk memenuhi persyaratan bulat.
4. Untuk setiap sub masalah, nilai solusi optimum kontinu (tak bulat) fungsi tujuan dijadikan sebagai batas atas. Solusi bulat terbaik menjadi batas bawah (pada awalnya ini adalah solusi kontinu yang dibulatkan kebawah). Sub-sub masalah yang mempunyai batas atas kurang dari batas bawah yang ada tidak diikuti sertakan dalam analisis selanjutnya. Suatu solusi bulat, layak adalah sama baik atau lebih baik dari batas atas untuk semua sub masalah yang dicari. Jika solusi demikian ada, suatu sub masalah dengan batas atas terbaik dipilih untuk dicabangkan, kemudian kembali ke langkah 3.

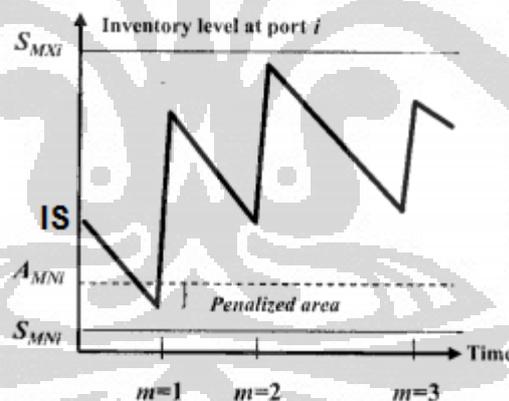
a. Pembuatan Model

Pada tesis ini permasalahan *Inventory routing and scheduling multi product with dedicated compartment* akan diselesaikan dengan menggunakan metode *branch & bound* agar didapatkan solusi yang global optimum dimana nantinya didapatkan rute dan *schedule* dengan biaya paling minimum dengan tetap menjaga stok di

pelabuhan dalam kondisi aman.

Model dikembangkan berdasarkan F. Al-Khayyal & S.J. Hwang (2004) dengan menambahkan *soft inventory constraint* dan biaya pinalti yang didapat dari M. Christiansen & B. Nygreen (2004) ditambah dengan *constraint* yang dihadapi PT. Pertamina dalam mengoperasikan kapal yaitu biaya pelabuhan dan *constraint draft*. Dimana akan dicari biaya distribusi yang paling minim, dengan menggunakan kapal heterogen, yang melaksanakan suplai tiga (3) produk bahan bakar, yaitu : premium, kerosene dan solar. *Safety stock* depot *demand* harus dijaga dan kapal akan terkena biaya pinalti jika mensuplai saat stok level berada di bawah low alarm inventory (A_{MNi}).

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.5. Selama periode perencanaan, tingkat inventori harus di jaga pada level di antara safety stock (S_{MNi}) dan maksimum stok (S_{MXi}). Pelabuhan demand mempunyai konsumsi harian sehingga stok awal (IS) akan terus turun.



Gambar 2.5. Ilustrasi Inventory & Time Table

Sumber : M. Christiansen, B. Nygreen, 2005

Pada saat level inventory di bawah *Alarm inventory* (A_{MNi}), kapal datang untuk pertama kalinya ($m = 1$) dan melakukan bongkar sehingga *inventory* kembali bertambah. Kapal terkena pinalti karena kapal melanggar *soft inventory constraint*, yang kita sebut "*alam inventory* (A_{MNi})". Sedangkan *hard inventory constraint* yaitu *safety stock* dan maksimum stok tidak boleh dilanggar [S_{MNi}, S_{MXi}]. Kedatangan kapal yang ke dua dan tiga kalinya ($m=1$ dan $m=2$) untuk

mensuplai depot telah berada di atas *alarm inventory* (A_{MNi}) sehingga tidak terkena pinalti.

Sebagai catatan, pada awal *planning horizon*, harus ditentukan terlebih dahulu posisi awal kapal di pelabuhan beserta jumlah muatannya dan inventory awal di tiap pelabuhan. Persediaan *inventory* di pelabuhan suplai dianggap tak terbatas.

Fungsi Tujuan

Meminimumkan total biaya operasi (biaya kapal berlayar CS_{ijv} , biaya pelabuhan CF_{ijv} , biaya loading-unloading C_{Wik} , dan biaya penalty C_{Pik}^-).

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{v \in V} \sum_{(i,m,j,n) \in A_v} CS_{ijv} x_{imjnv} + \sum_{v \in V} \sum_{(i,m,j,n) \in A_v} CF_{ijv} x_{imjnv} \\ & + \sum_{(i,m) \in S_T} \sum_{v \in V} \sum_{k \in K_v} C_{Wik} o_{imvk} + \sum_{v \in V} \sum_{(i,m,j,n) \in A_v} C_{Pik}^- a_{imk}^- \end{aligned}$$

Subject to:

a. Initial constraint

1. Initial Position Constraint

Setiap kapal v harus berangkat dari posisi awal

$$\sum_{(j,n) \in S_N} x_{i_v m_v j n v} = 1, \text{ untuk setiap } v \in V \dots \dots \dots (2.1)$$

Note: Posisi awal kapal dan jumlah cargo di awal akan ditentukan.

2. Draft Constraint

Kapal Medium Range (MR) tidak dapat berlayar menuju pelabuhan KUP dan TWI

$$\sum_{(j,n) \in S_N} x_{i_v m_v j n v} = 0, \text{ untuk kapal } v = 2 \text{ dan } j = 1, 2 \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{(j,n) \in S_T} x_{imjnv} = 0, \text{ untuk kapal } v = 2 \text{ dan } j = 1, 2 \dots \dots \dots (2.3)$$

3. Initial ship load constraint

Jumlah produk k onboard kapal v saat berangkat dari posisi awal (i_v, m_v), $l_{i_v m_v v k}$, harus sama dengan jumlah onboard awal $Q_{v k}$ ditambah cargo, $q_{i_v m_v v k}$, yang dimuat, $J_{i_v k} = +1$, (sebaliknya bongkar, $J_{i_v k} = -1$) pada posisi awal.

$$Q_{v k} + J_{i k} q_{i_v m_v v k} - l_{i_v m_v v k} = 0, \text{ untuk setiap } v \in V \text{ dan } k \in K_v \dots \dots \dots (2.4)$$

4. *Initial inventory constraint*

Pada saat awal planning horizon, bagi pelabuhan yang tidak memiliki kapal maka level stok $s_{i 1 k}$ produk k pada pelabuhan i saat kedatangan kapal pertama adalah $IS_{i k}$ jumlah produk k pelabuhan i pada awal horison perencanaan ditambah jumlah yang diproduksi ($J_{i k} = +1$) atau minus jumlah yang dikonsumsi ($J_{i k} = -1$) sampai $t_{i 1}$ kedatangan kapal pertama.

$$s_{i 1 k} = IS_{i k} + J_{i k} R_{i k} t_{i 1}, \text{ untuk setiap } (i, k) \in H \times K_i^H \dots \dots \dots (2.5)$$

b. *Routing constraint*

5. *Flow conservation constraint*

Kedatangan kapal ke m di pelabuhan i harus juga meninggalkan pelabuhan tersebut atau mengakhiri rutenya disana. Z bernilai 0 jika (i,m) adalah posisi *intermediate* dan harus sama dengan 1 jika merupakan posisi akhir schedule kapal v.

$$\sum_{(j,n) \in S_T} x_{j n i m v} - \sum_{(j,n) \in S_N} x_{i m j n v} - Z_{i m v} = 0, \text{ untuk setiap } (v, i, m) \in V \times S_N \dots \dots \dots (2.6)$$

6. *Route Finishing Constraint*

Di akhir *planning* periode, setiap kapal harus berada di port.

$$\sum_{(i,m) \in S_N} Z_{i m v} = 1, \text{ untuk setiap } v \in V \dots \dots \dots (2.7)$$

7. *One time visit constraint*

memastikan bahwa setiap port call (i, m) dikunjungi paling banyak sekali, y_{im} , adalah *binary variable* = 1 jika posisi (i,m) tidak dikunjungi.

$$\sum_{v \in V} \sum_{(j,n) \in S_T} x_{jnimv} + y_{im} = 1, \text{ untuk setiap } (i, m) \in S_T \dots \dots \dots (2.8)$$

8. *Arrival sequence constraint*

jika pelabuhan tidak memiliki kedatangan ke $(m-1)$, maka ia tidak akan mempunyai kedatangan ke m , sebaliknya, jika terdapat kedatangan ke m , maka secara pasti terdapat kedatangan $(m-1)$

$$y_{im} - y_{i(m-1)} \geq 0, \text{ untuk setiap } (i, m) \in S_N \dots \dots \dots (2.9)$$

c. *Constraint loading & discharging*

9. *Ship load constraint*

Jika kapal v berlayar dari (i, m) ke (j, n) ; yaitu $x_{imjnv} = 1$. Maka jumlah produk k onboard, l_{jnvk} , pada saat kapal meninggalkan (j, n) harus sama dengan jumlah *onboard* saat berangkat dari (i, m) , l_{imvk} , ditambah, $J_{jk} = +1$ jika dimuat sejumlah kargo, q_{jnvk} , (sebaliknya, minus, $J_{jk} = -1$ jika bongkar) di (j, n) .

$$x_{imjnv} [l_{imnk} + J_{jk} q_{jnvk} - l_{jnvk}] = 0, \text{ untuk setiap } v \in V \text{ dan } (i, m, j, n, k) \in A_V \times K_V \dots \dots \dots (2.10)$$

10. *Compartment capacity constraint*

Jumlah produk k onboard kapal v saat berangkat dari posisi (i, m) , l_{imvk} , tidak dapat melebihi kapasitas kompartemen CAP_{vk} yang didedikasikan untuk produk k . Namun, ini akan bermakna hanya jika kapal v mengunjungi (i,m) yaitu, $\sum_{(j,n) \in S_T} x_{jnimv} = 1$, jika tidak maka *quantity* $l_{imvk} = 0$

$$l_{imnk} \leq \sum_{(j,n) \in S_T} CAP_{vk} x_{jnimv}, \text{ untuk setiap } v \in V \text{ dan setiap } (k, i, m) \in K_V \times S_N \dots \dots \dots (2.11)$$

11. Servicing product constraint

Variabel o_{imvk} untuk menunjukkan kapan produk k di (un)loading pada pelabuhan (i, m) oleh kapal v . o_{imvk} bernilai 1 jika positif, jika tidak = 0.

a. Pelabuhan Demand

q_{imvk} = Jumlah produk k yang di unloading dari kapal v pada pada pelabuhan (i, m) tidak akan melebihi kapasitas kompartemen CAP_{vk} kapal v untuk produk k .

$$q_{imvk} \leq CAP_{vk} o_{imvk}, \text{ untuk setiap } v \in V \text{ dan setiap } (k, i, m) \in K_v \times S_T \dots \dots \dots (2.12)$$

b. Pelabuhan Suplai

q_{imvk} = Jumlah produk k yang di loading ke kapal v pada pada pelabuhan (i, m) harus sama dengan kompartemen CAP_{vk} kapal v untuk produk k .

$$q_{imvk} = CAP_{vk} o_{imvk}, \text{ untuk setiap } v \in V \text{ dan setiap } (k, i, m) \in K_v \times S_T \dots \dots \dots (2.13)$$

d. Constraint for time aspect

12. Service time sequence constraint

Minimum jeda waktu antara waktu kedatangan t_{im} dan waktu kedatangan kapal sebelumnya $t_{i(m-1)}$ adalah lebih besar dari 0.2

$$t_{im} - t_{i(m-1)} > 0.2, \text{ untuk setiap } (i, m) \in S_N \dots \dots \dots (2.14)$$

13. Service Finishing constraint

Waktu keberangkatan kapal di suatu pelabuhan, t_{Eim} , waktu kedatangan, t_{im} , ditambah waktu yang diperlukan untuk layanan semua produk $(\sum_{v \in V} \sum_{k \in K_v} TQ_{ik} q_{imvk})$.

$$t_{im} + \sum_{v \in V} \sum_{k \in K_v} TQ_{ik} q_{imvk} - t_{Eim} = 0,$$

$$\text{untuk setiap } (i, m) \in S_T \dots \dots \dots (2.15)$$

14. Route and schedule compatibility constraint

Jika kapal v berlayar dari posisi (i, m) ke (j, n) dimana, $x_{imjnv} = 1$, maka waktu kedatangan di (j, n) , t_{jn} , adalah jumlah waktu keberangkatan dari (i, m) setelah kapal melaksanakan service, t_{Eim} , dan waktu perjalanan dari pelabuhan i ke pelabuhan j dengan kapal v, T_{ijv} .

$$x_{imjnv} [t_{Eim} + T_{ijv} - t_{jn}] \leq 0, \text{ untuk setiap } v \in V \text{ dan tiap } (i, m, j, n) \in A_v \dots \dots \dots (2.16)$$

e. Constraint for the inventories

15. Inventory level constraint

Stok level saat selesai service, s_{Eim} sama dengan tingkat level, s_{imk} sebelum kapal v datang dikurangi jumlah q_{imvk} yang di-loadingkan ($J_{ik} = +1$) atau ditambah jumlah q_{imvk} yang dibongkar ($J_{ik} = -1$) ditambah jumlah yang diproduksi ($J_{ik} = +1$) saat kapal v sedang dimuat (atau minus jumlah yang dikonsumsi, $J_{ik} = -1$) saat kapal v bongkar) dengan rata-rata, R_{ik} , selama periode waktu $t_{Eim} - t_{im}$.

$$s_{imk} - \sum_{v \in V} J_{ik} q_{imvk} + J_{ik} R_{ik} (t_{Eim} - t_{im}) - s_{Eimk} = 0, \text{ untuk setiap } (i, m, k) \in S_T \times K_i^H \dots \dots \dots (2.17)$$

Inventory saat kapal datang

$$s_{Ei(m-1)k} + J_{ik} R_{ik} (t_{im} - t_{Ei(m-1)}) - s_{imk} = 0, \text{ untuk setiap } (i, m, k) \in S_N \times K_i^H \dots \dots \dots (2.18)$$

16. Stock level constraint selama planning horizon

Di setiap posisi (i, m) stok produk k harus berada diantara level minimum s_{MNik} dan maksimum s_{MXik} .

$$s_{MNik} \leq s_{imk} \leq s_{MXik}, \text{ untuk setiap } (i, m, k) \in S_T \times K_i^H \dots \dots (2.19)$$

$$s_{MNik} \leq s_{Eimk} + J_{ik} R_{ik} (T - t_{Eim}) \leq s_{MXik}, \text{ untuk setiap } (i, m, k) \in S_T \times K_i^H \dots \dots \dots (2.20)$$

17. Stock level bound

Untuk pelabuhan *demand*, stok level pelabuhan saat kapal datang S_{imk} harus berada diatas *safety stok* A_{MNik}

$$S_{imk} + a_{imk}^- \geq A_{MNik}, \text{ untuk setiap } (i, m, k) \in S_T \times K_i^H \dots \dots (2.21)$$

Safeti stok dikurangi minimum stok akan menghasilkan jumlah *inventory* di bawah safeti stok.

$$a_{imk}^- \leq A_{MNik} - S_{MNik}, \text{ untuk setiap } (i, m, k) \in S_T \times K_i^H \dots \dots (2.22)$$

f. Sign and integrality Constraint

$$t_{im}, t_{Eim} \leq T \dots \dots \dots (2.23)$$

$$x_{imjnv}, y_{im}, o_{imvk} \in \{0, 1\} \dots \dots \dots (2.24)$$

$$l_{imvk}, q_{imvk}, S_{imk}, S_{Eimk}, a_{im}^-, T \geq 0 \dots \dots \dots (2.25)$$

Himpunan

- z : Himpunan Biaya
- S_T : Himpunan semua pelabuhan kedatangan (i,m) dimana $i \in H_T$ and $m \in M_i$.
- H_T : Himpunan semua pelabuhan.
- M_i : Himpunan jumlah kedatangan di pelabuhan i .
- S_0 : Himpunan posisi awal $\{(i_v, m_v) | v \in V\}$.
- S_N : Himpunan semua posisi yang mungkin ditempati oleh kapal setelah meninggalkan posisi awal.
- V : Himpunan semua kapal v .
- A_v : Himpunan *feasible arc* untuk kapal v .
- K : Himpunan produk k .
- K_v : Himpunan produk yang dapat dibawa oleh kapal v .
- K_i^H : Himpunan produk yang di pelabuhan i .

Variabel

Variabel untuk aliran *network*

- x_{imjnv} : merupakan variabel aliran = 1 jika kapal v berlayar dari (i,m) ke (j,n) ; jika tidak, 0.
- y_{im} : Bernilai 1 jika (i,m) tidak dikunjungi; jika tidak, 0.

Variabel untuk *loading* dan *unloading*

- l_{imvk} :Jumlah muatan produk k dalam kompartemen kapal v ketika kapal meninggalkan pelabuhan (i,m) .
- q_{imvk} :Jumlah produk k yang di (un)loading (dari)ke kompartemen kapal v saat di pelabuhan (i,m) .

Variabel untuk aspek waktu

- o_{imvk} : Binary variabel 1 jika produk k di *loading* atau *discharge* di pelabuhan (i,m) , jika tidak 0.
- t_{im} : Waktu awal service di pelabuhan (i,m) .
- t_{Eim} : Waktu berakhirnya service di pelabuhan (i,m) .

Variabel untuk inventories

- s_{imk} : Stok produk k ketika service dimulai di pelabuhan (i,m) .
- s_{Eimk} : Stok level produk k ketika service berakhir di pelabuhan (i,m) .
- a_{imk}^- : Stok level produk k di pelabuhan (i,m) yang berada di bawah alarm inventory level.

Parameter

Parameter untuk aliran *network*

- i_v : Pelabuhan start untuk kapal v .
- m_v : Urutan kedatangan kapal v di pelabuhan i_v .

Parameter untuk *loading* dan *unloading*

- J_k : sama dengan 1 jika pelabuhan produksi, atau -1 jika pelabuhan konsumsi, dan 0 jika produk k tidak di produksi ataupun di konsumsi pada pelabuhan j.
- Q_{vk} : Jumlah produk k di kapal v saat awal *planning horizon*.
- CAP_{vk} : Kapasitas compartment produk k di kapal v.

Parameter untuk aspek waktu

- TQ_{ik} : Waktu yang dibutuhkan untuk load atau unload satu unit produk k di pelabuhan i.
- T_{ijv} : Waktu yang dibutuhkan untuk berlayar dari pelabuhan i ke j dengan kapal v.

Parameter untuk inventori

- IS_{ik} : Stok awal produk k di pelabuhan i.
- R_{ik} : Rata-rata konsumsi atau produksi produk k di pelabuhan i.
- S_{MNik} : Minimum stok produk k di pelabuhan i.
- A_{MNik} : Jumlah *safety stock* produk k di pelabuhan i.
- S_{MXik} : *Maximum stock level* produk k di pelabuhan i.
- T : waktu perencanaan.

Parameter untuk biaya

- CS_{ijv} : Biaya berlayar kapal v dari pelabuhan i ke j.
- CF_{ijv} : Biaya pelabuhan kapal v di pelabuhan i dan pelabuhan j.
- CW_{ik} : Biaya *loading* dan *unloading* di pelabuhan i untuk produk k.
- C_{Pik} : Biaya penalti produk k di pelabuhan i.

BAB 3

DATA DAN PENGOLAHAN DATA

3.1 Pendahuluan

Penelitian dilakukan di PT. PERTAMINA (PERSERO) yang merupakan yang merupakan perusahaan minyak dan gas bumi yang dimiliki pemerintah Indonesia (*National Oil Company*), yang berdiri sejak tanggal 10 Desember 1957 dengan nama PT. PERMINA. Pada tahun 1961 perusahaan ini berganti nama menjadi PN PERMINA dan setelah merger dengan PN PERTAMIN di tahun 1968 namanya berubah menjadi PN PERTAMINA. Dengan bergulirnya Undang Undang No. 8 Tahun 1971 nama perusahaan berganti PERTAMINA. Sebutan ini tetap dipakai setelah PERTAMINA setelah berubah status hukumnya menjadi PT PERTAMINA (PERSERO) pada tanggal 17 September 2003 berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 tahun 2001 pada tanggal 23 November 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi.

Adapun tujuan dari Perusahaan Perseroan adalah untuk:

- a. Mengusahakan keuntungan berdasarkan prinsip pengelolaan Perseroan secara efektif dan efisien.
- b. Memberikan kontribusi dalam meningkatkan kegiatan ekonomi untuk kesejahteraan dan kemakmuran rakyat.

Untuk mencapai maksud dan tujuan tersebut, Perseroan melaksanakan kegiatan usaha sebagai berikut:

- c. Menyelenggarakan usaha di bidang minyak dan gas bumi beserta hasil olahan dan turunannya.
- d. Menyelenggarakan kegiatan usaha di bidang panas bumi yang ada pada saat pendiriannya, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang telah mencapai tahap akhir negosiasi dan berhasil menjadi milik Perseroan.
- e. Melaksanakan pengusahaan dan pemasaran *Liquified Natural Gas (LNG)* dan produk lain yang dihasilkan dari kilang *LNG*.

- f. Menyelenggarakan kegiatan usaha lain yang terkait atau menunjang kegiatan usaha sebagaimana dimaksud dalam nomor 1, 2, dan 3.

Sesuai dengan ketentuan dalam Undang-Undang MIGAS baru, perusahaan ini tidak lagi menjadi satu-satunya perusahaan yang memonopoli industri MIGAS dimana kegiatan usaha minyak dan gas bumi diserahkan kepada mekanisme pasar.

Prinsip yang dipegang oleh PT. Pertamina adalah sebagai berikut :

1. *Clean* (bersih)

Dikelola secara profesional, menghindari benturan kepentingan, tidak menoleransi suap, menjunjung tinggi kepercayaan dan integritas. Berpedoman pada asas-asas tata kelola korporasi yang baik.

2. *Competitive* (Kompetitif)

Mampu berkompetisi dalam skala regional maupun internasional, mendorong pertumbuhan melalui investasi, membangun budaya sadar biaya dan menghargai kinerja

3. *Confident* (Percaya Diri)

Berperan dalam pembangunan ekonomi nasional, menjadi pelopor dalam reformasi BUMN, dan membangun kebanggaan bangsa.

4. *Customer Focused* (Fokus Pada Pelanggan)

Berorientasi pada kepentingan pelanggan, dan berkomitmen untuk memberikan pelayanan terbaik kepada pelanggan.

g. *Commercial* (Komersial)

Menciptakan nilai tambah dengan orientasi komersial, mengambil keputusan berdasarkan prinsip-prinsip bisnis yang sehat

h. *Capable* (Berkemampuan)

Dikelola oleh pemimpin dan pekerja yang profesional dan memiliki talenta dan penguasaan teknis tinggi, berkomitmen dalam membangun kemampuan riset dan pengembangan

3.2 Pengoperasian Kapal Tanker

Dalam mendistribusikan bahan bakar, PT. Pertamina (Persero) sangat membutuhkan armada kapal yang kuat karena wilayah Indonesia merupakan kepulauan yang dipisahkan oleh laut. Distribusi bahan bakar merupakan hasil kerjasama dan koordinasi fungsi-fungsi terkait seperti ISC (*Integrated Supply Chain*), perkapalan dan S&D (*Supply and Demand*) dimana setiap perwakilan dari fungsi tersebut ditempatkan dalam satu ruangan khusus untuk mempermudah komunikasi dan koordinasi.

Rapat evaluasi distribusi bahan bakar dijadwalkan setiap bulan guna melihat kekurangan bulan sebelumnya sekaligus untuk merencanakan distribusi bulan selanjutnya. ISC bertugas menganalisa rencana pengadaan muatan berdasarkan informasi kebutuhan dari fungsi S&D, selanjutnya fungsi perkapalan akan mengatur jadwal kapal guna memenuhi kebutuhan tersebut. Jadwal kapal yang dihasilkan biasa disebut dengan *master program*. Karena luasnya cakupan distribusi, beragamnya kebutuhan di tiap daerah, dan bervariasinya tipe kapal yang dioperasikan, distribusi bahan bakar ini sering mengalami kendala baik yang disebabkan suplai point, depot maupun kurangnya koordinasi dan komunikasi. Rute dan penjadwalan kapal yang dilaksanakan saat ini didasarkan pada nilai permintaan dan dikombinasikan dengan pengalaman dari para perencana tersebut.

3.3 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data operasional kapal yang didapatkan dari fungsi operasi perkapalan, data pelabuhan di dapatkan dari fungsi port management dan buku informasi pelabuhan edisi VI tahun 2006 yang diterbitkan oleh PT. Pertamina (Persero), data kebutuhan di tiap depot di dapatkan dari fungsi S & D. Data tersebut merupakan data satu tahun dari bulan Januari 2010 sampai dengan Desember 2010. Berikut adalah rincian data yang digunakan dalam thesis ini:

- Data pelabuhan
- Data kapal
- Data realisasi operasi kapal

Dalam penelitian ini, semua nama pelabuhan dan nama kapal disajikan dalam bentuk singkatan untuk melindungi kerahasiaan data.

3.3.1 Pelabuhan

Pada wilayah IV, terdapat terdapat tiga (3) pelabuhan dan satu (1) floating storage yang menjadi suplai point serta empat (4) pelabuhan yang harus dipenuhi kebutuhannya.



Gambar 3.1 Posisi Pelabuhan

Sumber: Operasi Perkapalan

Gambar 3.1 memperlihatkan posisi pelabuhan wilayah IV yang akan dibahas dalam penelitian ini.

Produk pada pelabuhan suplai.

- CLC : Premium, Kero, Solar
- BPP : Premium, Kero, Solar
- TTB : Premium, Solar
- XPN : Solar

Produk pada pelabuhan utama (depot).

- SBY : Kero
- TTM : Kero, Solar
- TWI : Premium, Kero, Solar
- KUP : Premium, Kero, Solar

3.3.1.1 Pelabuhan Suplai

Dalam thesis ini, ketersediaan produk di pelabuhan suplai dianggap tidak terbatas.

i. BPP

Merupakan kilang yang didedikasikan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar di Kalimantan, Sulawesi dan sebagian Irian Jaya



Gambar 3.2 Kilang BPP

Sumber: www.skyscrapercity.com

Terletak pada koordinat: $01^{\circ} 15' 10''$ LS/ $116^{\circ} 48' 30''$ BT

Kedalaman Alur : ambang luar = 16 m, masuk/keluar 13 m, ambang dalam 12 m, kolam pelabuhan 10-12m.

Kapasitas tangki : Premium 8.100 T, Kerosine 17.000 T, Solar 12.870 KL.

j. Kilang CLC

Terletak pada koordinat: $07^{\circ} 42' 01''$ LS/ $108^{\circ} 59' 28''$ BT

Kedalaman Alur

	SPM	CIB	Area 70	Area 60
Ambang luar	37	17	17	17
Ambang Dalam	-	14	12.1	7.0
Kolam Pelabuhan	-	17	13.0	6.5
Safe draft	-	12.5	10.5	5.5

Kapasitas tangki : Premium 96.000 KL, Kerosine 112.000 KL, Solar 124.000 KL.

Kilang CLC mendapatkan minyak mentah dari wilayah Arab dan diolah untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar di pulau Jawa, Bali, dan sebagian Sumatera.

k. TTB

Terletak pada koordinat: $06^{\circ} 43' 52''$ LS/ $112^{\circ} 09' 20''$ BT

Kedalaman Alur : 27 m

Kapasitas tangki : Premium 159.000 KL, Solar 200.000 KL

TTB merupakan depot utama yang baru dioperasikan mulai pertengahan tahun 2010. TTB diproyeksikan untuk sebagai depot penunjang wilayah IV dan untuk menggantikan fungsi XPN.

l. XPN

Terletak pada koordinat: $07^{\circ} 37' 24''$ LS/ $113^{\circ} 54' 36''$ BT

Kedalaman Alur : 12.1 m

Kapasitas tangki : Solar 80.000 KL.

XPN merupakan *floating storage* sehingga tidak terdapat biaya pelabuhan saat kapal muat di area tersebut.

3.3.1.2 Pelabuhan Demand

a. SBY

Terletak pada koordinat: $07^{\circ} 11' 56''$ LS/ $112^{\circ} 43' 02.5''$ BT

Kedalaman Alur : ambang luar = 14 m, masuk/keluar 8.8-10 m, ambang dalam 10 m, kolam pelabuhan 10-20m.

Kapasitas tangki : Premium 14.290 KL, Kerosine 31.710 KL, Solar 13.282 KL.

Pelabuhan ini dapat dilayani oleh kapal GP dan MR. Premium dianggap 0 karena secara operasional kapal pertamina perkapalan sangat jarang mensuplai premium karena telah di penuhi oleh kapal *import* dari Singapore yang operasionalnya di

tangani oleh Pertamina Energy Trading Limited (PETRAL) berkedudukan di Singapore. Solar di suplai melalui pipa dari Tuban.

b. TTM

Terletak pada koordinat: $08^{\circ} 30' 41''$ LS/ $115^{\circ} 30' 31''$ BT

Kedalaman Alur : ambang luar = 25 m, masuk/keluar 15 m, ambang dalam 11 m, kolam pelabuhan 14m.

Kapasitas tangki : Premium 34.500 KL, Kerosine 30.000 KL, Solar 57.500 KL.

Kargo premium sebagian disuplai dari import, sehingga konsumsi per hari untuk premium nilainya akan dibagi dua.

c. TWI

Terletak pada koordinat: $08^{\circ} 08' 00''$ LS/ $114^{\circ} 24' 05''$ BT

Kedalaman Alur : ambang luar = 150 m, masuk/keluar 50 m, ambang dalam 50 m, kolam pelabuhan 15m.

Dermaga : 9.2 m

Kapasitas tangki : Premium 23.818 KL, Kerosine 9.566 KL, Solar 18.900 KL.

Pelabuhan ini mempunyai *draft* yang terbatas sehingga hanya kapal MR tidak dapat melakukan kegiatan bongkar.

d. KUP

Terletak pada koordinat: $10^{\circ} 12' 23''$ LS/ $123^{\circ} 31' 16.6''$ BT

Dermaga : 9.2 m

Kapasitas tangki : Premium 6.166 KL, Kerosine 8.452 KL, Solar 12.122 KL.

Pelabuhan ini mempunyai *draft* yang terbatas sehingga hanya kapal MR tidak dapat melakukan kegiatan bongkar

Berikut adalah tabel jarak antar pelabuhan dalam nautical mile.

Tabel 3.1 Jarak Antar Pelabuhan

Sumber : Operasi Perkapalan

	CLC	TTB	XPN	BPP	SBY	TWI	TTM	KUP
CLC	0	592	380	862	542	350	385	914
TTB	592	0	192	492	50	212	325	720
XPN	380	192	0	443	142	65	145	483
BPP	862	492	443	0	442	455	482	760
SBY	542	50	142	442	0	162	275	670
TWI	350	212	65	455	162	0	107	582
TTM	385	325	145	482	275	107	0	520
KUP	914	720	483	760	670	585	520	0

Tabel 3.2 menyajikan stok bahan bakar di pelabuhan dalam satuan Kiloliter

Tabel 3.2 Stok di Pelabuhan

Sumber : Operasi Perkapalan

Port, Product	Safety Stock	Alarm Level	Stock max	j	Demand/day	Pinalty per KL
SBY						
1 Premium	0	0	0	0	0	0
2 Kerosene	1899.568	2213.028	32000	-1	313.46	100,000
3 Solar	0	0	0	0	0	0
TWI						
1 Premium	7076.245	8326.465	23818	-1	1250.22	100,000
2 Kerosene	561.642	660.8718	9566	-1	99.23	100,000
3 Solar	4155.345	4889.506	18900	-1	734.16	100,000
TTM						
1 Premium	8206.282	9760.5	34500	-1	1554.216	100,000
2 Kerosene	3239.227	3852.717	30000	-1	613.49	100,000
3 Solar	17070.029	20302.99	57500	-1	3032.96	100,000
KUP						
1 Premium	1562.19	2082.92	6166	-1	520.73	100,000
2 Kerosene	591.84	789.12	8425	-1	197.28	100,000
3 Solar	1933.56	2578.08	12122	-1	644.52	100,000

Keterangan j = -1 menunjukkan pelabuhan konsumsi
 0 tidak terdapat konsumsi ataupun produksi
 1 menunjukkan pelabuhan produksi

Alarm level merupakan jumlah stok bahan bakar diatas *safety stock*, yang nantinya akan berfungsi sebagai *soft inventory constraint*.

3.3.2 Kapal

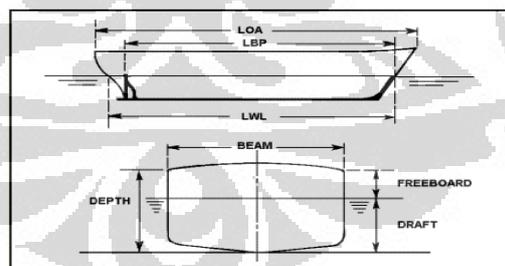
Terdapat dua tipe kapal yang digunakan untuk mendistribusikan bahan bakar di wilayah IV, yaitu MR (*medium range*) dengan kisaran 25.000 – 45.000 LTDW dan GP (*general purpose*) dengan kisaran 6.500- 25.000 LTDW. Karena luasnya kisaran kapal GP, maka kapal tersebut di bagi menjadi 2 kelompok, yaitu GP-1 kisaran 6.500 – 16.500 LTDW dan GP-2 kisaran 16.500 – 25.000 LTDW. Berikut adalah data kapal GP (MT. PGD dan MT. AEP) serta MR (MT. GDN) yang akan dipakai dalam penelitian ini untuk mensuplai bahan bakar di wilayah IV.

Tabel 3.3 Ship Particular Kapal GP dan MR

Sumber : Koordinator Pembangunan Kapal

	General Purpose (17,781 LTDW)	Medium Range (32,042 LTDW)	General Purpose (14,445 LTDW)
Nama Kapal	PGD	GDN	AEP
Length Overall (Loa)	158.00 m	174.05 m	139.30 m
Length, between perpendiculars (Lpp)	150.00 m	171.00 m	131.10 m
Breadth Molded	27.70 m	31.28 m	20.8 m
Design Draft	6.88 m	9.21 m	8.5 m
Main engine	5700 BHP	9000 HP	5870 BHP
Cargo Tank	24,814 m ³	42,955 m ³	15,326 m ³
Cargo Pump	3 x 600 m ³ /h	3 x 1200 m ³ /h	10x 300 m ³ /h
Speed	13.2 knot	14 knot	13.4 knot
Complement	28 persons	30 persons	-

Gambaran visual tentang dimensi utama kapal dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.3 Dimensi Kapal

Sumber : www.globalsecurity.org

Besaran kargo premium, kerosene, solar yang diangkut oleh kapal menggunakan kebiasaan (*rule of thumb*) yang dijalankan oleh operasi tanker. Misalkan Kapal GP dengan kapasitas 17500 LTDW, maka cargo yang diangkut sebesar = 7 5 5 = (7000 ton premium, 5000 ton kerosene, 5000 ton solar). Kapal MR dengan kapasitas 30000 DWT, cargo yang diangkut sebesar = 10 9 10 = (10.000 ton

Premium, 9.000 ton kerosene, 10.000 ton Solar). Pada kondisi aktual, pembagian cargo ini sangat fleksibel tergantung dari kebutuhan depot. Perbandingan kapasitas kompartemen kapal GP dan MR dapat dilihat pada tabel 3.4

Tabel 3.4 Kapasitas Kompartemen Kapal GP dan MR

Sumber : Operasi Perkapalan

KETERANGAN	TYPE KAPAL		
	PGD (GP)	GDN (MR)	AEP(GP)
Kapasitas angkut 100% (KL)	24,802	42,926	15,326
Kapasitas angkut operasional 98% (KL)	24,306	42,068	(75%) 11,495
Premium (KL)	10,008	14506	4733
Kerosene (KL)	7149	13056	3381
Solar (KL)	7149	14506	3381

3.4 Olah Data

3.4.1 Realisasi Pengoperasian Kapal

Data operasi kapal mulai Januari 2010 s/d Desember 2010 didapatkan dari VMIS (*Vessel Management Information System*) – Operasi Perkapalan, meliputi data pergerakan kapal, jumlah muatan yang diangkut, jumlah pemakaian bahan bakar, dan jumlah muatan yang dimuat maupun yang dibongkar. Selama tahun 2010 terdapat 4.473 pelayaran dengan total 45 kapal untuk kapal GP dan MR diseluruh Indonesia, untuk wilayah 4 terdapat 259 kali kegiatan discharge. Pada wilayah ini tidak terdapat kapal khusus yang didedikasikan untuk melakukan distribusi, hal ini terlihat dari berganti-gantinya kapal selama tahun 2010. Dalam penelitian ini sejumlah kapal akan di dedikasikan untuk wilayah IV. Nama kapal dan pelabuhan diberikan dalam singkatan untuk melindungi kerahasiaan data.

Berikut adalah nama-nama kapal GP yang melayani wilayah operasi IV selama tahun 2010

Tabel 3.5 Kapal GP di Wilayah IV Selama Tahun 2010

Sumber : Operasi Perkapalan

No	Tipe	Nama Kapal	SBY	TWI	TTM	KUP	Total Servis	YOB	DWT	Draft (m)	Tipe Mesin	BHP
1	GP	AEP		19	3	24	46	2009	14,445	8.50	MAN 9L32/40	5,870
2		PTBN	1	4		1	6	1979	15,521	7.00	B&W 7 L45GF	6,160
3		SPM			1	1	2	2008	16,800	8.80	B&W 6S35MC-MK7	6,060
4		PGD		10	3	12	25	1998	17,781	6.88	B&W 6S35MC	5,700
5		PMT		5	2		7	1979	17,990	7.00	B&W 7 L45GF	6,160
6		GAT		1			1	1999	18,144	7.00	B&W 7S35MC	6,662
7		JCN		6	3	2	11	1993	18,056	6.98	Mitsubishi 6UEC45LA	7,200
		Jumlah	1	45	12	40						

Terdapat total 7 kapal dengan frekwensi suplai yang berbeda untuk melayani kebutuhan bahan bakar wilayah IV.

Tabel 3.6 Kapal MR di Wilayah IV Selama Tahun 2010

Sumber : Operasi Perkapalan

No	Tipe	Nama Kapal	SBY	TWI	TTM	KUP	Total Servis	YOB	DWT	Draft (m)	Tipe Mesin	BHP
1	MR	SRJY	3		4		7	1983	29,496	9.12	Sulzer 6RL8 66	11,100
2		SNDG	1		3		4	1982	29,496	9.10	Sulzer 6RL8 66	11,100
3		SPGN			3		3	1982	29,941	9.10	Sulzer 6RL8 66	11,100
4		SNGA			3		3	1983	29,952	9.10	Sulzer 6RL8 66	11,100
5		SNGT	2		6		8	1982	29,952	9.10	Sulzer 6RL8 66	11,100
6		MLN			1		1	1983	29,990	10.77	B&W 6L67GF-CA	12,000
7		MEGY	3		3		6	1990	29,998	10.26	B&W 6S50MC	7,700
8		MTR			3		3	1984	29,992	10.68	Sulzer 6RTA58	
9		FTN			4		4	2005	30,070	9.02	B&W 6S42MC	7,938
10		GDN	1		6		7	1998	32,042	9.21	B&W 5S50MC	9,000
11		FNS			1		1	1985	37,642	11.47	Sulzer	8150
12		EDR	2		9		11	1992	40,392	11.20	B&W 5L60MC	10,400
		Jumlah	12		46		58					

Keterangan : *YOB = Year of Build*

Tabel 3.6 memperlihatkan frekwensi suplai bahan bakar wilayah IV dimana kapal MR tidak dapat mensuplai pelabuhan TWI dan KUP karena mempunyai draft yang besar.

3.4.2 Biaya Kapal

Adalah waktu yang dibutuhkan kapal ketika berada di *discharging port*, dimana menggunakan fasilitas pompa kapal. Waktu dihitung mulai dari dipompanya muatan ke pelabuhan *discharge* (*Commence Loading, CML*) sampai selesai proses pemompaan (*Completed Loading, CPL*). Lama *loading time* tergantung dari jumlah muatan yang dipompa.

Berikut adalah rata-rata loading untuk pelabuhan suplai dan rata-rata unloading untuk kapal GP serta MR

Tabel 3.8 Loading and Unloading Times (Hari/KL)

Sumber : Operasi Perkapalan

<u>Pelabuhan Suplai</u>	(Un) Loading rate
BPP	0,00005
CLC	0,00003
XPN	0,00003
TTB	0,00004
<u>Kapal GP</u>	0,00010
<u>Kapal MR</u>	0,00004

Terlihat bahwa kilang CLC dan pelabuhan XPN mempunyai rata-rata loading yang paling besar.

3.4.4 *Sea time*

Sea time adalah waktu yang dibutuhkan tiap kapal untuk berlayar dari pelabuhan pemberangkatan ke pelabuhan tujuan. *Sea time* dihitung mulai dari waktu (*Actual time departure, ATD*) pelabuhan sebelumnya sampai dengan (*Actual time arrival, ATA*) pelabuhan berikutnya. *Sea time* atau waktu pelayaran dapat dipengaruhi oleh kondisi lautan, dimana pada waktu-waktu tertentu (September-Desember) laut mempunyai ombak yang besar sehingga waktu pelayaran kapal akan sedikit bertambah. Kondisi muatan kapal (apakah kapal *full load* atau *ballast condition*) jika dilihat lebih detail juga mempengaruhi kecepatan kapal yang pada akhirnya akan berpengaruh pada *sea time*.

Berikut adalah tabel *sea time* untuk kapal GP

Tabel 3.9 Sea Time Ballast dan Full Load Condition Kapal GP (Hari)

Sumber : Operasi Perkapalan

GP	CLC	TTB	XPN	BPP	SBY	TWI	TTM	KUP
CLC	0				0	0	1.32	0
TTB		0			0.22	1.03	1.12	2.92
XPN			0		0.54	0.22	0.87	2.26
BPP				0	1.58	1.63	2.8	2.91
SBY	0	0.22	0.58	1.45	0	0.62	0.79	2.82
TWI	0	1.09	0.26	1.20	0.78	0	0.33	2.21
TTM	1.32	1.1	0.52	1.82	0.79	0.39	0	1.94
KUP	0	3.01	2.23	2.85	2.79	2.21	1.94	0

Tabel 3.9 terlihat bahwa kapal GP hampir tidak pernah melakukan kegiatan loading di CLC dikarenakan kilang CLC diprioritaskan untuk kapal MR yang berukuran lebih besar dengan frekwensi loading yang cukup padat.

Tabel 3.10 Sea Time Ballast and Full Load Condition Kapal MR (Hari)

Sumber : Operasi Perkapalan

MR	CLC	TTB	XPN	BPP	SBY	TTM
CLC	0				2.50	1.34
TTB		0			0.30	1.09
XPN			0		0.55	0.69
BPP				0	1.58	1.95
SBY	2.22	0.19	0.52	1.68	0	0.79
TTM	1.60	0.95	0.44	1.49	0.79	0

Catatan: Tidak ada pergerakan kapal antar pelabuhan suplai.

Pada tabel 3.9 dan 3.10 terlihat *Sea time* kapal dalam keadaan *ballast condition* dan *full load condition* pada beberapa pelabuhan menunjukkan perbedaan.

3.4.5 Fuel Oil Consumption (FOC)

Fuel Oil Consumption (FOC) adalah jumlah bahan bakar yang digunakan oleh tiap kapal selama melakukan pelayaran.

Berikut disajikan rata-rata konsumsi bahan bakar kapal GP.

Tabel 3.11 Fuel Oil Consumption Kapal GP

Sumber : Operasi Perkapalan

No	Tipe	Nama Kapal	Tipe Mesin	BHP	Time/unit cargo	HFO (Ton/hari)
1	GP	AEP	MAN 9L32/40	5,870	0.00008	15.501
2		PTBN	B&W 7 L45GF	6,160	0.00013	11.722
3		SPM	B&W 6S35MC-MK7	6,060	0.00009	17.732
4		PGD	B&W 6S35MC	5,700	0.00008	12.217
5		PMT	B&W 7 L45GF	6,160	0.00011	12.456
6		GAT	B&W 7S35MC	6,662	0.00008	11.304
7		JCN	Mitsubishi 6UEC45LA	7,200	0.00012	16.701
		Rata-rata				13.94760
					0.00010	14.85420

Terlihat bahwa kapal dengan tipe yang sama mempunyai konsumsi bahan bakar berbeda karena mempunyai perbedaan pada *Main Engine* yang terpasang.

Berikut adalah rata-rata kebutuhan bahan bakar kapal MR selama melakukan pelayaran.

Tabel 3.12 Fuel Oil Consumption Kapal MR

Sumber : Operasi Perkapalan

No	Tipe	Nama Kapal	Tipe Mesin	BHP	HFO (Ton/hari)
1	MR	SRJY	Sulzer 6RL8 66	11,100	18.274
2		SNDG	Sulzer 6RL8 66	11,100	26.085
3		SPGN	Sulzer 6RL8 66	11,100	25.460
4		SNGA	Sulzer 6RL8 66	11,100	21.515
5		SNGT	Sulzer 6RL8 66	11,100	25.551
6		MLN	B&W 6L67GF-CA	12,000	19.836
7		MEGY	B&W 6S50MC	7,700	23.151
8		MTR	Sulzer 6RTA58		16.806
9		FTN	B&W 6S42MC	7,938	23.166
10		GDW	B&W 5S50MC	9,000	23.598
11		FNS	Sulzer	8150	16.050
12		EDR	B&W 5L60MC	10,400	21.089
		Rata-rata			21.71508
					23.126563

Fuel Oil Consumption at sea times merupakan jumlah bahan bakar yang dipergunakan kapal berlayar dari pelabuhan pemberangkatan (*actual time departure*, ATD) sampai tiba di pelabuhan tujuan (*actual time arrival*, ATA). *Fuel Oil Consumption at sea times* kita dapatkan dari hasil perkalian antara *FO consumption* dengan *Sea Times*.

BAB 4

PEMBAHASAN

Model di tulis dalam software lingo 10 versi industrial yang dikeluarkan oleh Lindo Systems Inc. Dijalankan dengan komputer Dell, processor Intel ® Core ™2 Duo CPU T7250 @2.00 GHz 2.00GHz, Memory (RAM) 1.00 GB

Tabel 4.1 Batas Variabel pada Lingo

Version	Total Variables	Integer Variables	Nonlinear Variables	Global Variables	Constraints
Demo/Web	300	30	30	5	150
Solver Suite	500	50	50	5	250
Super	2,000	200	200	10	1,000
Hyper	8,000	800	800	20	4,000
Industrial	32,000	3,200	3,200	50	16,000
Extended	<i>Unlimited</i>	<i>Unlimited</i>	<i>Unlimited</i>	<i>Unlimited</i>	<i>Unlimited</i>

Dari tabel di atas terlihat bahwa LINGO versi industrial yang dimiliki oleh Universitas terbatas pada jumlah variable 32.000 dengan integer variable 3.200.

4.1 Verifikasi Model

Sebagaimana disebutkan dalam bab 2, bahwa tesis ini menggunakan model matematis yang dibuat oleh F. Al-khayyal dan S. J. Hwang sebagai dasar untuk dikembangkan lebih lanjut. Penambahan biaya pelabuhan tidak mengubah kendala di dalam model dasar karena kendala yang ada sudah cukup lengkap untuk mendukung hal ini. Penambahan biaya pinalti memerlukan penambahan kendala seperti terlihat pada kendala 2.21 dan 2.22.

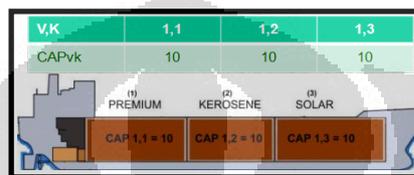
Verifikasi terhadap penambahan fungsi tujuan dan kendala dilakukan dengan menggunakan data *dummy* untuk melihat bahwa program telah berjalan sesuai dengan fungsinya. Dalam verifikasi disajikan illustrative example agar lebih memudahkan dalam pemahaman. Pada tahap awal akan disajikan model dasar yang dibuat Al-Khayyal, dilanjutkan dengan verifikasi penambahan biaya pinalti dan penambahan biaya pelabuhan. Hasil yang didapat kemudian dibandingkan dengan model dasar untuk melihat pengaruh penambahan fungsi tujuan dan tingkat kewajaran hasil yang telah diperoleh oleh model.

4.1.1 Penambahan Biaya Pinalti dan Biaya Pelabuhan

4.1.1.1 Contoh Model Dasar

Kapal 1 ($V=1$) mempunyai *dedicated* kompartemen (CAP_{vk}) yang akan digunakan untuk mengangkut 3 produk berbeda ($K=1, 2, 3$) yaitu premium (1), kerosene (2) dan solar (3) antara dua pelabuhan.

Berikut adalah gambaran kapal 1 dengan kapasitas kompartemen untuk tiap produk.



Gambar 4.1 Kompartemen Kapal untuk Tiap Produk

Catatan: V, K = 1,1 → kapal 1 kompartemen produk 1.
 = 1,2 → kapal 1 kompartemen produk 2...dan seterusnya

Pelabuhan 1 ($I = 1$) adalah suplai, pelabuhan 2 ($J = 2$) adalah *demand*. Dimana pada awal perencanaan posisi kapal berada di pelabuhan 1, $SO(I, M, V) = SO(1, 1, 1)$, tanpa muatan ($Q_{vk} = 0$). Waktu tempuh antar pelabuhan ($T_{ij} = T_{12} = 0.3$ hari) dengan biaya ($CS = Rp 1$). Biaya pelabuhan ($CF = Rp 2$), biaya *loading unloading* ($C_w = 0$), biaya Pinalti ($CP = Rp 2$). Kecepatan *loading unloading* ($TQ_{ik} = 0.01$ hari / unit produk) dengan *planning horizons* = 2 hari.

Data inventori pelabuhan diberikan pada tabel 4.2

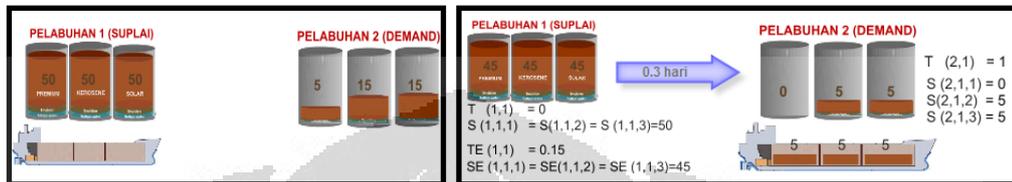
Tabel 4.2 Data Inventory Tiap Produk di Pelabuhan

IK (Port, Produk)	IS (Inventory awal)	SMN (Safety Stok)	SMX (Maksimum Stok)	J	R (Konsumsi)
1,1	50	0	50	1	0
1,2	50	0	50	1	0
1,3	50	0	50	1	0
2,1	5	0	20	-1	5
2,2	15	0	20	-1	10
2,3	15	0	20	-1	10

Catatan: I, K = 1,2 = Pelabuhan 1 produk 2...dan seterusnya
 IS = inventori awal
 S_{MN} = Inventori Minimum
 A_{MN} = Alarm inventori

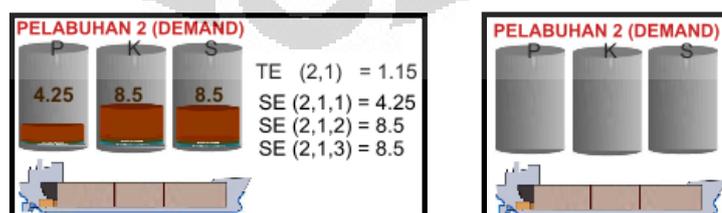
S_{MX} = Inventori Maksimum
 J = 1 untuk pelabuhan produksi, -1 untuk pelabuhan konsumsi
 R = Rata-rata produksi per hari atau konsumsi per hari

Hasil dari model dasar, dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 4.2 Posisi Awal dan Kapal Tiba di Pelabuhan 2

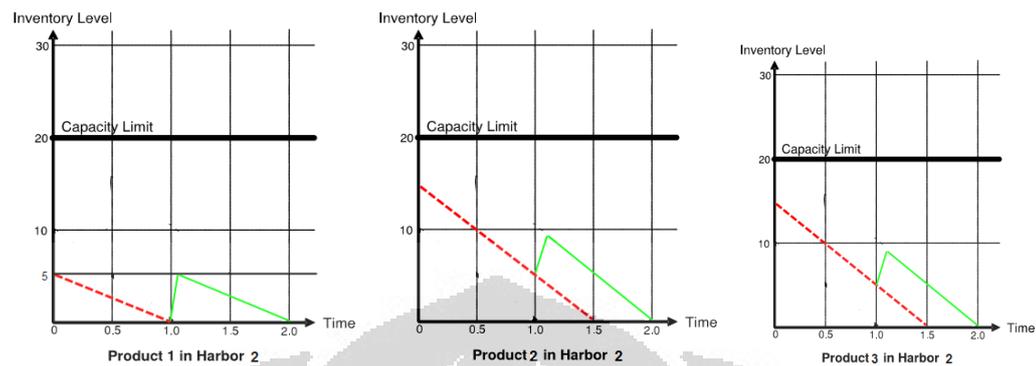
Posisi awal kapal adalah di pelabuhan 1 tanpa muatan. Waktu penyelesaian kurang dari 1 detik didapatkan solusi *Global Optimum*. Rute dan jadwal diilustrasikan dalam gambar 4.2, Kapal melaksanakan kegiatan loading sebesar 5 unit produk baik untuk premium, kerosene dan solar dimulai dari waktu ke 0 dan selesai pada saat 0.15 hari. *Inventory* awal di pelabuhan 1 akan berkurang 5 unit produk dari 50 menjadi 45 untuk semua produk. Kapal memerlukan 0.3 hari berlayar ke pelabuhan 2. Setelah *loading* kapal tidak langsung berlayar ke pelabuhan 2. Hal ini terlihat dari waktu kedatangan kapal di pelabuhan 2 (demand) $T(2,1)=1$. Kapal menunggu sampai terdapat salah satu produk di pelabuhan 2 mencapai minimum *inventory*. Untuk *problem* ini ia menunggu sampai stok premium di pelabuhan 2 habis (catatan : stok kerosene dan solar masih tersisa 5 unit produk saat kapal datang).



Gambar 4.3 Kapal Selesai *Unloading* dan Akhir *Planning Horizon*

Gambar 4.3 Kapal selesai *unloading* semua produknya pada waktu 1.15 dengan *inventory* di pelabuhan 2 adalah 4.25 untuk Premium, Kerosene dan Solar 8.5 unit

produk. *Schedule* ini telah sesuai dengan model dasar karena kapal dapat menjaga stok diantara *lower dan upper level* (≥ 0 dan ≤ 20) selama *planning horizon*.



Gambar 4.4 Pergerakan *Level Inventory* Tiap Produk

Pergerakan inventori produk di pelabuhan 2 (demand) selama *time horizon* ($t=2$) dapat dilihat pada gambar 4.4. Garis hijau menggambarkan perubahan *inventory level* ketika kapal melakukan kegiatan bongkar (*unloading*). Garis merah menggambarkan perubahan *inventory* saat tidak ada kapal yang melakukan kegiatan *unloading*. Perhatikan gambar 4.4 untuk produk 1 di pelabuhan 2, Inventori awal dimulai dari level 5, dan dikonsumsi dengan rata-rata 5 per hari. Jika tidak ada kapal yang datang sebelum hari ke 1, maka *inventory* akan habis di akhir hari pertama tersebut. Namun sesaat sebelum hari pertama berakhir kapal telah datang dan langsung melakukan kegiatan bongkar sebesar 5 unit produk 1 sehingga stok level tetap terjaga di antara *lower dan upper level* (≥ 0 dan ≤ 20) selama 2 hari *planning horizon*. Biaya yang terjadi adalah biaya kapal berlayar dari pelabuhan 1 ke pelabuhan 2 sebesar = Rp 1

Perhitungan Manual

Berikut adalah kebutuhan kargo pelabuhan 2 selama *planning horizon*.

Tabel 4.3 Perhitungan Kebutuhan Kargo

Cargo	Inv. Awal Pel 1 (suplai)	kec. Loading	Muatan awal kapal	Inv. Awal Pel 2 (Demand)	Rata2 Demand /hari	ketahanan stok	Tambahan kargo untuk memenuhi kebutuhan selama Planning Horizon [(rata2 Demand x (planning horizon - ketahanan stok)]
Premium	50	0.01	0	5	5	5/5 = 1 hari	5 x (2-1) = 5
Kerosene	50		0	15	15	15/10 = 1.5 hari	10 x (2-1.5) = 5
Solar	50		0	15	15	15/ 10 = 1.5 hari	10 x (2-1.5) = 5

Terlihat bahwa jumlah kargo yang harus disuplai adalah 5 unit untuk tiap produk.

Perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk *loading*.

Tabel 4.4 Perhitungan Kegiatan Loading

Cargo	Juml Cargo dimuat ke kapal	Kec. Loading/unloading (hari/unit produk)	Waktu untuk loading ke kapal (Cargo x kec. loading)	Sisa inv. di pel 1(Suplai) setelah loading (Inv. Awal - Juml cargo yg dimuat ke kapal)	Waktu finished loading di pelabuhan 1 (waktu kedatangan kapal + totl waktu loading)
Premium	5	0.01	$5 \times 0.01 = 0.05$	$50 - 5 = 45$	0 + 0.15 = 0.15 hari
Kerosene	5		$5 \times 0.01 = 0.05$	$50 - 5 = 45$	
Solar	5		$5 \times 0.01 = 0.05$	$50 - 5 = 45$	
			Totl waktu = 0.15		

Waktu yang dibutuhkan untuk *loading* premium, kerosene dan solar adalah 0.15 hari.

Tabel 4.5 Perhitungan Kegiatan Unloading

Cargo	Juml Cargo dibongkar dari kapal	Kec. Loading/unloading (hari/unit produk)	Sisa inv. di pel 2 (Demand) pada hari 1 saat kapal datang (Inv. Awal - demand harian)	Waktu untuk unloading di pel 2 (Cargo x kec. loading)	Waktu finished unloading di pelabuhan 2 (waktu kedatangan kapal + totl waktu unloading)
Premium	5	0.01	$5 - 5 = 0$	$5 \times 0.01 = 0.05$	1 + 0.15 = 1.15 hari
Kerosene	5		$15 - 10 = 5$	$5 \times 0.01 = 0.05$	
Solar	5		$15 - 10 = 5$	$5 \times 0.01 = 0.05$	
				Totl waktu = 0.15	

Waktu yang dibutuhkan untuk *unloading* premium, kerosene dan solar adalah 0.15 hari dan sehingga kapal selesai loading pada saat 1.15 hari.

Tabel 4.6 Perhitungan Kargo Setelah Bongkar dan Sisa Kargo

Cargo	Cargo di kapal setelah unloading (T=1.15) (Muatan awal kapal - Cargo yang di bongkar = Sisa Cargo di kapal)	Cargo di pelabuhan 2 setelah unloading (T=1.15) [Cargo saat kapal datang + Cargo yang dibongkar oleh kapal - Konsumsi selama kapal melakukan bongkar = Juml cargo di pelabuhan setelah kapal bongkar]	Cargo di pelabuhan 2 pada akhir planning horizon (T=2) [Cargo dipelabuhan setelah kapal bongkar - konsumsi setelah kapal bongkar sampai akhir planning horizon = Cargo di akhir planning horizon]
Premium	$5 - 5 = 0$	$0 + 5 - 5(0.15) = 4.25$	$4.25 - 5(2 - 1.15) = 0$
Kerosene	$5 - 5 = 0$	$5 + 5 - 10(1.15 - 1) = 8.5$	$8.5 - 10(2 - 1.15) = 0$
Solar	$5 - 5 = 0$	$5 + 5 - 10(1.15 - 1) = 8.5$	$8.5 - 10(2 - 1.15) = 0$

Jumlah inventory di pelabuhan 2 pada akhir *planning horizon* adalah 0

Total biaya = Biaya bahan bakar (sailing) dari pelabuhan 1 ke pelabuhan 2 = Rp 1

Hasil perhitungan manual di tiap langkah sudah sama dengan yang dikeluarkan oleh program di lingo.

4.1.1.2 Contoh Model dengan Pinalti

Permasalahan di atas kita kembangkan dengan menambahkan biaya pinalti di fungsi tujuan. Biaya pinalti dibebankan pada kapal yang terlambat mensuplai produk dipelabuhan 2 (*demand*) untuk semua produk (premium, kerosene maupun

solar). Penambahan kendala dan biaya pinalti diambil dari M. Christiansen, B, Nygreen (2005). Sampai saat ini biaya pinalti baru sebatas wacana yang akan diterapkan untuk menghindari depot kritis dan menjamin agar kapal selalu mensuplai bahan bakar saat *inventory level* di atas *safety stock*.

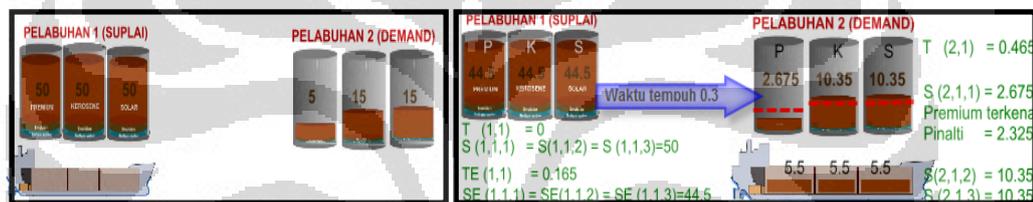
Data S_{MN} (minimum stok) = 0 dirubah 0.5 (safety stok)

A_{MN} (alarm inventori level) = 0 dirubah 5 untuk premium

0 dirubah 10 untuk kerosene dan solar

Biaya Pinalti = Rp 0.3 per unit produk. Jika kapal mensuplai produk pada saat *level inventory* dibawah A_{MN} (alarm minimum level) maka ia akan dikenakan pinalti.

Hasil Model dengan Pinalti



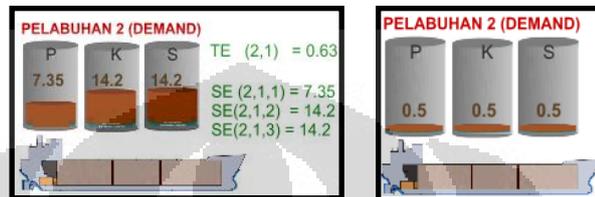
Gambar 4.5 Posisi Awal dan Kapal Tiba di Pelabuhan 2

Posisi awal kapal adalah di pelabuhan 1 tanpa muatan. Waktu penyelesaian kurang dari 1 detik didapatkan solusi *global optimum*. Hasil yang diperoleh berbeda dengan hasil model dasar dan telah sesuai dengan kendala yang ada (pinalti). Gambar 4.5, Kapal melaksanakan kegiatan *loading* sebesar 5.5 unit produk untuk premium, kerosene dan solar dimulai dari waktu ke 0 dan selesai pada saat 0.165 hari sehingga inventory awal di pelabuhan 1 akan berkurang 5.5 unit produk dari 50 menjadi 44.5.

Setelah selesai *loading* kapal langsung berlayar (berbeda dengan model dasar yang menunggu sampai di pelabuhan 2 mencapai minimum inventory) dan sampai di pelabuhan 2 $T(2,1)=0.465$ karena waktu yang dibutuhkan untuk berlayar adalah 0.3 hari.

Saat kapal di pelabuhan 2, posisi stok premium 2.675, kerosene dan solar 10.35 unit produk. Dalam contoh diatas kita telah menentukan bahwa kapal harus

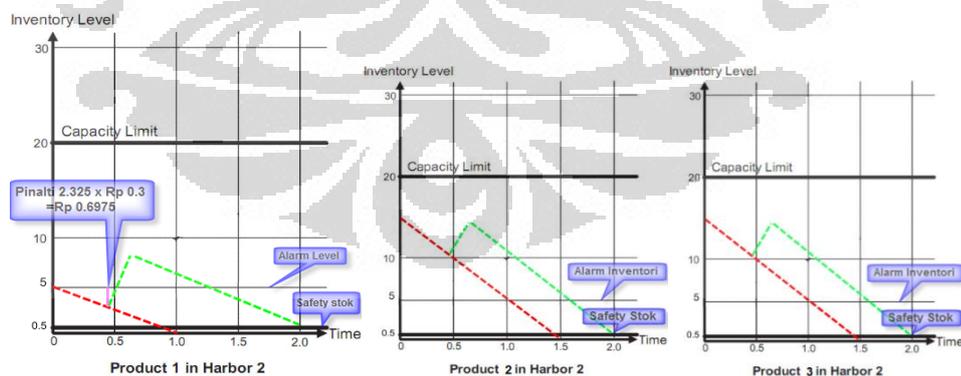
mensuplai di atas safety stok (0.5) dan ini telah terpenuhi. Selain itu kapal juga harus berusaha mensuplai di atas A_{MN} (Alarm inventori level) premium =5, kerosene dan solar = 10. Pada gambar terlihat bahwa hanya produk premium yang disuplai saat di bawah $A_{MN} = 5$, sehingga kapal terkena biaya pinalti. $2.325 \times \text{Rp } 0.3 = \text{Rp } 0.6975$. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kendala pinalti telah berfungsi.



Gambar 4.6 Kapal Selesai *Unloading* dan Akhir *Planning Horizon*

Kapal selesai *unloading* semua produknya pada waktu 0.63 dengan inventori di pelabuhan 2 bertambah menjadi adalah 7.35 untuk Premium, Kerosene dan Solar 14.2 unit produk. Jadwal ini telah sesuai dengan model karena kapal dapat menjaga level diantara *safety stock* dan stok maksimum (≥ 0.5 dan ≤ 20) selama *planning horizon*.

Pergerakan inventori produk di pelabuhan 2 (*demand*) selama *time horizon* ($T=2$) dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pergerakan *Level Inventory* Tiap Produk (dengan Pinalti)

Garis hijau menggambarkan perubahan inventori level ketika kapal melakukan kegiatan bongkar (*unloading*). Garis merah menggambarkan perubahan inventory jika pelabuhan 2 tidak disuplai kargo. Produk 1 di pelabuhan 2, inventori awal

dimulai dari level 5, dan dikonsumsi dengan rata-rata 5 per hari. Jika tidak ada kapal yang datang sebelum hari ke 1, maka inventori akan habis di akhir hari pertama tersebut. Kapal datang pada waktu 0.465 hari saat stok premium 2.675 berada dibawah alarm inventory level = 5. Sehingga kapal terkena pinalti sebesar $2.325 \times \text{Rp } 0.3 = \text{Rp } 0.6975$. Gambar inventory premium dipelabuhan 2 sedikit diperbesar untuk menunjukkan pada posisi mana pinalti terjadi. Berbeda dengan model dasar, total biaya akan ditambah dengan biaya pinalti.

Total biaya = Sailing Cost + Pinalti Cost = Rp 1 + Rp 0.6975 = Rp 1.6975

Perhitungan Manual

Berikut adalah tabel perhitungan manual untuk model dengan pinalti.

Tabel 4.7. Data Awal

Cargo	Inv. Awal Pel 1 (suplai)	kec. Loading	Muatan awal kapal	Inv. Awal Pel 2 (Demand)	Safety Stock	Alarm Inv. Level	Rata2 Demand /hari
Premium	50	0.01	0	5	0.5	5	5
Kerosene	50		0	15	0.5	10	10
Solar	50		0	15	0.5	10	10

Perbedaannya dengan data pada model dasar terletak pada penambahan data *safety stock* dan *alarm inventory level*.

Tabel 4.8 Pelabuhan 1 Saat Kapal Loading

Cargo	Waktu inventori habis sampai batas safety stok	Max. kapal harus sampai di pelabuhan 2 pada waktu	Minimum Tambahan cargo untuk memenuhi kebutuhan selama Planning Horizon [(rata2 Demand x (planning horizon - waktu habisnya inventori)]	Sisa inv. di pel 1 (Suplai) setelah loading (Inv. Awal - Juml cargo yg dimuat ke kapal)	Waktu untuk loading ke kapal (Cargo x kec. loading)	Waktu finished loading di pelabuhan 1 (waktu kedatangan kapal + totl waktu loading)
Premium	$(5-0.5)/5 = 0.9$ hari	0.9 hari	$5 \times (2-0.9) = 5.5$	$50 - 5.5 = 44.5$	$5.5 \times 0.01 = 0.055$	$0 + 0.165 = 0.165$ hari
Kerosene	$(15-0.5)/10 = 1.45$ hari		$10 \times (2-1.45) = 5.5$	$50 - 5.5 = 44.5$	$5.5 \times 0.01 = 0.055$	
Solar	$(15-0.5)/10 = 1.45$ hari		$10 \times (2-1.45) = 5.5$	$50 - 5.5 = 44.5$	$5.5 \times 0.01 = 0.055$	
					Totl waktu = 0.165	

Minimum kargo dibutuhkan selama *planning horizon* sebesar 5.5 tiap produk.

Tabel 4.9 Pelabuhan 2 Saat Kapal Unloading

Cargo	Kapal sampai di pel 2 (waktu bergkt di pel 1 + waktu tempuh)	Sisa inv. di pel 2 (Demand) pada saat kapal datang (Inv. Awal - demand x Waktu kapal sampai)	Juml Cargo dibongkar dari kapal	Kec. Loading/ unloading (hari/unit produk)	Waktu untuk unloading di pel 2 (Cargo x kec. loading)	Waktu finished unloading di pelabuhan 2 (waktu kedatangan kapal + totl waktu unloading)
Premium	$0.165 + 0.3 = 0.465$	$5 - (5 \times 0.465) = 2.675$	5.5	0.01	$5.5 \times 0.01 = 0.055$	$0.465 + 0.165 = 0.63$ hari
Kerosene		$15 - (10 \times 0.465) = 10.35$	5.5		$5.5 \times 0.01 = 0.055$	
Solar		$15 - (10 \times 0.465) = 10.35$	5.5		$5.5 \times 0.01 = 0.055$	
					Totl waktu = 0.165	

Waktu kapal selesai unloading adalah 0.63 hari.

Berikut adalah kondisi *inventory* setelah kapal melakukan bongkar dan pada akhir *planning horizon*.

Tabel 4.10 Inventory Pelabuhan 2 Saat Selesai Unloading

Cargo	Cargo di kapal setelah unloading (Muatan awal kapal - Cargo yang di bongkar)	Cargo di pelabuhan 2 setelah unloading [Cargo saat kapal datang + Cargo yang dibongkar oleh kapal - Konsumsi selama kapal melakukan bongkar]	Cargo di pelabuhan 2 pada akhir planning horizon (T=2) [Cargo dipelabuhan setelah kapal bongkar - konsumsi setelah kapal bongkar sampai akhir planning horizon]
Premium	$5.5 - 5.5 = 0$	$2.675 + 5.5 - 5(0.165) = 7.35$	$7.35 - 5(2 - 0.63) = 0.5$
Kerosene	$5.5 - 5.5 = 0$	$10.35 + 5.5 - 10(0.165) = 14.2$	$14.2 - 10(2 - 0.63) = 0.5$
Solar	$5.5 - 5.5 = 0$	$10.35 + 5.5 - 10(0.165) = 14.2$	$14.2 - 10(2 - 0.63) = 0.5$

Total biaya = Biaya bahan bakar (sailing) + Biaya Pinalti

Biaya bahan bakar = Rp 1, Biaya pinalti = $(5 - 2.675) \times \text{Rp } 0.3 = 0.6975$

Total biaya = Sailing Cost + Pinalti Cost = Rp 1 + Rp 0.6975 = Rp 1.6975

Hasil perhitungan manual di tiap langkah sudah sama dengan yang dikeluarkan oleh program di lingo.

4.1.1.2 Contoh Model dengan Pinalti ditambah Biaya Pelabuhan

Permasalahan Model dengan Pinalti kembangkan dengan menambahkan biaya pelabuhan di fungsi tujuan, karena selain menanggung biaya bahan bakar saat kapal berlayar dari pelabuhan 1 ke pelabuhan 2, kapal juga terkena biaya pelabuhan saat memasuki wilayah tersebut (biaya *tugboat*, pandu dan lain-lain). Penambahan biaya pelabuhan tidak mengubah kendala di dalam model dasar karena kendala yang ada sudah cukup lengkap untuk mendukung hal ini. Data dilengkapi dengan biaya pelabuhan = RP 2.

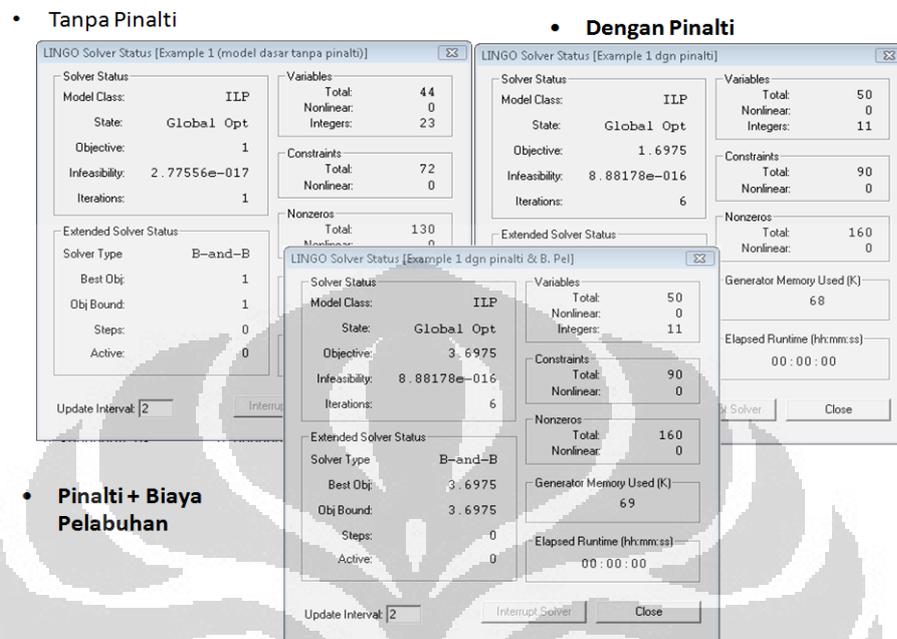
Hasil Model dengan Pinalti ditambah Biaya pelabuhan

Jika di running maka model akan mendapatkan hasil yang sama dengan model pinalti (lihat gambar 4.5 dan 4.6). Perbedaan hanya pada total biaya yang dihasilkan karena ditambahkan biaya Pelabuhan.

Biaya total = Rp 1 + Biaya Pinalti sebesar Rp 0.6975 + Biaya Pelabuhan Rp 2.

Biaya total = $1 + 0.6975 + 2 = 3.6975$

Berikut adalah perbandingan biaya tanpa pinalti, dengan pinalti dan penambahan biaya pelabuhan



Gambar 4.8 Perbandingan Hasil

4.1.2 Penambahan Kendala *Draft*

Permasalahan model dengan biaya pinalti dan pelabuhan dikembangkan dengan menambahkan kendala draft. Pada penelitian ini terdapat 2 pelabuhan yang mempunyai keterbatasan draft yaitu TWI dan KUP sehingga kapal ukuran besar (MR) tidak dapat melayani pelabuhan tersebut.

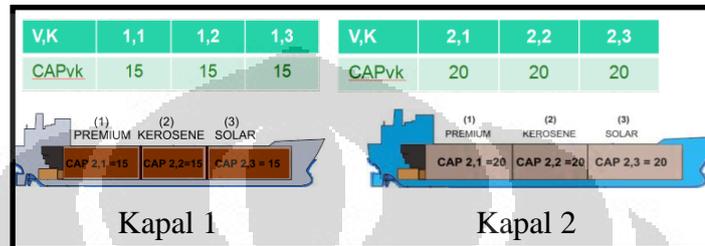
Contoh:

Kapal 1 ($V=1$) dan 2 ($V=2$) mempunyai dedicated compartement (CAPvk) yang akan digunakan untuk mengangkut 3 produk berbeda ($K=1, 2, 3$) yaitu premium (1), kerosene (2) dan solar (3) antara dua pelabuhan. **Kapal 2 (warna biru) tidak dapat mensuplai pelabuhan 4** karena pelabuhan tersebut mempunyai keterbatasan draft.

Pelabuhan 1 dan 2 ($I = 1 \& 2$) adalah suplai, pelabuhan 3 dan 4 ($J = 3 \& 4$) adalah demand. Dimana pada awal perencanaan posisi kapal 1 berada di pelabuhan 1, $SO(I,M,V) = SO(1,1,1)$, dan kapal 2 berada di pelabuhan 2, SO

(I,M,V) = SO (2,1,1), semua kapal tanpa muatan ($Q_{vk}=0$). Waktu tempuh antar pelabuhan ($T_{ij}=T_{12}=0.3$ hari) dengan biaya ($CS = Rp 1$). Biaya pelabuhan kapal 1 dan kapal 2 ($CF = Rp 1$), Biaya loading unloading ($Cw=0$), Biaya Pinalti ($CP = Rp 2$ per unit produk). Kecepatan loading unloading ($TQ_{ik}=0.01$ waktu / unit produk) dengan planning horizons = 4 hari.

Berikut adalah gambaran kapasitas kapal 1 dan kapal 2.



Gambar 4.9 Kapasitas Kapal untuk Tiap Produk

Dapat dipahami bahwa kapal 2 mempunyai ukuran yang lebih besar dibanding kapal 1. Hal ini terlihat dari kapasitas kompartemen untuk masing-masing produk.

Berikut adalah *inventory* untuk pelabuhan suplai maupun bongkar.

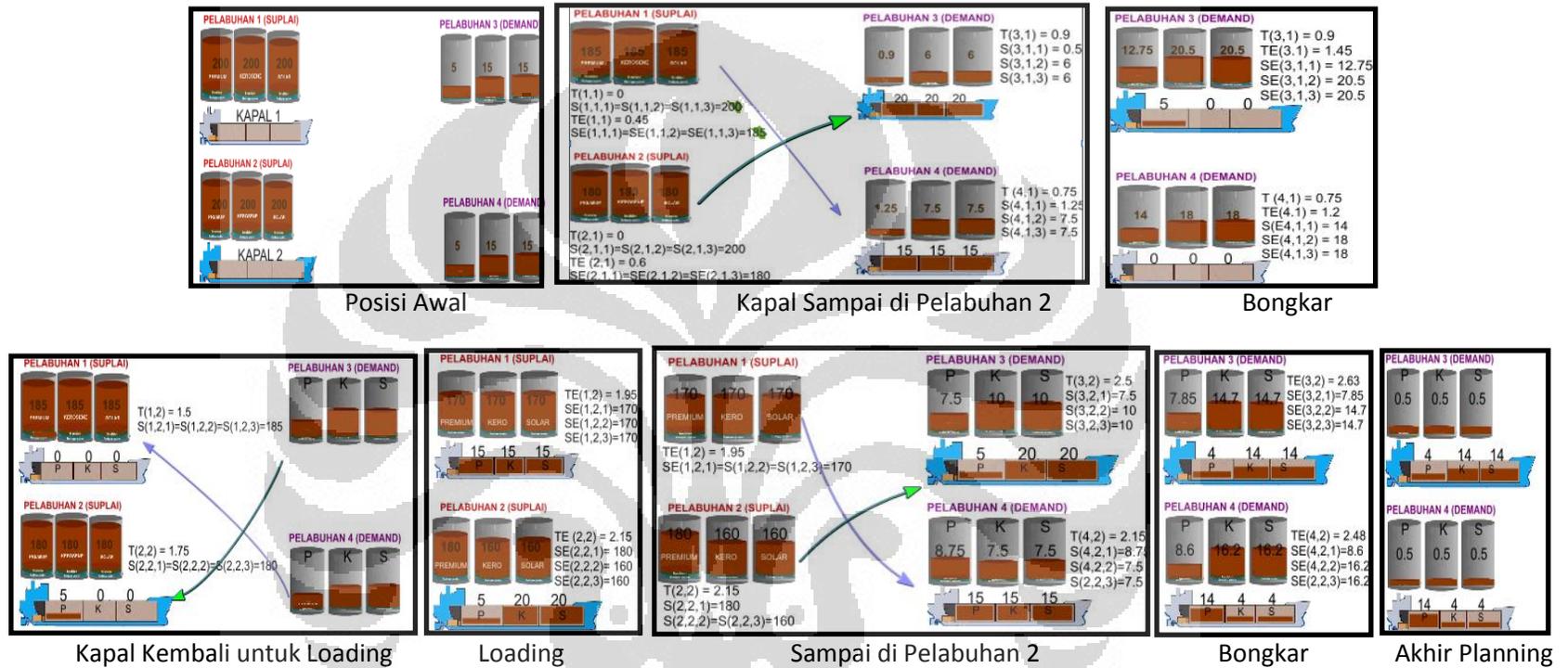
Tabel 4.12 Data Produk di Pelabuhan

IK	IS	SMN	AMN	SMX	J	R
1,1	200	0	0	200	1	0
1,2	200	0	0	200	1	0
1,3	200	0	0	200	1	0
2,1	200	0	0	200	1	0
2,2	200	0	0	200	1	0
2,3	200	0	0	200	1	0
3,1	5	0.5	5	200	-1	5
3,2	15	0.5	10	200	-1	10
3,3	15	0.5	10	200	-1	10
4,1	5	0.5	5	200	-1	5
4,2	15	0.5	10	200	-1	10
4,3	15	0.5	10	200	-1	10

Keterangan

- I,K = 1,2 = Pelabuhan 1 produk 2... dan seterusnya
- IS = inventori awal
- S_{MN} = Inventori Minimum
- A_{MN} = Alarm inventori
- S_{MX} = Inventori Maksimum
- J = 1 untuk pelabuhan produksi
-1 untuk pelabuhan konsumsi
- R = Rata-rata produksi per hari atau konsumsi per hari

Berikut adalah hasil model dengan penambahan kendala *draft*



Gambar 4.10 Pergerakan Kapal dari Awal Sampai Akhir *Planning Horizon*.

Hasil program terlihat bahwa kendala yang ditambahkan telah bekerja seperti yang diharapkan. Kapal 2 (warna biru) tidak pernah pernah mensuplai pelabuhan 4 selama *planning horizon* karena pelabuhan 4 mempunyai keterbatasan *draft*.

Berikut adalah data pelabuhan yang dimasukkan ke dalam model

Tabel 4.15 Pelabuhan

SUPPLY POINT									DEMAND PORT							
Port, Product	Initial Inventory	Safety Stock	Alarm Level	Stock Max	Demand /day	Penalty/ KL	Loading (Hari/KL)		Port, Product	Initial Inven.	Safety Stock	Alarm Level	Stock Max	Demand /day	Penalty/ KL	Discharge Max (Hari/KL)
1 BPP									5 SBY							
1 Premium	2000000	0	0	2000000	0	0	0.00005		1 Premium	0	0	0	0	0	0	0
2 Kerosene	2000000	0	0	2000000	0	0	0.00005		2 Kerosene	3178.485	1899.57	2213.03	32000	313.46	100000	0.00004
3 Solar	2000000	0	0	2000000	0	0	0.00005		3 Solar	0	0	0	0	0	0	0
2 CLC									6 TTM							
1 Premium	2000000	0	0	2000000	0	0	0.00003		1 Premium	14697.97	8206.28	9760.5	34500	1554.22	100000	0.00004
2 Kerosene	2000000	0	0	2000000	0	0	0.00003		2 Kerosene	5696.249	3239.23	3852.72	30000	613.49	100000	0.00004
3 Solar	2000000	0	0	2000000	0	0	0.00003		3 Solar	35952.896	17070	20302.99	57500	3032.96	100000	0.00004
3 TTB									7 TWI							
1 Premium	2000000	0	0	2000000	0	0	0.00004		1 Premium	12239.654	7076.25	8326.47	23818	1250.22	100000	0.0001
2 Kerosene	0	0	0	0	0	0	0		2 Kerosene	971.4617	561.642	660.872	9566	99.23	100000	0.0001
3 Solar	2000000	0	0	2000000	0	0	0.00004		3 Solar	7187.426	4155.35	4889.51	18900	734.16	100000	0.0001
4 XPN									8 KUP							
1 Premium	0	0	0	0	0	0	0		1 Premium	4937.94	1562.19	2082.92	6166	520.73	100000	0.0001
2 Kerosene	0	0	0	0	0	0	0		2 Kerosene	2174.025	591.84	789.12	8425	197.28	100000	0.0001
3 Solar	2000000	0	0	2000000	0	0	0.00003		3 Solar	8272.71	1933.56	2578.08	12122	644.52	100000	0.0001

Keterangan : *Inventory* pelabuhan suplai dianggap tidak terbatas
 TWI dan KUP adalah depot yang mempunyai *draft* terbatas.
 Kapal 2 tidak dapat mensuplai depot TWI dan KUP
 Inventori = 0 menunjukkan bahwa pada depot / pelabuhan itu tidak mempunyai produk

Berikut adalah waktu yang dibutuhkan kapal MR dan GP untuk berlayar dari 1 pelabuhan ke pelabuhan lainnya.

Tabel 4.16 Waktu Tempuh Kapal MR Antar Pelabuhan (Hari)

MR	CLC	TTB	XPN	BPP	SBY	TTM
CLC	0				2.50	1.34
TTB		0			0.30	1.09
XPN			0		0.55	0.69
BPP				0	1.58	1.95
SBY	2.22	0.19	0.52	1.68	0	0.79
TTM	1.60	0.95	0.44	1.49	0.79	0

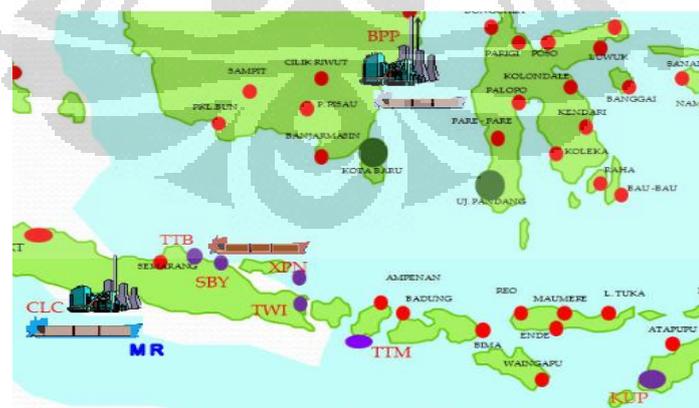
Keterangan : Tidak ada pergerakan kapal antar pelabuhan suplai

Tabel 4.17 Waktu Tempuh Kapal GP Antar Pelabuhan (Hari)

GP	CLC	TTB	XPN	BPP	SBY	TWI	TTM	KUP
CLC	0				0	0	1.32	0
TTB		0			0.22	1.03	1.12	2.92
XPN			0		0.54	0.22	0.87	2.26
BPP				0	0	1.63	2.8	2.91
SBY	0	0.22	0	1.45	0	0.62	0	2.82
TWI	0	1.09	0.26	1.20	0.78	0	0.33	2.21
TTM	1.32	1.1	0.52	1.82	0	0.39	0	1.94
KUP	0	3.01	2.23	2.85	2.79	2.21	1.94	0

Keterangan : Tidak ada pergerakan kapal antar pelabuhan suplai

Pada posisi awal, kapal dalam keadaan konong kecuali kapal GP yang berada di SBY mempunyai muatan penuh.



Gambar 4.11. Posisi Awal Kapal

Posisi kapal 1 berada di SBY, kapal 2 berada di kilang CLC dan kapal 3 berada di kilang BPP. Program dijalankan dengan time horizon 7 hari.

Hasil Validasi

Dengan software LINGO, output program didapatkan dalam waktu 12 detik dengan solusi Global optimum. Total biaya yang didapat adalah Rp 5.90662 x 10⁸ selama periode perencanaan. Pergerakan kapal sama dengan kondisi aktual dan tidak terdapat rute, waktu tempuh, maupun kegiatan bongkar muat yang tidak masuk akal.

Pada gambar 4.18, Kapal 1 (PGD) melakukan kegiatan bongkar terlebih dahulu di SBY, kemudian menuju TTM untuk melakukan bongkar selanjutnya. Kapal 2 (GDN) setelah melakukan kegiatan muat di pelabuhan CLC bergerak ke pelabuhan TTM, Kapal 3 (AEP) loading terlebih dahulu di BPP dan melakukan perjalanan panjang ke KUP untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar di KUP selama *planning horizon*.



Gambar 4.12. Posisi Akhir Kapal

Inventory di pelabuhan bongkar selama planning horizon dapat dilihat pada lampiran 5, dimana selama planning horizon ($T=7$ hari) tidak terdapat depot yang kritis (di bawah safety stock) karena kapal dapat mensuplai bahan bakar seperti yang diharapkan. Dengan demikian model sudah diverifikasi dan validasi.

4.3 Analisis Rute

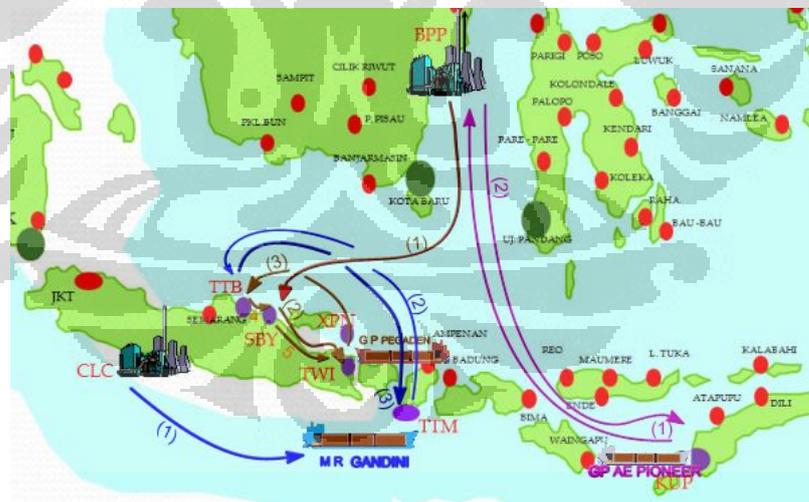
Model dijalankan dengan *planning horizon* lebih panjang ($T=15$ Hari). Posisi awal kapal seperti terlihat pada gambar 4.23.



Gambar 4.13 Posisi Awal Kapal

Kapal 1 (PGD) berada di BPP, kapal 2 (GDN) berada di CLC dan kapal 3 (AEP) berada di KUP. Pada awal *planning horizon* semua kapal dalam keadaan kosong.

Hasil Rute dari program



Gambar 4.14 Hasil Rute Kapal

Kapal pertama (PGD) menempuh rute BPP-SBY-TWI-TTB-SBY-TWI.

Kapal ke dua (GDN) menempuh rute CLC-TTM-TTB-TTM.

Kapal ke tiga (AEP) menempuh rute KUP-BPP-KUP.

Rute menuju pelabuhan TTM



Gambar 4.15 Rute Sebelum Kapal Dedicated



Gambar 4.16 Rute Setelah Kapal Dedicated

Terlihat bahwa terjadi perbaikan rute dari kondisi sebelum dan sesudah optimasi.

Table 4.18 menunjukkan rute kapal untuk mensuplai TTM dan frekwensi suplai dari pelabuhan tersebut selama tahun 2010.

Tabel 4.18 Rute Suplai Bahan Bakar ke TTM Tahun 2010

Sumber: Operasi Perkapalan

Pelabuhan Asal	Pelabuhan Tujuan			Pelabuhan Asal	Pelabuhan Tujuan		
	Frekwensi Suplai ke TTM				Frekwensi Suplai ke TTM		
	GP	MR	Total	GP	MR	Total	
Cilacap	1	16	17	Cilacap	✓		
STS Kalbut	3	9	12	Tuban	✓		
Balikpapan	2	8	10				
Balongan		4	4				
Tanjung Wangi	4		4				
Terminal Transit Wayame		4	4				
Tuban		4	4				
Semarang		3	3				
Tanjung gerem bojonegara		2	2				
Tanjung Uban		1	1				
Kupang	1		1				
RUTE SEBELUM KAPAL DEDICATED				RUTE SETELAH KAPAL DEDICATED			

Dari tabel di atas terlihat bahwa titik suplai sebelum kapal dedicated banyak sekali dan tersebar. Dilihat dari frekwensi suplai yang dilakukan selama tahun 2010 (tabel 4.18) di dapatkan 3 pelabuhan utama yang mencukupi kebutuhan TTM yaitu CLC, XPN dan BPP.

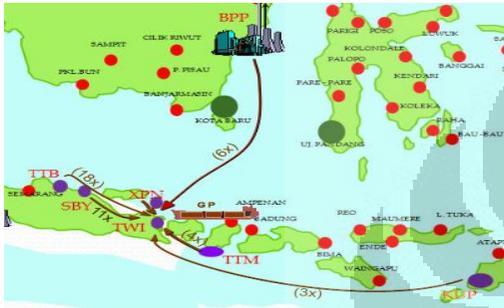
Hasil running program program selama 15 hari di dapatkan pelabuhan suplai untuk TTM cukup dari 2 pelabuhan dan hanya menggunakan kapal tipe MR. Ke 2 pelabuhan tersebut yaitu:

- a. CLC : Kapal hanya akan loading di CLC hanya jika TTM membutuhkan kerosene, jika tidak kapal cenderung ke TTB (loading premium dan Solar) karena jaraknya relatif dekat sehingga biaya menjadi murah. BPP tidak menjadi pilihan oleh kapal karena mempunyai jarak cukup jauh.
- b. TTB: melihat kondisi bahwa kapal cenderung melakukan loading di TTB, maka penulis mensimulasikan jika TTB mempunyai tanki Kerosene dan jumlahnya diasumsikan cukup untuk memenuhi kebutuhan TTM. Hasil running program memperlihatkan bahwa kapal 100 % beralih ke TTB sehingga kilang CLC dan BPP tidak lagi dikunjungi.

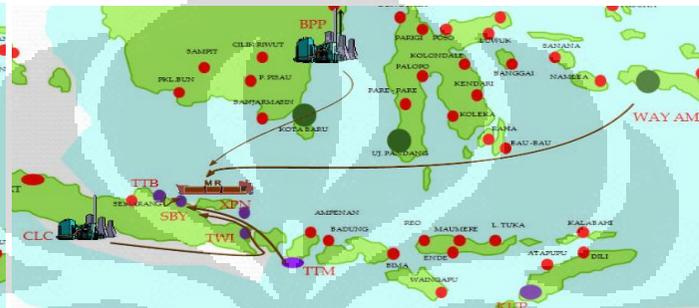
Pengalihan suplai point yang sebelumnya dari CLC dan BPP berubah menjadi TTB selain meminimalkan biaya juga akan dapat mengurangi antrian kapal di BPP dan CLC. Jika *planning horizon* diperpanjang sampai 1 bulan, maka terdapat kondisi dimana *inventory* solar di pelabuhan TTM pada suatu saat mendekati alarm level, pada saat yang sama kondisi premium maupun kerosene masih aman. Kapal akan menuju XPN untuk memuat solar guna memenuhi kebutuhan TTM.

Dengan model yang dibuat, kapal hanya akan menuju CLC dan BPP hanya jika membutuhkan kerosene. Karena saat ini kebutuhan kerosene sudah turun akibat pencabutan subsidi oleh pemerintah, maka frekwensi kapal ke pelabuhan tersebut akan berkurang dan digantikan dengan TTB yang lokasinya relative dekat. Hal ini mempunyai arti bahwa rencana Pertamina untuk mengembangkan TTB sebagai penunjang wilayah timur telah tepat.

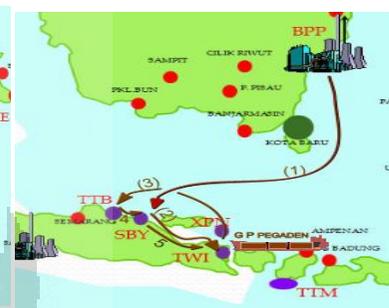
Rute menuju pelabuhan TWI dan SBY



Gambar 4.17 TWI Sebelum Dedicated



Gambar 4.18 SBY Sebelum Dedicated



Gambar 4.19 Setelah Dedicated

Terlihat bahwa terjadi perbaikan rute dari kondisi sebelum dan sesudah optimasi.

Table 4.19 menunjukkan rute kapal untuk mensuplai TWI dan SBY disertai frekwensi suplai dari pelabuhan tersebut selama tahun 2010.

Tabel 4.19 Rute Suplai Bahan Bakar ke TWI dan SBY Tahun 2010

Sumber: Operasi Perkapalan

Pelabuhan Asal	Pelabuhan Tujuan Frekwensi Suplai ke TWI			Pelabuhan Asal	Pelabuhan Tujuan Frekwensi Suplai ke TWI			Pelabuhan Asal	Pelabuhan Tujuan Frekwensi suplai ke SBY		
	GP	MR	Total		GP	MR	Total		GP	MR	Total
Tuban	18		18	Tuban	V			Tuban	V		
Surabaya	11		11	Surabaya	V			Balickpapan	V		
Balickpapan	6		6	Balickpapan	V						
Manggis	4		4								
Situbondo	4		4								
Kupang	3		3								
Balongan	2		2								
Semarang	2		2								
Kota Baru	1		1								
Makassar	1		1								
RUTE SEBELUM KAPAL DEDICATED			RUTE SETELAH KAPAL DEDICATED			RUTE SEBELUM KAPAL DEDICATED			RUTE SETELAH KAPAL DEDICATED		

Pelabuhan TWI

Dari tabel 4.19 terlihat bahwa 3 pelabuhan utama yang mensuplai TWI adalah Tuban, Balikpapan serta Surabaya setelah kapal melakukan kegiatan bongkar.

Hasil running program menunjukkan karakteristik yang sama, dimana TWI akan disuplai dari terminal *loading* BPP atau TTB, dan kapal akan bongkar terlebih dahulu di SBY terlebih sebelum ke TWI.

Pelabuhan SBY

Hasil running program memperlihatkan bahwa kebutuhan kerosene di SBY disuplai oleh kapal setelah berlayar dari pelabuhan TTB dan BPP.

Sebelum dedicated, SBY di suplai oleh kapal MR, namun dari hasil running program, SBY cukup di suplai oleh kapal GP. Hal ini memungkinkan karena konsumsi kerosene turun drastis setelah konversi kerosene ke LPG. Selain itu seperti terlihat pada gambar 4.27 telah kita pahami bahwa kapal MR di dedikasikan penuh untuk mensuplai TTM. Pada planning horizon lebih panjang kapal MR akan membackup kapal GP untuk mensuplai SBY jika kebutuhan di TTM sudah tercukupi.

4.3.3 Rute Menuju KUP



Gambar 4.20 KUP Sebelum Dedicated



Gambar 4.21 KUP Setelah Dedicated

Terlihat bahwa terjadi perbaikan rute dari kondisi sebelum dan sesudah optimasi.

Tabel 4.20 terlihat bahwa 3 pelabuhan teratas yang mensuplai KUP adalah Balikpapan, Manggis dan Tanjungwangi.

Tabel 4.20 Rute Suplai Bahan Bakar ke KUP Tahun 2010

Sumber: Operasi Perkapalan

Pelabuhan Asal	Pelabuhan Tujuan			Pelabuhan Asal	Pelabuhan Tujuan		
	Frekwensi Suplai ke KUP				Frekwensi Suplai ke KUP		
	GP	MR	Total		GP	MR	Total
Balikpapan	18		18	Balikpapan	V		
Manggis	12		12				
Tanjungwangi	8		8				
Surabaya	3		3				
STS situbondo	1		1				
Kota baru	1		1				
RUTE SEBELUM KAPAL DEDICATED				RUTE SETELAH KAPAL DEDICATED			

Hasil running program didapatkan rute hanya dari BPP. Tidak terdapat suplai dari TTM. Jika *planning horizon* diperpanjang selama 1 bulan, maka pada saat tertentu kedua kapal GP ini dapat saling *membbackup* / bertukar area servis satu sama lainnya.

4.4. Analisis Jadwal dan Biaya Kapal

Hasil jadwal kapal selama *planning horizon* dapat dilihat pada table 4.21. Sebagaimana kondisi aktual, jadwal kapal yang dihasilkan oleh model sangat dipengaruhi jumlah inventory pada awal *planning horizon* dan besarnya konsumsi harian. Dari table tersebut dapat dilihat bahwa jadwal suplai kapal Gandini ke TTM adalah pada hari ke 3 dengan *inventory* di TTM awal *planning horizon* untuk premium = 14697.97 KL, kerosene = 5696.249 KL dan solar = 35952.896. Jika *inventory* tersebut ditambah 3000 KL untuk setiap produk, maka hasil running program menunjukkan perubahan jadwal suplai ke TTM terjadi pada hari ke 5.1 pun demikian halnya jika konsumsi harian dirubah maka jadwal suplai pun akan berubah. Perubahan jadwal tidak akan membuat depot kritis karena kapal tetap menjaga *safety stock*.

Biaya total operasi 3 kapal selama *planning horizon* adalah Rp 1,699, 824,103. Dengan jadwal dan rute yang dihasilkan, pelabuhan dapat dijaga inventornya selama *planning horizon* dan tidak mengalami kondisi kritis (lihat lampiran 6).

Berikut adalah jadwal kapal yang dihasilkan dari model

Tabel 4.21 Jadwal Kapal (Hari)

Kapal	Muatan	Muatan awal		Posisi awal (S0)		Muatan Berangkat		Posisi di Tujuan (S)		Muatan Berangkat		Posisi di Tujuan (S)		Muatan Berangkat		Posisi di Tujuan (S)		Muatan Berangkat		Posisi di Tujuan (S)		Muatan Berangkat			
		QQ (KL)	Waktu datang (hari)	Waktu Berangkat (Hari)	Limvk (KL)	Waktu datang (hari)	Waktu Berangkat (Hari)	Limvk (KL)	Waktu datang (hari)	Waktu Berangkat (Hari)	Limvk (KL)	Waktu datang (hari)	Waktu Berangkat (Hari)	Limvk (KL)	Waktu datang (hari)	Waktu Berangkat (Hari)	Limvk (KL)	Waktu datang (hari)	Waktu Berangkat (Hari)	Limvk (KL)	Waktu datang (hari)	Waktu Berangkat (Hari)	Limvk (KL)		
PGD		BPP, 1				SBY, 1				TWI, 1				TTE, 2				SBY, 2				TWI, 2			
	Premium	0			10008			10008			0			10008			10008						6426		
	Kerosene	0	0	1,21	7149	2.79	2.84	5849	3.46	5.23	5372	6.32	7	5372	7.22	7.31	3249	7.93	8.43			2647			
	Solar	0			7149			7149			0			7149			7149					6317			
GDN		CLC, 1				TTM, 1				TTE, 1				TTM, 2											
	Premium	0			14506			0			14506			12190											
	Kerosene	0	0	1,24	13056	3	4.41	6310	5.36	6.5	6310	9.79	10.38	6310											
	Solar	0			14056			0			14056			1500											
AEP		KUP, 1				BPP, 2				KUP, 2															
	Premium	0			0			4733			297														
	Kerosene	0	0	0	0	2.85	3.42	3381	6.33	7.42	2003														
	Solar	0			0			3381			52														

Kapal PGN melayani 2 pelabuhan *demand* yaitu SBY dan TWI. Keberangkatan pertama kali dari BPP pada waktu 1.21 hari dengan jadwal pelayanan paling akhir pada waktu 8.43 hari. Sisa muatan di atas kapal setelah bongkar adalah 6426 untuk premium, 2647 untuk kerosene dan 6317 untuk solar. Kapal GDN hanya melayani 1 pelabuhan *demand* yaitu TTM. Kapal berangkat dari CLC pada waktu 1.24 hari dengan jadwal pelayanan paling akhir pada waktu 10.38 hari. Sisa muatan pada akhir pelayanan adalah 12190 premium, 6310 kerosen dan 1500 untuk solar. Kapal AEP selama *planning horizon* juga hanya melayani 1 pelabuhan *demand* yaitu KUP. Dimana kapal ini pada awal *planning horizon* langsung bergerak menuju BPP untuk melakukan loading dan kembali ke KUP pada waktu 7.42 hari. Sisa kargo di atas kapal setelah bongkar di KUP adalah 297 premium, 2003 kerosen dan 52 untuk solar.

Berikut adalah biaya kapal yang dihasilkan dari model

Tabel 4.22 Biaya Kapal

Kapal	Muatan	Posisi awal (SO)	Posisi di Tujuan (\$)			Biaya (Rp)												
			Biaya Berlayar (Rp)	Biaya Pelabuhan (Rp)	Biaya Pinalti (Rp)	Biaya Berlayar (Rp)	Biaya Pelabuhan (Rp)	Biaya Pinalti (Rp)	Biaya Berlayar (Rp)	Biaya Pelabuhan (Rp)	Biaya Pinalti (Rp)	Biaya Berlayar (Rp)	Biaya Pelabuhan (Rp)	Biaya Pinalti (Rp)	Biaya Berlayar (Rp)	Biaya Pelabuhan (Rp)	Biaya Pinalti (Rp)	
PGD	Premium Kerosene Solar	BPP, 1	SBY, 1			TWI, 1			TTE, 2			SBY, 2			TWI, 2			483,394,601
			121,546,490	19,080,220		47,695,458	19,080,220		83,851,692	19,080,220		16,924,195	19,080,220		47,695,458	19,080,220		
GDN	Premium Kerosene Solar	CLC, 1	TTM, 1			TTE, 1			TTM, 2									577,984,069
			196,338,600	27580643		139,195,276	27580643		159,708,264	27580643								
AEP	Premium Kerosene Solar	KUP, 1	BPP, 2			KUP, 2												638,445,433
			278,175,213	15,935,623		284,031,534	15,935,623											
																Total	1,699,824,103	

Total biaya yang dikeluarkan oleh kapal PGD untuk mensuplai SBY dan TWI untuk menjaga *safety stock* selama 15 hari adalah sebesar Rp 483.394.601. Kapal GDN menghabiskan biaya Rp 577.984.069. Sedangkan kapal AEP menghabiskan biaya sebesar Rp 638.445.433.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Diperoleh model penentuan rute dan jadwal yang optimal untuk menjaga ketersediaan stock pengaman. Penggunaan model dapat menjamin kepastian suplai bahan bakar, dimana pada kondisi operasional terjadi depot kritis/ potensi kritis sehingga harus dipenuhi oleh kapal dari wilayah lain atau depot utama lainnya.

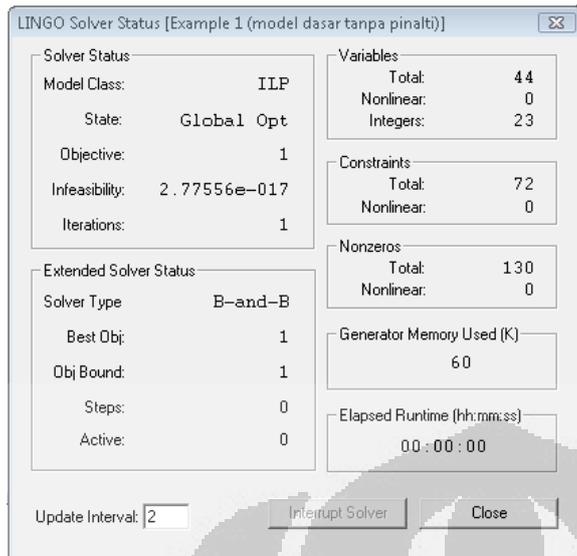
5.2 Saran

Berdasarkan hasil akhir penelitian ini, disampaikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Penyelesaian menggunakan metode selain branch and bound untuk model multi produk diharapkan mampu memberikan solusi yang lebih cepat untuk problem dengan jumlah pelabuhan dan kapal lebih besar.
2. Penambahan kendala bahwa kapal harus dapat menjaga inventory di kilang agar tidak melebihi kapasitas tangki perlu ditambahkan jika problem yang dihadapi mempunyai karakteristik supply dan demand seimbang.
3. *Time window Constraint* bahwa suatu depot hanya bisa dilayani pada siang hari perlu ditambahkan pada model ini agar dapat diaplikasikan pada wilayah operasi kapal *Small* yang terletak didaerah terpencil.

DAFTAR REFERENSI

- Ballou, Ronald H., 1992, *Business Logistics Management*, 4th ed., Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- Taha, Hamdy A., 1997, *Operation Research An Introduction* 6th ed., Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- D. Ronen, *Marine Inventory Routing: Shipment Planning*, Journal of The Operational Research Society vol 53, 2002.
- M. Christiansen and K. Fagerholt. *Robust ship scheduling with multiple time windows*. Naval Research Logistics, 49(6):611–625, 2002.
- F. Al-Khayyal and S. Hwang, 2007, *Inventory Constrained Maritime Routing and Scheduling for Multi-Commodity Liquid Bulk, Part:1 Applications and Model*, European Journal of Operational Research 176, 2007.
- N. Siswanto, D. Essam, and R. Sarker, *Solving The Ship Inventory Routing and Scheduling Problem with Undedicated Compartment*, Computer and Industrial Engineering Elsevier, 2010.
- F.K. Rani et al, *Mixed Integer Linear Programming Model for Multi-Product Inventory Ship Routing Problem Considering Product Loading Compability Constraint*, APIEMS Malaka 2010.
- M. Christiansen, K. Fagerholt, B. Nygreen, D. Ronen., 2007, *Handbook in Operation Research : Maritime Transportation*, Elsevier, 2007.



Global optimal solution found.
 Objective value: 1.000000
 Extended solver steps: 0
 Total solver iterations: 1

Variable	Value	Reduced Cost
THORIZON	2.000000	0.000000
W (1)	0.000000	0.000000
W (2)	0.000000	0.000000
TB (1)	0.000000	0.000000
TB (2)	0.000000	0.000000
Y (1, 1)	0.000000	0.000000
Y (2, 1)	0.000000	0.000000
T (1, 1)	0.000000	0.000000
T (2, 1)	1.000000	0.000000
TE (1, 1)	0.150000	0.000000
TE (2, 1)	1.150000	0.000000
JE (1, 1)	1.000000	0.000000
JE (1, 2)	1.000000	0.000000
JE (1, 3)	-1.000000	0.000000
JE (2, 1)	-1.000000	0.000000
JE (2, 2)	-1.000000	0.000000
JE (2, 3)	-1.000000	0.000000
TQ (1, 1)	0.100000E-01	0.000000
TQ (1, 2)	0.100000E-01	0.000000
TQ (1, 3)	0.100000E-01	0.000000
TQ (2, 1)	0.100000E-01	0.000000
TQ (2, 2)	0.100000E-01	0.000000
TQ (2, 3)	0.100000E-01	0.000000
R (1, 1)	0.000000	0.000000
R (1, 2)	0.000000	0.000000
R (1, 3)	0.000000	0.000000
R (2, 1)	5.000000	0.000000
R (2, 2)	10.000000	0.000000
R (2, 3)	10.000000	0.000000
CP (1, 1)	10.000000	0.000000
CP (1, 2)	10.000000	0.000000
CP (1, 3)	10.000000	0.000000

Lampiran 1: Hasil Verifikasi Model Dasar (lanjutan)

QQ(1, 1)	0.000000	0.000000
QQ(1, 2)	0.000000	0.000000
QQ(1, 3)	0.000000	0.000000
Q(1,1, 1, 1)	5.000000	0.000000
Q(1,1, 1, 2)	5.000000	0.000000
Q(1,1, 1, 3)	5.000000	0.000000
Q(2,1, 1, 1)	5.000000	0.000000
Q(2,1, 1, 2)	5.000000	0.000000
Q(2,1, 1, 3)	5.000000	0.000000
L(1,1, 1, 1)	5.000000	0.000000
L(1,1, 1, 2)	5.000000	0.000000
L(1,1, 1, 3)	5.000000	0.000000
L(2,1, 1, 1)	0.000000	0.000000
L(2,1, 1, 2)	0.000000	0.000000
L(2,1, 1, 3)	0.000000	0.000000
O(1,1, 1, 1)	1.000000	0.000000
O(1,1, 1, 2)	1.000000	0.000000
O(1,1, 1, 3)	1.000000	0.000000
O(2,1, 1, 1)	1.000000	0.000000
O(2,1, 1, 2)	1.000000	0.000000
O(2,1, 1, 3)	1.000000	0.000000
IS(1, 1)	50.00000	0.000000
IS(1, 2)	50.00000	0.000000
IS(1, 3)	50.00000	0.000000
IS(2, 1)	5.000000	0.000000
IS(2, 2)	15.00000	0.000000
IS(2, 3)	15.00000	0.000000
SMN(1, 1)	0.000000	0.000000
SMN(1, 2)	0.000000	0.000000
SMN(1, 3)	0.000000	0.000000
SMN(2, 1)	0.000000	0.000000
SMN(2, 2)	0.000000	0.000000
SMN(2, 3)	0.000000	0.000000
SMX(1, 1)	50.00000	0.000000
SMX(1, 2)	50.00000	0.000000
SMX(1, 3)	50.00000	0.000000
SMX(2, 1)	20.00000	0.000000
SMX(2, 2)	20.00000	0.000000
SMX(2, 3)	20.00000	0.000000
CW(1, 1)	0.000000	0.000000
CW(1, 2)	0.000000	0.000000
CW(1, 3)	0.000000	0.000000
CW(2, 1)	0.000000	0.000000
CW(2, 2)	0.000000	0.000000
CW(2, 3)	0.000000	0.000000
S(1, 1, 1)	50.00000	0.000000
S(1, 1, 2)	50.00000	0.000000
S(1, 1, 3)	50.00000	0.000000
S(2, 1, 1)	0.000000	0.000000
S(2, 1, 2)	5.000000	0.000000
S(2, 1, 3)	5.000000	0.000000
SE(1, 1, 1)	45.00000	0.000000
SE(1, 1, 2)	45.00000	0.000000
SE(1, 1, 3)	45.00000	0.000000
SE(2, 1, 1)	4.250000	0.000000

Lampiran 1: Hasil Verifikasi Model Dasar (lanjutan)

SE (2, 1, 2)	8.500000	0.000000
SE (2, 1, 3)	8.500000	0.000000
X (1, 1, 1, 1, 1)	0.000000	0.000000
X (1, 1, 2, 1, 1)	1.000000	0.000000
X (2, 1, 1, 1, 1)	0.000000	0.000000
X (2, 1, 2, 1, 1)	0.000000	0.000000
Z (1, 1, 1)	0.000000	0.000000
Z (2, 1, 1)	1.000000	0.000000
TT (1, 2, 1)	0.300000	0.000000
C (1, 2, 1)	1.000000	0.000000



Lampiran 2: Hasil Verifikasi Model dengan Pinalti

LINGO Solver Status [Example 1 dgn pinalti]

Solver Status		Variables	
Model Class:	IIP	Total:	50
State:	Global Opt	Nonlinear:	0
Objective:	1.6975	Integers:	11
Infeasibility:	8.88178e-016	Constraints	
Iterations:	6	Total:	90
		Nonlinear:	0
Extended Solver Status		Nonzeros	
Solver Type	B-and-B	Total:	160
Best Obj:	1.6975	Nonlinear:	0
Obj Bound:	1.6975	Generator Memory Used (K)	
Steps:	0	68	
Active:	0	Elapsed Runtime (hh:mm:ss)	
		00:00:01	
Update Interval:	2	Interrupt Solver	
		Close	

Global optimal solution found.

Objective value: 1.697500
 Extended solver steps: 0
 Total solver iterations: 6

Variable	Value	Reduced Cost
THORIZON	2.000000	0.000000
W (1)	0.000000	0.000000
W (2)	0.000000	0.000000
TB (1)	1.000000	0.000000
TB (2)	1.000000	0.000000
Y (1, 1)	0.000000	0.000000
Y (2, 1)	0.000000	0.000000
T (1, 1)	0.000000	1.500000
T (2, 1)	0.4650000	0.000000
TE (1, 1)	0.1650000	0.000000
TE (2, 1)	0.6300000	0.000000
JE (1, 1)	1.000000	0.000000
JE (1, 2)	1.000000	0.000000
JE (1, 3)	1.000000	0.000000
JE (2, 1)	-1.000000	0.000000
JE (2, 2)	-1.000000	0.000000
JE (2, 3)	-1.000000	0.000000
TQ (1, 1)	0.1000000E-01	0.000000
TQ (1, 2)	0.1000000E-01	0.000000
TQ (1, 3)	0.1000000E-01	0.000000
TQ (2, 1)	0.1000000E-01	0.000000
TQ (2, 2)	0.1000000E-01	0.000000
TQ (2, 3)	0.1000000E-01	0.000000
R (1, 1)	0.000000	0.000000
R (1, 2)	0.000000	0.000000
R (1, 3)	0.000000	0.000000
R (2, 1)	5.000000	0.000000
R (2, 2)	10.00000	0.000000
R (2, 3)	10.00000	0.000000
CAP (1, 1)	10.00000	0.000000

Lampiran 2: Hasil Verifikasi Model dengan Pinalti (lanjutan)

CAP (1, 2)	10.00000	0.000000
CAP (1, 3)	10.00000	0.000000
QQ (1, 1)	0.000000	-0.1500000E-01
QQ (1, 2)	0.000000	-0.1500000E-01
QQ (1, 3)	0.000000	-0.1500000E-01
Q (1, 1, 1, 1)	5.500000	0.000000
Q (1, 1, 1, 2)	5.500000	0.000000
Q (1, 1, 1, 3)	5.500000	0.000000
Q (2, 1, 1, 1)	5.500000	0.000000
Q (2, 1, 1, 2)	5.500000	0.000000
Q (2, 1, 1, 3)	5.500000	0.000000
L (1, 1, 1, 1)	5.500000	0.000000
L (1, 1, 1, 2)	5.500000	0.000000
L (1, 1, 1, 3)	5.500000	0.000000
L (2, 1, 1, 1)	0.000000	0.1500000E-01
L (2, 1, 1, 2)	0.000000	0.1500000E-01
L (2, 1, 1, 3)	0.000000	0.1500000E-01
O (1, 1, 1, 1)	1.000000	0.000000
O (1, 1, 1, 2)	1.000000	0.000000
O (1, 1, 1, 3)	1.000000	0.000000
O (2, 1, 1, 1)	1.000000	0.000000
O (2, 1, 1, 2)	1.000000	0.000000
O (2, 1, 1, 3)	1.000000	0.000000
IS (1, 1)	50.00000	0.000000
IS (1, 2)	50.00000	0.000000
IS (1, 3)	50.00000	0.000000
IS (2, 1)	5.000000	0.000000
IS (2, 2)	15.00000	0.000000
IS (2, 3)	15.00000	0.000000
SMN (1, 1)	0.000000	0.000000
SMN (1, 2)	0.000000	0.000000
SMN (1, 3)	0.000000	0.000000
SMN (2, 1)	0.5000000	0.000000
SMN (2, 2)	0.5000000	0.000000
SMN (2, 3)	0.5000000	0.000000
AMN (1, 1)	0.000000	0.000000
AMN (1, 2)	0.000000	0.000000
AMN (1, 3)	0.000000	0.000000
AMN (2, 1)	5.000000	0.000000
AMN (2, 2)	10.00000	0.000000
AMN (2, 3)	10.00000	0.000000
SMX (1, 1)	50.00000	0.000000
SMX (1, 2)	50.00000	0.000000
SMX (1, 3)	50.00000	0.000000
SMX (2, 1)	20.00000	0.000000
SMX (2, 2)	20.00000	0.000000
SMX (2, 3)	20.00000	0.000000
CW (1, 1)	0.000000	0.000000
CW (1, 2)	0.000000	0.000000
CW (1, 3)	0.000000	0.000000
CW (2, 1)	0.000000	0.000000
CW (2, 2)	0.000000	0.000000
CW (2, 3)	0.000000	0.000000
CP (1, 1)	0.3000000	0.000000
CP (1, 2)	0.3000000	0.000000
CP (1, 3)	0.3000000	0.000000

Lampiran 2: Hasil Verifikasi Model dengan Pinalti (lanjutan)

CP(2, 1)	0.300000	0.000000
CP(2, 2)	0.300000	0.000000
CP(2, 3)	0.300000	0.000000
S(1, 1, 1)	50.00000	0.000000
S(1, 1, 2)	50.00000	0.000000
S(1, 1, 3)	50.00000	0.000000
S(2, 1, 1)	2.675000	0.000000
S(2, 1, 2)	10.35000	0.000000
S(2, 1, 3)	10.35000	0.000000
SE(1, 1, 1)	44.50000	0.000000
SE(1, 1, 2)	44.50000	0.000000
SE(1, 1, 3)	44.50000	0.000000
SE(2, 1, 1)	7.350000	0.000000
SE(2, 1, 2)	14.20000	0.000000
SE(2, 1, 3)	14.20000	0.000000
A(1, 1, 1)	0.000000	0.3000000
A(1, 1, 2)	0.000000	0.3000000
A(1, 1, 3)	0.000000	0.3000000
A(2, 1, 1)	2.325000	0.000000
A(2, 1, 2)	0.000000	0.3000000
A(2, 1, 3)	0.000000	0.3000000
X(1, 1, 1, 1, 1)	0.000000	0.000000
X(1, 1, 2, 1, 1)	1.000000	0.000000
X(2, 1, 1, 1, 1)	0.000000	0.000000
X(2, 1, 2, 1, 1)	0.000000	0.000000
Z(1, 1, 1)	0.000000	0.000000
Z(2, 1, 1)	1.000000	0.000000
TT(1, 2, 1)	0.3000000	0.000000
C(1, 2, 1)	1.000000	0.000000

Lampiran 3: Hasil Verifikasi Pinalti dan Biaya Pelubuhan

LINGO Solver Status [Example 1 dgn pinalti & B. Pel]

Solver Status		Variables	
Model Class:	ILP	Total:	50
State:	Global Opt	Nonlinear:	0
Objective:	3.6975	Integers:	11
Infeasibility:	8.88178e-016	Constraints	
Iterations:	6	Total:	90
		Nonlinear:	0
Extended Solver Status		Nonzeros	
Solver Type	B-and-B	Total:	160
Best Obj:	3.6975	Nonlinear:	0
Obj Bound:	3.6975	Generator Memory Used (K)	
Steps:	0	69	
Active:	0	Elapsed Runtime (hh:mm:ss)	
		00:00:00	
Update Interval:	2	Interrupt Solver	
		Close	

Global optimal solution found.

Objective value: 3.697500
 Extended solver steps: 0
 Total solver iterations: 6

Variable	Value	Reduced Cost
THORIZON	2.000000	0.000000
W(1)	0.000000	0.000000
W(2)	0.000000	0.000000
TB(1)	1.000000	0.000000
TB(2)	1.000000	0.000000
Y(1, 1)	0.000000	0.000000
Y(2, 1)	0.000000	0.000000
T(1, 1)	0.000000	1.500000
T(2, 1)	0.465000	0.000000
TE(1, 1)	0.165000	0.000000
TE(2, 1)	0.630000	0.000000
JE(1, 1)	1.000000	0.000000
JE(1, 2)	1.000000	0.000000
JE(1, 3)	1.000000	0.000000
JE(2, 1)	-1.000000	0.000000
JE(2, 2)	-1.000000	0.000000
JE(2, 3)	-1.000000	0.000000
TQ(1, 1)	0.100000E-01	0.000000
TQ(1, 2)	0.100000E-01	0.000000
TQ(1, 3)	0.100000E-01	0.000000
TQ(2, 1)	0.100000E-01	0.000000
TQ(2, 2)	0.100000E-01	0.000000
TQ(2, 3)	0.100000E-01	0.000000
R(1, 1)	0.000000	0.000000
R(1, 2)	0.000000	0.000000
R(1, 3)	0.000000	0.000000
R(2, 1)	5.000000	0.000000
R(2, 2)	10.000000	0.000000
R(2, 3)	10.000000	0.000000
CAP(1, 1)	10.000000	0.000000
CAP(1, 2)	10.000000	0.000000

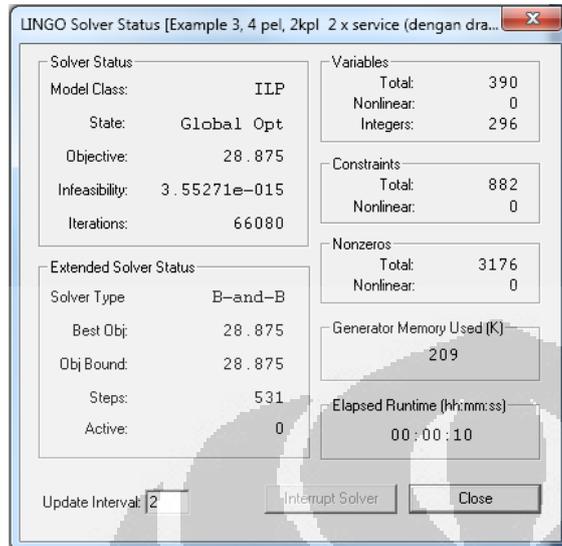
Lampiran 3: Hasil Verifikasi Pinalti dan Biaya Pelabuhan (lanjutan)

CAP(1, 3)	10.00000	0.000000
QQ(1, 1)	0.000000	-0.1500000E-01
QQ(1, 2)	0.000000	-0.1500000E-01
QQ(1, 3)	0.000000	-0.1500000E-01
Q(1, 1, 1, 1)	5.500000	0.000000
Q(1, 1, 1, 2)	5.500000	0.000000
Q(1, 1, 1, 3)	5.500000	0.000000
Q(2, 1, 1, 1)	5.500000	0.000000
Q(2, 1, 1, 2)	5.500000	0.000000
Q(2, 1, 1, 3)	5.500000	0.000000
L(1, 1, 1, 1)	5.500000	0.000000
L(1, 1, 1, 2)	5.500000	0.000000
L(1, 1, 1, 3)	5.500000	0.000000
L(2, 1, 1, 1)	0.000000	0.1500000E-01
L(2, 1, 1, 2)	0.000000	0.1500000E-01
L(2, 1, 1, 3)	0.000000	0.1500000E-01
O(1, 1, 1, 1)	1.000000	0.000000
O(1, 1, 1, 2)	1.000000	0.000000
O(1, 1, 1, 3)	1.000000	0.000000
O(2, 1, 1, 1)	1.000000	0.000000
O(2, 1, 1, 2)	1.000000	0.000000
O(2, 1, 1, 3)	1.000000	0.000000
IS(1, 1)	50.00000	0.000000
IS(1, 2)	50.00000	0.000000
IS(1, 3)	50.00000	0.000000
IS(2, 1)	5.000000	0.000000
IS(2, 2)	15.00000	0.000000
IS(2, 3)	15.00000	0.000000
SMN(1, 1)	0.000000	0.000000
SMN(1, 2)	0.000000	0.000000
SMN(1, 3)	0.000000	0.000000
SMN(2, 1)	0.5000000	0.000000
SMN(2, 2)	0.5000000	0.000000
SMN(2, 3)	0.5000000	0.000000
AMN(1, 1)	0.000000	0.000000
AMN(1, 2)	0.000000	0.000000
AMN(1, 3)	0.000000	0.000000
AMN(2, 1)	5.000000	0.000000
AMN(2, 2)	10.00000	0.000000
AMN(2, 3)	10.00000	0.000000
SMX(1, 1)	50.00000	0.000000
SMX(1, 2)	50.00000	0.000000
SMX(1, 3)	50.00000	0.000000
SMX(2, 1)	20.00000	0.000000
SMX(2, 2)	20.00000	0.000000
SMX(2, 3)	20.00000	0.000000
CW(1, 1)	0.000000	0.000000
CW(1, 2)	0.000000	0.000000
CW(1, 3)	0.000000	0.000000
CW(2, 1)	0.000000	0.000000
CW(2, 2)	0.000000	0.000000
CW(2, 3)	0.000000	0.000000
CP(1, 1)	0.3000000	0.000000
CP(1, 2)	0.3000000	0.000000
CP(1, 3)	0.3000000	0.000000
CP(2, 1)	0.3000000	0.000000

Lampiran 3: Hasil Verifikasi Pinalti dan Biaya Pelabuhan (lanjutan)

CP(2, 2)	0.3000000	0.000000
CP(2, 3)	0.3000000	0.000000
S(1, 1, 1)	50.00000	0.000000
S(1, 1, 2)	50.00000	0.000000
S(1, 1, 3)	50.00000	0.000000
S(2, 1, 1)	2.675000	0.000000
S(2, 1, 2)	10.35000	0.000000
S(2, 1, 3)	10.35000	0.000000
SE(1, 1, 1)	44.50000	0.000000
SE(1, 1, 2)	44.50000	0.000000
SE(1, 1, 3)	44.50000	0.000000
SE(2, 1, 1)	7.350000	0.000000
SE(2, 1, 2)	14.20000	0.000000
SE(2, 1, 3)	14.20000	0.000000
A(1, 1, 1)	0.000000	0.3000000
A(1, 1, 2)	0.000000	0.3000000
A(1, 1, 3)	0.000000	0.3000000
A(2, 1, 1)	2.325000	0.000000
A(2, 1, 2)	0.000000	0.3000000
A(2, 1, 3)	0.000000	0.3000000
X(1, 1, 1, 1, 1)	0.000000	0.000000
X(1, 1, 2, 1, 1)	1.000000	0.000000
X(2, 1, 1, 1, 1)	0.000000	0.000000
X(2, 1, 2, 1, 1)	0.000000	0.000000
Z(1, 1, 1)	0.000000	0.000000
Z(2, 1, 1)	1.000000	0.000000
TT(1, 2, 1)	0.3000000	0.000000
C(1, 2, 1)	1.000000	0.000000
CF(1, 2, 1)	2.000000	0.000000

Lampiran 4: Hasil Verifikasi dengan Draft Constraint



Global optimal solution found.

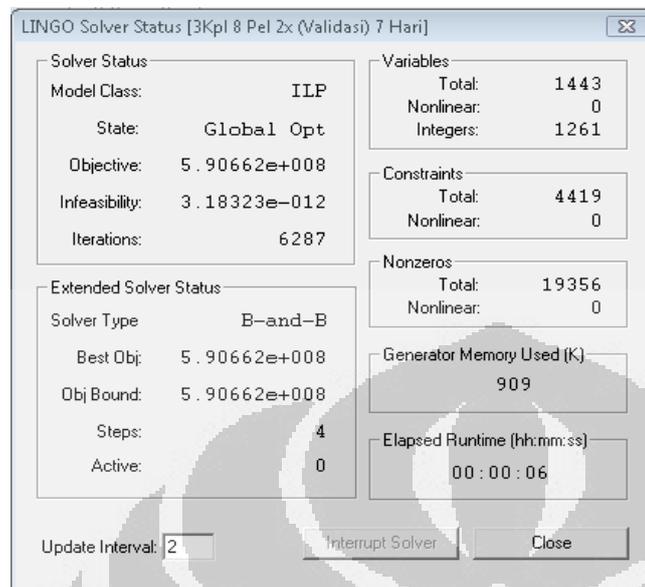
Objective value: 28.87500
 Extended solver steps: 531
 Total solver iterations: 66080

Variable	Value	Reduced Cost
THORIZON	4.000000	0.000000
Y (1, 1)	0.000000	0.000000
Y (1, 2)	0.000000	0.000000
Y (2, 1)	0.000000	0.000000
Y (2, 2)	0.000000	0.000000
Y (3, 1)	0.000000	0.000000
Y (3, 2)	0.000000	0.000000
Y (4, 1)	0.000000	0.000000
Y (4, 2)	0.000000	0.000000
T (1, 1)	0.000000	13.50000
T (1, 2)	1.500000	0.000000
T (2, 1)	0.000000	7.500000
T (2, 2)	1.750000	0.000000
T (3, 1)	0.900000	0.000000
T (3, 2)	2.500000	0.000000
T (4, 1)	0.750000	0.000000
T (4, 2)	2.250000	0.000000
TE (1, 1)	0.450000	0.000000
TE (1, 2)	1.950000	0.000000
TE (2, 1)	0.600000	0.000000
TE (2, 2)	2.150000	0.000000
TE (3, 1)	1.450000	0.000000
TE (3, 2)	2.630000	0.000000
TE (4, 1)	1.200000	0.000000
TE (4, 2)	2.480000	0.000000

Lampiran 4: Hasil Verifikasi dengan Draft Constraint (lanjutan)

X(1, 1, 4, 1, 1)	1.000000	111.0000
.....
X(1, 2, 4, 2, 1)	1.000000	51.00000
.....
X(2, 1, 3, 1, 2)	1.000000	64.00000
.....
X(2, 2, 3, 2, 2)	1.000000	4.000000
.....
X(3, 1, 2, 2, 2)	1.000000	4.000000
.....
X(4, 1, 1, 2, 1)	1.000000	51.00000
.....
Z(3, 2, 2)	1.000000	0.000000
Z(4, 2, 1)	1.000000	0.000000
.....
TT(1, 2, 1)	0.3000000	0.000000
.....
TT(4, 3, 2)	0.3000000	0.000000
C(1, 2, 1)	1.000000	0.000000
.....
C(4, 3, 2)	1.000000	0.000000
CF(1, 2, 1)	2.000000	0.000000
.....
CF(4, 2, 2)	3.000000	0.000000
CF(4, 3, 2)	3.000000	0.000000

Lampiran 5: Hasil Validasi



Global optimal solution found.
 Objective value: 0.5906621E+09
 Extended solver steps: 4
 Total solver iterations: 6287

Variable	Value	Reduced Cost
THORIZON	7.000000	0.000000
Y(1, 1)	0.000000	0.000000
Y(1, 2)	1.000000	0.000000
Y(2, 1)	0.000000	0.000000
Y(2, 2)	1.000000	0.000000
Y(3, 1)	1.000000	0.000000
Y(3, 2)	1.000000	0.000000
Y(4, 1)	1.000000	0.000000
Y(4, 2)	1.000000	0.000000
Y(5, 1)	0.000000	0.000000
Y(5, 2)	1.000000	0.000000
Y(6, 1)	0.000000	0.000000
Y(6, 2)	1.000000	0.000000
Y(7, 1)	0.000000	0.000000
Y(7, 2)	1.000000	0.000000
Y(8, 1)	0.000000	0.000000
Y(8, 2)	1.000000	0.000000
T(1, 1)	0.000000	0.000000
T(1, 2)	0.200000	0.000000
T(2, 1)	0.000000	0.000000
T(2, 2)	0.200000	0.000000
T(3, 1)	0.000000	0.000000
T(3, 2)	0.200000	0.000000
T(4, 1)	0.000000	0.000000
T(4, 2)	7.000000	0.000000
T(5, 1)	0.000000	0.000000
T(5, 2)	0.200000	0.000000
T(6, 1)	3.004991	0.000000

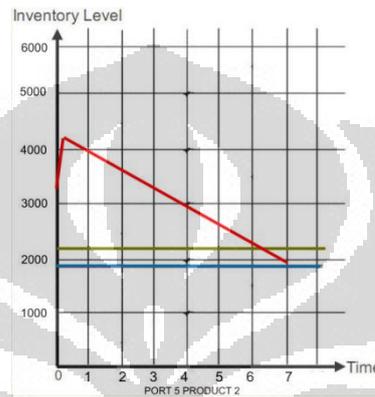
Lampiran 5: Hasil Validasi (lanjutan)

T(6, 2)	7.000000	0.000000
T(7, 1)	0.6566400	0.000000
T(7, 2)	0.8566400	0.000000
T(8, 1)	5.482038	0.000000
T(8, 2)	5.912738	0.000000
TE(1, 1)	0.2366500	0.000000
TE(1, 2)	0.2000000	0.000000
TE(2, 1)	1.248540	0.000000
TE(2, 2)	0.2000000	0.000000
TE(3, 1)	0.000000	0.000000
TE(3, 2)	0.2000000	0.000000
TE(4, 1)	0.000000	0.000000
TE(4, 2)	7.000000	0.000000
TE(5, 1)	0.3664000E-01	0.000000
TE(5, 2)	0.2000000	0.000000
TE(6, 1)	4.669711	0.000000
TE(6, 2)	7.000000	0.000000
TE(7, 1)	2.400840	0.000000
TE(7, 2)	0.8566400	0.000000
TE(8, 1)	5.912738	0.000000
TE(8, 2)	5.912738	0.000000
.....
QQ(1, 1)	10008.00	0.000000
QQ(1, 2)	7149.000	0.000000
QQ(1, 3)	7149.000	0.000000
QQ(2, 1)	0.000000	0.000000
QQ(2, 2)	0.000000	0.000000
QQ(2, 3)	0.000000	0.000000
QQ(3, 1)	0.000000	0.000000
QQ(3, 2)	0.000000	0.000000
QQ(3, 3)	0.000000	0.000000
.....
X(1, 1, 8, 1, 1)	1.000000	0.2429412E+09
.....
X(2, 1, 6, 1, 2)	1.000000	0.2239192E+09
.....
X(1, 2, 5, 1, 3)	1.000000	0.1701521E+09
X(5, 1, 7, 1, 3)	1.000000	0.7645093E+08
.....
CF(8, 7, 3)	0.1593562E+08	0.000000

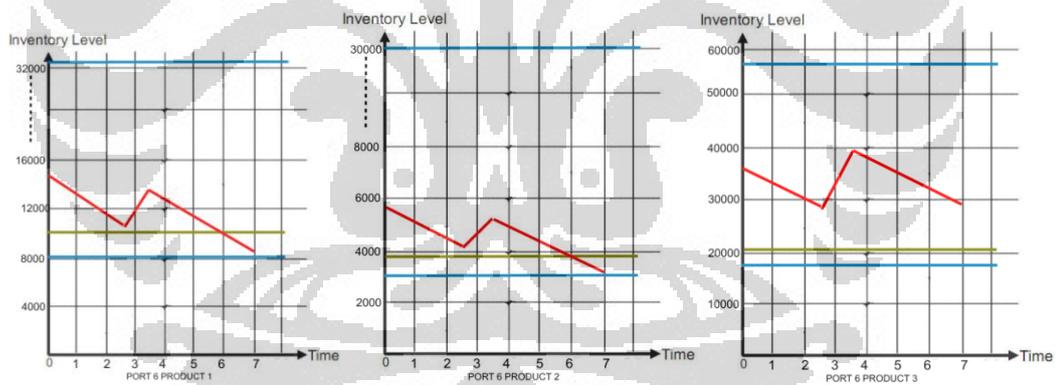
Lampiran 5: Hasil Validasi (lanjutan)

Kondisi *Inventory* Selama *Planning Horizon*

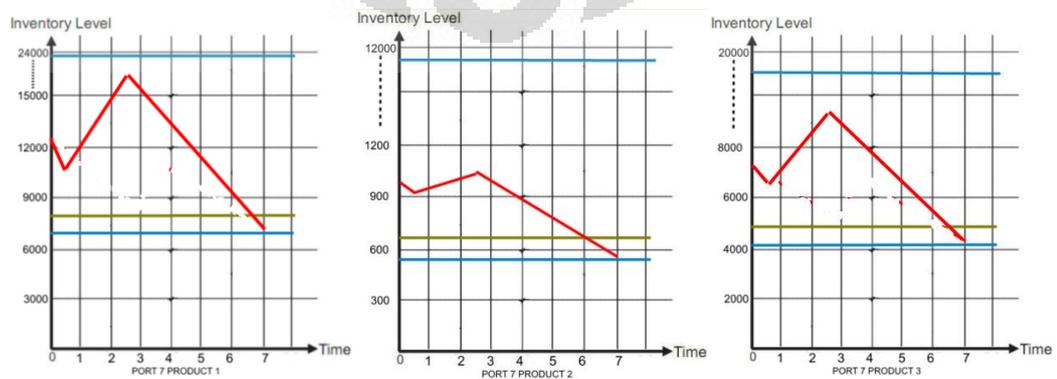
- Garis biru di atas = Maximum Inventory
- Garis merah = Produk yang di bongkar
- Garis Hijau = Alarm level Inventory
- Garis biru bawah = Safety Stock



Inventory di SBY

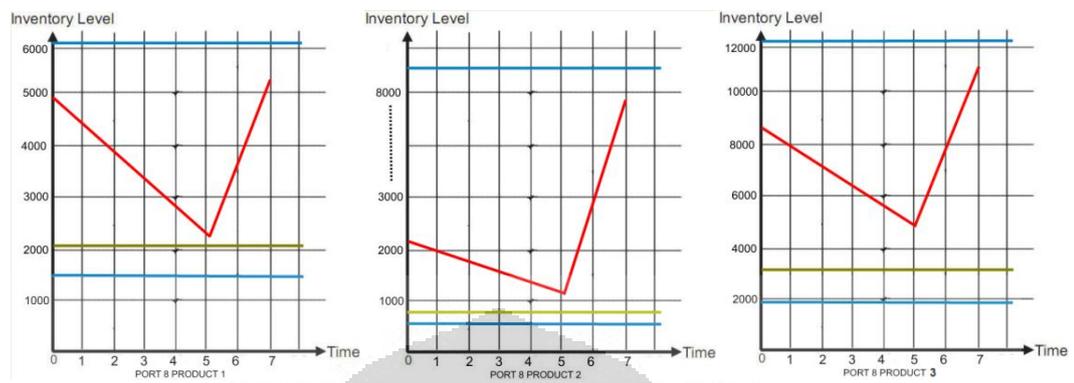


Inventory di TTM



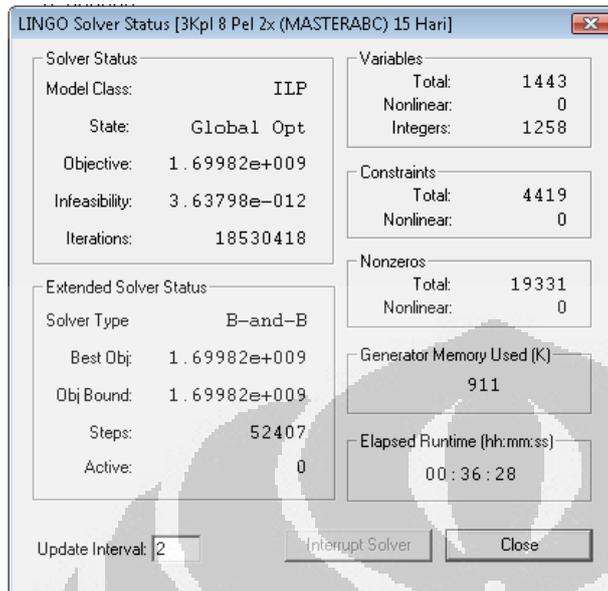
Inventory di TWI

Lampiran 5: Hasil Validasi (lanjutan)



Inventory di KUP

Lampiran 6: Hasil Lingo Masalah Aktual



Global optimal solution found.

Objective value: 0.1699824E+10
 Extended solver steps: 52407
 Total solver iterations: 18530418

Variable	Value	Reduced Cost
THORIZON	15.00000	0.000000
Y(1, 1)	0.000000	0.000000
Y(1, 2)	0.000000	0.000000
Y(2, 1)	0.000000	0.000000
Y(2, 2)	1.000000	0.000000
Y(3, 1)	0.000000	0.000000
Y(3, 2)	0.000000	0.000000
Y(4, 1)	1.000000	0.000000
Y(4, 2)	1.000000	0.000000
Y(5, 1)	0.000000	0.000000
Y(5, 2)	0.000000	0.000000
Y(6, 1)	0.000000	0.000000
Y(6, 2)	0.000000	0.000000
Y(7, 1)	0.000000	0.000000
Y(7, 2)	0.000000	0.000000
Y(8, 1)	0.000000	0.000000
Y(8, 2)	0.000000	0.000000
T(1, 1)	0.000000	0.2083610E+09
T(1, 2)	2.850000	0.000000
T(2, 1)	0.000000	0.000000
T(2, 2)	15.00000	0.000000
T(3, 1)	5.367311	0.000000
T(3, 2)	6.320700	0.000000
T(4, 1)	0.000000	0.000000
T(4, 2)	0.2000000	0.000000
T(5, 1)	2.795300	0.000000

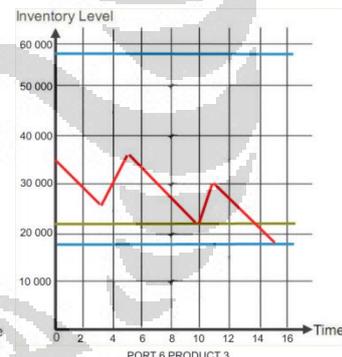
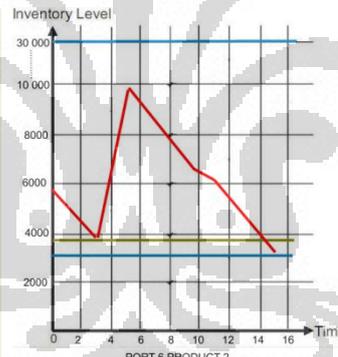
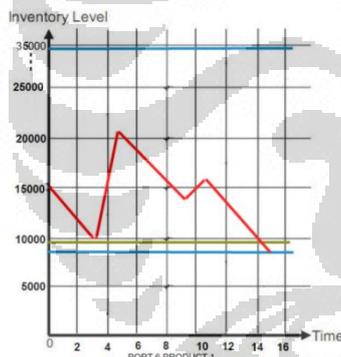
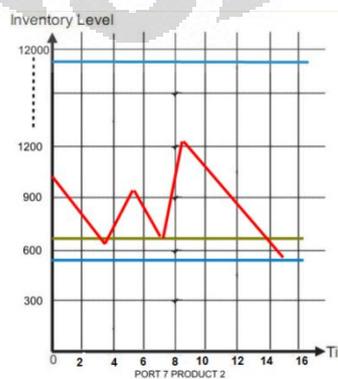
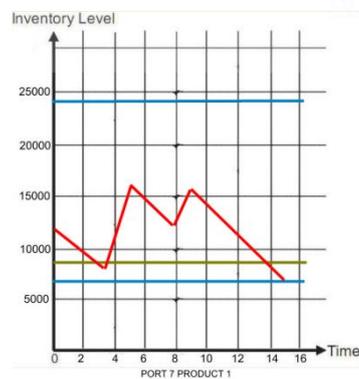
Lampiran 6: Hasil Lingo Masalah Aktual (lanjutan)

T(5, 2)	7.227260	0.000000
T(6, 1)	3.004991	0.000000
T(6, 2)	9.794361	0.000000
T(7, 1)	3.467300	0.000000
T(7, 2)	7.937014	0.000000
T(8, 1)	0.000000	0.000000
T(8, 2)	6.334750	0.000000
TE(1, 1)	1.215300	0.000000
TE(1, 2)	3.424750	0.000000
TE(2, 1)	1.248540	0.000000
TE(2, 2)	15.00000	0.000000
TE(3, 1)	6.509791	0.000000
TE(3, 2)	7.006980	0.000000
TE(4, 1)	0.000000	0.000000
TE(4, 2)	0.2000000	0.000000
TE(5, 1)	2.847300	0.000000
TE(5, 2)	7.312180	0.000000
TE(6, 1)	4.417311	0.000000
TE(6, 2)	10.38924	0.000000
TE(7, 1)	5.230700	0.000000
TE(7, 2)	8.438614	0.000000
TE(8, 1)	0.000000	0.5207300E+08
TE(8, 2)	7.249050	0.000000
.....
X(1, 1, 5, 1, 1)	1.000000	0.6391457E+10
X(1, 2, 8, 2, 3)	1.000000	0.1862157E+10
X(2, 1, 6, 1, 2)	1.000000	0.2239192E+09
X(3, 1, 6, 2, 2)	1.000000	0.1872889E+09
X(3, 2, 5, 2, 1)	1.000000	0.3600442E+08
X(5, 1, 7, 1, 1)	1.000000	0.6317606E+10
X(5, 2, 7, 2, 1)	1.000000	0.6677568E+08
X(6, 1, 3, 1, 2)	1.000000	0.1667759E+09
X(7, 1, 3, 2, 1)	1.000000	0.1029319E+09
X(8, 1, 1, 2, 3)	1.000000	0.000000

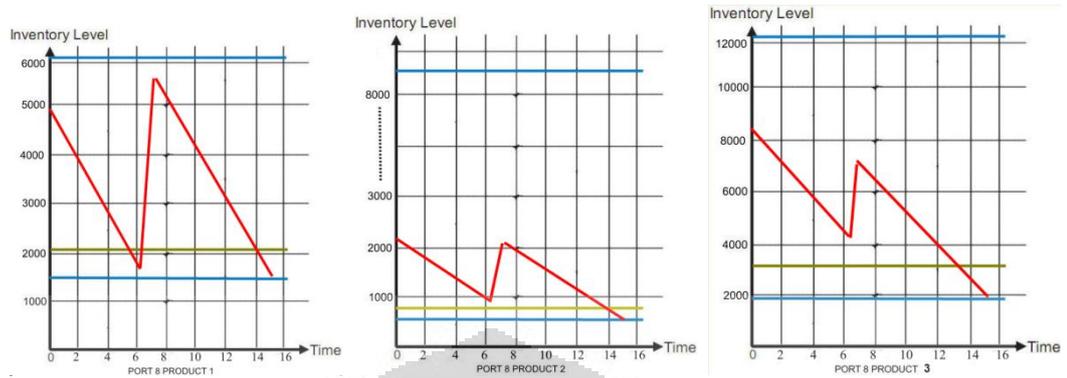
Lampiran 6: Hasil Lingo Masalah Aktual (lanjutan)

Kondisi *Inventory Problem* Aktual

- Garis biru di atas = Maximum Inventory
- Garis merah = Produk yang di bongkar
- Garis Hijau = Alarm level Inventory
- Garis biru bawah = Safety Stock

**Inventory di SBY****Inventory di TTM****Inventory di TWI**

Lampiran 6: Hasil Lingo Masalah Aktual (lanjutan)



Inventory di KUP

