



TESIS - TI142307

**PENGEMBANGAN MODEL DAN ALGORITMA
DYNAMIC-INVENTORY SHIP ROUTING PROBLEM
(D-ISRP) DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
TINGKAT KESIBUKAN PELABUHAN**

SITI NURMINARSIH
2513203011

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP.
Nurhadi Siswanto, ST., M.Sc., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN LOGISTIK DAN RANTAI PASOK
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



THESIS - TI142307

**DYNAMIC INVENTORY SHIP ROUTING PROBLEM
(D-ISRP) MODEL CONSIDERING PORT DWELLING
TIME INFORMATION**

**SITI NURMINARSIH
2513203011**

SUPERVISOR

**Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP.
Nurhadi Siswanto, ST., M.Sc., Ph.D**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN LOGISTIK DAN RANTAI PASOK
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**

**PENGEMBANGAN MODEL DAN ALGORITMA *DYNAMIC-INVENTORY*
SHIP ROUTING PROBLEM (D-ISRP) DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
TINGKAT KESIBUKAN PELABUHAN**

disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SITI NURMINARSIH
NRP 2513 203 011

Tanggal Ujian : 09 Januari 2015

Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui oleh:

1. **Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP.**
NIP. 196811091995031003

(Pembimbing 1)

2. **Nurhadi Siswanto, S.T., M.Sc., Ph.D**
NIP. 197005231996011001

(Pembimbing 2)

3. **Imam Baihaqi, S.T., M.Sc., Ph.D**
NIP. 197007211997021001

(Penguji)

4. **Dr. Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng.**
NIP. 197405171999031002

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.

NIP. 196404051990021001

**PENGEMBANGAN MODEL DAN ALGORITMA *DYNAMIC-
INVENTORY SHIP ROUTING PROBLEM (D-ISRP)* DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN TINGKAT KESIBUKAN
PELABUHAN**

Nama Mahasiswa : Siti Nurminarsih
NRP : 2511203011
Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng.CSCP
Co-Pembimbing : Nurhadi Siswanto, ST., M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Ketidakpastian tingkat kesibukan pelabuhan atau *dwelling time* menyebabkan ketidaksesuaian operasional kapal terhadap jadwal yang telah direncanakan. Lamanya waktu tunggu di pelabuhan mengakibatkan utilitas kapal menjadi rendah dan biaya distribusi meningkat karena pemberlakuan biaya pelabuhan. Dampak lainnya adalah memperbesar kemungkinan keterlambatan kapal yang berpotensi untuk menyebabkan terjadinya *inventory stock out*. Jika *supplier* menerapkan kebijakan *vendor managed inventory (VMI)*, maka dalam hal ini *supplier* akan menanggung biaya penalti akibat keterlambatan tersebut. Untuk menghindari terjadinya keterlambatan, diperlukan evaluasi terhadap jadwal eksisting apabila terdapat informasi perubahan *dwelling time*. Oleh karena itu, pada penelitian ini dikembangkan model *dynamic-inventory ship routing problem (D-ISRP)*, dimana proses *re-routing* berdasarkan informasi *dwelling time* akan dilakukan dengan mengevaluasi opsi perubahan kecepatan dan opsi perubahan urutan kunjungan. Kedua opsi tersebut kemudian dibandingkan untuk menentukan jadwal baru jika terjadi perubahan *dwelling time*. Model yang dikembangkan mempertimbangkan beberapa komponen biaya antara lain biaya konsumsi bahan bakar saat pelayaran, konsumsi bahan bakar saat berlabuh, biaya operasional kapal, biaya kepelabuhanan, biaya *loading/unloading*, serta biaya penalti keterlambatan.

Permasalahan D-ISRP merupakan permasalahan NP-hard, maka pada penelitian ini dikembangkan juga algoritma *heuristic* berbasis *interaction theory* sebagai teknik solusi. Berdasarkan percobaan numerik yang dilakukan, disimpulkan bahwa algoritma yang dikembangkan dapat menyelesaikan permasalahan D-ISRP dan pada keseluruhan kondisi, opsi perubahan kecepatan menghasilkan performansi yang lebih baik dalam merespon perubahan informasi *dwelling time*.

Kata kunci: *dwelling time, vendor managed inventory, dynamic multi depot inventory ship routing problem, interaction theory*

DYNAMIC INVENTORY SHIP ROUTING PROBLEM (D- ISRP) MODEL CONSIDERING PORT DWELLING TIME INFORMATION

Name : Siti Nurminarsih
NRP : 2511203011
Supervisor : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng.CSCP
Co-Supervisor : Nurhadi Siswanto, ST., M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Uncertain dwelling time in a port can cause error in scheduling. The queue on a port will reduce ship utilization and increase the distribution cost because of higher port charge. Ship can also be late on other port that cause inventory stock out. These risks are disadvantages for supplier who implement Vendor Managed Inventory agreement. The supplier will be charged for lateness penalty cost. In order to cope with this problem, a model for dynamic inventory ship routing problem (D-ISRP) is developed in this research. The model will evaluate two alternative options, changing ship speed or changing route visiting sequence, if new information of dwelling time occurred. The cost function to evaluate the scheduling options consists of sail bunker consumption, port bunker consumption, ship operational cost, port charge, loading/unloading cost, and penalty cost for late delivery.

To solve this problem, an heuristic algorithm based on interaction theory has been developed. The algorithm determines the schedule based on the interaction coefficient of ships and ports. Finally, by some numerical experiments, we concluded that the algorithm has a high reliability in order to cope with D-ISRP and in general situations changing ship speed option will give better performance rather than changing ship route visiting sequence option.

Keywords: *dwelling time, vendor managed inventory, dynamic multi depot inventory ship routing problem, interaction theory*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkah dan rahmat yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian Tesis yang berjudul “Pengembangan Model dan Algoritma *Dynamic-Inventory Ship Routing Problem* (D-ISR) dengan Mempertimbangkan Tingkat Kesibukan Pelabuhan”. Laporan penelitian Tesis ini ditulis untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan jenjang pendidikan program magister (S2), Jurusan Teknik Industri ITS Surabaya.

Penulis juga tidak lupa menyampaikan rasa terima kasih yang begitu dalam kepada pihak-pihak yang tak kenal lelah mendukung penulis untuk menyelesaikan penelitian Tesis ini, khususnya pihak - pihak di bawah ini:

1. Keluarga terutama Bapak, Mamak, mbak Endang, Ari yang tiada henti memberi doa dan motivasi selama penulis menempuh studi S2 ini.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng CSSP dan bapak Nurhadi Siswanto, ST., M.Sc, PhD. selaku dosen pembimbing yang telah memberi arahan, masukan, nasihat, serta dorongan motivasi dalam mengerjakan penelitian Tesis ini.
3. Bapak dosen penguji seminar dan sidang Tesis, bapak Imam Baihaqi, S.T., M.Sc., Ph.D, bapak Dr. Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng., yang telah memberikan banyak arahan, saran dan perbaikan pada Tesis ini.
4. Bapak dan Ibu dosen program Magister Jurusan Teknik Industri, Bapak Prof Nyoman Pujawan, Bapak Imam Baihaqi, Bapak Iwan Vanany, dan dosen-dosen lainnya atas *sharing* ilmu dan pengalaman yang telah diberikan.
5. Teman-teman pasca sarjana Teknik Industri angkatan 2013, atas segala kekeluargaan, kebersamaan dan segala kenangan indah yang diukir bersama-sama.
6. Sahabat-sahabatku (Atma, bli Roni, John, Nia, Rei, Laras, mbak Luli) atas rasa kekeluargaan, semangat serta dukungan yang diberikan.
7. Rekanaku, Hendrawan TA, yang keberadaannya selalu menghadirkan semangat untuk berjuang.
8. Seluruh Staf dan Karyawan di Jurusan Teknik Industri ITS (Mbak Rahayu, Mbak Lusi, Mbak Erma, Mbak Elif, Mbak Evi, dan Bu Titin) atas segala bantuan yang telah diberikan selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Industri ITS.
9. Serta seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu dalam tulisan ini, yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam menyusun laporan Tesis ini masih ada kekurangan. Oleh karena itu, saran dan masukan yang membangun sangat penulis butuhkan demi kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan Tesis ini bisa memberikan manfaat dan kontribusi dalam memperkaya ilmu demi kemajuan bangsa Indonesia tercinta.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	vii
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Dan Asumsi	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Transportasi Maritim.....	7
2.2 <i>Vendor Managed Inventory (VMI) & Inventory Routing Problem (IRP)</i>	7
2.3 <i>Single Depot & Multi Depot ISRP</i>	10
2.4 <i>Dynamic-Inventory Ship Routing Problem (D-ISRP)</i>	16
2.5 <i>Interaction Theory Algorithm</i>	19
2.6 Gap & Posisi Penelitian.....	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian	29
3.1.1 Tahap Pengembangan Model.....	29
3.1.2 Tahap Pengembangan Algoritma.....	29

3.1.3 Tahap Validasi Algoritma	30
3.1.4 Tahap Percobaan Numerik	30
3.1.5 Tahap Analisis Percobaan Numerik	31
3.1.6 Tahap Penarikan Kesimpulan dan Saran	31
BAB 4 PENGEMBANGAN MODEL DAN ALGORITMA	33
4.1 Deskripsi Permasalahan	33
4.2 Pengembangan Model	37
4.2.1 Notasi yang Digunakan	37
4.2.2 Model Matematis	40
4.3 Pengembangan Algoritma	48
4.3.1 Algoritma Rute Inisiasi	48
4.3.2 Algoritma <i>re-Routing</i>	55
4.4 Validasi Algoritma	58
BAB 5 PERCOBAAN NUMERIK	63
5.1 Percobaan Tanpa Perubahan <i>Dwelling Time</i>	63
5.1.1 Jumlah Pelabuhan yang Dijadwalkan	63
5.1.2 Kondisi <i>Over</i> dan <i>Under</i> Suplai	65
5.1.3 Skenario Penerapan Kebijakan Minimum Muatan untuk Pelayaran	69
5.2 Percobaan dengan Perubahan <i>Dwelling Time</i>	70
5.2.1 Percobaan dengan Sinifikansi Perubahan <i>Dwelling Time</i>	74
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	77
6.1 Kesimpulan	77
6.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	81
BIOGRAFI PENULIS	95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Literatur Penelitian ISRP	25
Tabel 4.1 Data konsumsi bahan bakar kapal saat berlayar (tons/miles)	46
Tabel 4.2 Demand Rate Pelabuhan	58
Tabel 4.3 Production Rate Pelabuhan	58
Tabel 4.4 Initial inventory Kapal dan Pelabuhan.....	58
Tabel 4.5 Jarak antar Kapal dan Pelabuhan	59
Tabel 4.6 Dwelling Time Pelabuhan	59
Tabel 4.7 Pelabuhan Kritis yang Harus Dikunjungi	59
Tabel 5.1 Hasil Penjadwalan dari Beberapa Ukuran Set Data yang Berbeda	64
Tabel 5.2 Alokasi Kapal untuk Pengiriman Produk	65
Tabel 5.3 Rate Produksi Over Suplai.....	65
Tabel 5.4 Rate Konsumsi Over Suplai.....	66
Tabel 5.5 Inventory Awal Over Suplai	66
Tabel 5.6 Peningkatan Aktivitas Loading pada Pelabuhan	66
Tabel 5.7 Rate Produksi Under Supply.....	68
Tabel 5.8 Rate Konsumsi Under Supply.....	68
Tabel 5.9 Inventory Awal Pelabuhan Under Supply	68
Tabel 5.10 Hasil Penjadwalan dengan nilai IVmin yang berbeda	70
Tabel 5.11 Jadwal Kapal yang sedang Berjalan	71
Tabel 5.12 Informasi Perubahan Dwelling Time.....	71
Tabel 5.13 Hasil Penjadwalan dengan Perubahan Kecepatan Kapal Kerta Dua	72
Tabel 5.14 Hasil Penjadwalan dengan Perubahan Kecepatan Kapal Karmila.....	72
Tabel 5.15 Koefisien Interaksi dari Produk Premium	73
Tabel 5.16 Koefisien Interaksi dari Produk Minyak Tanah.....	73
Tabel 5.17 Hasil Penjadwalan dengan Perubahan Kecepatan Kapal Kerta Dua	73
Tabel 5.18 Hasil Penjadwalan dengan Perubahan Kecepatan Kapal Karmila.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi multi depot ISRP dengan multiple product.....	11
Gambar 2.2 Ilustrasi Dynamic Routing	18
Gambar 2.3 Matriks Interaksi (IMAT)	21
Gambar 2.4 Matriks Interaction Coefficient (ICOM).....	22
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian	32
Gambar 4.1 Kompartemen Kapal Tanker (Hwang, 2005).....	34
Gambar 4.2 Periodic Review Replenishment (Walter, 2003).....	35
Gambar 4.3 Denah Pelabuhan.....	36
Gambar 4.4 Flowchart Penentuan Rute Inisiasi.....	49
Gambar 4.5 Langkah-langkah dalam Menentukan Matriks Interaksi	51
Gambar 4.6 Algoritma Assignment Pelabuhan terhadap Kapal	54
Gambar 4.7 Pseudo Code Program	55
Gambar 4.8 Algoritma Perubahan Kecepatan Kapal	56
Gambar 4.9 Algoritma untuk re-Routing.....	57
Gambar 4.10 Solusi Penjadwalan dari Algoritma Greedy Heuristic	61
Gambar 5.1 Inventory Kapal pada Kondisi Over Supply	67
Gambar 5.2 Inventory Pelabuhan pada Kondisi Over Supply	67
Gambar 5.3 Inventory Pelabuhan pada Kondisi Under Supply	69
Gambar 5.4 Inventory Pelabuhan pada Kondisi Under Supply	69
Gambar 5.5 Rata-rata Kecepatan terhadap Signifikansi Perubahan Dwelling Time	75
Gambar 5.6 Maksimum Sailing Time terhadap Perubahan Dwelling Time.....	76

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi laut merupakan tulang punggung dalam perdagangan dunia. Data UNCTAD (2010) menyatakan bahwa pada tahun 2010, terdapat lebih dari 80% perdagangan global dikirimkan melalui jalur laut. Secara garis besar, transportasi laut dunia terbagi menjadi 2 kelompok rute besar, yaitu daerah Amerika-Eropa Utara dan Asia-Timur Tengah-Eropa. Terdapat ribuan kapal yang berlayar setiap bulannya pada rute tersebut, mulai dari kapal perusahaan, kapal pribadi, dan kapal dari penyedia jasa *forwarder* seperti MAERSK.

Berdasarkan jenis yang diangkut, transportasi laut dibedakan menjadi dua, yaitu transportasi penumpang dan kargo atau barang. Oleh karena itu, penelitian mengenai transportasi laut pun dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu penelitian mengenai transportasi penumpang dan transportasi barang. Seperti halnya penelitian pada angkutan pesawat, penelitian transportasi penumpang lebih terarah pada kebijakan *pricing*, penentuan design network dari penyedia layanan transportasi laut, perencanaan armada, dan sebagainya. Sedangkan pada transportasi barang, dibedakan lagi berdasarkan jenis operasinya, yaitu *tramp shipping*, *industrial shipping*, dan *liner shipping* (Lawrence, 1972). *Tramp shipping* seperti halnya dengan pelayanan taksi, tidak memiliki jadwal yang pasti dan hanya akan beroperasi untuk pengiriman tentative dari pelabuhan *origin* ke pelabuhan *destination*. *Industrial shipping*, biasanya dioperasikan oleh suatu perusahaan untuk pengiriman komoditi dari perusahaan tersebut. Fungsi tujuan dari *industrial shipping* ini adalah meminimumkan biaya operasional distribusi. Berbeda halnya dengan *tramp* dan *industrial shipping*, pada *liner shipping*, pelayaran dilakukan dengan jadwal yang pasti. Ada atau tidaknya muatan tidak mempengaruhi jadwal keberangkatan dan kedatangan kapal. Penelitian ini akan lebih fokus membahas mengenai *industrial shipping*.

Pada *industrial shipping*, sebuah perusahaan bertanggungjawab untuk mendistribusikan barang dari titik suplai ke titik *demand*. Perusahaan harus

memastikan ketersediaan barang di titik *demand* sesuai dengan *service level* yang ditargetkan. Jumlah dari titik suplai dan titik *demand* bervariasi berdasarkan karakteristik dari perusahaan tersebut. Fungsi tujuan utama dari perusahaan adalah memastikan ketersediaan barang di titik *demand* dengan meminimumkan biaya distribusi yang sebagian besar terdiri dari biaya operasional kapal. Untuk meminimumkan biaya tersebut, pemilihan rute dan penjadwalan kapal menjadi hal yang sangat penting. Permasalahan ini yang kemudian disebut dengan *vehicle routing problem* (VRP) atau pada transportasi laut lebih dikenal dengan *Ship Routing Problem* (SRP).

Penyelesaian model dasar dari VRP menghasilkan rute dan jadwal kapal dengan biaya optimal yang menjamin terpenuhinya beberapa batasan terkait distribusi. Beberapa batasan terkait distribusi diantaranya adalah batasan mengenai ketersediaan pasokan di titik *demand*, kapasitas dan jumlah kapal pengangkut, waktu pelayaran, dan karakteristik pelabuhan. Permasalahan dasar VRP ini kemudian berkembang menjadi beberapa varian, seperti *single* dan *multi product* VRP, *stochastic demand*, dan sebagainya.

Varian lain dari VRP salah satunya adalah *inventory routing problem* (IRP). *Inventory routing problem* mulai dikenal sejak munculnya konsep *vendor managed inventory* (VMI) pada *supply chain*. Kemunculan VMI mendatangkan manfaat yang positif bagi *supplier* dan *customer*. Di satu sisi *supplier* dapat mengintegrasikan distribusinya dan di sisi lain *customer* dapat menghemat biaya dalam pengelolaan *inventory*. Tujuan dari IRP adalah mencari rute yang dapat meminimumkan total biaya (biaya distribusi dan biaya *inventory*) dengan menjaga *inventory* pada gudang *customer* tetap berada pada level tertentu. Permasalahan IRP pada transportasi laut lebih dikenal dengan istilah *inventory ship routing problem* (ISRP).

Dari permasalahan ISRP ini kemudian berkembang permasalahan lain terkait dengan jumlah depot atau pelabuhan suplai, yang kemudian disebut dengan ISRP-*single depot* dan ISRP-*multi depot*. Pada ISRP-*single depot*, barang dikirimkan dari satu pelabuhan suplai ke beberapa pelabuhan konsumsi. Sedangkan pada ISRP-*multi depot*, distribusi barang dilakukan dari beberapa pelabuhan suplai ke beberapa pelabuhan konsumsi, bahkan seringkali pelabuhan

konsumsi juga dapat berperan sebagai pelabuhan suplai. Penelitian mengenai ISRP-*single depot* berkembang lebih pesat dibandingkan dengan *multi depot*, diantaranya adalah yang dilakukan oleh Archetti et.al (2011), Coelho et.al (2012), Coelho dan Laporte (2012). Hal ini dikarenakan kompleksitas permasalahan *multi depot* lebih tinggi sehingga eksplorasi permasalahan pada penelitian masih terbatas.

Namun demikian, beberapa peneliti seperti Al Khayyal dan Hwang (2007), Siswanto et.al (2011), dan Rani (2010) telah memberikan kontribusi berarti pada perkembangan ilmu ISRP-*multi depot* terutama pada distribusi *bulk product*. Al-Khayyal dan Hwang (2007) mengangkat permasalahan m-ISRP (*multi product-ISRP*) untuk menentukan pengiriman bahan kimia cair dari pelabuhan *supply* menuju pelabuhan *demand*. Pelabuhan dapat berperan sebagai pelabuhan *supply* sekaligus pelabuhan *demand*. Armada kapal yang digunakan memiliki *dedicated compartment*. Dengan adanya *dedicated compartment*, sebuah kapal dapat membawa lebih dari satu bahan kimia cair sekaligus dalam sekali pelayaran. Permasalahan yang muncul kemudian adalah menentukan berapa banyak bahan kimia yang harus dibawa, tujuan pelayaran, dan kapal yang digunakan. Fungsi tujuan dari permasalahan ini adalah meminimumkan biaya transportasi dengan tetap menjamin ketersediaan *inventory* di tiap konsumen.

Kemudian Siswanto et.al. (2011) mengembangkan permasalahan Al-Khayyal dan Hwang (2007) dari *dedicated compartement* menjadi *undedicated compartment*. Pada penelitian ini permasalahan dibagi menjadi empat sub permasalahan yaitu pemilihan rute, pemilihan kapal, aktivitas loading, dan aktivitas unloading. Untuk memecahkan permasalahan ini, pertama dikembangkan sebuah metode eksak menggunakan mixed integer linear programming (MILP). Kemudian dikembangkan pula sebuah *one step greedy heuristic* sebagai dasar pengembangan beberapa metode *heuristic* untuk setiap sub permasalahan. Hasil dari kedua pendekatan ini kemudian dibandingkan. Berdasarkan beberapa studi kasus yang diberikan, didapatkan rata-rata perbedaan hasil sebesar 1.96% antara hasil menggunakan metode eksak dan heuristic.

Rusdiansyah et.al (2011) juga melakukan penelitian *multi product* dengan *undedicated compartment*. Pada penelitian tersebut, Rusdiansyah et.al (2011)

menambahkan batasan kompatibilitas dalam pemuatan produk untuk *undedicated compartment* pada kapal tanker. Solusi dari permasalahan pada penelitian ini dicari menggunakan metode eksak, yaitu menggunakan model *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Model MILP digunakan untuk menentukan rute dan kuantitas pengiriman yang dapat menjamin *inventory* di sisi konsumen. Fungsi tujuan pada model yang dikembangkan adalah meminimumkan biaya transportasi dan biaya operasional terkait dengan aktivitas *loading* dan *unloading*. Model ini dapat memenuhi batasan kompatibilitas. Akan tetapi dikarenakan lamanya waktu komputasi, produk dibatasi untuk 3 jenis produk saja.

Penelitian-penelitian sebelumnya mengenai *multi depot-ISR*P tidak ada yang mempertimbangkan antrian kapal yang terjadi di pelabuhan sebagai faktor yang mempengaruhi ketepatan jadwal. Sebagai contoh pada penelitian Al Khayyal dan Hwang (2007), Rusdiansyah et.al (2011), dan Siswanto et.al (2011), diasumsikan bahwa kapal langsung dapat melakukan operasi di pelabuhan (*loading* atau *unloading*) pada saat kapal tersebut tiba (*instantaneous loading/unloading*). Pada kondisi nyata, asumsi ini sangat sulit untuk terpenuhi terutama pada pelabuhan-pelabuhan sibuk seperti Singapura, Jakarta, dan sebagainya.

Penelitian ini dilakukan untuk mengisi gap tersebut dan merelaksasi asumsi *instantaneous loading/unloading*. Permasalahan yang dikembangkan pada penelitian ini adalah bagaimana melakukan penjadwalan kapal pada permasalahan *multi depot-inventory ship routing problem* (MD-ISR)P dengan mempertimbangkan informasi waktu tunggu rata-rata kapal di pelabuhan (*dwelling time*). Perkembangan teknologi internet yang semakin pesat, memungkinkan terjadinya *sharing* informasi *dwelling time* pelabuhan secara *realtime* kepada *route decision maker*. Selanjutnya dengan informasi ini, *route decision maker* dapat mengevaluasi tiga skenario keputusan antara lain tetap menjalankan kapal dengan jadwal dan rute eksisting, melakukan *re-routing*, atau mempercepat laju kapal ke pelabuhan. Ketiga skenario ini akan dievaluasi terhadap total biaya distribusi yang dihasilkan. Dengan adanya kebijakan *re-routing* dan perubahan kecepatan selama horison perencanaan maka permasalahan ini kemudian disebut dengan *dynamic-inventory ship routing problem* (D-ISR)P).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana mengembangkan model dan algoritma permasalahan *dynamic-inventory ship routing problem* (D-ISR) dengan mempertimbangkan *dwelling time information*. *Multi bulk/liquid product* akan didistribusikan dari beberapa pelabuhan produksi menuju ke beberapa pelabuhan konsumsi dengan menjaga level *inventory* tiap produk di masing-masing pelabuhan agar tidak terjadi *stock out*. Dalam menghindari keterlambatan akibat perubahan *dwelling time* pelabuhan, maka diperlukan adanya penjadwalan ulang terkait dua opsi perubahan, yaitu opsi perubahan kecepatan dan opsi perubahan rute.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, antara lain adalah:

1. Mengembangkan model *dynamic-inventory ship routing problem* (D-ISR) dengan mempertimbangkan *dwelling time information*.
2. Menyelesaikan model permasalahan *dynamic-inventory ship routing problem* (D-ISR) dengan mempertimbangkan *dwelling time information* dengan menggunakan algoritma *heuristic*.
3. Melakukan percobaan numerik untuk menganalisis algoritma yang telah dikembangkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai model acuan dalam permasalahan *dynamic-inventory ship routing problem* (D-ISR) dengan mempertimbangkan *dwelling time information*.
2. Mengisi gap penelitian di bidang *dynamic-inventory ship routing problem* (D-ISR) dengan mempertimbangkan *dwelling time information*.
3. Menjadi referensi atau rujukan bagi penelitian-penelitian selanjutnya di bidang *dynamic-inventory ship routing problem* (D-ISR) dengan mempertimbangkan *dwelling time information*.

1.5 Batasan Dan Asumsi

Batasan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model yang dikembangkan tidak mempertimbangkan kejadian alam yang terjadi selama pengiriman seperti arah angin, kedalaman laut dan lain-lain.
2. Model tidak mempertimbangkan batasan operasional yaitu berat kapal yang bisa singgah di tiap pelabuhan.
3. Data yang digunakan untuk uji numerik merupakan data *dummy*.

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Consumption rate* adalah tetap (deterministik) selama *planning horizon* dan tidak ada interupsi pada aktivitas konsumsi selama periode perencanaan.
2. Waktu *setup* setiap dilakukan *unloading* adalah nol.
3. Kompartemen kapal adalah *dedicated* untuk produk tertentu selama horison perencanaan
4. Kapal dapat mengangkut semua produk tanpa mempertimbangkan keseimbangan dan kekuatan kapal dan semua kompartemen kapal yang digunakan kompatibel dengan semua produk.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Transportasi Maritim

Transportasi maritim atau transportasi laut merupakan tulang punggung dari perdagangan dunia. Al Khayyal dan Hwang (2007) mengungkapkan bahwa sekitar 90% dari volume dan 70% dari nilai barang ditransportasikan melalui jalur laut. Meningkatnya penggunaan transportasi maritim dikarenakan beberapa keunggulan yang dimiliki. Transportasi maritim memiliki jangkauan yang lebih luas dibandingkan moda transportasi darat. Transportasi maritim yang bisa menjangkau antar pulau menjadi penting bagi distribusi pada negara kepulauan atau distribusi multinasional. Bila dibandingkan dengan transportasi udara, transportasi laut memiliki keunggulan dalam segi biaya dan kuantitas pengiriman.

Penelitian mengenai transportasi maritim terbagi menjadi tiga bagian yaitu strategis, taktis, dan operasional. Christiansen et.al. (2007) mengklasifikasikan permasalahan strategis yang terkait dengan transportasi maritim antara lain lokasi pelabuhan, desain kapal, ukuran armada transportasi, dan sebagainya. Untuk permasalahan taktis terdiri dari penjadwalan kapal, *ship routing*, *berth scheduling*, dan sebagainya. Sedangkan permasalahan yang termasuk dalam permasalahan operasional antara lain adalah penentuan kecepatan pelayaran, aktivitas pemuatan pada kapal, dan sebagainya.

1.2 *Vendor Managed Inventory (VMI) & Inventory Routing Problem (IRP)*

Integrasi salah satu faktor pendukung kesuksesan dalam *supply chain* suatu perusahaan. Sedangkan keterbukaan informasi merupakan faktor penting didalamnya. Demikian halnya dengan pengelolaan *inventory*. Di dalam *supply chain* dikenal konsep *vendor managed inventory (VMI)*, yaitu suatu konsep dimana kebijakan pengelolaan *inventory* di *customer* dikelola oleh vendor. VMI sering disebut sebagai win-win situation, dimana *supplier* dapat menghemat biaya produksi karena dapat merencanakan produksi dengan lebih akurat dan dapat menghemat biaya distribusi dengan mengkoordinasikan distribusi barang dari

beberapa *customer*, di sisi lain *customer* juga dapat melakukan penghematan karena tidak perlu menempatkan *resource* untuk mengatur *inventory*. Dalam hal ini vendor atau *supplier* harus membuat tiga keputusan penting, yaitu kapan *customer* harus dilayani, berapa banyak produk yang harus dikirim, dan bagaimana menggabungkan *customer* ke dalam suatu rute (Coelho et al, 2012).

Dengan munculnya konsep VMI ini kemudian muncul permasalahan baru yang dinamakan *inventory routing problem* (IRP). IRP menggabungkan antara *inventory management* dan perencanaan *vehicle routing* secara bersama-sama untuk mendapatkan total biaya yang optimal. Tidak seperti pada *vehicle routing problem* (VRP), dimana *supplier* mengalokasikan kendaraan untuk melakukan pengiriman sesuai *demand* dari *customer*, pada IRP tidak ada pemesanan langsung dari *customer* (Siswanto et.al., 2011). *Supplier* harus menjaga *inventory* di *customer* pada level tertentu. *Supplier* harus menjaga *inventory* level ini agar tidak terjadi *stocked out* dengan tetap meminimumkan biaya. Biaya yang muncul disini bisa berupa biaya transportasi, biaya *loading* dan *unloading*, biaya *inventory*, dan biaya lainnya bergantung pada karakteristik dari permasalahan yang ada.

Karakteristik dari permasalahan yang dibahas pada IRP dapat bermacam-macam. Archetti et.al. (2011) menguraikannya sebagai berikut:

- a) waktu dapat berupa diskrit atau kontinyu
- b) *demand* dapat berupa deterministik atau stokastik
- c) ada yang mempertimbangkan *inventory holding cost* sebagai fungsi obyektif tetapi ada pula yang tidak

Walaupun karakteristik yang diangkat dalam permasalahan berbeda-beda, semua penelitian pasti mempertimbangkan *inventory* dan *routing* sebagai komponen dari model optimisasi. Menurut Coelho et al (2012), penelitian mengenai IRP relatif baru dibandingkan dengan model optimasi terkait seperti VRP. Permasalahan IRP dikenalkan pertama kali oleh Bell et al. pada tahun 1983. IRP mendapat perhatian yang lebih kecil dibandingkan dengan VRP. Ketertarikan pada permasalahan IRP ini mulai meningkat pada awal tahun 80-an dengan banyaknya penelitian yang muncul (Archetti et al, 2011).

Pada transportasi maritim, permasalahan IRP disebut sebagai *inventory ship routing problem* (ISRP). *Ship routing* memiliki karakteristik tersendiri yang harus

dipertimbangkan. Romero et.al (2013) menyebutkan beberapa karakteristik yang harus dipertimbangkan pada *ship routing* antara lain adalah:

1. Waktu pelayaran kapal bisa lebih dari satu hari, dikarenakan jarak antar pelabuhan yang terkadang jauh dan kapal terkadang harus menunggu lama di pelabuhan sebelum bisa dilakukan *loading* atau *unloading*.
2. Rute kapal fleksibel dan tidak harus mengikuti jalur tertentu seperti pada transportasi darat yang harus mengikuti jalan raya atau rel kereta.
3. Transportasi maritim memiliki ketidakpastian yang tinggi karena sangat bergantung pada keadaan cuaca.

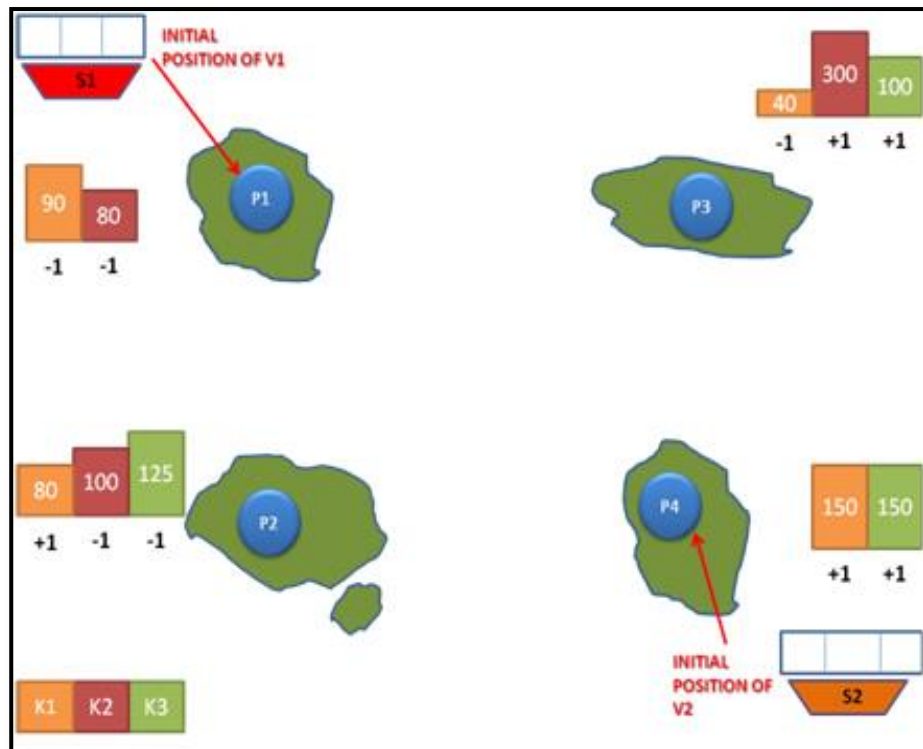
Di samping beberapa karakteristik khusus tersebut, batasan pada perencanaan *routing* kapal tidak berbeda dengan perencanaan pada transportasi darat. Akan tetapi pada banyak penelitian IRP, karena kompleksitas permasalahan yang tinggi, seringkali diterapkan beberapa asumsi untuk simplifikasi. Asumsi-asumsi tersebut diantaranya adalah *single supply* atau *production site* (depot), kapasitas produksi yang tidak terbatas, kapasitas gudang *supplier* yang tidak terbatas, dan kecepatan produksi dan konsumsi yang tetap selama periode perencanaan. Walaupun telah diberlakukan beberapa asumsi, permasalahan IRP tetap merupakan permasalahan yang cukup kompleks, sehingga untuk mencari solusi seringkali digunakan pendekatan *heuristics*. Salah satu contohnya adalah penelitian mengenai *single-ISR*P (s-ISR) yang dilakukan oleh Christiansen dan Nygreen (2005). Pada penelitian ini suatu produk dimuat pada suatu pelabuhan dan dilakukan pembongkaran pada pelabuhan lainnya. Permasalahan ini dimodelkan dengan menggunakan *column generation*.

Beberapa perkembangan dari penelitian ISR/P antara lain adalah *single* dan *multi product* ISR/P, *single* dan *multi depot* ISR/P, ISR/P dengan *time windows*, stokastik *demand* ISR/P, *homogeneous* dan *heterogeneous fleet* ISR/P, dan sebagainya. Salah satu varian menarik dari ISR/P adalah berkaitan dengan pelabuhan *loading* dari produk. Penelitian pada permasalahan ini berkembang dari satu pelabuhan *loading* atau pelabuhan suplai (*single depot-ISR*P) menjadi lebih dari satu pelabuhan (*multi depot-ISR*P).

1.3 *Single Depot & Multi Depot ISRP*

Pada *single depot* ISRP, *supplier* mendistribusikan barang dari suatu pelabuhan *loading* ke beberapa pelabuhan *unloading*. Aplikasi untuk permasalahan ini sangat sering dijumpai pada industri yang berlokasi di suatu daerah tetapi memiliki daerah pemasaran di beberapa area yang berbeda pulau. Pelabuhan *loading* biasanya berdekatan dengan lokasi industri tersebut. Barang yang didistribusikan bisa terdiri dari satu atau beberapa jenis barang. Biasanya pada permasalahan ini, diasumsikan bahwa *supplier* memiliki kapasitas produksi dan kapasitas gudang yang tidak terbatas. Sedangkan kapal yang digunakan dan gudang pada pelabuhan *unloading* memiliki kapasitas tertentu. Lokasi dari pelabuhan *unloading* tersebar pada beberapa area. Penelitian terkait *single depot* ISRP ini antara lain dilakukan oleh Archetti et.al (2011), Coelho et.al (2012), Coelho dan Laporte (2012).

Berbeda dengan *single depot*, pada *multi depot* ISRP, jumlah dari pelabuhan *loading* bisa lebih dari satu. Bahkan terkadang suatu pelabuhan bisa menjadi pelabuhan *loading* sekaligus pelabuhan *unloading*. Pada industri tertentu, seperti industri bahan kimia, *multi depot* ISRP ini digunakan untuk menyeimbangkan *inventory* di beberapa area. Kapasitas *inventory* dan posisi *initial inventory* diketahui pada awal horizon perencanaan. Kecepatan produksi dan konsumsi diasumsikan konstan. Dengan informasi yang tersedia, *route planner* harus mencari rute yang meminimumkan biaya transportasi dan menjamin ketersediaan barang pada tiap pelabuhan berada pada level tertentu. Deskripsi dari *multi depot* ISRP untuk *multiple products* lebih jelas digambarkan pada Gambar 2.1 di bawah.



Gambar 1.1 Ilustrasi *multi depot ISRP* dengan *multiple product*

Rusdiansyah et.al (2011) mengembangkan model matematis untuk permasalahan ini dengan *multiple products*. Variabel-variabel yang digunakan pada model penelitian tersebut antara lain:

- Variabel untuk *network flows*
 - x_{imjnv} : Arc flow variable bernilai 1 jika kedatangan pada *port* (i,m) dan (j, n) secara langsung terhubung dalam rute kapal v, jika sebaliknya maka bernilai 0
 - z_{imv} : variabel *route end indicator* bernilai 1 jika (i,m) adalah kunjungan terakhir dari rute kapal v, jika sebaliknya maka bernilai 0
 - y_{im} : *Slack variable* bernilai 1 jika (i,m) is tidak dikunjungi, jika sebaliknya maka bernilai 0
- Variabel untuk *loading* dan *unloading*
 - l_{imvck} : pemuatan produk k yang dibawa oleh kompartemen c dari kapal v ketika meninggalkan (i,m).

- q_{imvk} : Kuantitas dari product k yang dimuat dan produk k yang dibongkar dari kompartemen c pada kapal v pada posisi (i,m)
- Variabel untuk aspek waktu
 - o_{imvk} : Variabel binari dimana bernilai 1 jika produk k di muat pada kedatangan (i,m) oleh kapal v pada kompartemen c, jika sebaliknya maka bernilai 0
 - t_{Eim} : Akhir dari *service time* pada (i,m)
- Variabel untuk *inventory*
 - s_{imk} : level stok dari produk k pada *port* i ketika servis pada (i,m) dimulai
 - s_{Eimk} : level stok dari produk baru pada harbor i ketika servis pada (i,m) diakhiri
- Variabel untuk *stock level*
 - p_{im} : Variabel binari, bernilai 1 bila ada dua atau lebih kapal yang singgah di *port* i selama kedatangan ke m, jika sebaliknya bernilai 0
- *Non-binary variable indicator*
 - $ay(i,m,v,c,k)$: Variabel indikator bila $l(i,m,v,c,k) > 0$ maka $ay(i,m,v,c,k)$ bernilai 1 dan sebaliknya jika $l(i,m,v,c,k) = 0$ maka $ay(i,m,v,c,k)$ bernilai 0.
- Himpunan untuk *network flows*
 - S_T : Himpunan kedatangan (i,m) untuk $i \in H_T$ and $m \in M_i$.
 - H_T : Himpunan total *port*
 - M_i : Himpunan jumlah kedatangan pada *port* i.
 - S_0 : Himpunan posisi awal $\{(i_v, m_v) \mid v \in V\}$. Jika lebih dari satu kapal memulai perjalanan dari *port* yang sama maka kapal tersebut harus meninggalkan *port* secara berurutan dengan indeks mv jika sebaliknya maka $m_v = 1$.

- V : Himpunan kapal dengan index v
- H_v : Himpunan *port* yang dapat dikunjungi oleh kapal v

- Himpunan untuk *loading* dan *unloading*
 - A_v : Himpunan *feasible arc* untuk kapal v
 - K : Himpunan produk
 - K_k : Himpunan produk yang tidak kompatibel dengan produk k
 - K_i^H :Himpunan produk yang di servis pada *port* i
 - C_v : Himpunan kompartemen c pada kapal v
 - C_{vk} : Himpunan kompartemen dimana produk k tidak dapat dimuat

- Parameter untuk network flows
 - i_v : Starting *port* untuk kapal v
 - m_v : jumlah urutan penugasan kedatangan/kunjungan untuk kapal v pada *port* i_v

- Parameter untuk pemuatan dan pembongkaran
 - J_{jk} : Variabel indikator bernilai satu 1 jika produk k dimuat pada *port* j dan 0 jika produk k melewati *port* j atau -1 jika produk k dibongkar pada *port* j
 - Q_{vck} : Kuantitas produk k pada kapal v saat awal *planning horizon*
 - CAP_{vc} : Kapasitas untuk kompartemen untuk product k pada kapal v .

- Parameter untuk aspek waktu
 - TQ_{ik} : waktu yang dibutuhkan untuk melakukan bongkar produk k pada *port* i
 - W_i : waktu set up untuk mengubah pembongkaran dan pemuatan produk pada *port* i
 - T_{ijv} : Waktu berlayar dari *port* i ke *port* j

- Parameters untuk inventory produk
 - I_{sik} : level stok awal produk k pada harbor i
 - R_{ik} : Tingkat konsumsi dan produksi produk k pada harbor i

- S_{MNik} : Minimum level stok pada *port* i
- S_{MXik} : Maximum level stok pada *port* i
- T: Lamanya *planning horizon*
- Parameters untuk fungsi objektif.
 - C_{ijv} : Biaya untuk kapal v berlayar dari *port* i ke *port* j
 - C_{Wik} : Biaya bongkar dan muat pada *port* i untuk produk k

Berikut adalah model matematis dari permasalahan *multi depot* ISRP untuk *multiple products* (Rusdiansyah et.al,2011) yang diadopsi pada penelitian ini.

Minimize :

$$\sum_{v \in V} \sum_{(i,m,j,n)} C_{ijv} x_{imjnv} + \sum_{(i,m) \in S_T} \sum_{v \in V} \sum_{c \in C_v} \sum_{k \in K_v} C_{Wik} o_{imvck} \quad (2.1)$$

Subject To:

$$\sum_{(j,n) \in S_N} x_{i_v m_v j n v} = 1 \quad ; \forall v \in V \quad (2.2)$$

$$\sum_{(j,n) \in S_T} x_{jnimv} - \sum_{(j,n) \in S_N} x_{imjnv} - z_{imv} = 0 \quad ; (v, i, m) \in V \times S_N \quad (2.3)$$

$$\sum_{(j,n) \in S_N} z_{imv} = 1 \quad ; \forall v \in V \quad (2.4)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{(j,n) \in S_T} x_{jnimv} + y_{im} = 1; \quad (i, m) \in S_N \quad (2.5)$$

$$y_{im} - y_{i(m-1)} \geq 0 \quad ; (i, m) \in S_N \quad (2.6)$$

$$x_{imjnv} [l_{imvck} + J_{jk} \cdot q_{jnvck} - l_{jnvck}] = 0 \quad ; c \in C_v, v \in V \text{ and } (i, m, j, n, k) \in A_v \times K \quad (2.7)$$

$$Q_{vck} + J_{i_v k} \cdot q_{i_v m_v vck} - l_{i_v m_v vck} = 0 \quad ; c \in C_v, v \in V \text{ dan } k \in K \quad (2.8)$$

$$l_{imvck} \leq CAP_{vc} \cdot \sum_{(j,n) \in S_T} x_{jnimv} \quad ; v \in V \text{ and } (k, i, m) \in K \times S_N \quad (2.9)$$

$$q_{imvck} \leq CAP_{vc} \cdot o_{imvck}; \quad v \in V \text{ and } (k, i, m) \in K \times S_T \quad (2.10)$$

$$\sum_{k \in K} a y_{imvck} \leq 1 \quad ; v \in V, \text{ and } (k, i, m) \in K_v \times S_T \quad (2.11)$$

$$\sum_{c \in C_v} ay_{imvck} \leq |C_v| \cdot (1 - ay_{imvds}) \quad k \in K, s \in K_k, d \in C_v, v \in V, (k, i, m) \in K \times S_T \quad (2.12A)$$

$$\sum_{c \in C_{vk}} ay_{imvck} \leq |C_v| \cdot (1 - ay_{imvds}) ; k \in K, s \in K_k, d \in C_v, C_{vk} \subset C_v, v \in V \text{ and } (k, i, m) \in K \times S_T \quad (2.12B)$$

$$t_{im} - t_{i(m-1)} \geq 0 ; (i, m) \in S_N \quad (2.13)$$

$$t_{im} + \sum_{v \in V} \sum_{c \in C_c} \sum_{k \in K_v} TQ_{ik} q_{imvck} + W_i \sum_{v \in V} \sum_{c \in C_c} \sum_{k \in K_v} o_{imvck} - t_{E_{im}} = 0 ; (i, m) \in S_T \quad (2.14)$$

$$x_{imjnv} [t_{E_{im}} + T_{ijv} - t_{jn}] \leq 0 ; v \in V \text{ dan } \forall (i, m, j, n) \in A_v, \quad A_v := \{(i, m, j, n) | i \neq j, (i, m) \in S_N \cup S_0^v, (j, n) \in S_N\} \quad (2.15)$$

$$S_{i1k} = IS_{ik} + J_{ik} R_{ik} t_{i1}, \quad \forall (i, k) \in H_N \times K_i^H \quad (2.16)$$

$$S_{imk} - \sum_{v \in V} \sum_{c \in C_v} J_{ik} q_{imvck} + J_{ik} R_{ik} (t_{E_{im}} - t_{im}) - S_{E_{im}k} = 0 ; (i, m, k) \in H_N \times K_i^H \quad (2.17)$$

$$S_{E_{i(m-1)}k} + J_{ik} R_{ik} (t_{im} - t_{E_{i(m-1)}}) p_{im} - S_{imk} = 0 ; (i, m, k) \in S_N \times K_i^H \quad (2.18)$$

$$t_{im} - t_{E_{i(m-1)}} \geq [p_{im} - 1]T ; (i, m) \in S_N \quad (2.19)$$

$$[t_{im} - t_{E_{i(m-1)}}] \leq T p_{im} ; (i, m) \in S_N \quad (2.20)$$

$$S_{MNik} \leq s_{imk} \leq S_{MXik} ; (i, m, k) \in S_T \times K_i^H \quad (2.21)$$

$$S_{MNik} \leq se_{imk} \leq S_{MXik} ; (i, m, k) \in S_T \times K_i^H \quad (2.22)$$

$$S_{MNik} \leq s_{E_{im}lastk} + J_{ik} R_{ik} (T - t_{E_{im}last}) \leq S_{MXik} ; i \in H_T, m_{last} \in M, k \in K_i^H \quad (2.23)$$

$$ay_{imvck} = \begin{cases} 1, & l_{imvck} > 0 \\ 0, & l_{imvck} = 0 \end{cases} \quad (2.24)$$

Fungsi Objektif (2.1) adalah fungsi minimasi untuk meminumkan *total operating cost* selama planning horizon yang terdiri dari *traveling cost* dan *setup cost* untuk *loading* dan *unloading*. Batasan *routing* terdiri dari : *Initial Position Constraints* (2.2) , *Flow Conservation Constraints* (2.3), *Route Finishing Constraints* (2.4), *One Time Visit Constraints* (2.5), *Arrival Sequence Constraints* (2.6). Batasan yang terkait aktivitas *loading* dan *unloading* : *ship Load Constraints*(2.7), *Initial Ship Load Constraints* (2.8), *Compartment Capacity Constraints* (2.9), *Servicing Product Constraints* (2.10). *Homogenous Product Loading Constraints* (2.11) dan *Product loading compatibility constraints*

(2.12A-B). Batasan terkait waktu : *Service Time Sequence Constraints* (2.13), *Servicing Finishing Time Constraints* (2.14) dan *Route and Schedule Compatibility Constraints* (2.15). Batasan terkait inventory produk : *Initial Inventory Constraints* (2.16), *Inventory level constraint* (2.17) *Stock Level Constraints 1* (2.18) *Stock Level Constraints 2* (2.19), *Stock Level Constraints 3* (2.20), *Initial Service Stock Level Bound* (2.21), *Ending Service Stock Level Bound* (2.22) *Ending visiting stock level bound* (2.23).

Penelitian Rusdiansyah et.al (2011) merupakan pengembangan model untuk permasalahan ISRP-*multi depot* untuk *multiple products* dengan batasan kompatibilitas dalam pemuatan produk ke kompartemen kapal. Produk yang saling tidak kompatibel satu sama lain tidak akan dimuat pada kompartemen yang berdekatan. Pada penelitian ini, batasan mengenai kompatibilitas diabaikan, sehingga *constraint 12 A-B* terkait aturan kompatibilitas dalam pemuatan akan diabaikan.

Permasalahan ISRP *multi depot*, yang memiliki kompleksitas tinggi, dapat digolongkan pada permasalahan NP-Hard. Hal ini menyebabkan penyelesaian model matematis dengan metode eksak membutuhkan waktu komputasi yang lama. Oleh karena itu, pada banyak penelitian, dikembangkan berbagai macam pendekatan *heuristic* untuk permasalahan ini.

1.4 *Dynamic-Inventory Ship Routing Problem (D-ISRP)*

Pada dasarnya, definisi dari tradisional *inventory ship routing problem* adalah aktifitas menentukan rute dari suatu set kapal yang memiliki kapasitas untuk melayani beberapa pelabuhan yang lokasinya tersebar secara geografis dan menjaga level *inventory* pada masing-masing pelabuhan tersebut agar tidak terjadi *stocked out*, dengan meminimumkan biaya total distribusi dan biaya *inventory*. Semua parameter yang terkait dengan penentuan rute diasumsikan diketahui di awal horison perencanaan. Rute yang dihasilkan oleh perencanaan di awal horison perencanaan ini akan dipakai seterusnya selama horison tersebut. Dengan demikian rute yang dihasilkan dari perencanaan tradisional ISRP ini disebut dengan rute statis.

Pada perkembangannya, sangat sulit untuk mengaplikasi rute statis ini kepada permasalahan di dunia nyata. Ketidakpastian parameter seperti kedatangan *demand*, antrian di pelabuhan, gangguan cuaca saat pelayaran, menyebabkan asumsi pada penentuan rute statis menjadi kurang relevan. Ada kalanya ketika di tengah horison perencanaan, terdapat *demand* pengiriman baru dengan prioritas tinggi yang muncul atau suatu kapal harus singgah di suatu pelabuhan dalam waktu yang relatif lama untuk mengantri. Kondisi demikian tidak tertangkap pada tradisional ISRP, sehingga rute statis yang dihasilkan menjadi kurang responsif dan menghasilkan ketidakefisienan dari segi biaya.

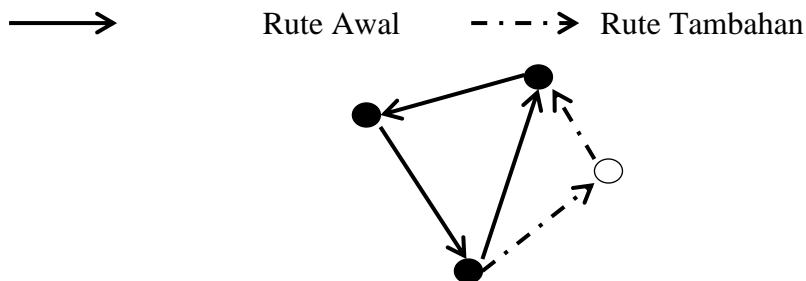
Di sisi lain kondisi persaingan pada pasar modern menuntut perusahaan untuk meningkatkan *competitive advantage* dengan meningkatkan responsivitas dengan tetap mengefisienkan biaya. Kondisi seperti ini yang mendorong perusahaan untuk membuat perencanaan rute yang dapat responsif terhadap perubahan kondisi selama horison perencanaan. Untungnya perkembangan teknologi informasi dan komunikasi saat ini memungkinkan terjadinya *sharing* informasi secara *real time* dengan biaya yang murah. Dasar inilah yang kemudian mendorong kemajuan penelitian di bidang *dynamic routing*.

Psaraftis (1988) mendefinisikan *dynamic routing* sebagai sebuah permasalahan dimana ketika output yang dihasilkan bukan sebuah set rute, melainkan kebijakan yang mengatur bagaimana rute tersebut akan berubah mengikuti perubahan input secara *real time*. Sementara perbedaan antara *static routing* dan *dynamic routing* yang dinyatakan oleh Larsen et.al pada Zeimpekis et.al (2007) adalah sebagai berikut:

- *Static Routing*, semua informasi yang terkait dengan perencanaan rute diketahui di awal dan tidak berubah selama horison perencanaan.
- *Dynamic Routing*, tidak semua informasi terkait dengan perencanaan rute diketahui di awal horison perencanaan dan informasi dapat berubah bahkan setelah rute inisial terbentuk.

Ilustrasi dari *dynamic routing* bisa dilihat dari Gambar 2.2 di bawah ini. Pada ilustrasi tersebut, terdapat dua jenis *demand* yaitu *demand* yang muncul pada awal horison perencanaan (ditandai dengan lingkaran berwarna gelap) dan *demand* yang muncul secara *real time* selama horison perencanaan (ditandai dengan

lingkaran terang). Pada Gambar 2.2 tersebut akan terlihat bahwa rute inisial akan berubah dikarenakan adanya *demand* baru yang muncul.



Gambar 1.2 Ilustrasi *Dynamic Routing*

Selain adanya kemunculan *demand* baru, pada perencanaan *inventory ship routing problem*, kebutuhan re-routing juga muncul diakibatkan oleh panjang pendeknya antrian pada pelabuhan tujuan. Jika suatu kapal sedang menuju suatu pelabuhan dengan antrian yang panjang, kapal tersebut akan mengalami keterlambatan pada pelabuhan berikutnya karena kapal harus bersandar lama di pelabuhan tersebut. Untuk meminimalkan keterlambatan tersebut, pada kondisi nyata, kapal akan berlayar pada kecepatan maksimum agar tidak terlambat pada pelabuhan selanjutnya. Perubahan kecepatan tersebut akan berakibat pada naiknya biaya konsumsi bahan bakar yang merupakan fungsi dari kecepatan kapal. Wang dan Meng (2012) menggambarkan fungsi konsumsi bahan bakar terhadap kecepatan seperti pada persamaan 2.24.

$$\sum_{i \in I_r} \alpha^{bun} L_{ri} g_{ri}(v_{ri}) \quad (2.24)$$

Beberapa penelitian mengenai *dynamic routing* telah menghasilkan metode-metode untuk mengakomodasi perubahan yang terjadi selama horison perencanaan. Metode-metode tersebut terangkum sebagai berikut (Zeimpekis et.al, 2007):

1. *Local update procedures*

Bertsimas dan van Ryzin (1991) menggunakan prosedur *First-Come First-Served* dan *Nearest Neighbor* untuk mengakomodasi kemunculan *demand* baru selama periode perencanaan. Sedangkan pada penelitian lain, Madsen et.al (1995) menggunakan *sub tour-simple insertion heuristic* untuk

mengakomodasikan *demand* perbaikan instalasi gas. Ketika *demand* perbaikan instalasi gas diterima, sebuah *sub tour* dipilih berdasarkan kedekatan lokasi, kemudian dilakukan *insertion* yang meminimasi rute *sub tour* tersebut.

2. *Reoptimization procedures*

Fisher et.al (1982) mengakomodasi level kedinamisan input dengan melakukan perencanaan sekali dalam sehari untuk rute dua hingga 5 hari kedepan. Brown et.al (1987) mengulang melakukan *assignment and routing heuristic* setiap kali diketahui adanya perubahan *demand* petroleum selama *rolling horizon*. Montemani et.al (2005) menjalankan model optimasi untuk menghasilkan rute baru setiap ada perubahan *demand*, untuk memudahkan perhitungan digunakan *ant colony algorithm*. Kilby et.al (1998) membagi horison perencanaan kedalam beberapa *time slot*. *Demand* yang muncul akan diakumulasi pada akhir tiap *time slot*, dan dilayani pada rute *time slot* selanjutnya. Gendreau et.al (1999) menggunakan *hybrid approach* untuk menyelesaikan permasalahan *dynamic routing problem with time windows*. Pertama dilakukan *insertion heuristic* pada setiap kemunculan *demand* baru, kemudian dilakukan optimasi menggunakan *tabu search*.

Sebagian besar metode penyelesaian *dynamic routing* dengan *reoptimization procedures* dilakukan dengan menjalankan ulang model optimisasi rute statis. Dalam prakteknya, proses re-routing harus dapat dilakukan secara *real time* setiap ada perubahan. Oleh karena itu, diperlukan metode *heuristic* yang dapat menghasilkan solusi yang baik dengan waktu komputasi yang singkat.

1.5 *Interaction Theory Algorithm*

Teori interaksi merupakan salah satu metode *heuristic* yang pertama kali diperkenalkan oleh Gani pada tahun 1965 (Gani, 2012). Metode ini dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan *travelling salesman problem* (TSP). Teori interaksi ini mencari pendekatan solusi berdasarkan hubungan yang terjadi antar elemen.

Hubungan antar elemen pada suatu matriks didapatkan dari rasio nilai absolut elemen tersebut terhadap nilai sekitarnya, yaitu nilai dari elemen yang

berada pada kolom dan baris yang sama. Nilai ini dinamakan dengan nilai relatif atau koefisien interaksi. Sehingga suatu elemen pada sebuah matriks memiliki dua nilai, yaitu nilai absolut (*interaction value*) dan nilai relatif (*interaction coefficient*). Permasalahannya adalah bagaimana menentukan nilai relatif atau *interaction coefficient* dari suatu elemen terhadap elemen lain. Nilai dari *interaction coefficient* inilah yang digunakan untuk mencari solusi dari permasalahan.

Dasar dari teori interaksi adalah persamaan untuk mencari nilai *interaction coefficient* yang telah dikembangkan oleh Gani (2012). Persamaan untuk mencari nilai *interaction coefficient* ($c_{i,j}$) adalah sebagai berikut:

$$c_{i,j} = \frac{x_{i,j}^2}{X_i \cdot X_j} \quad (2.25)$$

25)

Dimana:

$x_{i,j}$ = hubungan antara elemen i dan elemen j (pada problem TSP adalah jarak atau biaya distribusi dari titik i ke titik j)

$$X_i = \sum_{j=1}^m x_{i,j} \quad (i = 1 \dots m) \quad (2.26)$$

26)

$$X_j = \sum_{i=1}^m x_{i,j} \quad (j = 1 \dots m) \quad (2.27)$$

27)

Menurut Gani (2012), algoritma teori interaksi ini dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan NP-hard seperti TSP, VRP, *clustering*, *transportation problem*, dan *assignment problem*. Secara garis besar algoritma dari teori interaksi ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung nilai Matriks Interaksi (IMAT)

Matriks interaksi adalah matriks yang merepresentasikan nilai absolut dari dua elemen. Sebagai contoh untuk permasalahan *travelling salesman problem* (TSP) merupakan matriks biaya atau matriks jarak. Contoh dari matriks interaksi ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut.

To From	1	...	j	...	N	Total
1	x_{11}		x_{1j}		x_{1n}	$X_{1.}$
I	x_{i1}		x_{ij}		x_{in}	$X_{i.}$
M	x_{m1}				x_{mn}	
Total			$X_{.j}$			$X_{..}$

Gambar 1.3 Matriks Interaksi (IMAT)

2. Normalisasi Matriks Interaksi (NIMAT)

Normalisasi dilakukan dengan menambahkan nilai dari matriks interaksi dengan angka 1 + 0 (yang membuat hasil normalisasi lebih besar dari nilai absolut terbesar)

3. Menghitung Matriks *Interaction Coefficient* (ICOM)

Nilai matriks *interaction coefficient* didapatkan dari persamaan (2.37). Matriks ICOM ini digunakan sebagai dasar untuk mengambil keputusan memilih satu elemen dibandingkan dengan elemen lain. Koefisien interaksi adalah nilai relatif dan tidak dapat berdiri sendiri, sehingga dalam penggunaannya harus dipasangkan dengan nilai koefisien lain yang berbeda baris dan kolom. Sebagai contoh C_{i1} dapat dipasangkan dengan C_{mj} dan dipertandingkan dengan C_{ij} yang dipasangkan dengan C_{m1} . Nilai perbandingan dari kedua pasangan akan menentukan pilihan terbaik. Matriks *interaction coefficient* tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut.

To	1	...	j	...	n
From					
1	c_{11}		c_{ij}		c_m
i	c_{i1}		c_{ij}		c_m
m	c_{m1}		c_{mj}		c_{mn}

Gambar 1.4 Matriks *Interaction Coefficient* (ICOM)

4. Mengidentifikasi elemen terkecil

Mengidentifikasi nilai elemen terkecil dari ICOM pada setiap baris dan atau kolom (bergantung pada jenis permasalahan).

1.6 Gap & Posisi Penelitian

Permasalahan *vehicle routing problem* (VRP) pertama kali diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramser (1959). Setelah itu varian dari permasalahan ini berkembang dengan sangat pesat meliputi VRP dengan *time windows*, VRP *backhauls*, VRP *pickup and delivery*. Varian penting lain dari VRP yang banyak mendapat perhatian dari peneliti adalah mengenai permasalahan *inventory routing problem* (IRP). Hal ini dikarenakan peningkatan koordinasi dalam *supply chain* terbukti memberikan total biaya yang lebih efisien dibandingkan perencanaan parsial, dengan demikian kebijakan *vendor managed inventory* (VMI) semakin banyak digunakan.

Sama halnya dengan perkembangan VRP pada moda transportasi darat, pada transportasi laut pun kemajuan penelitian dalam bidang SRP juga bisa dikatakan tinggi. Terbukti dengan banyaknya penelitian pada bidang ini. Penelitian mengenai SRP mulai berkembang sejak meningkatnya penggunaan jalur laut sebagai jalur distribusi perdagangan dunia.

SRP memiliki karakteristik tersendiri dalam parameter perencanaan rute. Romero et.al (2013) mendefinisikan beberapa karakteristik khusus yang tidak terdapat pada transportasi darat, diantaranya telah disebutkan pada sub bab

sebelumnya. Untuk mengakomodasi perbedaan karakteristik ini Romero et.al (2013) mengembangkan algoritma GRASP dan menggunakan algoritma tersebut untuk permasalahan pendistribusian ikan salmon di Chile.

Pada SRP, isu mengenai VMI juga mempengaruhi perencanaan distribusi, yaitu dengan berkembangnya penelitian mengenai ISRP. Dalam perkembangannya sendiri ISRP dibedakan antara *single* dan *multi product*. Christiansen dan Nygreen (2005) telah melakukan penelitian mengenai *single product-ISRP*. Pada penelitian ini suatu produk dimuat pada suatu pelabuhan dan dilakukan pembongkaran pada pelabuhan lainnya. Permasalahan ini dimodelkan dengan menggunakan *column generation*. Archetti et.al (2011) mengembangkan penelitian untuk permasalahan pendistribusian barang dari *single supplier* ke beberapa *customer*, dimana *supplier* mengelola level *inventory* dari *customer*. Sebuah algoritma *hybrid*, yang mengkombinasikan antara *tabu search* dan Lin-Kernighan *heuristic* sebagai metode solusi telah dikembangkan pada penelitian ini. Coelho et.al (2012) mengembangkan permasalahan ISRP *single product* yang memungkinkan terjadinya *transshipment* antar *supplier* ke *customer* dan *transshipment* antar *customer*. Untuk menyelesaikan permasalahan ini dikembangkan algoritma *adaptive large neighborhood search heuristic*. Karena penerapan banyak asumsi untuk mensimplifikasi permasalahan ISRP, Song dan Furman (2013) mengembangkan *flexible modelling* yang kemudian disolusikan dengan algoritma *heuristic* telah berhasil membuktikan bahwa model yang dikembangkan mampu mengakomodasi perubahan rate konsumsi dan produksi harian dan perubahan *multiple pickup* dan *delivery location*.

Sedangkan pada ISRP *multi cargo product*, Coelho dan Laporte (2012). Pada penelitian ini dikembangkan *Branch-And-Cut Algorithm* untuk mengoptimasi rute untuk mengirimkan produk dari *single vendor* ke beberapa *customer*. Algoritma solusi telah dicoba untuk membuat rute pengiriman 5 jenis produk dengan menggunakan 5 kendaraan ke 50 titik *customer*. Hasil rute menunjukkan bahwa algoritma yang dikembangkan mampu untuk menghasilkan penjadwalan yang baik.

Untuk *bulk product*, Al Khayyal dan Hwang (2007) membahas permasalahan *inventory routing problem* untuk *bulk multi-product*. Penelitian ini

mengadopsi konsep *network flows* dari Christiansen dan Nygreen (2005). Permasalahan ini menggunakan armada kapal yang heterogen dengan *dedicated compartment* yang bisa membawa produk secara simultan. Kecepatan kapal diasumsikan konstan. Produk hanya bisa dimuat pada kapal yang memiliki kompartemen yang *dedicated* untuk produk tersebut saja. Lokasi *port* tersebar secara geografis akan tetapi tidak ada *port* yang berfungsi sebagai *central supply*. Setiap *port* dapat berupa lokasi *pickup* atau *delivery*. Artinya *port* tersebut dapat sebagai tempat produksi atau konsumsi. Permasalahannya adalah menentukan kuantitas pengiriman dari masing-masing produk yang dibawa oleh masing-masing kapal dari *supply port* ke *demand port*. Penentuan tersebut didasarkan pada level *inventory* dari tiap produk di tiap *port*. Untuk menyelesaikan permasalahan ini dikembangkan suatu model *mixed-integer nonlinear program* dengan fungsi tujuan meminimasi total *operating cost* yang terdiri dari biaya transportasi dan biaya *loading/unloading*.

Kemudian Siswanto et.al. (2011) mengembangkan permasalahan dari Al-Khayyal dan Hwang (2007). Pada penelitian tersebut Siswanto et.al. (2011) menggunakan armada kapal yang heterogen, akan tetapi pada kasus ini kapal tersebut memiliki *undedicated compartment*. Dengan tidak adanya kompartemen yang *dedicated* untuk suatu produk tertentu, penempatan produk ke dalam kapal bebas pada kompartemen mana saja selama memenuhi kendala kompatibilitas. Kecepatan kapal diasumsikan konstan. Siswanto et.al (2011) menambahkan biaya setup port untuk diminimasi pada fungsi tujuan. Sebagai solusi permasalahan tersebut dibagi menjadi empat bagian yaitu pemilihan rute, pemilihan kapal, prosedur loading, prosedur unloading. Kemudian masing-masing bagian dari permasalahan tersebut dipecahkan menggunakan multi-heuristik. Hasil dari model ini kemudian dibandingkan dengan hasil optimal yang didapatkan dari metode *mixed integer linear programming* (MILP).

Pada tahun yang sama Rusdiansyah et.al (2011) juga melakukan penelitian di bidang yang sama dengan Siswanto et.al. (2011). Akan tetapi pada penelitian tersebut, Rusdiansyah et.al (2011) menggunakan pendekatan eksak dengan metode MILP. Pengembangan model dari Rusdiansyah et.al (2011) didasarkan pada model dari Al-Khayyal dan Hwang (2007). Akan tetapi pada model tersebut

ditambahkan batasan terkait kompatibilitas dalam pemuatan produk, dimana terdapat produk yang tidak dapat dimuat di dalam kapal yang sama atau yang bersebelahan langsung dengan produk lain.

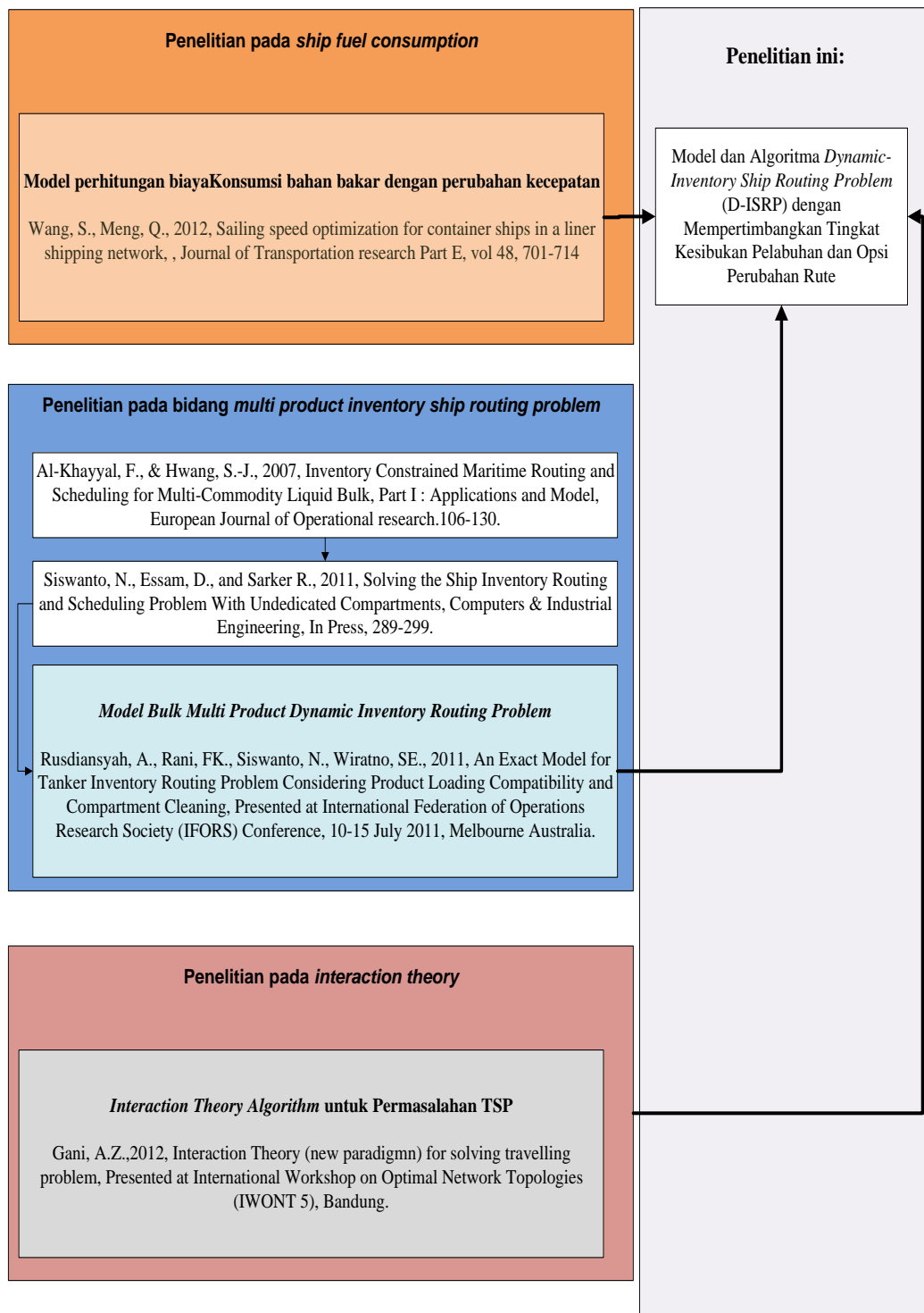
Penelitian-penelitian tersebut diatas dapat dipetakan ke dalam kuadran penelitian antara ISRP *single vs multiple product* dan ISRP *single vs multiple depot*. Pemetaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 1.1 Literatur Penelitian ISRP

Penulis	Tahun	Cargo	Bulk		VMI	Single Depot	Multi Depot	Speed	Metode Optimasi
			Single Product	Multi Product					
Christiansen & Nygreen	2005		V		V	V		Konstant	Heuristic
Al Khayyal dan Hwang	2007			V	V		V	Konstant	Heuristic
Archetti et.al	2011		V		V	V		Konstant	Heuristic
Siswanto et.al	2011			V	V		V	Konstant	Heuristic
Rusdiansyah et.al (2011)	2010			V	V		V	Konstant	Eksak
Coelho et.al	2012	V			V	V		Konstant	Heuristic
Coelho dan Laporte	2012	V			V	V		Konstant	Heuristic
Song and Furman	2013	V			V		V	Konstant	Heuristic
Romero et.al	2013	V				V		Konstant	Heuristic
Nurminarsih	2014			V	V		V	Dynamic	Heuristic

Berdasarkan Tabel 2.1, diketahui bahwa semua literatur penelitian tentang ISRP mengasumsikan bahwa kecepatan kendaraan adalah konstan. Sedangkan pada kondisi nyata, asumsi ini sangat sulit untuk dipenuhi. Karena tidak ada penelitian yang merelaksasikan asumsi kecepatan kendaraan konstan dan kapal yang akan langsung dilayani ketika tiba di pelabuhan, maka penelitian ini dilakukan untuk mengisi gap tersebut.

Pada penelitian ini akan dilakukan dua jenis penjadwalan antara lain penjadwalan di awal horison perencanaan dan penjadwalan untuk melakukan re-routing ketika terdapat informasi perubahan *dwelling time* kapal di pelabuhan tujuan. Model untuk melakukan optimasi permasalahan *dynamic-inventory ship routing problem* (D-ISRP) menggunakan model dari penelitian Rusdiansyah et.al (2011). Akan tetapi dilakukan perubahan dengan menghilangkan batasan kompatibilitas produk dan menambahkan variabel biaya pada fungsi tujuan. Perhitungan biaya distribusi pada fungsi tujuan ditambahkan persamaan untuk menghitung biaya konsumsi bahan bakar saat pelayaran yang dikembangkan oleh Wang dan Meng (2012). Hal ini dikarenakan, pada penelitian ini akan dievaluasi mengenai dampak dari perubahan kecepatan terhadap biaya konsumsi bahan bakar secara khusus dan pada biaya distribusi secara umum. Penggunaan *dynamic speed* menyebabkan model optimasi yang dikembangkan berubah menjadi *mixed integer nonlinear program*. Model *mixed integer nonlinear program* tersebut merupakan permasalahan NP-Hard, sehingga perlu dikembangkan algoritma heuristik sebagai teknik solusi. Algoritma heuristik yang dikembangkan didasarkan pada *interaction theory algorithm* yang dikembangkan oleh Gani (2012). Secara umum posisi penelitian ini digambarkan pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 1.5 Posisi Penelitian

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini. Metodologi penelitian digunakan sebagai acuan sehingga penelitian dapat berjalan secara sistematis sesuai dengan *framework* penelitian.

1.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Flowchart mengenai tahapan pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1. Sedangkan penjelasannya diuraikan pada sub sub bab di bawah ini.

1.1.1 Tahap Pengembangan Model

Pada tahap ini dilakukan pengembangan model untuk permasalahan *dynamic-inventory ship routing problem* (D-ISR_P). Model permasalahan ini diadopsi dari model *multi depot ship inventory routing problem* pada penelitian Rusdiansyah et.al (2011) dengan menghilangkan konstrain terkait kompatibilitas dalam pemuatan produk ke kapal. Selain itu karena pada penelitian ini ingin digambarkan juga mengenai perubahan biaya distribusi terhadap perubahan kecepatan kapal dan perubahan lama waktu tunggu di pelabuhan, maka selanjutnya dilakukan modifikasi terhadap fungsi tujuan. Model matematis pada penelitian ini merupakan suatu model mixed integer nonlinear program dengan fungsi tujuan meminimumkan biaya konsumsi bahan bakar saat pelayaran (Wang dan Meng, 2012), biaya konsumsi bahan bakar di pelabuhan, biaya operasional kapal, biaya *port charge*, biaya *loading/unloading*, dan biaya penalti keterlambatan. Batasan-batasan yang diterapkan antara lain adalah batasan terkait *routing*, *inventory*, *loading/unloading*, dan batasan terkait waktu.

1.1.2 Tahap Pengembangan Algoritma

Pada tahap ini dikembangkan algoritma heuristik sebagai teknik solusi dari model yang dikembangkan. Algoritma heuristik diperlukan karena permasalahan *mixed integer nonlinear program* merupakan permasalahan NP-Hard yang sangat

sulit diselesaikan dengan metode eksak. Algoritma yang dikembangkan dibagi menjadi 2 fase, yaitu:

1. Fase Inisiasi

Algoritma pada fase ini dikembangkan berdasarkan model optimasi pada tahap 3.1.1. Algoritma yang dikembangkan berbasis *interaction theory algorithm*. Berdasarkan algoritma ini akan dihasilkan rute inisiasi yang akan dijalankan di awal horison perencanaan. Algoritma untuk menentukan rute inisiasi ini terdiri dari tahapan menghitung koefisien interaksi, menentukan pelabuhan kritis, menentukan kapal, dan melakukan *assignment* kepada kapal.

2. Fase re-routing

Fase re-routing akan terjadi saat terdapat perubahan informasi *dwelling time* dari pelabuhan tujuan. Algoritma digunakan untuk melakukan re-routing urutan kunjungan dan atau mengubah kecepatan kapal ke pelabuhan yang belum dikunjungi untuk semua pelabuhan yang dikunjungi dalam satu rute yang sama dengan pelabuhan yang mengalami perubahan *dwelling time* yang dihasilkan dari fase inisiasi.

1.1.3 Tahap Validasi Algoritma

Pada tahap ini dilakukan uji validasi terhadap algoritma yang telah dikembangkan pada penelitian ini. Validasi dilakukan dengan cara menguji hasil solusi terhadap set data kecil. Hasil perhitungan akan dibandingkan dengan hasil perhitungan dari *greedy algorithm* yang mencoba semua kemungkinan solusi.

1.1.4 Tahap Percobaan Numerik

Pada tahap ini dilakukan percobaan numerik. Percobaan numerik dilakukan untuk melihat perfomansi model terhadap perubahan parameter input yang diberikan. Pertama algoritma akan dievaluasi tanpa adanya perubahan informasi *dwelling time*, selanjutnya evaluasi dilakukan dengan memberikan input perubahan *dwelling time*. Percobaan tanpa menggunakan perubahan informasi *dwelling time* secara garis besar bertujuan untuk menguji algoritma untuk menyelesaikan permasalahan *multi-product inventory ship routing problem* beserta berbagai aturan yang diterapkan. Percobaan numerik dengan perubahan

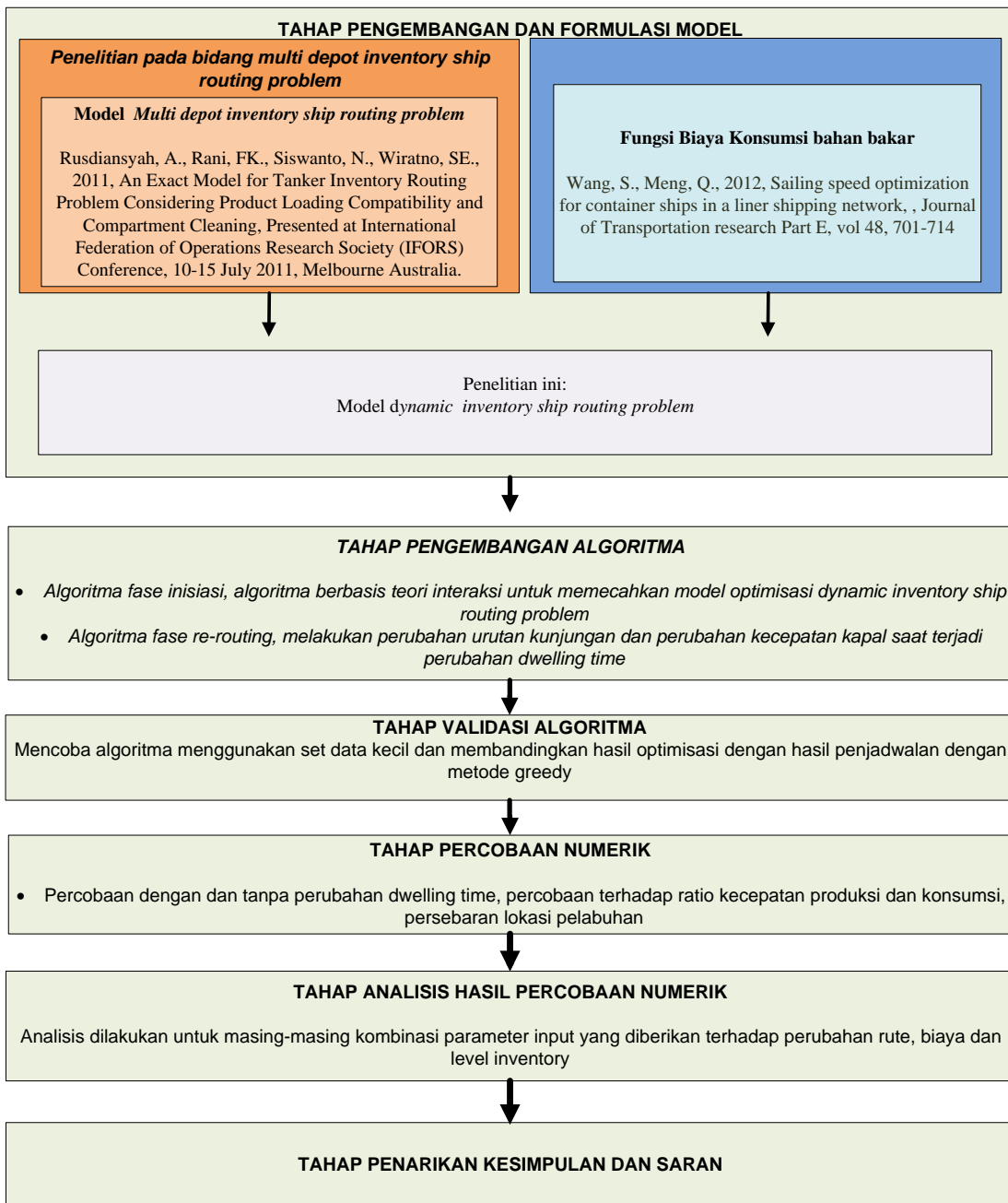
informasi *dwelling time* digunakan untuk menguji algoritma *re-routing* yang telah dikembangkan.

1.1.5 Tahap Analisis Percobaan Numerik

Pada tahap ini akan dilakukan analisa dari hasil percobaan numerik. Performansi dari algoritma akan dievaluasi serta akan dianalisa hasil penjadwalan terhadap beberapa kondisi input yang berbeda.

1.1.6 Tahap Penarikan Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan dan saran. Kesimpulan akan menjawab tujuan penelitian yang telah dirumuskan di awal berdasarkan hasil penelitian ini. Sedangkan saran akan memberikan masukan untuk penelitian-penelitian berikutnya.



Gambar 1.1 Metodologi Penelitian

BAB 4

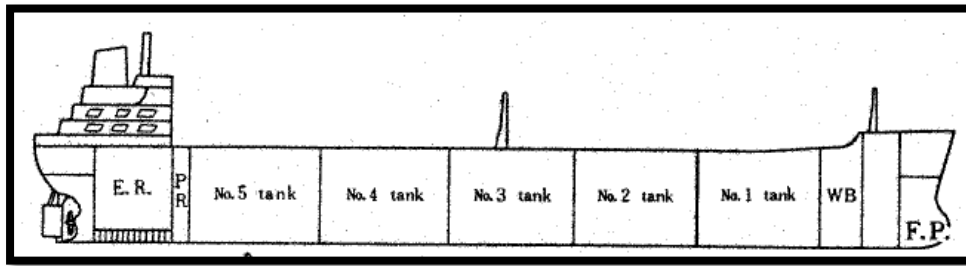
PENGEMBANGAN MODEL DAN ALGORITMA

Pada bab ini akan dibahas mengenai model dan algoritma yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *dynamic-inventory ship routing problem* pada penelitian ini.

1.1 Deskripsi Permasalahan

Pada penelitian ini, permasalahan yang dibahas adalah mengenai *inventory ship routing problem* pada pengiriman *multi liquid product* dari multi depot ke beberapa pelabuhan konsumsi. Dalam permasalahan multi depot, pelabuhan yang dilayani dapat berperan menjadi pelabuhan produksi, konsumsi, ataupun keduanya. Lokasi pelabuhan tersebar secara geografis. Perusahaan berusaha untuk menjaga posisi *inventory* pada masing-masing pelabuhan di level tertentu agar tidak terjadi *stock out*. Hal ini dikarenakan perusahaan akan menerima penalti apabila terjadi keterlambatan pengiriman.

Armada yang digunakan dalam pendistribusian produk berupa kapal-kapal yang memiliki jumlah dan kapasitas kompartemen yang heterogen. Pada saat operasional kapal, *liquid product* akan diangkut pada kompartemen yang *dedicated*. Artinya jika suatu kompartemen digunakan untuk mengangkut produk A, maka selama operasional kompartemen tersebut akan digunakan untuk mengangkut produk A saja. Hal ini dilakukan untuk meminimalkan waktu sandar kapal dipelabuhan yang diakibatkan adanya proses pencucian kompartemen jika digunakan untuk mengangkut produk yang berbeda. Kompartemen kapal memiliki batasan minimum *inventory* yang disebut dengan *dead weight*, dimana proses *unloading* hanya bisa dilakukan sampai pada level *dead weight* tersebut. Gambar 4.1 di bawah merupakan ilustrasi dari kompartemen kapal yang mengangkut *liquid product* seperti kapal minya.



Gambar 1.1 Kompartemen Kapal Tanker (Hwang, 2005)

Untuk meningkatkan utilisasi kapal pada saat berlayar, perusahaan menerapkan batasan minimum muatan kapal yang bisa melakukan pelayaran. Kapal yang membawa muatan dibawah batasan minimum tersebut diharuskan bersandar atau melakukan pengisian pada pelabuhan produksi terdekat. Hal ini dilakukan untuk meminimumkan kapal berlayar tanpa muatan. Kebijakan *replenishment* kapal adalah *full tanker*, artinya produk akan di *loading* ke kapal hingga batasan *inventory* yang ditentukan (maksimum kompartemen yang disediakan).

Demikian halnya dengan pelabuhan konsumsi, *replenishment* dilakukan apabila posisi *inventory* berada pada level tertentu atau *reorder point*. *Reorder point* dari suatu pelabuhan ditentukan berdasarkan ketahanan *stock* (*days of supply*) dari pelabuhan tersebut. Pelabuhan akan dijadwalkan untuk dilakukan *replenishment* apabila *days of supply* dari pelabuhan tersebut berada di bawah horison perencanaan. Pelabuhan-pelabuhan tersebut selanjutnya disebut dengan pelabuhan kritis. Perhitungan *days of supply* suatu *inventory* produk pada suatu pelabuhan didasarkan pada *demand* harian (DOT) produk tersebut. Pada penelitian ini, *demand* harian produk diasumsikan konstan selama horison perencanaan. *Inventory days of supply* dari pelabuhan dihitung menggunakan Persamaan 4.1.

$$\text{Days of Supply} = (\text{Level Inventory} - \text{Minimum Level})/\text{DOT} \quad (4.1)$$

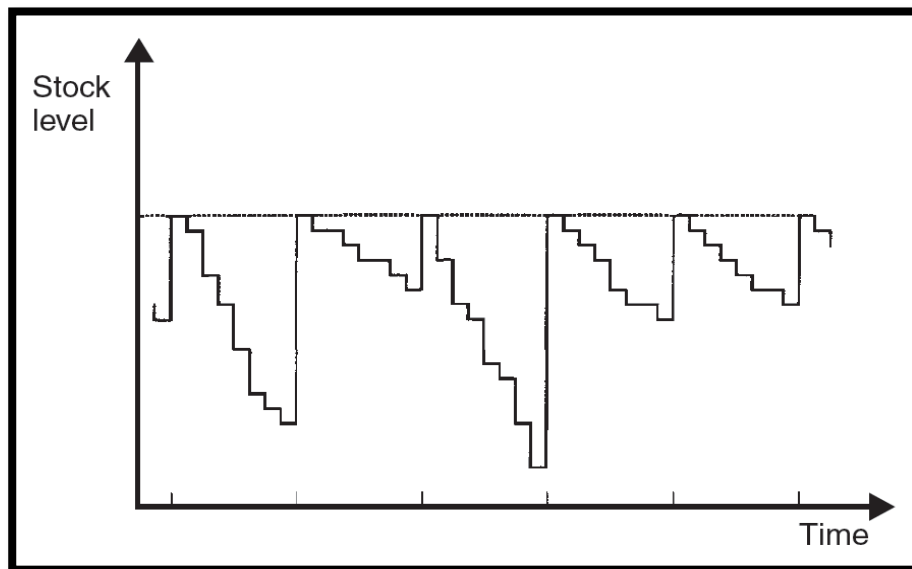
Kuantitas *replenishment* ditentukan berdasarkan kebijakan *periodic review*. Kebijakan *periodic review* ini umum digunakan untuk melakukan *replenishment* pada produk berbentuk *liquid* seperti minyak, cairan kimia dan

bahan cair lainnya. Dengan kebijakan ini, *inventory* akan di-*replenish* pada periode yang tetap, yaitu selama horison perencanaan. Kuantitas *replenishment* bervariasi, tergantung pada perbedaan antara *target stock level* dan level *inventory* pada saat *replenishment* dilakukan. Ilustrasi dari mekanisme *periodic review* dapat dilihat pada Gambar 4.2, dimana *inventory* tidak akan pernah melampaui *target stock level* yang ditentukan. Sehingga faktor penting dalam *periodic review* adalah bagaimana menentukan *target stock level* yang tepat. Perhitungan *target stock level* dapat dilakukan melalui Persamaan 4.2 dan 4.3 di bawah ini, sedangkan *replenishment quantity* ditentukan menggunakan Persamaan 4.4 (Walter, 2003).

$$\text{Target stock level} = \text{Mean Demand over } (T + LT) + \text{Safety Stock} \quad (4.2)$$

$$\text{Target stock level} = D * (T + LT) + Z * \sigma \sqrt{T + LT} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Order Quantity} \\ = \text{Target Stock Level} - \text{On Hand Stock} - \text{Stock On Order} \end{aligned} \quad (4.4)$$

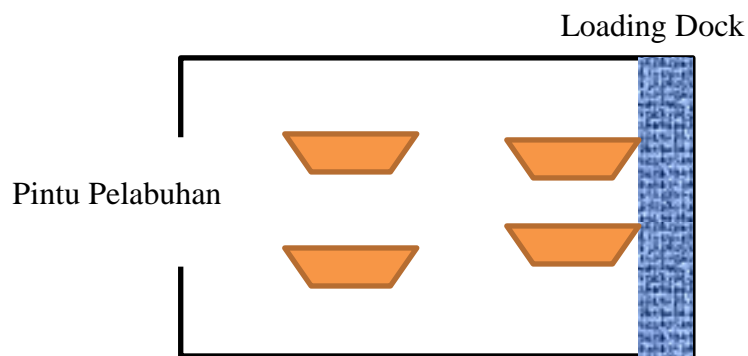


Gambar 1.2 *Periodic Review Replenishment* (Walter, 2003)

Jika pada pelabuhan konsumsi, *inventory* harus dijaga pada posisi tertentu berdasarkan *target stock level* yang ditetapkan, sama halnya dengan perlakuan pada pelabuhan produksi. Pada pelabuhan produksi, *inventory level* harus dijaga pada level tertentu, agar tidak terjadi *over inventory* yang menyebabkan berhenti produksi selama horison perencanaan. *Days of supply* pada *inventory* pelabuhan

produksi diartikan sebagai berapa lama sisa *inventory* pada gudang dapat menampung hasil produksi sehingga tidak menyebabkan berhenti produksi. Pelabuhan produksi yang memiliki *days of supply* kurang dari horison perencanaan juga dijadwalkan untuk dikunjungi.

Dalam melakukan *replenishment* pada pelabuhan konsumsi dan produksi, kapal seringkali dihadapkan pada lamanya waktu tunggu di pelabuhan yang disebut dengan *dwelling time*. *Dwelling time* terjadi karena tingkat kesibukan pelabuhan yang tinggi. Dalam membuat perencanaan awal, kondisi *dwelling time* ini telah dipertimbangkan. Akan tetapi dikarenakan horison perencanaan yang panjang pada distribusi jalur laut, maka perubahan *dwelling time* sangat mungkin untuk terjadi. Pada perubahan *dwelling time* yang signifikan, akan terjadi kemajuan atau keterlambatan waktu *unloading/loading* kapal di pelabuhan.



Gambar 1.3 Denah Pelabuhan

Selain menyebabkan ketidakakuratan jadwal, *dwelling time* pelabuhan berdampak pada biaya *port charge* terhadap kapal. Pada Gambar 4.3, kapal sudah dikenakan tarif *port charge* ketika sudah memasuki pintu pelabuhan. Walaupun kapal masih pada kondisi menunggu di pelabuhan. Pada pelabuhan yang memiliki tingkat kesibukan yang tinggi, *dwelling time* bisa mencapai satuan hari. Kondisi permasalahan tersebut kemudian dimodelkan dengan menggunakan model matematis yang akan dibahas pada sub bab berikutnya.

1.2 Pengembangan Model

Permasalahan D-ISRP pada penelitian ini dimodelkan menggunakan model *mixed integer non-linear program*, yaitu sebagai problem minimasi fungsi biaya. Biaya yang diperhitungkan terdiri dari biaya konsumsi bahan bakar saat pelayaran, konsumsi bahan bakar saat berlabuh, biaya operasional kapal, biaya kepelabuhanan (*port charge*), biaya *loading/unloading*, serta biaya penalti keterlambatan. Sub bab 4.2.1 dan 4.2.2 akan membahas secara lengkap mengenai model yang dikembangkan beserta notasi yang digunakan pada model.

1.2.1 Notasi yang Digunakan

Notasi yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa bagian berdasarkan penggunaannya. Berikut adalah definisi dari notasi-notasi yang digunakan dalam pemodelan pada penelitian ini.

- Variabel untuk *network flows*
 - x_{imjnv} : Arc flow variable bernilai 1 jika kedatangan pada *port* (i,m) dan (j, n) secara langsung terhubung dalam rute kapal v, jika sebaliknya maka bernilai 0
 - z_{imv} : variabel *route end indicator* bernilai 1 jika (i,m) adalah kunjungan terakhir dari rute kapal v, jika sebaliknya maka bernilai 0
 - y_{im} : *Slack variable* bernilai 1 jika (i,m) is tidak dikunjungi, jika sebaliknya maka bernilai 0
- Variabel untuk *loading* dan *unloading*
 - l_{imvck} : pemuatan produk k yang dibawa oleh kompartemen c dari kapal v ketika meninggalkan (i,m).
 - q_{imvck} : Kuantitas dari product k yang dimuat dan produk k yang dibongkar dari kompartemen c pada kapal v pada posisi (i,m)
- Variabel untuk aspek waktu
 - o_{imvck} : Variabel binari dimana bernilai 1 jika produk k di muat pada kedatangan (i,m) oleh kapal v pada kompartemen c, jika sebaliknya maka bernilai 0
 - t_{Eim} : Akhir dari *service time* pada (i,m)

- $speed_{imjnv}$: Kecepatan kapal v saat berlayar dari pelabuhan i pada kunjungan ke m menuju pelabuhan j pada kunjungan ke n
- Variabel untuk *inventory*
 - s_{imk} : level stok dari produk k pada *port* i ketika servis pada (i,m) dimulai
 - s_{Eimk} : level stok dari produk baru pada harbor i ketika servis pada (i,m) diakhiri
 - L_{tik} : Keterlambatan pemenuhan atau pengambilan suplai produk k pada pelabuhan i .
- Variabel untuk *stock level*
 - p_{im} : Variabel binari, bernilai 1 bila ada dua atau lebih kapal yang singgah di *port* i selama kedatangan ke m , jika sebaliknya bernilai 0
- *Non-binary variable indicator*
 - $ay(i,m,v,c,k)$: Variabel indikator bila $l(i,m,v,c,k) > 0$ maka $ay(i,m,v,c,k)$ bernilai 1 dan sebaliknya jika $l(i,m,v,c,k) = 0$ maka $ay(i,m,v,c,k)$ bernilai 0.
- Himpunan untuk network flows
 - S_T : Himpunan kedatangan (i,m) untuk $i \in H_T$ and $m \in M_i$.
 - H_T : Himpunan total *port*
 - M_i : Himpunan jumlah kedatangan pada *port* i .
 - S_0 : Himpunan posisi awal $\{(i_v, m_v) \mid v \in V\}$. Jika lebih dari satu kapal memulai perjalanan dari *port* yang sama maka kapal tersebut harus meninggalkan *port* secara berurutan dengan indeks m_v jika sebaliknya maka $m_v = 1$.
 - V : Himpunan kapal dengan index v
 - H_v : Himpunan *port* yang dapat dikunjungi oleh kapal v
- Himpunan untuk *loading* dan *unloading*
 - A_v : Himpunan *feasible arc* untuk kapal v
 - K : Himpunan produk
 - K_k : Himpunan produk yang tidak kompatibel dengan produk k
 - K_i^H : Himpunan produk yang di servis pada *port* i

- C_v : Himpunan kompartemen c pada kapal v
- C_{vk} : Himpunan kompartemen dimana produk k tidak dapat dimuat
- Parameter untuk network flows
 - i_v : Starting *port* untuk kapal v
 - m_v : jumlah urutan penugasan kedatangan/kunjungan untuk kapal v pada *port* i_v
- Parameter untuk pemuatan dan pembongkaran
 - J_{jk} : Variabel indikator bernilai satu 1 jika produk k dimuat pada *port* j dan 0 jika produk k melewati *port* j atau -1 jika produk k dibongkar pada *port* j
 - Q_{vck} : Kuantitas produk k pada kapal v saat awal *planning horizon*
 - CAP_{vc} : Kapasitas untuk kompartemen untuk product k pada kapal v
 - DW_{vc} : Dead weight untuk kompartemen c pada kapal v
 - TSL_{vk} : Target stock level kapal v untuk produk k
 - I_{vmin} : Prosentase muatan minimum kapal bisa berlayar
- Parameter untuk aspek waktu
 - TQ_{ik} : waktu yang dibutuhkan untuk melakukan bongkar produk k pada *port* i
 - W_i : waktu set up untuk mengubah pembongkaran dan pemuatan produk pada *port* i
 - L_{ij} : Jarak pelayaran dari *port* i ke *port* j (miles)
 - T_{dim} : Dwelling time dari pelabuhan i pada kunjungan ke m
- Parameter untuk inventory produk
 - I_{Sik} : level stok awal produk k pada harbor i
 - R_{ik} : Tingkat konsumsi dan produksi produk k pada harbor i
 - S_{MNik} : Minimum level stok pada *port* i
 - S_{MXik} : Maximum level stok pada *port* i
 - TSL_{ik} : Target stock level produk k pada pelabuhan i
 - Cov_{ik} : Coverage inventory produk k pada pelabuhan i
 - T : Lamanya *planning horizon*

- Parameter untuk fungsi objektif.
 - C_{bun} : Biaya bahan bakar
 - C_{rent} : Biaya sewa kapal
 - $G_{\text{speed}v}$: Konsumsi bahan bakar dari kapal v per satuan miles (tons/miles) saat berlayar
 - $G_{\text{port}v}$: Konsumsi bahan bakar dari kapal v saat berlabuh
 - C_{porti} : Biaya *port charge*
 - C_{loadi} : Biaya *loading/unloading*
 - C_{late} : Biaya keterlambatan

1.2.2 Model Matematis

Model matematis dari permasalahan D-ISRP ini merupakan *mixed integer nonlinear program*. Model tersebut dibagi ke dalam 5 bagian, yaitu batasan terkait *routing*, batasan terkait aktivitas *loading/unloading*, batasan terkait waktu, batasan terkait *inventory*, dan yang terakhir adalah mengenai fungsi tujuan. Batasan-batasan yang diterapkan pada pemodelan D-ISRP ini mengacu pada model ISRP yang dikembangkan oleh Rusdiansyah et.al (2011). Beberapa penyesuaian dilakukan, antara lain dengan menghilangkan batasan kompatibilitas dan menambahkan batasan terkait keterlambatan, minimum muatan kapal bisa melakukan pelayaran, minimum dan maksimum level kapal, dan perubahan kecepatan pelayaran. Formulasi dari model yang telah dikembangkan, antara lain sebagai berikut:

1.2.2.1 Batasan terkait *Routing*

Batasan ini diterapkan untuk menggambarkan *network flows* dari rute distribusi. Batasan-batasan *routing* tersebut antara lain:

$$\sum_{(j,n) \in S_N} x_{i_v, m_v j n v} = 1 \quad ; \forall v \in V \quad (4.5)$$

$$\sum_{(j,n) \in S_T} x_{j n i m v} - \sum_{(j,n) \in S_N} x_{i m j n v} - z_{i m v} = 0 \quad ; (v, i, m) \in V \times S_N \quad (4.6)$$

$$\sum_{(j,n) \in S_N} z_{i m v} = 1 \quad ; \forall v \in V \quad (4.7)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{(j,n) \in S_T} x_{jnimv} + y_{im} = 1; (i,m) \in S_N \quad (4.8)$$

$$y_{im} - y_{i(m-1)} \geq 0; (i,m) \in S_N \quad (4.9)$$

Keterangan:

(4.5) *Initial position constraint*, yaitu batasan yang mengharuskan kapal bergerak dari *initial position* menuju pelabuhan tujuan.

(4.6) *Flow conservation constraint*, yaitu batasan yang membatasi bahwa kapal yang berlayar menuju pelabuhan (i,m) akan berlayar kembali ke pelabuhan (j,n) kecuali jika im merupakan pelabuhan kunjungan terakhir dari rute tersebut, zim=1.

(4.7) *Route finishing constraint*, batasan yang mengharuskan kapal untuk mengakhiri rutenya pada salah satu pelabuhan (i,m).

(4.8) *One time visit constraint* yang membatasi bahwa setiap pelabuhan (i,m) hanya bisa dikunjungi sekali setiap leg pelayaran.

(4.9) *Arrival sequene constraint*, yaitu batasan yang membatasi urutan kunjungan kapal. Kapal tidak akan mengunjungi (i,m) jika pelabuhan sebelumnya (i,m-1) belum dikunjungi.

1.2.2.2 Batasan terkait *Loading*

Batasan-batasan berikut diterapkan untuk membatasi pemuatan produk dalam kapal. Hal yang perlu dituangkan pada batasan ini adalah bahwa pemuatan produk dalam kapal tidak boleh melebihi kapasitas kompartemen kapal, pergerakan *inventory* di kapal, dan sebagainya. Batasan-batasan mengenai *loading* tersebut adalah sebagai berikut:

$$x_{imjnv} [l_{imvck} + J_{jk} \cdot q_{jnvck} - l_{jnvck}] = 0; c \in C_v, v \in V \text{ dan } (i,m,j,n,k) \in A_v \times K \quad (4.10)$$

$$Q_{vck} + J_{i,v,k} \cdot q_{i,v,vck} - l_{i,v,vck} = 0; c \in C_v, v \in V \text{ dan } k \in K \quad (4.11)$$

$$Dw_{vc} \leq l_{imvck} \leq CAP_{vc} \cdot \sum_{(j,n) \in S_T} x_{jnimv}; v \in V \text{ dan } (k,i,m) \in K \times S_N; \quad (4.12)$$

$$q_{imvck} \leq CAP_{vc} \cdot o_{imvck}; v \in V \text{ dan } (k,i,m) \in K \times S_T \quad (4.13)$$

$$\sum_{k \in K} a y_{imvck} \leq 1; v \in V, \text{ dan } (k,i,m) \in K_v \times S_T; \quad (4.14)$$

$$ay_{imvck} = \begin{cases} 1, & l_{imvck} > 0 \\ 0, & l_{imvck} = 0 \end{cases} \quad (4.15)$$

$$\sum_{c \in C} l_{imvck} \leq TSL_{vk} \cdot \sum_{(j,n) \in S_T} x_{jnimv} \quad ; v \in V \text{ dan } (k, i, m) \in K \times S_N \quad (4.16)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{k \in K} l_{imvck} \geq IV_{min} \cdot \sum_{(j,n) \in S_T} x_{jnimv} \quad ; v \in V \text{ dan } (k, i, m) \in K \times S_N \quad (4.17)$$

Keterangan:

- (4.10) *Ship loads constraint*, yaitu batasan yang menggambarkan keseimbangan *inventory* di dalam kapal. Batasan ini hanya berlaku jika X_{imjnv} bernilai 1.
- (4.11) *Initial ship loads constraint*, merupakan batasan yang membatasi aktivitas *loading/unloading* awal kapal.
- (4.12) *Compartment capacity constraint*, merupakan batasan yang membatasi bahwa muatan kapal dalam satu kompartemen harus berada diantara level minimum dan maksimum.
- (4.13) *Load/Unload quantity constraint*, merupakan batasan yang membatasi bahwa kuantitas produk yang dimuat atau diturunkan dari kapal tidak boleh melebihi kapasitas.
- (4.14) *Homogenous product loading constraint*, yang membatasi bahwa dalam satu kompartemen hanya boleh mengangkut produk yang sejenis saja. Batasan ini bekerja dengan batasan 4.15.
- (4.15) *Product identity constraint*, jika suatu kompartemen sudah terisi oleh suatu produk k , maka nilai ay_{imvck} akan 1 dan akan berdampak pada batasan 4.14 sebelumnya.
- (4.16) *Ships target stock level constraint*, merupakan batasan yang membatasi bahwa muatan kapal tidak boleh melebihi *target stock level* yang diterapkan.
- (4.17) *Minimum inventory to sail constraint*, membatasi agar total muatan kapal harus lebih besar dari minimum *inventory* yang diijinkan untuk berlayar.

1.2.2.3 Batasan terkait Waktu

Batasan ini digunakan untuk menggambarkan pergerakan waktu selama horison perencanaan. Batasan-batasan tersebut antara lain:

$$t_{im} - t_{i(m-1)} \geq 0 ; (i, m) \in S_N \quad (4.18)$$

$$t_{im} + \sum_{v \in V} \sum_{c \in V_c} \sum_{k \in K_v} TQ_{ik}q_{imvck} + t_{Eim} = 0 ; (i, m) \in S_T \quad (4.19)$$

$$x_{imjnv} \left[t_{Eim} + Td_{jn} + \frac{L_{ij}}{speed_{imjnv}} - t_{jn} \right] \leq 0 ; v \in V \text{ dan } \forall (i, m, j, n) \in$$

$$A_v, A_v := \{(i, m, j, n) | i \neq j, (i, m) \in S_N \cup S_0^v, (j, n) \in S_N\} ;$$

$$t_{im} \leq cov_{ik} + Lt_{ik} \quad (4.21)$$

Keterangan:

(4.18) *Service time sequence constraint*, merupakan batasan yang membatasi bahwa waktu dimulainya *loading/unloading* pada pelabuhan kunjungan (i,m) dilakukan setelah aktivitas sebelumnya (i,m-1).

(4.19) *Service finishing time constraint*, merupakan batasan yang menggambarkan bahwa waktu akhir dari servis di pelabuhan adalah waktu awal servis ditambahkan dengan waktu *loading/unloading* yang dibutuhkan.

(4.20) *Route & schedule compatibility constraint*, menggambarkan bahwa kapal akan tiba pada pelabuhan selanjutnya (t_{jn}) pada waktu akhir servis pelabuhan sekarang (i,m) ditambahkan dengan waktu perjalanan dan waktu tunggu kapal di pelabuhan (j,n).

(4.21) *Critical time schedule constraint*, batasan yang membatasi bahwa kapal harus tiba di pelabuhan (i,m) sebelum waktu kritis dari pelabuhan tersebut, atau kapal akan mengalami keterlambatan sebesar Lt_{ik} .

1.2.2.4 Batasan terkait *Inventory*

Batasan ini digunakan untuk menggambarkan pergerakan *inventory* di pelabuhan dan menjaga agar *inventory* pelabuhan tidak mengalami *stock out*.

Batasan-batasan yang digunakan antara lain:

$$S_{i1k} = IS_{ik} + J_{ik}R_{ik}t_{i1}, \quad \forall (i, k) \in H_N \times K_i^H \quad (4.22)$$

$$S_{imk} - \sum_{v \in V} \sum_{c \in V_c} J_{ik}q_{imvck} + J_{ik}R_{ik}(t_{Eim} - t_{im}) - S_{Eimk} = 0 ; (i, m, k) \in H_N \times K_i^H \quad (4.23)$$

$$S_{Ei(m-1)k} + J_{ik}R_{ik}(t_{im} - t_{Ei(m-1)})p_{im} - S_{imk} = 0 ; (i, m, k) \in S_N \times K_i^H \quad (4.24)$$

$$t_{im} - t_{Ei(m-1)} \geq [p_{im} - 1]T ; (i, m) \in S_N \quad (4.25)$$

$$[t_{im} - t_{Ei(m-1)}] \leq Tp_{im} ; (i, m) \in S_N ; \quad (4.26)$$

$$S_{Mnik} \leq s_{imk} \leq S_{MXik} ; (i, m, k) \in S_T \times K_i^H \quad (4.27)$$

$$S_{Mnik} \leq se_{imk} \leq S_{MXik} ; (i, m, k) \in S_T \times K_i^H \quad (4.28)$$

$$S_{Mnik} \leq s_{Eim_{last}k} + J_{ik}R_{ik}(T - t_{Eim_{last}}) \leq S_{MXik} ; i \in H_T, m_{last} \in M, k \in K_i^H \quad (4.29)$$

$$cov_{ik} = \begin{cases} \frac{(S_{imk} - S_{Mnik})}{R_{ik}}, J_{ik} = 1 \\ \frac{(S_{MXik} - S_{imk})}{R_{ik}}, J_{ik} = 0 \end{cases} \quad (4.30)$$

Keterangan:

- (4.22) *Initial inventory constraint*, batasan ini digunakan untuk menghitung nilai *inventory* pada kunjungan pertama di tiap pelabuhan.
- (4.23) *Inventory level constraint*, batasan ini digunakan untuk menghitung pergerakan *inventory* pada saat dimulai dan berakhirnya servis di pelabuhan.
- (4.24) *Stock level constraint 1*, batasan ini menjaga keseimbangan *inventory* diantara servis pada kunjungan sebelumnya (m-1) dan kunjungan saat ini (m).
- (4.25) *Stock level constraint 2*, batasan yang memungkinkan terjadinya *overlapping visiting* pada suatu pelabuhan.
- (4.26) *Stock level constraint 3*, batasan yang memungkinkan terjadinya *overlapping visiting* pada suatu pelabuhan.
- (4.27) *Initial service stock level bound constraint*, membatasi bahwa *inventory* pada saat kedatangan harus berada diantara level minimum dan maksimum yang ditentukan.
- (4.28) *Ending service stock level bound constraint*, membatasi bahwa *inventory* pada akhir servis harus berada diantara level minimum dan maksimum yang ditentukan.

(4.29) *Ending visiting stock level bound constraint*, membatasi bahwa *inventory* pada kunjungan terakhir harus berada diantara level minimum dan maksimum yang ditentukan.

(4.30) *Stock coverage constraint*, menghitung *coverage inventory* suatu produk di pelabuhan.

1.2.2.5 Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dari permasalahan ini adalah meminimumkan total biaya yang terdiri dari biaya konsumsi bahan bakar pada saat pelayaran, biaya konsumsi bahan bakar di pelabuhan, biaya operasional kapal, biaya *port charge*, biaya *loading* dan *unloading*, dan biaya penalti keterlambatan kapal. Komponen biaya tersebut dijelaskan sebagai berikut:

Biaya Konsumsi Bahan Bakar saat Pelayaran

Konsumsi bahan bakar kapal pada saat berlayar dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kecepatan kapal, ukuran kapal, dan kesulitan pelayaran. Pada penelitian ini konsumsi bahan bakar kapal dibedakan berdasarkan ukuran kapal dan kecepatan yang digunakan saat pelayaran. Konsumsi bahan bakar pada kecepatan tertentu didapatkan dari hasil regresi data konsumsi bahan bakar, kecepatan dan ukuran kapal. Tabel 4.1 menunjukkan contoh perbedaan konsumsi bahan bakar berdasarkan kecepatan dan ukuran kapal yang berbeda. Kapal akan berlayar pada kecepatan rata-rata, yaitu 10 knot, sampai dengan kecepatan maksimal, yaitu 14 knot. Fungsi kecepatan kapal terhadap konsumsi bahan bakar ini diadopsi dari persamaan yang berasal dari penelitian (Wang dan Meng, 2012). Biaya konsumsi bahan bakar kapal pada saat pelayaran dihitung dari perkalian antara jarak pelayaran, konsumsi bahan bakar per miles pada kecepatan yang digunakan, dan harga bahan bakar seperti yang tertulis pada Persamaan 4.31.

$$\sum_{v \in V} \sum_{(i,m,j,n)} c_{bun} * (L_{ij} * x_{imjnv}) * g_v(speed_v) \quad (4.31)$$

Tabel 1.1 Data konsumsi bahan bakar kapal saat berlayar (tons/miles)

Kecepatan (knot)	2000 tons	3000 tons
8	17360	23664
9	19530	26622
10	21700	29580
11	23870	32538
12	26040	35496
13	28210	38454
14	30380	41412

Biaya Konsumsi Bahan Bakar di Pelabuhan

Konsumsi bahan bakar saat berlabuh lebih sedikit jumlahnya dibandingkan konsumsi bahan bakar saat pelayaran. Biaya konsumsi bahan bakar kapal saat berlabuh dihitung berdasarkan perkalian antara waktu labuh, konsumsi bahan bakar saat berlabuh per satuan waktu, dan harga bahan bakar. Fungsi tersebut dituliskan pada Persamaan 4.32 di bawah ini.

$$\sum_{v \in V} \sum_{(i,m)} c_{bun} * G_{portv} * (TD_{im} + T_{Eim} - T_{im}) \quad (4.32)$$

Biaya Operasional Kapal

Biaya operasional kapal merupakan biaya yang dikeluarkan untuk keperluan operasional kapal seperti gaji awak kapal, biaya kebersihan, dan sebagainya. Biaya ini diasumsikan sama dengan biaya sewa dari kapal. Perhitungan dari biaya tersebut adalah sebagai berikut.

$$\sum_{v \in V} C_{rentv} \left(\frac{\sum_{(i,m,j,n)} L_{ij} x_{imjnv}}{24 * speed_{i,m,j,n,v}} + \sum_{im} (TD_{im} + T_{Eim} - T_{im}) \right) \quad (4.33)$$

Biaya Port Charge

Kapal yang berlabuh di pelabuhan akan dikenakan biaya operasional pelabuhan atau disebut dengan *port charge*. Biaya ini dihitung selama kapal berada di pelabuhan, baik pada aktivitas *loading/unloading* ataupun ketika sedang menunggu di pelabuhan. Perhitungan biaya tersebut ditunjukkan pada Persamaan 4.34 berikut.

$$\sum_{(i,m)} C_{porti} * (TD_{im} + T_{Eim} - T_{im}) \quad (4.34)$$

Biaya Loading/unloading

Biaya *loading/unloading* dikenakan pada aktivitas *loading* dan *unloading* dari produk berdasarkan kuantitasnya. Perhitungan biaya tersebut ditunjukkan pada Persamaan 4.35 berikut.

$$\sum_{(i,m,v,c,k)} C_{loading} * q_{imvck} \quad (4.35)$$

Biaya Penalti Keterlambatan

Sebagai akibat dari penerapan kebijakan VMI, maka *supplier* akan dikenakan biaya penalti apabila terjadi keterlambatan pengiriman pada suatu pelabuhan. Biaya penalti keterlambatan tersebut dihitung berdasarkan persamaan 4.36 berikut.

$$\sum_{v \in V} \sum_{i \in SN} C_{late} L_{tikv} \quad (4.35)$$

Sehingga keseluruhan fungsi biaya tersebut apabila digabungkan akan membentuk suatu fungsi minimasi biaya distribusi sebagai berikut:

Minimize

$$\begin{aligned} & \sum_{v \in V} \sum_{(i,m,j,n)} c_{bun} * (L_{ij} * x_{imjnv}) * g_v(speed_v) \\ & + \sum_{v \in V} \sum_{(i,m)} c_{bun} * G_{portv} * (TD_{im} + T_{Eim} - T_{im}) \\ & + \sum_{v \in V} C_{rentv} \left(\frac{\sum_{(i,m,j,n)} L_{ij} x_{imjnv}}{24 * speed_{i,m,j,n,v}} + \sum_{im} (TD_{im} + T_{Eim} - T_{im}) \right) \quad (4.36) \\ & + \sum_{(i,m)} C_{porti} * (TD_{im} + T_{Eim} - T_{im}) + \sum_{(i,m,v,c,k)} C_{loadi} * q_{imvck} \\ & + \sum_{v \in V} \sum_{i \in SN} C_{late} L_{tikv} \end{aligned}$$

1.3 Pengembangan Algoritma

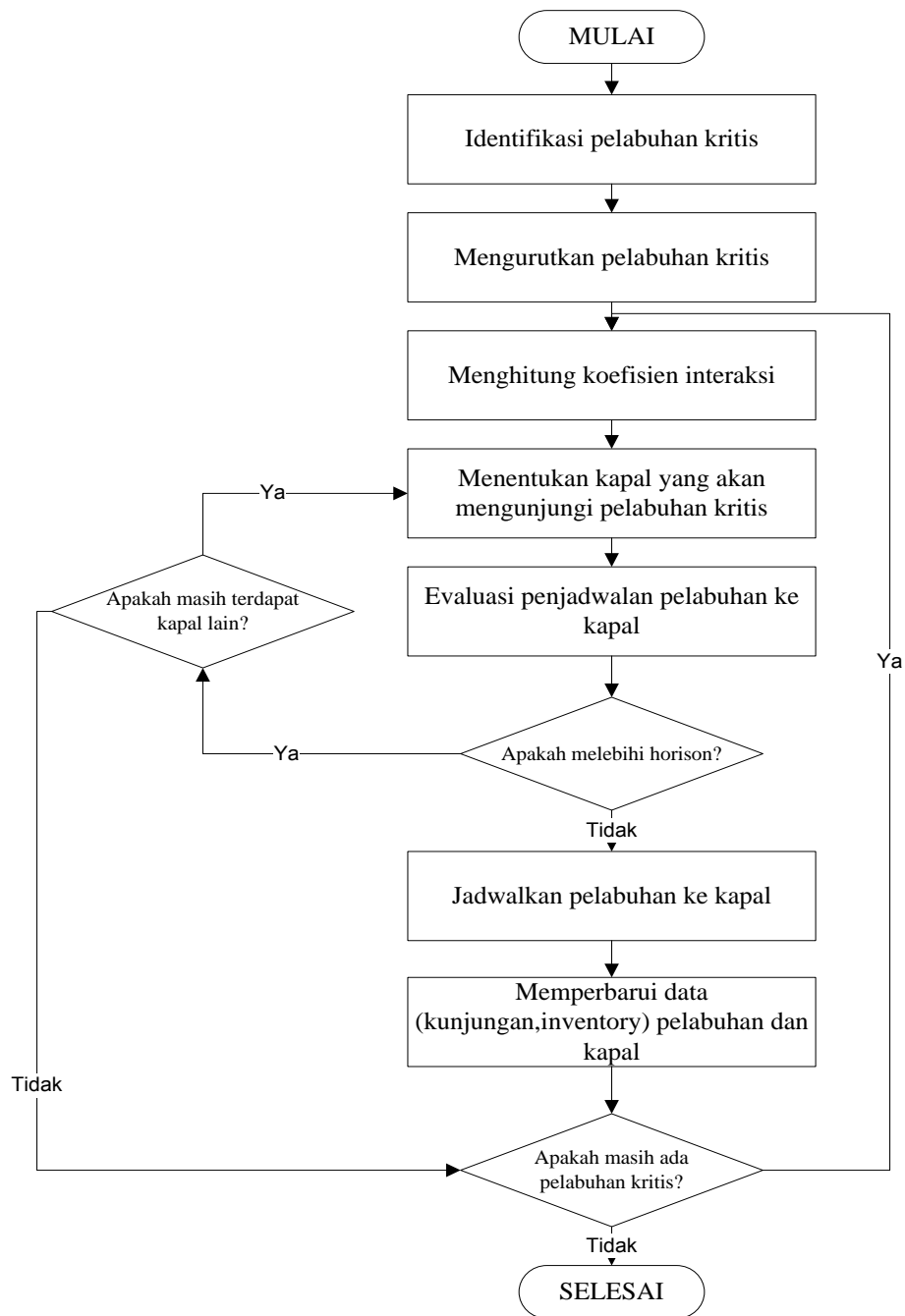
Model *mixed integer nonlinear program* yang dikembangkan untuk permasalahan D-ISRP tersebut merupakan *NP-hard problem*, sehingga penyelesaian menggunakan metode eksak akan membutuhkan waktu komputasi yang lama. Oleh karena itu pada penelitian ini dikembangkan sebuah algoritma heuristik yang didasarkan pada *interaction theory* (Gani, 2012) sebagai teknik solusi. Algoritma ini dikembangkan untuk 2 aktivitas, pertama adalah algoritma untuk perencanaan rute awal (rute inisiasi) yang akan dijalankan di awal horison perencanaan dan yang kedua adalah algoritma yang akan dijalankan ketika terdapat informasi perubahan *dwelling time* pelabuhan. Algoritma ini dijalankan dengan bantuan software Visual Basic Application (VBA) pada Microsoft Excell 2010. Penjelasan mengenai kedua algoritma tersebut terdapat pada sub bab di bawah ini.

1.3.1 Algoritma Rute Inisiasi

Perencanaan rute inisiasi merupakan permasalahan *multi-depot multi-product inventory ship routing problem* yang memungkinkan penggunaan kecepatan kapal yang berbeda-beda. Terdapat beberapa batasan yang perlu diperhatikan dalam membuat perencanaan rute inisiasi, diantaranya batasan mengenai waktu kritis pelabuhan, batasan minimum muatan kapal yang diijinkan untuk berlayar, serta batasan mengenai *inventory level* baik pada kapal dan pelabuhan. Sehingga batasan-batasan tersebut akan menjadi pertimbangan dalam menentukan rute kunjungan, kecepatan kapal yang digunakan, serta kuantitas *loading/unloading* pada pelabuhan. Secara garis besar rute inisiasi akan dicari menggunakan beberapa langkah berikut:

1. Mengidentifikasi pelabuhan kritis
2. Menentukan koefisien interaksi
3. Melakukan pemilihan kapal
4. Melakukan *assignment* kunjungan kapal

Langkah-langkah di atas dilakukan hingga semua pelabuhan kritis terlayani. Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya bahwa definisi dari pelabuhan kritis adalah pelabuhan yang memiliki *days of supply* kurang dari horison perencanaan. *Flowchart* dari algoritma rute inisiasi digambarkan pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 1.4 *Flowchart* Penentuan Rute Inisiasi

Menentukan Pelabuhan Kritis

Aktivitas yang dilakukan pada tahap ini adalah mengidentifikasi pelabuhan kritis dan mengurutkannya berdasarkan *criticality level* pelabuhan tersebut untuk tiap produk. Dengan langkah ini pelabuhan yang memiliki *days of supply* paling rendah diharapkan dapat terjadwalkan untuk dikunjungi terlebih dahulu.

Penentuan Nilai Koefisien Interaksi

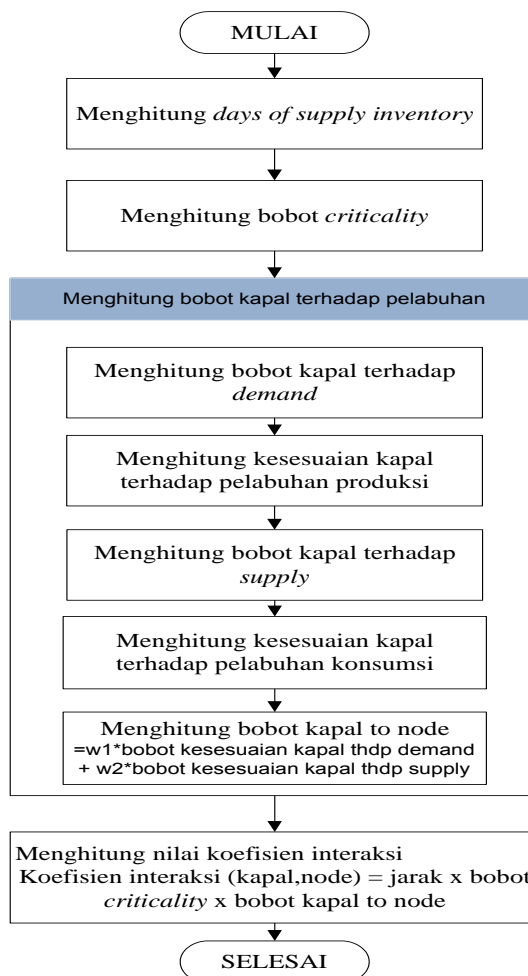
Koefisien interaksi merupakan dasar yang digunakan untuk memilih pelabuhan selanjutnya yang akan dikunjungi. Oleh karena itu nilai dari koefisien interaksi (C_{ij}) harus dapat menggambarkan hubungan antara *inventory criticality*, kedekatan jarak, dan kemampuan suplai antara satu entitas dengan entitas lainnya. Dalam hal ini nilai jarak antar entitas akan dikalikan dengan bobot-bobot tertentu yang menggambarkan tingkat kekritisitas dan keterkaitan dengan suplai dan *demand*. Entitas pada permasalahan ini adalah seluruh pelabuhan yang harus dilayani dan seluruh kapal yang digunakan untuk melakukan aktivitas distribusi.

Langkah pertama dalam membentuk matriks interaksi adalah dengan menghitung *criticality* dari tiap pelabuhan. Pada pelabuhan produksi, *criticality* didasarkan pada seberapa lama sisa kapasitas gudang dapat menampung hasil produksi. Sedangkan pada pelabuhan konsumsi, *criticality* didasarkan pada kemampuan *inventory* eksisting dalam memenuhi *demand* produk. Selanjutnya *criticality* dari pelabuhan tersebut akan diprosentasekan satu sama lain, untuk dapat digunakan sebagai bobot pengali jarak antar pelabuhan. Semakin kritis suatu pelabuhan akan menyebabkan *interaction coefficient* menjadi semakin kecil dan kandidat untuk terpilih sebagai node kunjungan akan semakin besar.

Entitas yang bergerak pada algoritma ini adalah kapal, sehingga langkah selanjutnya adalah menentukan bobot pengali untuk kapal. Bobot kapal didasarkan pada dua hal, yaitu kemampuan muatan kapal dalam melayani *demand* pelabuhan konsumsi dan kemampuan pelabuhan produksi dalam melayani *demand* kapal. Kemampuan kapal dalam melayani *demand* pelabuhan konsumsi dihitung berdasarkan *level inventory* kapal dibagi dengan *demand rate* pelabuhan untuk tiap produk. Kemudian *days of supply* kapal tersebut dibandingkan dengan *days of supply* pelabuhan untuk mengetahui seberapa cocok hubungan kedua

entitas tersebut. Sedangkan kemampuan pelabuhan produksi dalam melayani *demand* kapal dihitung berdasarkan selisih dari level *inventory* pelabuhan produksi dan *demand* kapal. Sama halnya dengan hubungan kapal dengan pelabuhan konsumsi, pada langkah ini juga akan dicari kedekatan hubungan kapal dengan pelabuhan produksi. Nilai-nilai kedekatan tersebut akan diprosentasekan satu sama lain untuk dijadikan bobot pengali kedekatan kapal dengan pelabuhan, selain dari bobot *criticality* pelabuhan itu sendiri.

Kemudian langkah terakhir adalah menghitung *interaction coefficient* (C_{ij}) antar entitas dengan mengalikan nilai jarak antar entitas dengan bobot *criticality* pelabuhan dan bobot kedekatan kapal. Secara garis besar langkah-langkah dalam menentukan nilai matriks interaksi ini digambarkan pada *Flowchart* 4.5 di bawah ini.



Gambar 1.5 Langkah-langkah dalam Menentukan Matriks Interaksi

Pemilihan Kapal

Tujuan dari langkah pemilihan kapal ini adalah untuk mengalokasikan kapal yang memiliki nilai interaksi tertinggi terhadap pelabuhan kritis untuk melayani pelabuhan kritis tersebut. Pemilihan kapal dilakukan dengan memeriksa nilai interaksi antara kapal dan pelabuhan, kemudian memilih kapal dengan interaksi terkecil.

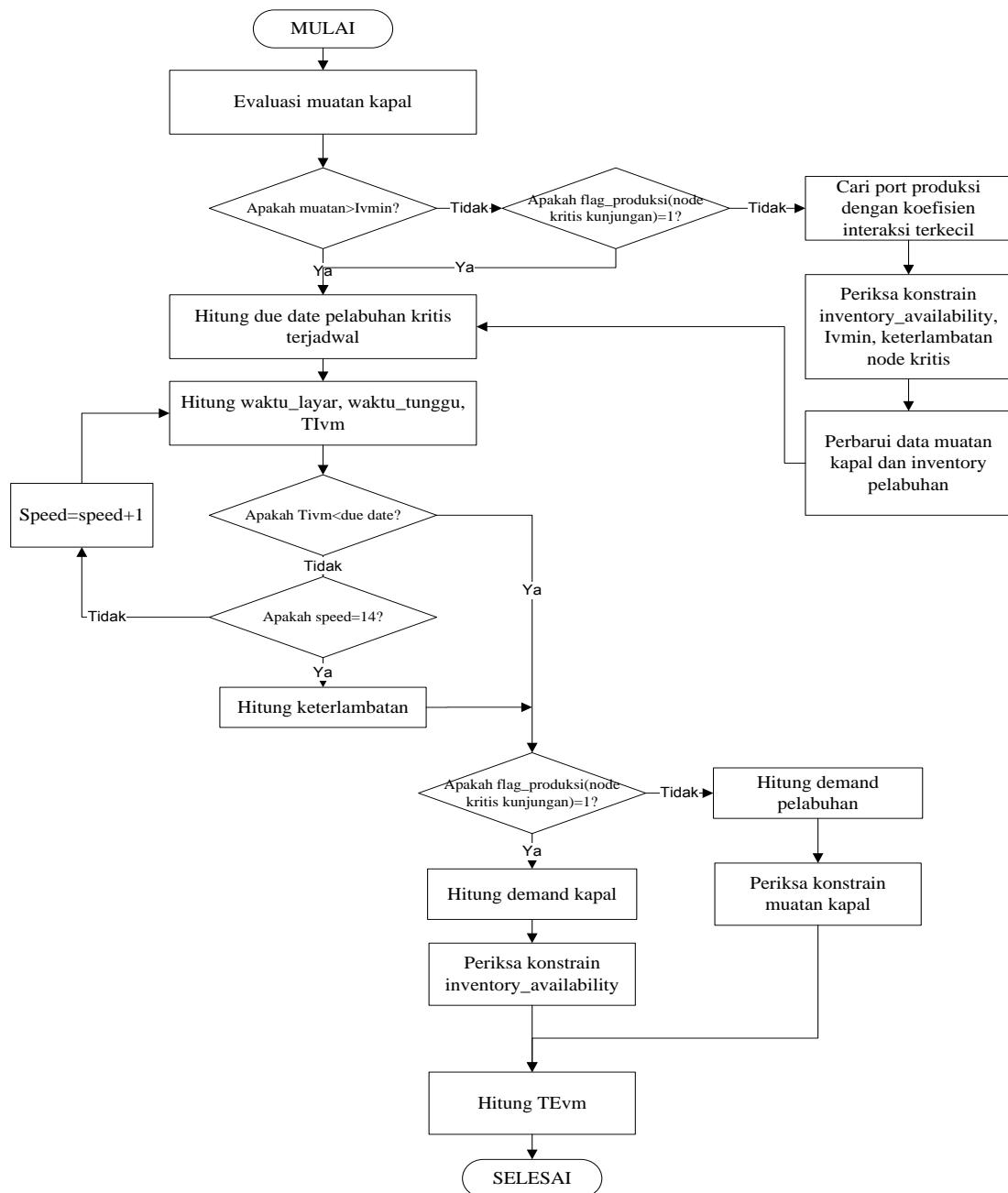
Assignment Kunjungan Kapal

Setelah kapal terpilih, muatan dari kapal tersebut diperiksa untuk menentukan apakah jumlah muatan kapal memenuhi batasan minimum muatan kapal yang diijinkan untuk melakukan pelayaran. Apabila muatan kapal kurang dari batasan minimum muatan, maka selanjutnya kapal akan dijadwalkan terlebih dahulu ke pelabuhan produksi. Apabila pelabuhan kritis yang akan dikunjungi merupakan pelabuhan produksi, maka kapal dapat langsung mengunjungi pelabuhan tersebut. Namun sebaliknya, kapal harus mencari pelabuhan produksi yang memiliki koefisien interaksi terdekat dengan kapal tersebut. Selanjutnya akan dilakukan pemeriksaan terhadap batasan waktu dan kuantitas muatan. Terhadap batasan waktu diterapkan aturan bahwa maksimum operasi kapal adalah selama horison perencanaan. Kecepatan awal yang digunakan dalam pelayaran adalah kecepatan rata-rata kapal, yaitu 10 knot. Selanjutnya apabila setelah dievaluasi terjadi keterlambatan kapal, maka kecepatan akan dinaikkan satu per satu hingga mencapai kecepatan maksimum. Apabila setelah mencapai kecepatan maksimum masih terjadi keterlambatan, maka selanjutnya dihitung besar keterlambatannya. Sedangkan terhadap batasan kuantitas muatan, diterapkan beberapa aturan sebagai berikut:

1. Kuantitas *load/unload* dihitung berdasarkan besarnya *demand*. Untuk aktivitas *loading* dihitung berdasarkan selisih antara *target stock level* kapal dan muatan kapal saat itu. Sedangkan untuk aktivitas *unloading* dihitung berdasarkan selisih antara *target stock level* pelabuhan dan *inventory* pelabuhan saat itu dengan ditambah atau dikurangi laju produksi atau konsumsi pelabuhan.

2. Apabila *demand unloading* melebihi muatan kapal, maka kuantitas *unloading* adalah sebesar muatan kapal yang diijinkan.
3. Apabila *demand loading* melebihi *available inventory* maka kuantitas *loading* disesuaikan dengan *available inventory*.
4. Selanjutnya kuantitas *loading* akan diperiksa terhadap batasan minimum muatan kapal. Apabila kuantitas *loading* kurang, sehingga muatan kapal kurang dari I_{vmin} , maka kapal akan menunggu di pelabuhan sampai batas waktu diijinkan. Batas waktu diijinkan adalah selama tidak terjadi keterlambatan terhadap pelabuhan kritis yang dijadwalkan untuk dikunjungi.

Algoritma dalam melakukan *assignment* pelabuhan terhadap kapal ini dapat dilihat pada Gambar 4.6 di bawah.



Gambar 1.6 Algoritma *Assignment* Pelabuhan terhadap Kapal

Algoritma tersebut kemudian ditungkan ke dalam *pseudo code* program seperti pada Gambar 4.7 berikut ini.

```

//Menentukan pelabuhan kritis
    Hitung inventory days of supply pelabuhan untuk masing-masing produk
    If inventory days of supply < horison then
        Identifikasi sebagai pelabuhan kritis
    End if
//Mengurutkan pelabuhan kritis
    Urutkan pelabuhan kritis berdasarkan inventory days of supply terkecil
//Penjadwalan pelabuhan kritis
    Update posisi awal kapal
    Update muatan kapal
    For n=1 to jumlah pelabuhan kritis
        //Menentukan koefisien interaksi
            Hitung bobot criticality inventory
            Hitung bobot kapal terhadap pelabuhan demand
            Hitung bobot kapal terhadap pelabuhan supply
            Bobot kapal = w1*bobot terhadap demand + w2*bobot terhadap supply
            Matriks jarak terbobot = Matriks Jarak * bobot criticality * bobot kapal
            Hitung koefisien interaksi
        //Melakukan pemilihan kapal
            Jalankan algoritma pemilihan kapal
            Hitung muatan kapal
            If muatan kapal < IVmin then
                Flag_kapal_bisa_layar=False
            Else
                Flag_kapal_bisa_layar=True
            End if
        //Melakukan assignment kunjungan kapal
            If Flag_kapal_bisa_layar=True then
                Kunjungan kapal = pelabuhan kritis
                Evaluasi terhadap batasan waktu
                Evaluasi terhadap batasan muatan
            Else
                Kunjungan kapal = Pelabuhan produksi terdekat
                Evaluasi terhadap batasan waktu
                Evaluasi terhadap batasan muatan
                Perbarui data kapal

                Kunjungan kapal = pelabuhan kritis
                Evaluasi terhadap batasan waktu
                Evaluasi terhadap batasan muatan
            End if
            Perbarui data muatan kapal
            Perbarui data kunjungan kapal
            Perbarui data inventory pelabuhan
            Perbarui data kunjungan pelabuhan
    Next

```

Gambar 1.7 *Pseudo Code* Program

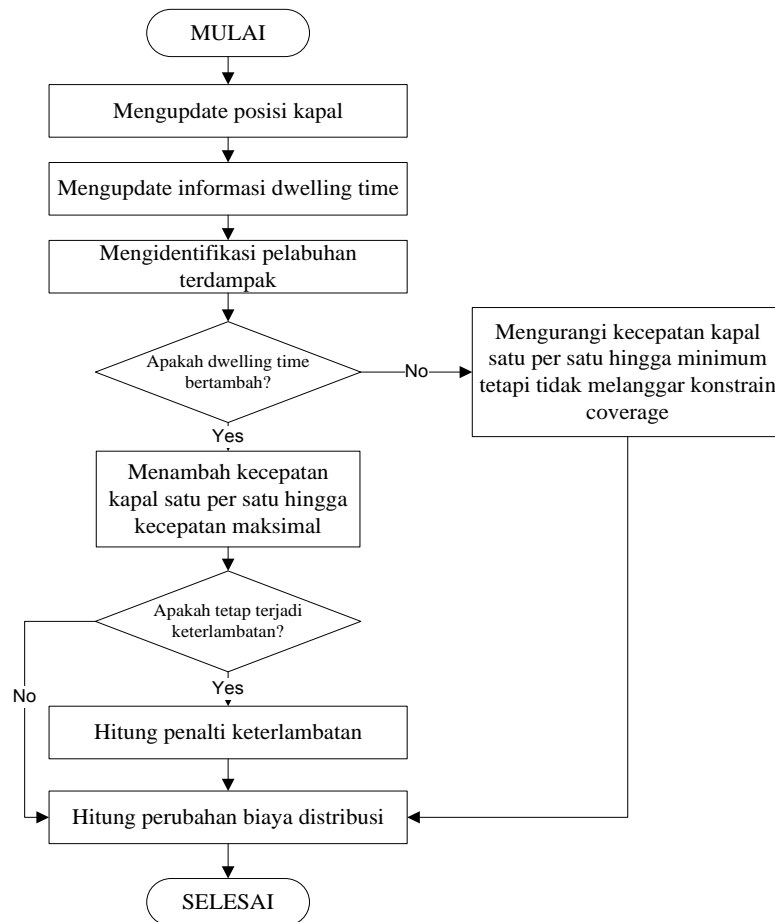
1.3.2 Algoritma *re-Routing*

Proses *re-routing* dilakukan apabila terjadi perubahan informasi *dwelling time* selama horison perencanaan. Pada kondisi ini akan dievaluasi mengenai 2

kemungkinan kondisi, yaitu perubahan kecepatan kapal dan *re-routing* urutan kunjungan dalam satu sub *tour*. Kedua kemungkinan keputusan tersebut akan dievaluasi berdasarkan total biaya yang dihasilkan.

Perubahan Kecepatan

Dalam hal ini diasumsikan bahwa kecepatan yang dapat dirubah hanyalah kecepatan untuk pelayaran menuju pelabuhan yang belum dikunjungi dari posisi kapal saat itu sampai dengan pelabuhan yang mengalami perubahan *dwelling time*. Sedangkan kecepatan pada pelayaran sebelumnya dan pada pelayaran setelah pelabuhan yang mengalami perubahan *dwelling time* tidak dipertimbangkan. Terdapat 2 jenis *adjustment* kecepatan, yaitu memperlambat kapal apabila *dwelling time* menurun dan mempercepat kapal apabila *dwelling time* meningkat. Algoritma untuk melakukan perubahan kecepatan dapat dilihat pada Gambar 4.8 di bawah ini.

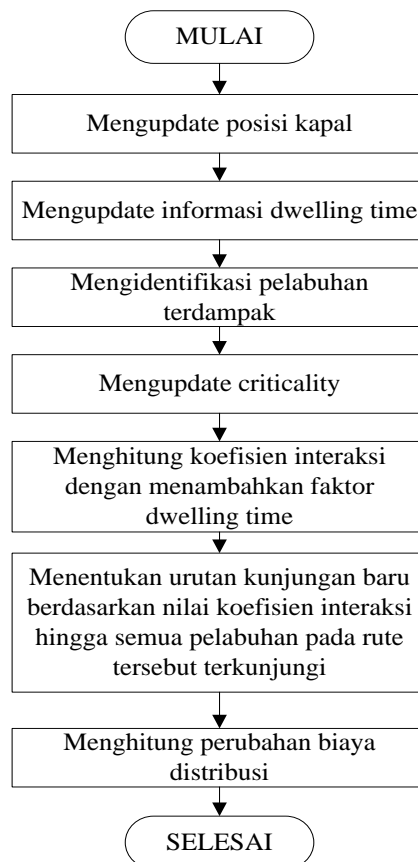


Gambar 1.8 Algoritma Perubahan Kecepatan Kapal

Perubahan Urutan Kunjungan (re-Routing)

Perubahan rute kunjungan hanya dilakukan pada pelabuhan-pelabuhan yang sudah dijadwalkan untuk dikunjungi suatu kapal saja. Perpindahan rute antar kapal tidak diijinkan karena pertimbangan kemampuan pasok kapal dan kesulitan dalam pengurusan ijin pelayaran. Pemberlakuan perubahan urutan kunjungan kapal ini akan dikenakan biaya tambahan sebagai biaya pengurusan kembali ijin pelayaran. Biaya tersebut didefinisikan sebagai biaya perubahan rute.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menentukan urutan kunjungan pelabuhan baru adalah dengan memperbarui matriks interaksi terlebih dahulu. Nilai koefisien interaksi ditentukan dari perkalian antara *criticality* pelabuhan, kedekatan kapal, dan *dwelling time* pelabuhan. Kemudian berdasarkan nilai koefisien interaksi tersebut ditentukan urutan baru dari kunjungan kapal dan dihitung total biaya yang dihasilkan. Algoritma pada proses re-routing ini dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 1.9 Algoritma untuk re-Routing

1.4 Validasi Algoritma

Proses validasi terhadap algoritma dilakukan dengan menjalankan program dengan data kecil. Hasil penjadwalan dan biaya yang dihasilkan dibandingkan dengan hasil penjadwalan dengan metode *greedy*, yaitu mencoba semua kombinasi yang mungkin. Algoritma akan dievaluasi berdasarkan kualitas hasil dan waktu komputasi.

Data set yang digunakan dalam proses validasi ini berupa data-data untuk pendistribusian dua jenis produk pada tiga pelabuhan dengan menggunakan tiga jenis kapal yang diambil dari penelitian Rahman (2008). Data tersebut merupakan data riil dari distribusi bahan bakar di Indonesia. Selain itu ditambahkan juga beberapa data input yang disesuaikan dengan kebutuhan data pada penjadwalan ISRP, antara lain berupa data posisi kapal terhadap pelabuhan dan data *dwelling time* pelabuhan. Data-data input pada permasalahan tersebut adalah:

Tabel 1.2 Demand Rate Pelabuhan

No	Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
1	Sanggaran	56,30	100,00
2	Ampenan	450,00	300,00
3	Badas	88,70	56,86

Tabel 1.3 Production Rate Pelabuhan

No	Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
1	Sanggaran	0,00	2000,00
2	Ampenan	1000,00	0,00
3	Badas	0,00	0,00

Tabel 1.4 Initial inventory Kapal dan Pelabuhan

Depot	Premium	Minyak Tanah
Sanggaran	300	6000
Ampenan	4000	2308
Badas	748	1107
Kerta Dua	40	40
Andika Ass	1400	40
Karmila	50	1000

Tabel 1.5 Jarak antar Kapal dan Pelabuhan

Depot	Sanggaran	Ampenan	Badas
Sanggaran	0	500	1480
Ampenan	500	0	1040
Badas	1480	1040	0
Kerta Dua	200	100	1150
Andika Ass	700	200	600
Karmila	500	0	1040

Tabel 1.6 Dwelling Time Pelabuhan

No	Pelabuhan	Dwelling Time (jam)
1	Sanggaran	8
2	Ampenan	5
3	Badas	5

Parameter pada permasalahan tersebut berupa parameter yang terkait dengan pelabuhan, kapal, dan biaya. Data parameter yang digunakan ditampilkan pada Lampiran A. Minimum muatan kapal adalah 40% dari total muatan agar kapal dapat melakukan pelayaran. Berdasarkan data-data tersebut, kemudian dilakukan penjadwalan dengan menggunakan bantuan program yang telah dikembangkan pada VBA Excell 2010. Langkah pertama adalah mengidentifikasi dan mengurutkan pelabuhan kritis yang harus dikunjungi. Hasil dari perhitungan pelabuhan kritis yang akan dikunjungi adalah sebagai berikut:

Tabel 1.7 Pelabuhan Kritis yang Harus Dikunjungi

Waktu kritis (hari)		
Depot	Premium	Minyak Tanah
Sanggaran	4,19	6,32
Ampenan	25,45	7,36
Badas	7,68	18,34

Pelabuhan kritis tersebut kemudian dijadwalkan dengan urutan Sanggaran produk Premium, Sanggaran produk Minyak Tanah, Ampenan produk Minyak Tanah, dan Badas produk Premium. Kapal yang digunakan beserta rute kunjungan kapal untuk pelabuhan tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 1.8 Rute Pelayaran Kapal

Kapal	Rute	Pelabuhan	Aktivitas	Produk	Quantity	Due Date	Waktu Tunggu	Tivm	Tevm	Speed	Waktu Perjalanan
Kerta Dua	m-1	Ampenan	LOADING	Premium (P)	3351.17	610.80	5	15.00	56.89	10	10.00
	m-2	Sanggaran	UNLOADING	Premium (P)	780.50	100.60	8	100.60	110.36	14	35.71
Andika Ass	m-1	Ampenan	LOADING	Premium (P)	840.00	610.80	5	25.00	76.52	10	20.00
	m-2	Badas	UNLOADING	Premium (P)	1102.70	184.26	5	176.06	194.44	11	94.55
Karmila	m-1	Sanggaran	LOADING	M. Tanah (K)	4000.00	151.58	8	58.00	108.00	10	50.00
	m-2	Ampenan	UNLOADING	M. Tanah (K)	4229.50	176.64	5	163.00	215.87	10	50.00

Kunjungan kapal tersebut dapat memenuhi *demand* dari pelabuhan kritis. Sehingga *days of supply* akhir dari pelabuhan tersebut dapat memenuhi konsumsi atau produksi selama horison perencanaan. Transaksi kapal di masing-masing pelabuhan tercatat pada Tabel 4.8, sedangkan *days of supply* akhir dari pelabuhan ditunjukkan pada Tabel 4.9. Penjadwalan tersebut menghasilkan biaya sebesar Rp. 440.181.512.110 dengan tidak terjadi keterlambatan pengiriman.

Tabel 1.9 *Inventory Days of Supply* Pelabuhan setelah Penjadwalan

Port	Premium (P)	M. Tanah (K)
Sanggaran	13,457	8,421
Ampenan	33,075	12,464
Badas	12,008	8,692

Validasi terhadap algoritma dilakukan dengan membandingkan hasil penjadwalan algoritma terhadap hasil penjadwalan dengan metode *greedy algorithm*. Metode *greedy algorithm* menghasilkan penjadwalan dengan mencoba semua kombinasi kemungkinan yang ada. Untuk contoh kasus tersebut diatas, didapatkan 6 kemungkinan kombinasi solusi. Rincian dari kombinasi solusi beserta biaya yang dihasilkan ditampilkan pada Gambar 4.10. Dari seluruh kombinasi tersebut, didapatkan bahwa kombinasi yang menghasilkan biaya terkecil adalah pada kombinasi pertama, yaitu Rp. 428.197.306.884. Akan tetapi pada kombinasi tersebut terdapat batasan yang harus dilanggar, yaitu terjadi keterlambatan pada pelabuhan Sanggaran untuk konsumsi produk Premium dan pelanggaran terhadap batasan muatan minimum untuk berlayar.

Total biaya kombinasi 1			428.197.306.884	Total biaya kombinasi 4			537.542.936.847
Kapal	Rute	Pelabuhan		Kapal	Rute	Pelabuhan	
Karmila	m1	Sanggaran		Karmila	m1	Sanggaran	
	m2	Ampenan			m2	Ampenan	
Kerta Dua	m1	Ampenan		Andika Ass	m1	Ampenan	
	m2	Badas			m2	Sanggaran	
Andika Ass	m1	Ampenan			m3	Badas	
	m2	Sanggaran		<i>Infeasible Solution</i>			
Total biaya kombinasi 2			440.181.512.359	Total biaya kombinasi 5			593.239.676.560
Kapal	Rute	Pelabuhan		Kapal	Rute	Pelabuhan	
Karmila	m1	Sanggaran		Karmila	m1	Sanggaran	
	m2	Ampenan			m2	Ampenan	
Kerta Dua	m1	Ampenan		Andika Ass	m1	Ampenan	
	m2	Sanggaran			m2	Badas	
Andika Ass	m1	Ampenan			m3	Sanggaran	
	m2	Badas		<i>Infeasible Solution</i>			
Total biaya kombinasi 3			582.519.685.771	Total biaya kombinasi 6			526.252.778.857
Kapal	Rute	Pelabuhan		Kapal	Rute	Pelabuhan	
Karmila	m1	Sanggaran		Karmila	m1	Sanggaran	
	m2	Ampenan			m2	Ampenan	
Kerta Dua	m1	Ampenan		Kerta Dua	m1	Ampenan	
	m2	Badas			m2	Sanggaran	
	m3	Sanggaran			m3	Badas	
<i>Infeasible Solution</i>				<i>Infeasible Solution</i>			

Gambar 1.10 Solusi Penjadwalan dari Algoritma *Greedy Heuristic*

Sehingga berdasarkan perbandingan solusi yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa algoritma yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat memberikan hasil yang baik, memenuhi batasan yang diterapkan dan memiliki waktu komputasi yang cepat. Hasil tersebut menunjukkan algoritma yang dikembangkan dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan D-ISRPA pada penelitian ini.

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

BAB 5

PERCOBAAN NUMERIK

Pada bab ini dilakukan percobaan numerik terhadap algoritma yang telah dikembangkan pada bab sebelumnya. Percobaan numerik dilakukan untuk membandingkan performansi model pada beberapa parameter input yang diberikan. Percobaan numerik yang dilakukan dibagi menjadi 2 kelompok utama, yaitu percobaan tanpa perubahan *dwelling time* dan percobaan dengan perubahan *dwelling time*. Deskripsi dan analisa terhadap percobaan numerik yang telah dilakukan akan dibahas pada sub bab berikut.

1.1 Percobaan Tanpa Perubahan *Dwelling Time*

1.1.1 Jumlah Pelabuhan yang Dijadwalkan

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan algoritma dalam membuat penjadwalan untuk jumlah data yang besar. Performansi algoritma dikatakan baik apabila algoritma tetap dapat menghasilkan solusi dengan waktu komputasi yang singkat. Pada percobaan ini diberikan beberapa set data. Set data tersebut merupakan hasil *data generation* yang terdiri dari 10 pelabuhan, 3 jenis produk, dan 5 buah kapal. Akan tetapi jumlah pelabuhan dan *demand* produk kritis yang harus dilayani bervariasi. Semakin banyak pelabuhan kritis yang harus dilayani akan semakin memperbesar jumlah variabel yang digunakan untuk penjadwalan.

Set data yang diberikan berupa data input untuk rate produksi, rate konsumsi, *inventory* awal pelabuhan dan kapal, jarak antar pelabuhan, *dwelling time* pelabuhan, dan posisi awal kapal. Sedangkan parameter yang digunakan adalah parameter pelabuhan yang menerangkan *lower* dan *upper* silo penyimpanan serta *target stock level* pelabuhan. Parameter berikutnya adalah parameter kapal yang berisi spesifikasi kapal dan *target stock level* dari kapal tersebut. Sedangkan parameter lainnya adalah parameter pelayaran dan parameter biaya. Set data yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran B.

Pada percobaan ini, kapal akan dipilih berdasarkan nilai koefisien interaksinya terhadap pelabuhan kritis. Dalam penghitungan koefisien interaksi, faktor kemampuan suplai kapal terhadap pelabuhan diberi nilai lebih besar dibandingkan dengan faktor kemampuan suplai pelabuhan terhadap kapal. Artinya, kapal yang memiliki muatan hampir sama dengan kebutuhan konsumsi pelabuhan akan memiliki interaksi yang lebih dekat. Kebijakan muatan minimal yang diberlakukan pada penjadwalan ini adalah sebesar 40% dari kapasitas kapal. Sehingga kapal yang memiliki muatan di bawah muatan minimal diharuskan untuk berlayar menuju pelabuhan produksi terlebih dahulu. Jenis kapal yang *dedicated* terhadap produk tertentu mengakibatkan tidak semua kapal bisa digunakan untuk mensuplai pelabuhan. Rekap dari hasil penjadwalan berupa biaya distribusi dan waktu komputasi ditampilkan pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 1.1 Hasil Penjadwalan dari Beberapa Ukuran Set Data yang Berbeda

Set Data	Jumlah Demand Kritis	Waktu Komputasi (detik)	Jumlah Pelabuhan Kritis tidak terlayani	Total Keterlambatan	Total biaya
Set Data 1	14	0,5	4	4	859.745.324.851
Set Data 2	17	0,5	7	3	925.803.155.881
Set Data 3	20	0,5	10	3	925.803.155.881
Set Data 4	20	0,5	9	4	967.464.099.824
Set Data 5	20	0,5	10	4	747.139.951.437

Berdasarkan hasil penjadwalan dari beberapa set data, dapat disimpulkan bahwa algoritma dapat menghasilkan solusi yang cukup baik pada ukuran data yang diberikan. Tabel 5.1 tersebut juga menunjukkan bahwa dengan komposisi kapal seperti ditampilkan pada Tabel 5.2, maksimum pelabuhan yang dapat dilayani adalah 10 pelabuhan. Hal ini terkait dengan batasan waktu pelayanan harus di dalam horison perencanaan. Set data 3,4, dan 5 menggunakan data yang sama, namun alokasi kapal ke-5 dirubah. Untuk set data 4 alokasi kapal ke-5 untuk produk Solar, sedangkan untuk set data 5, kapal ke-5 dialokasikan untuk produk Minyak Tanah. Dengan demikian, perubahan alokasi kapal untuk mengangkut produk akan berpengaruh terhadap kemampuan pasokan perusahaan.

Tabel 1.2 Alokasi Kapal untuk Pengiriman Produk

Kapal	Premium	Minyak Tanah	Solar
K1	80,00	0,00	0,00
K2	1400,00	0,00	0,00
K3	0,00	3000,00	0,00
K4	0,00	0,00	3000,00
K5	1000,00	0,00	0,00

1.1.2 Kondisi *Over* dan *Under* Suplai

Kemampuan pelabuhan produksi dalam menyuplai kebutuhan pelabuhan konsumsi seringkali menjadi permasalahan pada kasus nyata. Kondisi *under supply* menyebabkan kekosongan produk di pelabuhan konsumsi. Sebaliknya jika terjadi kondisi *upper supply* maka perusahaan harus menghentikan produksinya untuk beberapa waktu dikarenakan kapasitas gudang sudah tidak mampu menampung hasil produksi. Dalam hal ini perusahaan harus memperluas pasar guna memperbesar serapan hasil produksi. Situasi ini yang ingin digambarkan pada percobaan berikut. Beberapa set data yang diberikan akan diarahkan pada kondisi *over* dan *under supply*. Dari percobaan ini diharapkan algoritma tetap dapat menghasilkan penjadwalan yang meminimumkan total biaya pada kondisi anomali *supply* dan *demand* yang terjadi.

Set data yang diberikan memiliki jenis input dan parameter yang sama dengan percobaan sebelumnya. Akan tetapi pada percobaan ini, rate produksi dan rate konsumsi dimodifikasi sehingga menunjukkan kondisi *over* dan *under supply* yang diharapkan. Berikut ini ditampilkan hasil penjadwalan dari kedua kondisi tersebut.

1.1.2.1 Kondisi *Over Supply*

Untuk menggambarkan kondisi *over supply*, diberikan data input rate produksi, rate konsumsi dan *inventory* awal dari pelabuhan sebagai berikut.

Tabel 1.3 Rate Produksi *Over* Suplai

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
Sanggaran	0,00	2000,00

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
Ampenan	3000,00	0,00
Badas	0,00	0,00
Bima	0	0

Tabel 1.4 Rate Konsumsi *Over Suplai*

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
Sanggaran	56,30	100,00
Ampenan	50,00	300,00
Badas	88,70	120,00
Bima	89,81	56,48

Tabel 1.5 Inventory Awal *Over Suplai*

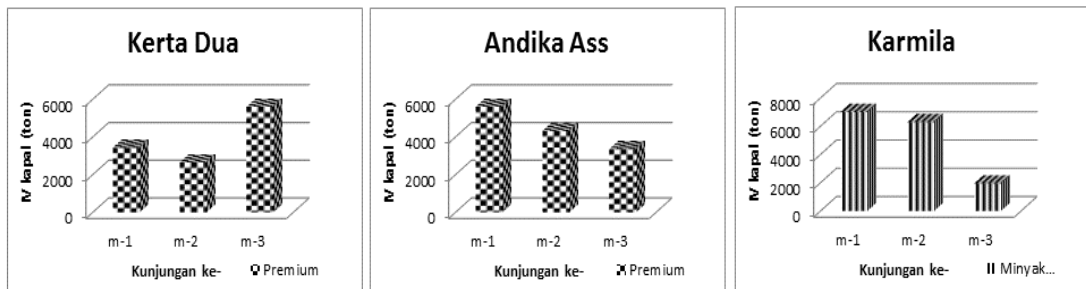
Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
Sanggaran	300,00	6000,00
Ampenan	4000,00	2308,00
Badas	748,00	1107,00
Bima	449,05	448,00

Penjadwalan yang dihasilkan berdasarkan kondisi *over supply* tersebut, memiliki lebih banyak aktifitas *loading* dibandingkan dengan penjadwalan sebelumnya. Hal ini dikarenakan hasil produksi yang tidak dapat tertampung di pelabuhan konsumsi akan dialihkan sebanyak mungkin ke kapal. Tabel 5.6 menunjukkan peningkatan aktifitas *loading* di pelabuhan.

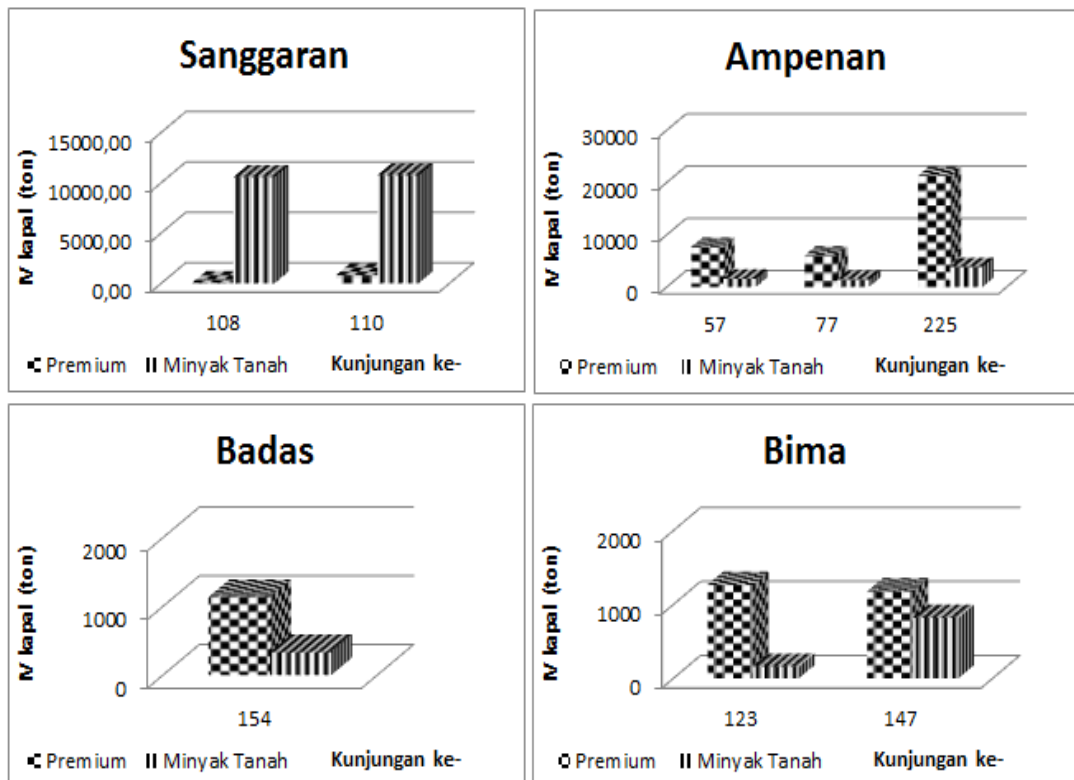
Tabel 1.6 Peningkatan Aktivitas Loading pada Pelabuhan

Kapal	Rute	Pelabuhan	Aktivitas	Produk	Quantity
Kerta Dua	m-1	Ampenan	LOADING	Premium (P)	3351,169754
	m-2	Sanggaran	UNLOADING	Premium (P)	780,5
	m-3	Ampenan	LOADING	Premium (P)	2949,330246
Andika Ass	m-1	Ampenan	LOADING	Premium (P)	4200
	m-2	Bima	UNLOADING	Premium (P)	1279,418292
	m-3	Badas	UNLOADING	Premium (P)	961,3731962
Karmila	m-1	Sanggaran	LOADING	M. Tanah (K)	4000
	m-2	Bima	UNLOADING	M. Tanah (K)	717,1353333
	m-3	Ampenan	UNLOADING	M. Tanah (K)	4335,153194

Pergerakan *inventory* di pelabuhan ditunjukkan pada Gambar 5.1. Berdasarkan gambar tersebut, kondisi *over supply* sangat jelas terlihat. Di samping itu, kondisi ini juga mengakibatkan mayoritas kapal berlayar dengan muatan penuh. Pada kondisi biaya *in-transit inventory* yang tinggi, situasi ini sangat tidak diharapkan. Akan tetapi pada permasalahan ini *in transit inventory* tidak dipertimbangkan.



Gambar 1.1 *Inventory* Kapal pada Kondisi *Over Supply*



Gambar 1.2 *Inventory* Pelabuhan pada Kondisi *Over Supply*

1.1.2.2 Kondisi *Under Supply*

Hal sebaliknya terjadi pada kondisi *under supply*. Untuk menggambarkan kondisi tersebut, diberikan data input pelabuhan sebagai berikut:

Tabel 1.7 Rate Produksi *Under Supply*

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
Sanggaran	0,00	500,00
Ampenan	500,00	0,00
Badas	0,00	0,00
Bima	0,00	0,00

Tabel 1.8 Rate Konsumsi *Under Supply*

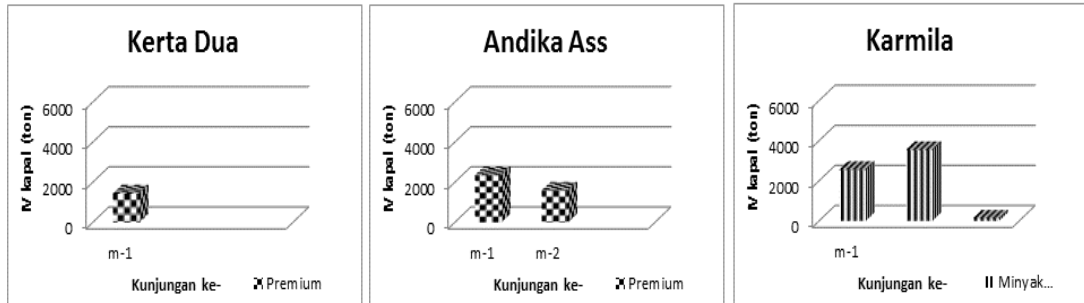
Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
Sanggaran	56,30	100,00
Ampenan	450,00	300,00
Badas	88,70	120,00
Bima	89,81	56,48

Tabel 1.9 Inventory Awal Pelabuhan *Under Supply*

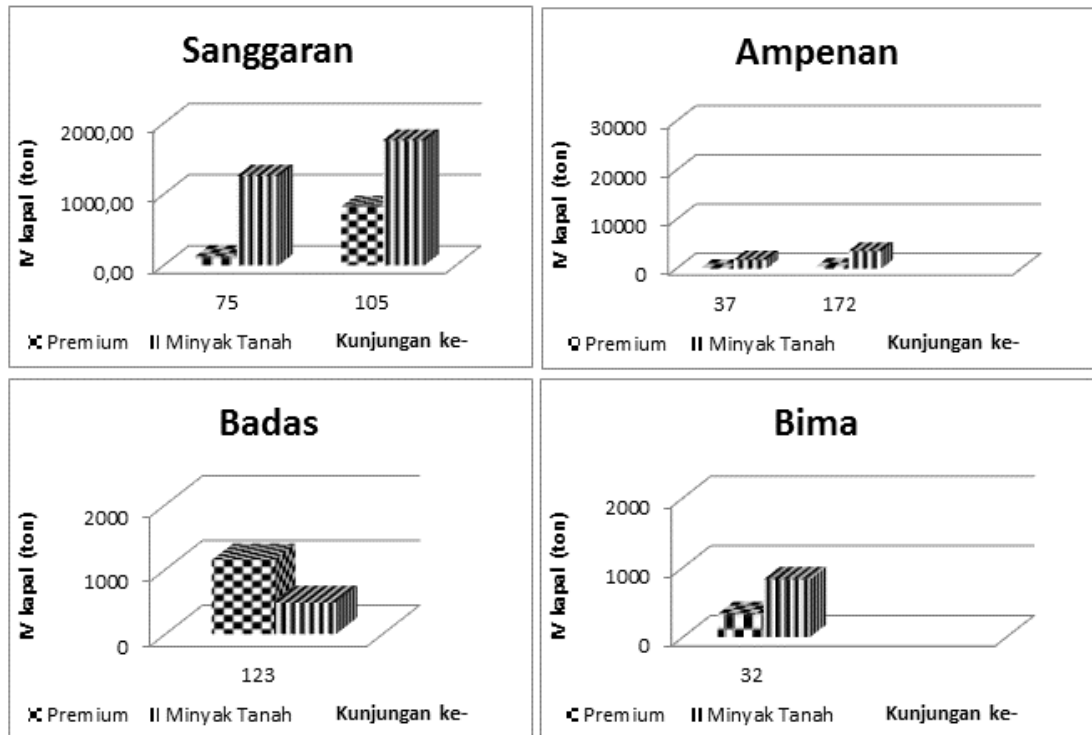
Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
Sanggaran	300,00	1000,00
Ampenan	1000,00	2308,00
Badas	748,00	1107,00
Bima	449,05	448,00

Pada set data yang besar, kondisi *under supply* dapat mengakibatkan banyak pelabuhan kritis yang tidak terpenuhi *demand*-nya. Utilisasi kapal pun menjadi rendah dikarenakan pemberlakuan minimum muatan pelayaran. Akibatnya abatasan ini seringkali dilanggar guna tetap dapat melakukan pelayaran untuk memasok pelabuhan kritis. Dalam kondisi demikian, perusahaan harus mempertimbangkan alternatif membeli produk dari luar untuk dapat menjamin pasokan ke pelabuhan konsumsi. Alternatif lain adalah dengan tidak memberlakukan kebijakan *vendor managed inventory*, karena pada kondisi ini kebijakan VMI lebih banyak membawa kerugian bagi perusahaan, Kerugian tersebut dikarenakan biaya penalti keterlambatan dan kebutuhan untuk pelayaran

husus guna memenuhi pasokan. Kondisi *inventory* di pelabuhan dan kapal ditunjukkan pada Gambar 5.3 dan 5.4 berikut.



Gambar 1.3 *Inventory* Pelabuhan pada Kondisi *Under Supply*



Gambar 1.4 *Inventory* Pelabuhan pada Kondisi *Under Supply*

1.1.3 Skenario Penerapan Kebijakan Minimum Muatan untuk Pelayaran

Kebijakan minimum muatan untuk pelayaran diberlakukan dalam rangka meningkatkan utilisasi kapal. Pada kenyataannya, kondisi kapal berlayar tanpa muatan sangat tidak diharapkan oleh perusahaan. Oleh karena itu, dengan

memberlakukan kebijakan ini, kapal hanya akan berlayar dengan kondisi muatan di atas batasan yang ditentukan.

Pada penjadwalan-penjadwalan sebelumnya, batasan minimum muatan yang diterapkan adalah 40% dari kapasitas kapal. Sedangkan pada percobaan ini, nilai IVmin akan divariasikan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui dampak dari pemberlakuan IVmin terhadap hasil penjadwalan, utilitas kapal, dan kemampuan pasok dari kapal. Data yang digunakan pada skenario ini dapat dilihat pada lampiran C.

Hasil penjadwalan terhadap variasi nilai IVmin tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1.10 Hasil Penjadwalan dengan nilai IVmin yang berbeda

Ivmin	Jumlah Pelabuhan Kritis	Jumlah Pelabuhan Terlayani	Jumlah Keterlambatan	Utilisasi Kapal	Biaya Distribusi
40%	20	10	4	42%	757.549.774.744
20%	20	11	3	33%	809.788.835.185
10%	20	15	6	28%	810.550.402.617

Tabel 5.10 di atas menunjukkan bahwa pemberlakuan kebijakan minimum muatan dalam pelayaran dapat meningkatkan utilitas kapal. Akan tetapi perlu diperhatikan juga bahwa pemberlakuan batasan ini memiliki dampak terhadap *availability* kapal. *Availability* kapal akan berkurang dengan adanya waktu tunggu di pelabuhan pada saat pemenuhan muatan. Pada percobaan yang dilakukan, yaitu kondisi jumlah kapal kurang, pemberlakuan kebijakan ini menyebabkan jumlah pelabuhan kritis yang terlayani semakin berkurang. Cara lain untuk meningkatkan utilitas kapal adalah dengan melakukan perencanaan rute yang tepat sehingga meminimalkan kapal berlayar tanpa muatan.

1.2 Percobaan dengan Perubahan *Dwelling Time*

Ketidakpastian *dwelling time* dari pelabuhan seringkali menjadi kendala dalam pelayaran. *Dwelling time* tersebut dipengaruhi oleh banyaknya kapal yang berlabuh pada suatu pelabuhan dan efektivitas operasional pelabuhan tersebut.

Pada percobaan ini, ingin digambarkan kondisi *dwelling time* yang berubah pada saat horison perencanaan sehingga mempengaruhi jadwal pelayaran yang sedang berjalan. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengetahui kemampuan algoritma dalam melakukan antisipasi terhadap perubahan *dwelling time*. Antisipasi tersebut dapat berupa perubahan kecepatan kapal ataupun *rerouting* dalam satu rute kapal.

Pada percobaan ini belum dipertimbangkan mengenai biaya perubahan urutan kunjungan. Hasil algoritma akan dievaluasi berdasarkan kemampuannya dalam memenuhi batasan waktu kritis pelabuhan kunjungan. Sebelumnya diberikan jadwal pelayaran kapal yang sedang berjalan. Data tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.11. Kemudian pada saat horison sudah berjalan selama 20 jam, diterima informasi perubahan *dwelling time* pelabuhan. Berdasarkan informasi tersebut dilakukan evaluasi terhadap jadwal eksisting.

Tabel 1.11 Jadwal Kapal yang sedang Berjalan

Kapal	Rute	Pelabuhan	Aktivitas	Produk	Quantity	Inv kapal	Due Date	Tivm	Tevm	Speed	Jarak	Waktu Perjalanan
Kerta Dua	m-1	Ampenan	LOADING	Premium (P)	3351,17	3431,169754	0	15	56,88962192	10	100	10
	m-2	Sanggaran	UNLOADING	Premium (P)	780,5	2650,669754	4,191829485	100,6039076	110,3601576	14	500	35,71428571
	m-3	Bima	UNLOADING	Premium (P)	1388,859	1261,810972	4,376461419	131,1458719	154,2935183	14	221	15,78571429
Andika Ass	m-1	Ampenan	LOADING	Premium (P)	840	2240	0	25	76,51818182	10	200	20
	m-2	Badas	UNLOADING	Premium (P)	1102,702	1137,298144	7,677564825	176,0636364	194,4420006	11	1040	94,54545455
Karmila	m-1	Sanggaran	LOADING	M. Tanah (K)	4000	7000	6,315789474	58	108	10	500	50
	m-2	Bima	UNLOADING	M. Tanah (K)	717,1353	6282,864667	6,798866856	135,1	147,0522556	10	221	22,1
	m-3	Ampenan	UNLOADING	M. Tanah (K)	4335,153	1947,711472	7,36	171,4522556	225,6416705	10	194	19,4

Tabel 1.12 Informasi Perubahan Dwelling Time

Pelabuhan	Dwelling Time (jam)	Update Dwelling Time (jam)
Sanggaran	8	5
Ampenan	5	5
Badas	5	5
Bima	5	6

Opsi Perubahan Kecepatan

Sebelum menjalankan opsi ini, terlebih dahulu dilakukan evaluasi terhadap rute yang terdampak oleh perubahan *dwelling time*. Diketahui bahwa perubahan *dwelling time* hanya berpengaruh terhadap rute Kerta Dua dan Karmila. Oleh karena itu, hanya rute dari kedua kapal tersebut yang akan dievaluasi. Selanjutnya dilakukan *updating* terhadap posisi dan aktivitas kapal pada saat penjadwalan ulang. Apabila kapal dalam keadaan berlayar, maka dihitung sisa jarak tempuh kapal dan kemudian dilakukan evaluasi perubahan kecepatan. Sedangkan apabila kapal dalam keadaan *loading* atau menunggu di pelabuhan, maka kapal dibiarkan untuk menyelesaikan aktivitasnya terlebih dahulu di pelabuhan tersebut. Hasil perubahan jadwal kapal dengan algoritma perubahan kecepatan ini dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan Tabel 5.14 berikut.

Kapal : Kerta Dua

Aktivitas : Loading di Ampenan, waktu selesai 56.9

Rute belum terlayani:

Tabel 1.13 Hasil Penjadwalan dengan Perubahan Kecepatan Kapal Kerta Dua

Rute	Pelabuhan	Qty	Jarak	Speed	Waktu layar	Waktu tiba	Waktu tunggu	Due date	Tivm	aktu Loadi	Tevm
m2	Sanggaran	779,9070971	500	13	38,46153846	95,35116038	5	100,6039	100,35116	9,748839	110,1
m3	Bima	1391,62733	221	14	15,78571429	125,8857134	6	105,0351	131,88571	23,19379	155,0795

Kapal : Karmila

Aktivitas : Berlayar menuju Sanggaran, jarak yang sudah ditempuh 200 miles

Rute belum terlayani:

Tabel 1.14 Hasil Penjadwalan dengan Perubahan Kecepatan Kapal Karmila

Rute	Pelabuhan	Qty	Jarak	Speed	Waktu layar	Waktu tiba	Waktu tunggu	Due date	Tivm	aktu Loadi	Tevm
m1	Sanggaran		300	8	37,5	57,5	5	151,5789	62,5	50	112,5
m2	Bima		221	9	24,55555556	137,0555556	6	163,1728	143,05556	11,95226	155,0078
m3	Ampenan		194	14	13,85714286	168,864954	5	176,64	173,86495	54,18941	228,0544

Opsi Perubahan Urutan Kunjungan

Perubahan urutan kunjungan ditentukan berdasarkan nilai koefisien interaksi. Nilai koefisien interaksi dalam hal ini ditentukan berdasarkan *criticality* pelabuhan, waktu tempuh dan *dwelling time* pelabuhan tersebut. Hasil perhitungan koefisien interaksi untuk produk Premium dan Minyak Tanah dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan 5.16 berikut.

Tabel 1.15 Koefisien Interaksi dari Produk Premium

Kapal	Sanggaran	Ampenan	Bima
Kerta Dua	11,24742695	37,77834624	8,636304335

Tabel 1.16 Koefisien Interaksi dari Produk Minyak Tanah

Kapal	Sanggaran	Ampenan	Bima
Karmila	8,948653146	8,532134	8,0567838

Berdasarkan nilai koefisien interaksi tersebut kemudian ditentukan urutan kunjungan yang baru. Hasil *re-routing* dari algoritma ini ditunjukkan pada Tabel 5.17 dan Tabel 5.18 berikut:

Kapal : Kerta Dua

Aktivitas : Loading di Ampenan, waktu selesai 56.9

Rute belum terlayani:

Tabel 1.17 Hasil Penjadwalan dengan Perubahan Kecepatan Kapal Kerta Dua

Rute	Pelabuhan	QTY	Jarak	Speed	Waktu layar	Waktu tiba	faktu tungga	Due date	Tivm	faktu Loadi	Tevm
m2	Bima	1185,53952	194	13	14,92307692	71,81269885	5	100,60391	76,8127	14,81924	91,63194
m3	Sanggaran	810,5589207	221	14	15,78571429	107,4176571	6	105,03507	113,4177	13,50932	126,927

Kapal : Karmila

Aktivitas : Berlayar menuju Sanggaran, jarak yang sudah ditempuh 200 miles

Rute belum terlayani:

Tabel 1.18 Hasil Penjadwalan dengan Perubahan Kecepatan Kapal Karmila

Rute	Pelabuhan	QTY	Jarak	Speed	Waktu layar	Waktu tiba	Waktu tunggu	Due date	Tivm	Waktu Loadi	Tevm
m1	Bima	507,4533333	200	10	20	40	6	163,1728	46	8,457556	54,45756
m2	Sanggaran	4507,4533333	221	11	20,09090909	74,54846465	5	151,57895	79,54846	56,34317	135,8916
m3	Ampanan	4399,573963	500	14	35,71428571	171,605917	5	176,64	176,6059	54,99467	231,6006

Apabila dilihat dari kedua hasil penjadwalan ulang di atas, dapat diketahui bahwa penjadwalan yang dihasilkan melalui kedua opsi tersebut dapat memenuhi *due date* pelabuhan, akan tetapi waktu maksimum perjalanan dengan menggunakan opsi perubahan kecepatan lebih kecil dibandingkan opsi kedua. Kondisi ini dimungkinkan bisa berubah apabila fluktuasi *dwelling time* tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan percobaan terhadap nilai perubahan *dwelling time*. Percobaan selanjutnya diperlukan untuk mengetahui kondisi yang menyebabkan opsi perubahan kecepatan lebih baik dibandingkan opsi *rerouting* dan sebaliknya.

1.2.1 Percobaan dengan Signifikansi Perubahan *Dwelling Time*

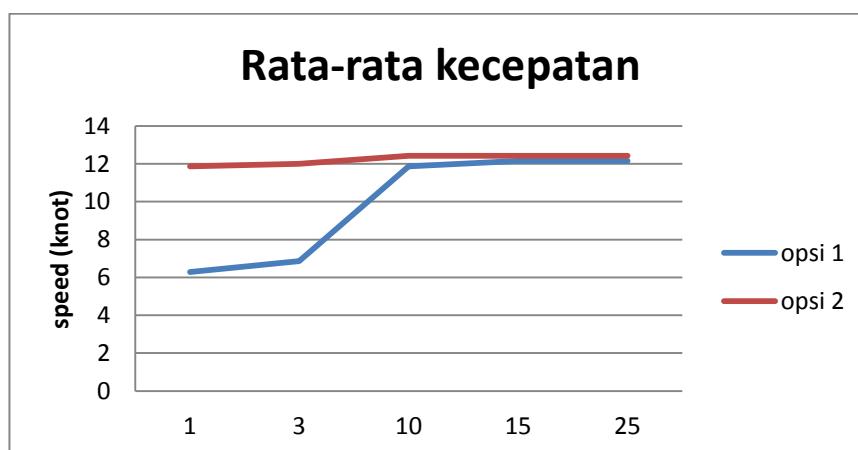
Signifikansi perubahan *dwelling time* dapat memberikan hasil yang berbeda terhadap penerapan kedua opsi *rerouting*. Percobaan ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari signifikansi kenaikan dan penurunan *dwelling time* terhadap opsi yang dipilih. *Dwelling time* dari pelabuhan Bima dirubah-rubah dengan nilai yang bervariasi dari rendah ke tinggi, antara lain 1,3,10,15,25. Dua nilai pertama digolongkan pada signifikan rendah, sedangkan tiga nilai lainnya digolongkan pada signifikan tinggi.

Pada perubahan jadwal yang dihasilkan dari perubahan *dwelling time* signifikan rendah. Didapati bahwa semakin rendah nilai *dwelling time* maka akan semakin memperkuat interaksi terhadap pelabuhan tersebut. Sehingga dalam penjadwalan ini, kemungkinan Bima terpilih untuk dijadwalkan terlebih dahulu akan lebih besar. Pada kondisi ini, secara performansi opsi perubahan kecepatan tetap cenderung lebih baik. Hal ini dapat dilihat dari rata-rata kecepatan kapal yang digunakan, kemampuan dalam memenuhi *due date*, dan maksimum waktu perjalanan. Akan tetapi dalam hal ini, opsi perubahan urutan kunjungan juga dapat

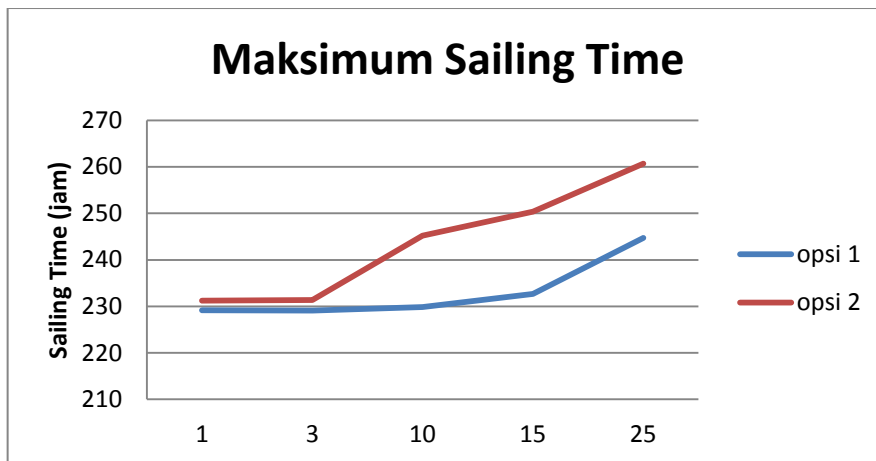
menunjukkan kemampuan dalam memenuhi *due date*, walaupun secara performansi lainnya masih di bawah opsi perubahan kecepatan.

Sedangkan pada kondisi *dwelling time* yang signifikan naik, opsi perubahan urutan kunjungan memberikan performansi yang buruk. Hal ini dikarenakan, kenaikan *dwelling time* dapat memaburkan nilai interaksi terhadap faktor *criticality*-nya. Pada kondisi ini opsi pertama, yaitu perubahan kecepatan akan lebih baik untuk dipilih.

Gambar 5.5 dan 5.6 berikut menunjukkan perbandingan rata-rata kecepatan dan maksimum waktu perjalanan pada tiap perubahan *dwelling time* pelabuhan Bima. Sehingga berdasarkan kedua gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa secara garis besar, perubahan kecepatan kapal akan menjadi alternatif keputusan yang lebih baik apabila didapatkan perubahan *dwelling time* pelabuhan. Hal ini dikarenakan perubahan yang cukup besar terhadap penjadwalan eksisting menghasilkan performansi yang lebih buruk. Di samping itu, pada kondisi nyata, perubahan kecepatan lebih disenangi oleh operator kapal karena operator kapal harus dikenakan biaya tambahan apabila melakukan perubahan rute kunjungan.



Gambar 1.5 Rata-rata Kecepatan terhadap Signifikansi Perubahan *Dwelling Time*



Gambar 1.6 Maksimum *Sailing Time* terhadap Perubahan *Dwelling Time*

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini dikembangkan model dan algoritma untuk permasalahan D-ISRP dengan mempertimbangkan tingkat kesibukan pelabuhan. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini menghasilkan model dan algoritma untuk permasalahan D-ISRP dengan mempertimbangkan informasi tingkat kesibukan pelabuhan
2. Algoritma yang dikembangkan telah dapat memberikan penjadwalan yang memenuhi batasan-batasan yang diterapkan pada permasalahan D-ISRP dengan mempertimbangkan informasi tingkat kesibukan pelabuhan
3. Berdasarkan percobaan numerik yang dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:
 - a. Kebijakan minimum muatan pelayaran berpengaruh terhadap nilai utilitas kapal dan *availability* dari kapal tersebut
 - b. Pada kondisi *under supply*, minimum muatan pelayaran sebaiknya dihilangkan karena akan berakibat pada tingginya biaya distribusi
 - c. Pada kondisi perubahan *dwelling time* yang tidak signifikan, opsi perubahan kecepatan akan lebih baik dibandingkan dengan opsi perubahan urutan kunjungan.

1.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah permasalahan dapat dikembangkan pada muatan produk yang memiliki batasan kompatibilitas, kompartemen kapal menggunakan *undedicated compartment*, *consumption* dan *production rate* yang stokastik, dan keseimbangan muatan di kapal. Selain itu kompleksitas pelabuhan dapat dikembangkan dengan menambahkan waktu *setup* pada aktivitas *loading/unloading*.

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

LAMPIRAN A

Data Input dan Parameter Validasi

- Inventory Awal Kapal**

Kapal	Premium	Minyak Tanah
Kerta Dua	80,00	0,00
Andika Ass	1400,00	0,00
Karmila	0,00	3000,00

- Inventory Awal Pelabuhan**

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
Sanggaran	300,00	6000,00
Ampenan	4000,00	2308,00
Badas	748,00	1107,00

- Posisi Awal Kapal**

Kapal	Sanggaran	Ampenan	Badas
Kerta Dua	200	100	1150
Andika Ass	700	200	600
Karmila	500	0	1040

- Dwelling Time Pelabuhan**

Pelabuhan	Dwelling Time (jam)
Sanggaran	8
Ampenan	5
Badas	5

- Parameter Pelabuhan**

Pelabuhan	load/unload rate (/jam)	Premium (P)			M. Tanah (K)		
		Lower	Upper	Target Stock Level	Lower	Upper	Target Stock Level
Sanggaran	80	64,00	1000,00	844,5	50,00	18000,00	0,0
Ampenan	80	100,00	18000,00	0,0	100,00	5000,00	4500,0
Badas	60	67,00	1200,00	1200,0	64,00	1500,00	852,9

- Parameter Kapal**

Vessel Name	Jumlah kompartemen	Kapasitas Kompartemen	Konsumsi bahan bakar di port	Premium (P)			M. Tanah (K)		
				Lower Limit	Target Stock level	Maksimum kompartemen	Lower Limit	Target Stock level	Maksimum kompartemen
Kerta Dua	8	700	2061	80,00	5600,00	8	0,00	0,00	0
Andika Ass	8	700	2061	80,00	5600,00	8	0,00	0,00	0
Karmila	10	700	3061	0,00	0,00	0	100,00	7000,00	10

- Parameter Pelayaran**

Pelabuhan	Sanggaran	Ampenan	Badas
Sanggaran	0	500	1480
Ampenan	500	0	1040
Badas	1480	1040	0

- Parameter Biaya**

Pelabuhan	Port Charges/ GT/hari	Biaya Loading/ unloading (per unit)
Sanggaran	66	990000
Ampenan	64,5	770000
Badas	55	605000

Vessel Name	Biaya Sewa /hari
Kerta Dua	110000000
Andika Ass	110000000
Karmila	165000000

Konsumsi Bahan Bakar per Kecepatan (liter/knot)	8	9	10	11	12	13	14
Kerta Dua	17360	19530	21700	23870	26040	28210	30380
Andika Ass	17360	19530	21700	23870	26040	28210	30380
Karmila	23664	26622	29580	32538	35496	38454	41412

LAMPIRAN B

Data Input dan Parameter Percobaan Jumlah Pelabuhan

- Set Data 1

Rate Produksi

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah	Solar
P1	0,00	2000,00	0,00
P2	1000,00	0,00	0,00
P3	0,00	0,00	1000,00
P4	0,00	0,00	0,00
P5	1000,00	0,00	0,00
P6	0,00	1000,00	1000,00
P7	0,00	0,00	0,00
P8	1500,00	0,00	0,00
P9	0,00	0,00	0,00
P10	0,00	0,00	1000,00

Rate Konsumsi

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah	Solar
P1	56,30	100,00	230
P2	450,00	300,00	88,7
P3	88,70	120,00	120
P4	53,00	300,00	120,50
P5	294,00	145,50	230,00
P6	120,50	86,70	53,00
P7	76,00	58,00	76,50
P8	45,00	67,00	90,00
P9	300,00	95,00	148,00
P10	550,00	230,00	150,00

Inventory Awal

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah	Solar
P1	300,00	6000,00	2300,00
P2	4000,00	2308,00	1000,00
P3	748,00	1107,00	6000,00

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah	Solar
P4	640,00	750,00	950,00
P5	3000,00	2500,00	1450,00
P6	840,00	5000,00	3000,00
P7	1250,00	1500,00	400,00
P8	5000,00	640,00	875,00
P9	1200,00	1600,00	1800,00
P10	2500,00	3100,00	1000,00

Posisi Awal Kapal

Kapal	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K1	200	100	1150	150	230	400	520	340	600	120
K2	700	200	600	450	320	750	810	310	650	1000
K3	500	0	1040	1040	200	400	120	80	30	50
K4	300	200	230	1480	310	240	50	100	160	200
K5	100	400	210	1920	210	260	410	510	230	245

Dwelling Time Pelabuhan

Pelabuhan	Dwelling Time (jam)
P1	8
P2	5
P3	6
P4	2
P5	3
P6	5
P7	8
P8	6
P9	4
P10	5

Parameter Pelabuhan

Pelabuhan	load/unload rate (/jam)	Premium (P)			M. Tanah (K)			Solar (S)		
		Lower	Upper	Target Stock Level	Lower	Upper	Target Stock Level	Lower	Upper	Target Stock Level
P1	80	64,00	1000,00	844,5	50,00	200000,00	1500,0	50,00	18000,00	3450,0
P2	80	100,00	200000,00	6750,0	100,00	5000,00	4500,0	100,00	5000,00	1330,5
P3	60	67,00	1200,00	1330,5	64,00	1500,00	1800,0	64,00	200000,00	1800,0
P4	60	67,00	1200,00	795,0	64,00	1500,00	4500,0	64,00	1500,00	1807,5
P5	60	100,00	200000,00	4410,0	64,00	1500,00	2182,5	64,00	1500,00	3450,0
P6	60	67,00	1200,00	1807,5	64,00	200000,00	1300,5	64,00	150000,00	795,0
P7	60	67,00	1200,00	1140,0	64,00	1500,00	870,0	64,00	1500,00	1147,5
P8	60	100,00	250000,00	675,0	64,00	1500,00	1005,0	64,00	1500,00	1350,0
P9	60	67,00	1200,00	4500,0	64,00	1500,00	1425,0	64,00	1500,00	2220,0
P10	60	67,00	1200,00	8250,0	64,00	1500,00	3450,0	64,00	200000,00	2250,0

Parameter Kapal

Vessel Name	Jumlah kompartemen	Kapasitas Kompartemen	Konsumsi bahan bakar di port	Premium (P)			M. Tanah (K)			Solar (S)		
				Lower Limit	Target Stock level	Maksimum kompartemen	Lower Limit	Target Stock level	Maksimum kompartemen	Lower Limit	Target Stock level	Maksimum kompartemen
K1	8	700	2061	80,00	5600,00	8	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
K2	8	700	2061	80,00	5600,00	8	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
K3	10	700	3061	0,00	0,00	0	100,00	7000,00	10	0,00	0,00	0
K4	10	700	3061	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	100,00	7000,00	10
K5	8	700	2061	80,00	5600,00	8	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0

Parameter Pelayaran

Pelabuhan	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P1	0	500	1480	210	300	600	120	80	340	250
P2	500	0	1040	120	100	300	500	210	90	700
P3	1480	1040	0	310	260	560	300	200	700	120
P4	210	120	310	0	300	210	145	200	650	90
P5	300	100	260	300	0	245	230	400	460	210
P6	600	300	560	210	245	0	310	354	320	335
P7	120	500	300	145	230	310	0	264	120	320
P8	80	210	200	200	400	354	264	0	120	800
P9	340	90	700	650	460	320	120	120	0	295
P10	250	700	120	90	210	335	320	800	295	0

Parameter Biaya

Pelabuhan	Port Charges/ GT/hari	Biaya Loading/ unloading (per unit)
P1	66	605000
P2	64,5	605000
P3	55	605000
P4	60	605000
P5	60	605000
P6	70	605000
P7	100	605000

Pelabuhan	Port Charges/ GT/hari	Biaya Loading/ unloading (per unit)
P8	20	605000
P9	55	605000
P10	55	605000

Vessel Name	Biaya Sewa /hari
K1	110000000
K2	110000000
K3	165000000
K4	165000000
K5	110000000

Konsumsi Bahan Bakar per Kecepatan (liter/knot)	8	9	10	11	12	13	14
K1	17360	19530	21700	23870	26040	28210	30380
K2	17360	19530	21700	23870	26040	28210	30380
K3	23664	26622	29580	32538	35496	38454	41412
K4	23664	26622	29580	32538	35496	38454	41412
K5	17360	19530	21700	23870	26040	28210	30380

- **Set Data 2**

Rate Produksi

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah	Solar
P1	0,00	2000,00	0,00
P2	1000,00	0,00	0,00
P3	0,00	0,00	1000,00
P4	0,00	0,00	0,00
P5	1000,00	0,00	0,00
P6	0,00	1000,00	1000,00
P7	0,00	0,00	0,00
P8	1500,00	0,00	0,00
P9	0,00	0,00	0,00
P10	0,00	0,00	1000,00

Rate Konsumsi

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah	Solar
P1	56,30	100,00	230
P2	450,00	300,00	88,7

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah	Solar
P3	88,70	120,00	120
P4	95,00	300,00	120,50
P5	294,00	145,50	230,00
P6	120,50	86,70	53,00
P7	76,00	58,00	76,50
P8	45,00	67,00	90,00
P9	300,00	95,00	230,00
P10	550,00	500,00	150,00

Inventory Awal

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah	Solar
P1	300,00	6000,00	2300,00
P2	4000,00	2308,00	1000,00
P3	748,00	1107,00	6000,00
P4	640,00	750,00	950,00
P5	3000,00	2500,00	1450,00
P6	840,00	5000,00	3000,00
P7	1250,00	1500,00	400,00
P8	5000,00	640,00	875,00
P9	1200,00	1600,00	1800,00
P10	2500,00	3100,00	1000,00

Posisi Awal Kapal

Kapal	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K1	200	100	1150	150	230	400	520	340	600	120
K2	700	200	600	450	320	750	810	310	650	1000
K3	500	0	1040	1040	200	400	120	80	30	50
K4	300	200	230	1480	310	240	50	100	160	200
K5	100	400	210	1920	210	260	410	510	230	245

Dwelling Time Pelabuhan

Pelabuhan	Dwelling Time (jam)
P1	8
P2	5
P3	6
P4	2
P5	3
P6	5
P7	8

Pelabuhan	Dwelling Time (jam)
P8	6
P9	4
P10	5

- **Set Data 3**

Rate Produksi

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah	Solar
P1	0,00	2000,00	0,00
P2	1000,00	0,00	0,00
P3	0,00	0,00	1000,00
P4	0,00	0,00	0,00
P5	1000,00	0,00	0,00
P6	0,00	1000,00	1000,00
P7	0,00	0,00	0,00
P8	1500,00	0,00	0,00
P9	0,00	0,00	0,00
P10	0,00	0,00	1000,00

Rate Konsumsi

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah	Solar
P1	56,30	100,00	230
P2	450,00	300,00	110
P3	88,70	120,00	120
P4	95,00	300,00	120,50
P5	294,00	300,00	230,00
P6	120,50	86,70	53,00
P7	76,00	58,00	76,50
P8	45,00	67,00	90,00
P9	300,00	200,00	230,00
P10	550,00	500,00	150,00

Inventory Awal

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah	Solar
P1	300,00	6000,00	2300,00
P2	4000,00	2308,00	1000,00
P3	748,00	1107,00	6000,00
P4	640,00	750,00	950,00
P5	3000,00	2500,00	1450,00
P6	840,00	5000,00	3000,00
P7	1250,00	1500,00	400,00
P8	5000,00	640,00	875,00
P9	1200,00	1600,00	1800,00
P10	2500,00	3100,00	1000,00

Posisi Awal Kapal

Kapal	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K1	200	100	1150	150	230	400	520	340	600	120
K2	700	200	600	450	320	750	810	310	650	1000
K3	500	0	1040	1040	200	400	120	80	30	50
K4	300	200	230	1480	310	240	50	100	160	200
K5	100	400	210	1920	210	260	410	510	230	245

Dwelling Time Pelabuhan

Pelabuhan	Dwelling Time (jam)
P1	8
P2	5
P3	6
P4	2
P5	3
P6	5
P7	8
P8	6
P9	4
P10	5

LAMPIRAN C

Data Input dan Parameter Percobaan Kebijakan Muatan Minimum

- **Rate Produksi Pelabuhan**

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
Sanggaran	0,00	2000,00
Ampenan	1000,00	0,00
Badas	0,00	0,00
Bima	0	0

- **Rate Konsumsi Pelabuhan**

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
Sanggaran	56,30	100,00
Ampenan	450,00	300,00
Badas	88,70	120,00
Bima	89,81	56,48

- **Inventory Awal Kapal**

Kapal	Premium	Minyak Tanah
Kerta Dua	80,00	0,00
Andika Ass	1400,00	0,00
Karmila	0,00	3000,00

- **Inventory Awal Pelabuhan**

Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah
Sanggaran	300,00	6000,00
Ampenan	4000,00	2308,00
Badas	748,00	1107,00
Bima	449,05	448,00

- **Posisi Awal Kapal**

Kapal	Sanggaran	Ampenan	Badas	Bima
Kerta Dua	200	100	1150	500
Andika Ass	700	200	600	400

Kapal	Sanggaran	Ampenan	Badas	Bima
Karmila	500	0	1040	194

- Parameter Pelabuhan**

Pelabuhan	load/unload rate (/jam)	Premium (P)			M. Tanah (K)		
		Lower	Upper	Target Stock Level	Lower	Upper	Target Stock Level
Sanggaran	80	64,00	1000,00	844,5	50,00	18000,00	0,0
Ampenan	80	100,00	18000,00	0,0	100,00	5000,00	4500,0
Badas	60	67,00	1200,00	1200,0	64,00	1500,00	852,9
Bima	60	56,00	2010,00	1347,2	64,00	1500,00	847,2

- Parameter Kapal**

Vessel Name	Jumlah kompartemen	Kapasitas Kompartemen	Konsumsi bahan bakar di port	Premium (P)			M. Tanah (K)		
				Lower	Target Stock level	Maksimum kompartemen	Lower	Target Stock level	Maksimum kompartemen
Kerta Dua	8	700	2061	80,00	5600,00	8	0,00	0,00	0
Andika Ass	8	700	2061	80,00	5600,00	8	0,00	0,00	0
Karmila	10	700	3061	0,00	0,00	0	100,00	7000,00	10

- Parameter Pelayaran**

Pelabuhan	Sanggaran	Ampenan	Badas	Bima
Sanggaran	0	500	1480	221
Ampenan	500	0	1040	194
Badas	1480	1040	0	96
Bima	221	194	96	0

- Parameter Biaya**

Pelabuhan	Port Charges/ GT/hari	Biaya Loading/ unloading (per unit)
Sanggaran	66	990000
Ampenan	64,5	770000
Badas	55	605000
Bima	55	605000

Vessel Name	Biaya Sewa /hari
Kerta Dua	110000000
Andika Ass	110000000
Karmila	165000000

Konsumsi Bahan Bakar per Kecepatan (liter/knot)	8	9	10	11	12	13	14
Kerta Dua	17360	19530	21700	23870	26040	28210	30380
Andika Ass	17360	19530	21700	23870	26040	28210	30380
Karmila	23664	26622	29580	32538	35496	38454	41412

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Khayyal, F., & Hwang, S.-J., 2007, Inventory Constrained Maritime Routing and Scheduling for Multi-Commodity Liquid Bulk, Part I : Applications and Model, *European Journal of Operational research*.106-130.
- Archetti, C., Bertazzi, L., Hertz, A., dan Speranza, M.G,2011,A gybrid heuristic for an inventory routing problem, *INFORMS Journal on Computing*, 24(1):101-116.
- Bertsimas, D.J. and Van Ryzin, G., 1991, A stochastic and dynamic vehicle routing problem in the Euclidean plane, *Operation Research*, 39, 601-615.
- Brown G., Ellis, C., Graves, G., and Ronen, D., 1987, Real time wide area dispatch of mobiltank trucks, *interfaces*, 17, 107-120.
- Christiansen, M., & Nygreen, B., 2005, Robust Inventory Ship Routing By Column Generation, In: G. Desaulniers, J. Desrosiers, & M. M. Solomon (Eds.), *Column Generation* (pp. 197-224), New York: Springer.
- Christiansen, M., Fagerholt, K., Nygreen, B., & Ronen, D., 2007, Maritime Transportation. In: C. Barhart, & G. Laporte (Eds.), *Handbook in OR & MS* (Vol. 14, pp. 189-284). Berlin: Elsevier.
- Coelho, L. C., Cordeau J-F, & Laporte, G., 2012, The Inventory-routing Problem With Transshipment, *Computer & Operations Research*.vol 39, 2537-2548.
- Coelho, L.C., Laporte, G.,2012,A branch-and-cut algortihm for the multi-product-multi-vehicle inventory-routing problem,CIRELT.Montreal.Canada,2012.
- Dantzig G., Ramser J.,1959, The truck dispatching problem. *Management Science*, 6, 80–91.
- Gani, A.Z.,2012, Interaction Theory (new paradigmn) for solving travelling problem, Presented at International Workshop on Optimal Network Topologies (IWONT 5), Bandung.
- Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J.Y, Taillard, E.D.,1999, Parallel tabu search for real time vehicle routing and dispatching, *transportation science*, 33, 381-390.
- Kilby, P., Prosser, P., Shaw, P., 1998, Dynamic VRPs: A study of scenarios, Technical Report APES-06-1998, University of Strathclyde, Glasgow, UK.
- Lawrence, S.A,1972, International Sea Transport: the years ahead, Lexington Books, Lexington, Mass.
- Madsen, O.B.G, Tosti, K., and Vaelds, J., 1995, A heuristic method for dispatching repairmen, *Annals of Operation Research*, 61, 213-226.
- Montemani, R., Gambardella, L.M., Rizzolim A.E., and Donati, A.V.,2005,Ant colony system for e dynamic vehicle routing problem, *Journal of Combinatorial Optimization*, 10, 327-343.

- Psaraftis, H.N.1988.Dynamic vehicle routing problem, in : Vehicle Routing: Methods and Studies, B.L. Golden and A. A. Assad, eds.,North-Holland, Amsterdam, pp.223-248.
- Rahman, Fuadie. 2008. Pengembangan Algoritma Inventory Routing Problem (IRP) Untuk Penjadwalan Kapal Tanker BBM Multi-Compartment (Studi Kasus PT Pertamina UPMS V Surabaya). Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Romero, G., Duran, G., Marengo, J. Weintraub, A., 2013,An approach for efficient ship routing,IFORS International Transaction in Operation Research,1-28.
- Rusdiansyah, A., Rani, FK., Siswanto, N., Wiratno, SE., 2011, An Exact Model for Tanker Inventory Routing Problem Considering Product Loading Compatibility and Compartment Cleaning, Presented at International Federation of Operations Research Society (IFORS) Conference, 10-15 July 2011, Melbourne Australia.
- Siswanto, N., Essam, D., and Sarker R., 2011, Solving the Ship Inventory Routing and Scheduling Problem With Undedicated Compartments, Computers & Industrial Engineering, In Press, 289-299.
- Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S.,2005, The container shipping network design problem with empty container repositioning, Journal of Transportation research Part E, vol 43, 39-59.
- Wang, S., Meng, Q., 2012, Sailing speed optimization for container ships in a liner shipping network, , Journal of Transportation research Part E, vol 48, 701-714.
- UNCTAD, 2010, United Nations Conference on Trade And Development, Review of maritime transport 2010, Geneva, 2010.
- Zeimpekis, V., Tarantilis, C.D., Giaglis, G.M., Minis, I.,2007, Dynamic Fleet Management, Springer:Newyork.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Siti Nurminarsih dilahirkan di kota Nganjuk pada 15 Mei 1988 dari pasangan Sudarminto dan Suyati. Kegemaran penulis berganti-ganti sejak kecil, mulai dari bersepeda, membaca, hingga pada akhirnya memantapkan diri dengan hobi travelling dan kuliner. Anak kedua dari tiga bersaudara ini menempuh pendidikan di SDN I Jogomerto Nganjuk (1994-2000), SLTPN I Tanjunganom Nganjuk (2000-2003), SMK Telkom Sandhy Putra Malang (2003-2006). Pada tahun 2008, penulis melanjutkan studi program sarjana di Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui Jalur SNMPTN. Penulis menyelesaikan studi program sarjana pada tahun 2012 dan melanjutkan studi untuk program magister di jurusan Teknik Industri ITS satu tahun setelahnya.

Dalam perkuliahannya di Jurusan Teknik Industri ITS, penulis memiliki ketertarikan lebih pada bidang *Logistics* dan *Supply Chain Management*. Untuk itu penulis aktif sebagai asisten laboratorium *Logistics and Supply Chain Management* serta tergabung sebagai salah satu *researcher* pada *Transportation and Distribution Logistics (TDLog) Research Group* yang berada di bawah laboratorium LSCM, ITS. Selain itu, penulis juga aktif menjadi asisten mata kuliah seperti mata kuliah Manajemen Distribusi.

HP : 0856 341 3457

Email :miemin1505@gmail.com;
siti.nurminarsih@gmail.com