



TUGAS AKHIR – TI 141501

**PEMODELAN SIMULASI DISKRIT UNTUK MERUMUSKAN
KEBIJAKAN PENENTUAN JUMLAH DAN PENUGASAN
AUTOMATED GUIDED VEHICLE PADA *AUTOMATED CONTAINER
TERMINAL* PT TERMINAL TELUK LAMONG**

REZQI ANDITHIKA PUTRI

NRP 2512 100 160

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng, CSCP

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT – TI 141501

**DISCRETE EVENT SIMULATION MODELLING TO DETERMINE
THE QUANTITY AND ASSIGNMENT POLICY OF THE AUTOMATED
GUIDED VEHICLE IN AUTOMATED CONTAINER TERMINAL AT
PT TERMINAL TELUK LAMONG**

REZQI ANDITHIKA PUTRI

NRP 2512 100 160

Supervisor:

Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng, CSCP

DEPARTEMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMODELAN SIMULASI DISKRIT UNTUK MERUMUSKAN
KEBIJAKAN PENENTUAN JUMLAH DAN PENUGASAN
AUTOMATED GUIDED VEHICLE PADA AUTOMATED CONTAINER
TERMINAL PT TERMINAL TELUK LAMONG**

PROPOSAL TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

REZQI ANDITHIKA PUTRI
NRP. 2512 100 160

Disetujui oleh,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir



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



Surabaya, Juli 2016

**PEMODELAN SIMULASI DISKRIT UNTUK
MERUMUSKAN KEBIJAKAN PENENTUAN JUMLAH DAN
PENUGASAN *AUTOMATED GUIDED VEHICLE* PADA
AUTOMATED CONTAINER TERMINAL
PT TERMINAL TELUK LAMONG**

Nama mahasiswa : Rezqi Andithika Putri
NRP : 2512100160
Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng, CSCP

ABSTRAK

Meningkatnya jumlah *container* di Indonesia menuntut terminal *container* untuk bekerja secara efisien. Terminal *container* dengan sistem yang didisain semiotomatis diharapkan dapat menampung tingginya *demand* container tersebut. Terminal Teluk Lamong merupakan terminal *container* semiotomatis pertama yang berada di Indonesia. Tingkat efisiensi dari terminal container dapat dihitung dari lama waktu kapal bersandar pada *berthing area* untuk melakukan proses bongkar dan muat. Oleh karena itu strategi penugasan moda transportasi internal sangat penting untuk diperhatikan. Terminal Teluk Lamong menggunakan *Automated Guided Vehicle* sebagai moda transportasi internal area terminal. Penelitian ini akan meneliti strategi penugasan AGV yang sesuai untuk diterapkan pada kondisi Terminal Teluk Lamong saat ini. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, Terminal Teluk Lamong memiliki 50 AGV namun hanya 35 AGV yang beroperasi setiap harinya dengan mengalokasikan 7 AGV untuk setiap *crane*. Penelitian ini menggunakan metode simulasi diskrit dengan menggunakan software ARENA untuk mencari strategi penugasan AGV mana yang sesuai untuk diterapkan pada Terminal Teluk Lamong. Terdapat dua skenario strategi penugasan AGV yang akan diuji pada penelitian ini, diantaranya adalah skenario penugasan *dedicated* AGV berdasarkan *berthing area* dan strategi penugasan *undedicated* AGV. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan strategi penugasan AGV yang efektif dan efisien, dan menentukan jumlah AGV untuk memenuhi *demand* Terminal Teluk Lamong. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh bahwa strategi penugasan AGV yang efektif dan efisien adalah strategi penugasan *undedicated* AGV, dimana pada strategi ini AGV dapat melayani *job* pada seluruh *berthing area*. Sedangkan untuk jumlah AGV masing-masing *demand* disesuaikan dengan anggaran yang dimiliki Terminal Teluk Lamong. Biaya yang dipertimbangkan adalah biaya investasi, biaya *maintenance*, biaya asuransi, biaya bahan bakar, dan pajak dari AGV, dimana semakin banyak jumlah AGV yang digunakan maka semakin besar biaya yang harus dikeluarkan oleh Terminal Teluk Lamong.

Kata Kunci – *Automated Guided Vehicle*, Strategi Penugasan, ARENA, *container*.

DISCRETE SIMULATION MODELLING TO DETERMINE THE QUANTITY AND ASSIGNMENT POLICY OF THE AUTOMATED GUIDED VEHICLE IN AUTOMATED CONTAINER TERMINAL AT PT TERMINAL TELUK LAMONG

Name : Rezqi Andithika Putri
ID Number : 2512100160
Supervisor : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng, CSCP

ABSTRACT

Increasing amount of containers in Indonesia area requires container terminal to work efficiently. Container terminal with semiautomatic designed system is expected to accomodate the high demand rate of containers. Terminal Teluk Lamong is the first semiautomatic container terminal in Indonesia. Efficiency rate of the container terminal is calculated as berthing time of ship in berthing area to execute loading and unloading processes. Consequently, internal transportation mode assignment strategy is substantial. Terminal Teluk Lamong uses Automated Guided Vehicle as internal transportation mode in terminal area. This research analyze the suitable AGV assignment to apply in existing condition of Terminal Teluk Lamong. Based on observation performed, Terminal Teluk Lamong has 50 AGVs but only 35 AGV perform daily tasks with 7 AGV allocated for each crane. This research conducts discrete simulation method using ARENA software to determine suitable AGV assignment strategy. There are two AGV assignment strategy scenarios examined in this research, dedicated AGV assignment based on berthing area and undedicated AGV assignment. This research is intended to determine effective and efficient AGV assignment strategy and to determine the amount of AGV needed to fulfill the demand for Terminal Teluk Lamong. From this research, undedicated AGV assignment strategy is found effective and efficient, while AGV is able to perform tasks for whole berthing area. In the other hand, the amount of AGV needed for each demand rate is conformed with budgets provided by Terminal Teluk Lamong. Costs to be considered are investment cost, maintenance cost, insurance, fuel cost, and AGV tax, which states the higher amount of AGV used will affect to higher cost to spend by Terminal Teluk Lamong.

Keywords – Automated Guided Vehicle, Assignment Strategy, ARENA, container.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	6
1.5.1 Batasan	6
1.5.2 Asumsi	6
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Sistem Perpindahan <i>Container</i> pada Terminal <i>Container</i>	9
2.2 <i>Automated Guided Vehicle</i> (AGV)	11
2.3 Sistem Penugasan AGV	12
2.4 Simulasi	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 <i>Flowchart</i>	17
3.2 Penjelasan <i>Flowchart</i>	18

3.2.1	Pengumpulan Data dan Pengolahan Data	18
3.2.2	Model Konseptual	18
3.2.3	Simulasi Kondisi <i>Eksisting</i>	19
3.2.4	Verifikasi dan Validasi	19
3.2.5	<i>Numerical Experiment</i>	20
3.2.6	Analisis dan Kesimpulan	20
BAB 4 PENGEMBANGAN MODEL		21
4.1	Pengembangan Model Simulasi	21
4.1.1	<i>Fitting</i> Distribusi	21
4.1.2	Model Konseptual	25
4.1.3	Model <i>Eksisting</i>	29
4.2	Verifikasi dan Validasi	32
4.2.1	Verifikasi	32
4.2.2	Validasi	36
4.3	Penentuan Jumlah Replikasi	37
BAB 5 <i>NUMERICAL EXPERIMENTS</i> DAN ANALISIS		39
5.1	Pengembangan Skenario dan Analisis	39
5.1.1	Analisis Skenario Penugasan <i>Dedicated</i> AGV BA	40
5.1.2	Analisis Skenario Penugasan <i>Undedicated</i> AGV	43
5.2	<i>Numerical Experiments</i>	46
5.2.1	Analisis Jumlah AGV dan Total Biaya <i>Demand</i> Rendah	48
5.2.2	Analisis Jumlah AGV dan Total Biaya <i>Demand</i> Menengah	51
5.2.3	Analisis Jumlah AGV dan Total Biaya <i>Demand</i> Tinggi	54
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		57
6.1	Kesimpulan	57
6.2	Rekomendasi	58

DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	61
BIOGRAFI PENULIS	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Perputaran Container Indonesia 2006 – 2014	2
Gambar 1.2 Laporan Produksi Terminal Teluk Lamong	2
Gambar 1.3 Transportasi dan Perpindahan Container	3
Gambar 2.1 Area Operasional Terminal Container	9
Gambar 2.2 Layout Terminal Container	10
Gambar 2.3 Automated Guided Vehicle	11
Gambar 3.1 Flowchart Pengerjaan Penelitian Tugas Akhir	17
Gambar 3.2 Flowchart Pengerjaan Penelitian Tugas Akhir (Lanjutan)	18
Gambar 4.3 Layout Terminal Teluk Lamong	25
Gambar 4.4 Logic Flow Diagram Proses Bongkar	26
Gambar 4.5 Logic Flow Diagram Proses Muat	26
Gambar 4. 6 Verifikasi dengan Menggunakan Model Check pada ARENA ...	33
Gambar 4. 7 Verifikasi Model Simulasi pada BA Internasional	33
Gambar 4. 8 Verifikasi Model Simulasi pada BA Internasional Lanjutan	34
Gambar 4. 9 Verifikasi Model Simulasi pada BA Internasional Lanjutan	34
Gambar 4. 10 Verifikasi Model Simulasi pada BA Domestik	35
Gambar 4. 11 Verifikasi Model Simulasi pada BA Domestik Lanjutan	35
Gambar 4. 12 Verifikasi Model Simulasi pada BA Domestik Lanjutan	35
Gambar 5.1 Ilustrasi Skenario Penugasan AGV - Dedicated Crane	39
Gambar 5.2 Ilustrasi Skenario Penugasan AGV - Dedicated BA	40
Gambar 5.3 Ilustrasi Skenario Penugasan AGV – Undedicated	40
Gambar 5.4 Perbandingan Berthing Time antar Strategi Penugasan AGV	41
Gambar 5.5 Perbandingan antara Berthing Time Kapal Internasional dan Jumlah AGV – Demand Rendah	48
Gambar 5.6 Perbandingan Rata-Rata Berthing Time Kapal Domestik dengan Jumlah AGV Aktif– Demand Rendah	49
Gambar 5.7 Total Biaya AGV per Tahun – Demand Rendah	51
Gambar 5.8 Perbandingan Berthing Time Kapal Internasional Terhadap Jumlah AGV Aktif - Demand Menengah	52

Gambar 5.9 Perbandingan Berthing Time Kapal Domestik Terhadap Jumlah AGV Aktif – Demand Menengah	52
Gambar 5.10 Total Biaya AGV per Tahun – Demand Menengah	53
Gambar 5.11 Perbandingan Berthing Time Kapal Internasional Terhadap Jumlah AGV Aktif – Demand Tinggi	54
Gambar 5.12 Perbandingan Berthing Time Kapal Domestik Terhadap Jumlah AGV Aktif – Demand Tinggi	55
Gambar 5.13 Total Biaya AGV per Tahun – Demand Tinggi.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Rekap Data Fitting Distribusi	24
Tabel 4.2 Hasil Validasi dengan Menggunakan Metode t-Test.....	36
Tabel 5.1 Data Berthing Time Dedicated AGV Berdasarkan Crane dan Skenario Penugasan Dedicated AGV Berdasarkan BA.....	42
Tabel 5.2 Data Berthing Time Skenario Penugasan Dedicated AGV Berdasarkan Crane dan Skenario Penugasan Undedicated AGV.....	44
Tabel 5.3 Strategic Planning Terminal Teluk Lamong.....	46
Tabel 5.4 Skema Penentuan Demand.....	47

BAB 1

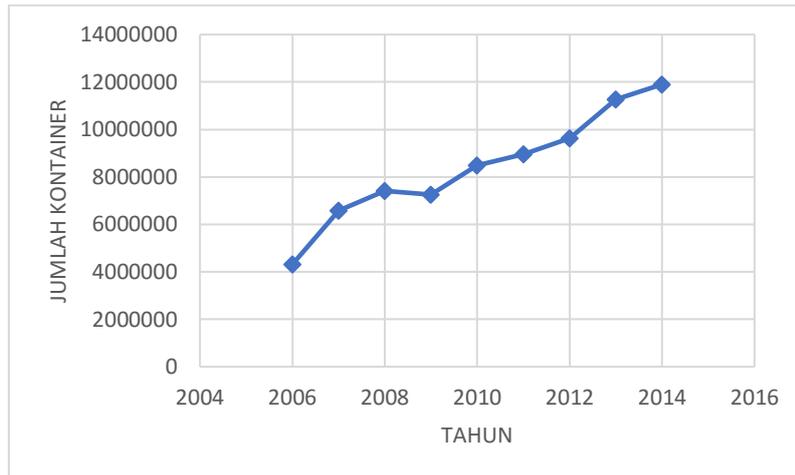
PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan laporan bagi penelitian tugas akhir ini.

1.1 Latar Belakang

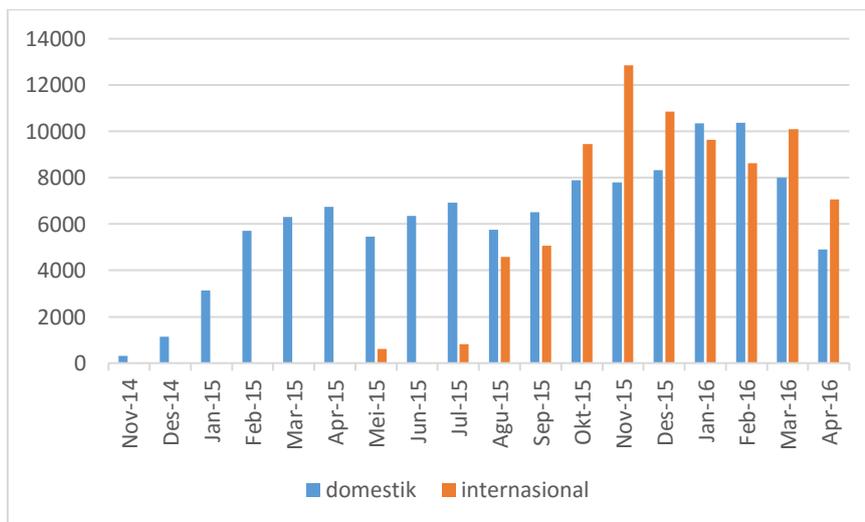
Container pertama kali diperkenalkan pada tahun 1960, dimana *container* mewakili ukuran standard dalam pengiriman internasional (Guenther, et al., 2006). Sejak saat itu penggunaan *container* sebagai alat pengiriman meningkat pesat. Selain itu era globalisasi juga mendorong semakin meningkatnya penggunaan *container* untuk memindahkan barang atau komoditas dari satu *area* ke *area* lain. Penggunaan *container* ini menjadi marak karena biaya pengiriman yang lebih efisien. Selain itu, *container* masih menjadi pilihan pertama dalam pengiriman komoditas empat dekade terakhir dikarenakan keuntungan yang diberikan. Dimana keuntungan tersebut antara lain aman, terlindung dari cuaca, mudah, dan cepat dalam perpindahannya (Steenken, et al., 2004).

Peningkatan penggunaan *container* ini juga berdampak pada Indonesia, yang mana Indonesia merupakan negara kepulauan dan membutuhkan *container* untuk melakukan persebaran komoditas ke setiap daerahnya. Hal ini dibuktikan dengan data yang diberikan oleh World Bank pada tahun 2015 (Gambar 1.1), terlihat bahwa peningkatan terjadi mulai tahun 2006.



Gambar 1.1 Perputaran *Container* Indonesia 2006 – 2014 (World Bank, 2015)

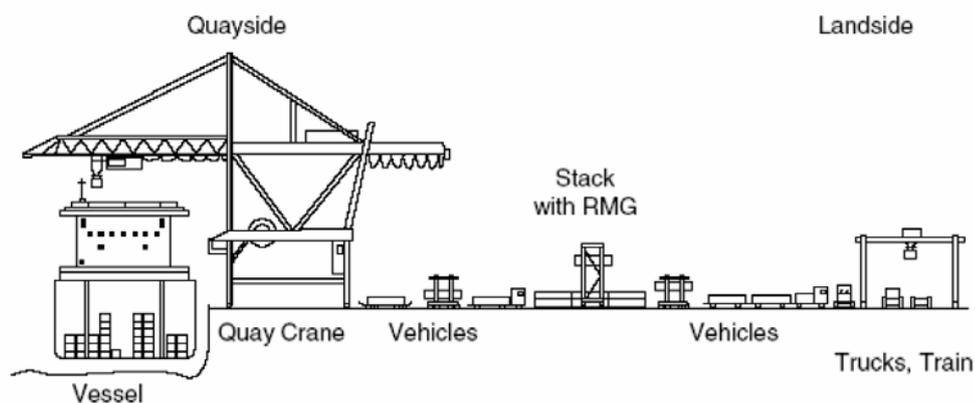
Peningkatan ini juga berimbas pada meningkatnya jumlah *container* yang dilayani pada masing-masing pelabuhan *container*. Untuk menunjang pengiriman *container* tersebut, maka dibutuhkan fasilitas berupa pelabuhan. Indonesia memiliki beberapa pelabuhan yang melayani pengiriman *container*. Salah satunya adalah Terminal Teluk Lamong yang dikelola oleh PT Pelindo III. Gambar 1.2 merupakan laporan produksi dalam satuan *container* pada Terminal Teluk Lamong. Terminal Teluk Lamong menerima dan mengirimkan *container* domestik ataupun internasional dengan jumlah ribuan setiap bulannya.



Gambar 1.2 Laporan Produksi Terminal Teluk Lamong (Sumber : <http://www.teluklamong.co.id/produksi/>)

Terminal Teluk Lamong merupakan terminal yang didesain dengan sistem semi otomatis. Sehingga terminal ini akan bekerja lebih efisien bila

dibandingkan dengan terminal *container* lain di Indonesia yang masih konvensional. Efisiensi dari sebuah terminal *container* dapat diukur dari lama waktu kapal bersandar pada sebuah pelabuhan atau dikenal dengan *berthing time*. Pada sebuah terminal *container* terdapat 2 jenis proses yang dapat dilakukan, yaitu proses bongkar dan proses muat. Proses bongkar merupakan proses pemindahan *container* dari kapal menuju tempat penyimpanan atau *container yard* (CY) yang berada di darat. Sedangkan proses muat merupakan proses pemindahan *container* dari *container yard* menuju kapal. Dalam melakukan proses-proses tersebut terdapat beberapa peralatan yang dibutuhkan untuk menunjang perpindahan *container*. Peralatan tersebut antara lain *Quay Crane* (QC), *Automated Stacking Crane* (ASC), dan *vehicle*. Gambar 1.3 merupakan ilustrasi dari proses perpindahan *container* pada terminal *container*.



Gambar 1.3 Transportasi dan Perpindahan *Container* (Steenken, et al., 2004)

Ilustrasi tersebut menggambarkan perpindahan *container* dari kapal menuju darat maupun sebaliknya. Pada proses bongkar, *container* yang berada di dalam kapal akan dipindahkan oleh QC menuju kendaraan pengangkut dan kemudian dibawa menuju *container yard*. Setelah kendaraan yang membawa *container* tiba di *container yard* maka ASC akan memindahkan *container* tersebut menuju *block* penyimpanan. Begitu pula pada proses muat, *container* yang akan dipindahkan ke kapal akan dibawa oleh ASC menuju kendaraan yang akan membawa *container* tersebut menuju kapal. Setibanya di kapal *container* akan dipindahkan oleh QC menuju kapal.

Untuk meningkatkan efisiensi pada sebuah terminal *container* maka berikut ini merupakan beberapa hal yang dapat dilakukan oleh pihak manajemen terminal (Cheng, et al., 2003):

- Perbanyak QC pada setiap kapal. Namun dalam menambah jumlah QC terdapat beberapa persyaratan yang dapat dipenuhi antara lain panjang kapal harus memenuhi, dan juga jarak minimum setiap *crane* juga memenuhi.
- Meningkatkan kecepatan QC dan menggunakan QC yang semi otomatis.
- Meningkatkan keandalan dan perawatan QC sehingga dapat meminimumkan jumlah *reworks*.
- Menggunakan kereta sebagai kendaraan yang memindahkan *container* dari kapal menuju tempat penyimpanan ataupun sebaliknya.
- Meningkatkan efektivitas dari sistem transportasi untuk proses bongkar dan muat.

Salah satu cara yang dapat dilakukan oleh Terminal Teluk Lamong adalah dengan meningkatkan efektivitas dari sistem transportasi internal terminal. Terminal Teluk Lamong memiliki fasilitas berupa Automated Guided Vehicle (AGV) yang berperan dalam perpindahan *container* dari kapal menuju *container yard*. Oleh karena itu dengan meningkatkan efektivitas dari sistem transportasi ini maka diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dari Terminal Teluk Lamong. Strategi penugasan AGV sangat berperan dalam mengatur kecepatan QC. QC merupakan alat otomatis yang dapat ditentukan kecepatannya, namun QC sangat bergantung pada keberadaan AGV. Bila QC telah mengangkat *container* namun AGV tidak tersedia maka QC akan tetap memegang *container*. Hal ini yang menyebabkan *delay* pada QC (Cheng, et al., 2003). Oleh karena itu strategi penugasan AGV merupakan hal yang penting dalam peningkatan produktivitas terminal *container*.

Saat ini Terminal Teluk Lamong menerapkan strategi penugasan AGV berdasarkan AGV yang tersedia atau sedang tidak menjalankan tugas. Hal ini mengakibatkan *berthing time* dari kapal menjadi tinggi. Selain itu Terminal Teluk Lamong juga menggunakan kemampuan dari operator untuk mengatur jumlah AGV yang akan diberangkatkan. Terminal Teluk Lamong memiliki 50

unit AGV, namun pihak manajemen hanya menggunakan 35 AGV setiap hariya. Pada saat ini penggunaan AGV pada Terminal Teluk Lamong belum optimal, hal ini dikarenakan AGV masih digunakan dengan bantuan *driver*. AGV didisain dengan sistem otomatis, dimana dalam penggunaannya AGV tidak membutuhkan driver dan diatur secara terkomputerisasi. Oleh karena itu, penggunaan AGV saat ini pada Terminal Teluk Lamong sangat bergantung pada kemampuan dari masing-masing operator, dimana kemampuan dari masing-masing operator tidak sama, sehingga akan mempengaruhi produktivitas dari Terminal Teluk Lamong. Oleh karena itu penulis melakukan penelitian terhadap strategi penugasan AGV berdasarkan *berthing time* minimum. Dengan harapan penelitian ini dapat menjadi masukan bagi Terminal Teluk Lamong dalam mengatur strategi penugasan serta jumlah AGV yang ditugaskan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang diangkat pada penelitian tugas akhir ini adalah menetapkan strategi penugasan *Automated Guided Vehicle* (AGV), apakah penugasan AGV dibagi berdasarkan *berthing area* (BA) ataukah AGV dapat bergerak secara bebas untuk melayani seluruh *job* pada BA dan penetapan jumlah AGV yang sesuai dengan jumlah *demand* dari Terminal Teluk Lamong.

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk menjawab permasalahan pada penelitian tugas akhir ini, maka berikut ini merupakan tujuan yang ingin dicapai:

1. Menentukan strategi penugasan AGV yang efektif dan efisien sehingga menghasilkan *berthing time* minimum pada kapal yang bersandar di Terminal Teluk Lamong.
2. Menentukan jumlah AGV yang digunakan untuk memenuhi *demand* Terminal Teluk Lamong dan sesuai dengan strategi penugasan AGV terpilih.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan kontribusi penelitian dari pelaksanaan tugas akhir ini:

1. Membantu pihak Terminal Teluk Lamong dalam membuat kebijakan terkait strategi penugasan AGV sehingga dapat meminimumkan *berthing time* kapal.
2. Membantu *dispatcher* dalam menentukan jumlah AGV yang sesuai untuk digunakan dalam pemenuhan *demand* dan juga sesuai dengan anggaran yang dimiliki Terminal Teluk Lamong.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Berikut ini merupakan ruang lingkup penelitian yang penulis tetapkan dengan tujuan untuk menyederhanakan masalah sehingga dapat diselesaikan secara ilmiah.

1.5.1 Batasan

Batasan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Jumlah AGV yang akan dianalisa berjumlah 35 AGV, 40 AGV, 45 AGV, dan 50 AGV.
2. Ruang lingkup penelitian untuk pergerakan AGV adalah dari (menuju) *berthing area* (BA) dan menuju (dari) lokasi *container yard* (CY).

1.5.2 Asumsi

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. *Container* yang digunakan memiliki ukuran TEUs (20').
2. Kapasitas AGV yang digunakan adalah *single load*. Satu AGV hanya mampu membawa satu *container* TEUs.
3. Tempat penyimpanan *container* selalu tersedia.
4. Jumlah *container* bongkar pada kapal sama dengan jumlah *container* muat pada kapal.
5. Kecepatan AGV konstan 25 km/jam.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut ini merupakan sistematika penulisan dari laporan tugas akhir ini.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab pendahuluan akan berisi hal-hal yang mendasari dilakukannya penelitian ini. Bab ini terdiri dari latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang digunakan sebagai acuan dalam menyelesaikan penelitian ini. Teori yang digunakan antara lain sistem perpindahan *container* pada terminal *container*, *Automated Guided Vehicle* (AGV), sistem penugasan AGV, dan Simulasi.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab metodologi penelitian berisi tahapan-tahapan yang dilakukan penulis untuk menyelesaikan penelitian ini. Tahapan-tahapan ini dikemas dalam sebuah *flowchart* dan penjelasan mengenai *flowchart* tersebut terlampir pada bab ini.

BAB 4 PENGEMBANGAN MODEL

Bab ini berisi data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini, serta pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan *software* InputAnalyzer. Selain itu bab ini juga menjelaskan mengenai pengembangan model simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *software* ARENA.

BAB 5 *NUMERICAL EXPERIMENT* DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengembangan skenario dan analisa penulis terkait dampak dari masing-masing skenario. Strategi penugasan AGV, aturan penugasan AGV, dan jumlah AGV akan menjadi dasar dalam pengembangan skenario.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan yang dapat ditarik dan dapat menjawab tujuan penelitian serta saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian berikutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

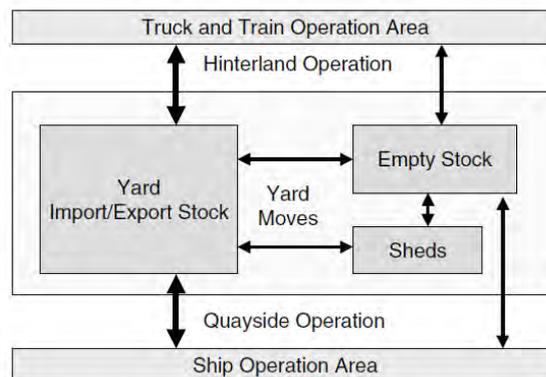
Pada bab dua akan dijelaskan mengenai teori-teori dasar yang digunakan sebagai acuan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.

2.1 Sistem Perpindahan *Container* pada Terminal *Container*

Dua operasi penting pada terminal *container* adalah operasi bongkar dan operasi muat (Guenther, et al., 2006). Untuk menunjang operasi bongkar dan muat maka sebuah terminal *container* harus dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas berikut:

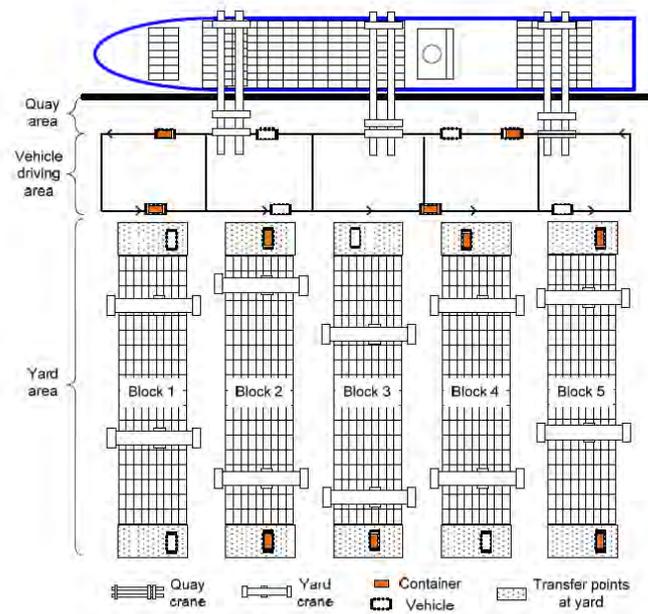
- *Berthing Area (BA)*
Berthing area merupakan tempat dimana kapal akan bersandar untuk melakukan operasi bongkar dan muat.
- *Container Yard (CY)*
Container yard merupakan lokasi penyimpanan *container* untuk sementara waktu hingga *container* tersebut dikirim kembali.
- *Truck and Train Operation Area*
Truck and train operation area merupakan *area* operasional untuk moda transportasi memindahkan *container*.

Berikut ini merupakan ilustrasi *area* operasional dari terminal *container*.



Gambar 2.1 Area Operasional Terminal *Container* (Steenken, et al., 2004)

Selain dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas berupa sarana, sebuah terminal *container* juga harus dilengkapi dengan peralatan *handling*. Sebelum sebuah kapal tiba di terminal *container*, seluruh informasi terkait *container* yang akan dibongkar dan dimuat telah dikirimkan oleh pihak kapal. Sehingga ketika kapal tersebut tiba di dermaga, pihak terminal sudah menyiapkan peralatan *handling* untuk memfasilitasi operasi bongkar muat. Peralatan *handling* yang digunakan antara lain quay crane (QC), yard crane (YC) dan juga kendaraan yang berperan sebagai moda transportasi pada terminal *container*. Kendaraan yang banyak digunakan pada *container* terminal semi otomatis ataupun otomatis adalah kereta, automated guided vehicle (AGV) dan automated lifting vehicle (ALV) (Vis & Harika, 2004). Hal yang membedakan AGV dan ALV adalah kemampuan ALV untuk memindahkan *container* dari darat tanpa bantuan peralatan *handling* lain seperti QC dan ASC (Yang, et al., 2004). Berikut ini merupakan layout dari terminal *container* pada umumnya, yang dapat mengilustrasikan operasi bongkar dan muat.



Gambar 2.2 Layout Terminal *Container* (Nguyen & Kim, 2009)

Operasi bongkar yang dilakukan pada terminal *container* dimulai ketika QC mulai memindahkan *container* dari kapal menuju AGV atau ALV. Kemudian AGV atau ALV bertugas untuk memindahkan *container* dari dermaga menuju lokasi penyimpanan. Pada lokasi penyimpanan, *container* akan

dipindahkan dengan bantuan alat handling berupa YC. YC akan memindahkan *container* dari AGV atau ALV menuju lokasi penempatan *container* pada blok penyimpanan. Sedangkan untuk operasi muat dimulai ketika YC memindahkan *container* dari lokasi penyimpanan menuju AGV. Kemudian AGV membawa *container* menuju kapal yang dituju oleh *container* tersebut. Setelah AGV tiba di QC area maka QC akan memindahkan *container* dari AGV menuju lokasi penyimpanan *container* pada kapal (Nguyen & Kim, 2009).

2.2 *Automated Guided Vehicle (AGV)*

Automated guided vehicle (AGV) merupakan alat transportasi yang digunakan untuk memindahkan material tanpa membutuhkan pengemudi. Hal ini dikarenakan AGV sudah dilengkapi dengan sistem terkomputerisasi sehingga AGV dapat dijalankan melalui sebuah *software*. AGV sering kali digunakan pada industri manufaktur, gudang, *distribution centers*, dan terminal (Anh & Koster, 2004). Keuntungan dari penggunaan AGV antara lain dapat mengurangi tenaga kerja dan juga resiko-resiko kecelakaan yang diakibatkan oleh *human error*. AGV digunakan untuk pergerakan-pergerakan yang berulang, dengan jalur yang panjang, dan berbagai tujuan yang berbeda (Dziwis, 2005).



Gambar 2.3 *Automated Guided Vehicle*
(Sumber : <http://www.teluklamong.co.id/page/ctt-12>)

Masalah-masalah yang sering kali terjadi pada penggunaan AGV dapat diklasifikasikan dalam beberapa kategori, antara lain: *guide-path design*, estimasi jumlah kendaraan yang dibutuhkan, penjadwalan kendaraan, posisi *idle* kendaraan, manajemen baterai, *routing* kendaraan, dan *conflict resolution* (Anh & Koster, 2004).

Permasalahan-permasalahan tersebut berada pada level pengambilan keputusan yang berbeda. Guide-path design merupakan permasalahan yang terjadi pada level strategi. Keputusan pada permasalahan ini merupakan keputusan yang memberikan dampak besar pada pengambilan keputusan level lainnya. Sedangkan pada level *tactical*, masalah yang terjadi berupa estimasi jumlah kendaraan, penjadwalan kendaraan, posisi *idle* kendaraan, dan manajemen baterai. Terakhir adalah masalah yang terjadi pada level operasional antara lain *routing* kendaraan dan *conflict resolution*. Permasalahan yang terjadi pada guide-path design sangat mempengaruhi kebutuhan jumlah kendaraan dan kompleksitas dari penjadwalan kendaraan tersebut (Anh & Koster, 2004). Namun sistem penjadwalan juga sangat mempengaruhi jumlah kebutuhan kendaraan.

Penelitian ini akan mengangkat salah satu permasalahan yang terjadi, yaitu sistem penjadwalan kendaraan. Masalah sistem penjadwalan kendaraan dapat diidentifikasi dengan mengetahui kapan, dimana, dan bagaimana kendaraan tersebut mengerjakan sebuah tugas, termasuk rute yang akan dijalankan. Bila semua informasi telah diketahui sebelum tugas tersebut dijalankan maka masalah penjadwalan dapat diselesaikan dengan strategi *offline*. Namun pada situasi nyata, informasi terkait tugas-tugas tersebut didapatkan ketika tugas tersebut sudah harus dilakukan sehingga operator tidak memiliki waktu untuk menjadwalkannya. Hal inilah yang membuat sistem penjadwalan *offline* sangat sulit direalisasikan. Oleh karena itu, penjadwalan *online* dan sistem penugasan (*dispatching*) dibutuhkan untuk mengontrol kendaraan (Anh & Koster, 2004).

2.3 Sistem Penugasan AGV

Sistem penugasan AGV secara *online* sangat sederhana dan mudah untuk diadaptasi pada sistem manajemen AGV. Beberapa tujuan diberlakukannya sistem penugasan AGV secara *online* adalah meminimasi *load waiting time*, maksimasi sistem, minimasi panjang antrian, atau menjamin *service level* pada sebuah *station*. Dua tipe utama dalam sistem penugasan online adalah *decentralized control system* dan *centralized control system* (Anh & Koster, 2004).

Decentralized control system dilakukan dengan dasar lokal informasi. Tidak ada sistem yang mampu mengkoordinasi AGV dan *central control system*. Secara konvensional, sistem ini telah diimplementasikan dan telah dilakukan analisa dengan asumsi setiap kendaraan diperbolehkan untuk mengunjungi

lokasi *pick up* (P) / *delivery* (D) pada sistem. Salah satu implementasi dari *decentralized control system* yang paling sederhana adalah ketika kendaraan melakukan perpindahan dengan satu jalur yang searah.

Sedangkan *centralized control system*, seluruh informasi yang berhubungan seperti lokasi *pick up* dan *delivery*, *load-release time*, posisi dan status kendaraan, akan disimpan dalam sebuah *controller* database. *Controller* akan memberikan tugas kepada AGV dengan aturan yang spesifik. Aturan tersebut dibagi menjadi dua kategori (Egbelu & Tanchoco, 1984): *job based* dan *vehicle based*. Pendekatan yang dilakukan pada aturan *job based* adalah AGV yang terdekat, AGV yang terjauh, AGV yang memiliki *idle* terpanjang atau AGV yang memiliki utilisasi paling sedikit untuk melayani *job* tersebut. Sedangkan pendekatan yang digunakan pada *vehicle based* mencoba untuk meminimasi *unloaded travel time* dengan tujuan maksimasi kesempatan untuk melakukan *job* yang telah dijadwalkan. Maka pendekatan yang digunakan adalah *travel time* terpendek, *travel time* terpanjang, maksimasi jumlah antrian yang masih dapat diterima, dan *first come first serve*.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengatasi masalah sistem penugasan AGV ini. Salah satunya pada tahun 2005, penelitian yang dilakukan oleh Bish, et al. memperkenalkan greedy algoritma untuk menyelesaikan masalah *dispatching* ini pada terminal *container*. Dua tipe model yang dikembangkan pada penelitian ini adalah model dengan penggunaan *crane* tunggal dan model dengan penggunaan multi *crane*. Pada model dengan penggunaan *crane* tunggal, QC difokuskan pada satu jenis proses saja; *uploading* atau *discharging*. Untuk mengetahui tugas-tugas yang diberikan pada AGV maka Bish, et al. menggunakan greedy algoritma untuk proses *uploading* pada AGV atau sebaliknya penulis menggunakan algoritma tersebut untuk proses *discharging* pada AGV. Konsep utama dari algoritma ini adalah untuk memilih kendaraan mana yang akan sampai pada lokasi *job* berikutnya dengan *earliest time*. Berbeda dengan model *crane* tunggal, model multi *crane* dapat mencari formulasi optimal untuk *dispatching* ketika QC melayani proses *uploading* dan proses *discharging* pada waktu yang sama. Penelitian lainnya

dilakukan oleh Vis et al, Vis et al menggunakan formulasi network flow dalam menentukan jumlah kebutuhan AGV pada terminal *container* semi otomatis.

2.4 Simulasi

Simulasi merupakan suatu teknik meniru operasi-operasi atau proses-proses yang terjadi dalam suatu sistem dengan bantuan perangkat komputer dan dilandasi oleh beberapa asumsi tertentu sehingga sistem tersebut bisa dipelajari secara ilmiah (Law & Kelton, 1991). Sedangkan menurut Harrel, simulasi adalah imitasi dari suatu sistem dinamis menggunakan model komputer dalam rangka untuk melakukan evaluasi dan meningkatkan unjuk kerja sistem (Harrell, et al., 2000). Berdasarkan defnisi simulasi tersebut maka 2 komponen utama dalam simulasi adalah model dan sistem. Model merupakan suatu representasi dari sekelompok obyek atau ide kedalam suatu bentuk yang lain dari suatu entitas (Pegden, 1990). Sistem merupakan kelompok atau koleksi dari elemen-elemen yang bekerjasama untuk mencapai suatu kondisi tujuan (Pegden, 1990). Klasifikasi atau pengelompokan dari teknik simulasi dibagi menjadi 3 kelompok, antara lain (Law & Kelton, 2000):

1. Model simulasi statis dan model simulasi dinamis.

Simulasi statis merupakan representasi dari sebuah sistem pada suatu waktu tertentu, atau digunakan pada sistem dimana waktu tidak mempunyai peran. Sedangkan simulasi dinamis mewakili sistem yang berubah-ubah berdasarkan waktu.

2. Model simulasi deterministik dan model simulasi stokastik.

Simulasi deterministik merupakan sistem simulasi yang tidak mempunyai komponen probabilitas. Hasil akhir dari simulasi deterministik telah ditentukan ketika sejumlah input dimasukkan ke dalam model, walaupun bisa saja diperlukan waktu yang lama untuk menghitung hasil akhir simulasi tersebut. Sedangkan simulasi stokastik merupakan sistem simulasi yang memiliki beberapa komponen input acak. Hasil akhir dari simulasi stokastik juga berupa komponen acak.

3. Model simulasi kontinyu dan model simulasi diskrit.

Simulasi kontinyu merupakan model sistem yang kondisi status variabelnya berubah terus menerus sesuai dengan waktu. Simulasi model melibatkan persamaan diferensial yang merupakan relasi dari tingkat perubahan status variabel sistem terhadap waktu. Sedangkan simulasi diskrit merupakan model sistem yang kondisi status variabelnya berubah seketika pada satu titik waktu yang terpisah. Dengan kata lain sistem berubah pada satu waktu tertentu.

Menurut Pegden (1990, p9), metode simulasi memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan. Berikut ini merupakan keunggulan dari metode simulasi:

1. Perubahan pada peraturan, prosedur, aturan pengambilan keputusan, struktur organisasi, alur informasi, dan lain-lain, tidak akan mengganggu operasi yang sedang berjalan.
2. Simulasi dapat mengantisipasi kemungkinan-kemungkinan adanya kesalahan atau kegagalan sebelum dilakukan implementasi ke dalam sistem yang sesungguhnya.
3. Simulasi dapat mengevaluasi sistem dalam jangka waktu yang singkat.

Selain keunggulan dari metode simulasi, berikut ini merupakan kelemahan dari metode simulasi:

1. Hasil dari simulasi tidak selalu sesuai dengan keadaan yang sebenarnya.
2. Pembuatan model dalam simulasi memerlukan latihan. Kualitas dari analisis tergantung pada kualitas dari model yang dibangun dan keahlian pembuat model tersebut.

Menurut Law & Kelton (2000, p84) tahapan dalam melakukan simulasi sebagai berikut:

1. Pendefinisian sistem, menentukan batasan sistem dan identifikasi variabel yang signifikan.
2. Formulasi model, yaitu merumuskan hubungan antar komponen model.
3. Pengambilan data, yaitu identifikasi data yang diperlukan model sesuai tujuan pembuatannya.

4. Pembuatan model, yaitu menyesuaikan penyusunan model dengan jenis bahasa simulasi yang digunakan.
5. Verifikasi model, yaitu proses pengecekan terhadap model apakah sudah bebas dari kesalahan. Dalam tahap ini perlu disesuaikan dengan bahasa simulasi yang digunakan.
6. Validasi model, yaitu proses pengujian terhadap model apakah sudah sesuai dengan sistem nyata.
7. Pembuatan skenario. Setelah model dianggap valid, maka berikutnya adalah membuat beberapa skenario atau eksperimen untuk memperbaiki kinerja sistem sesuai dengan keinginan.
8. Interpretasi model, yaitu proses penarikan kesimpulan dari hasil output model simulasi.
9. Implementasi, yaitu penerapan model pada sistem nyata.

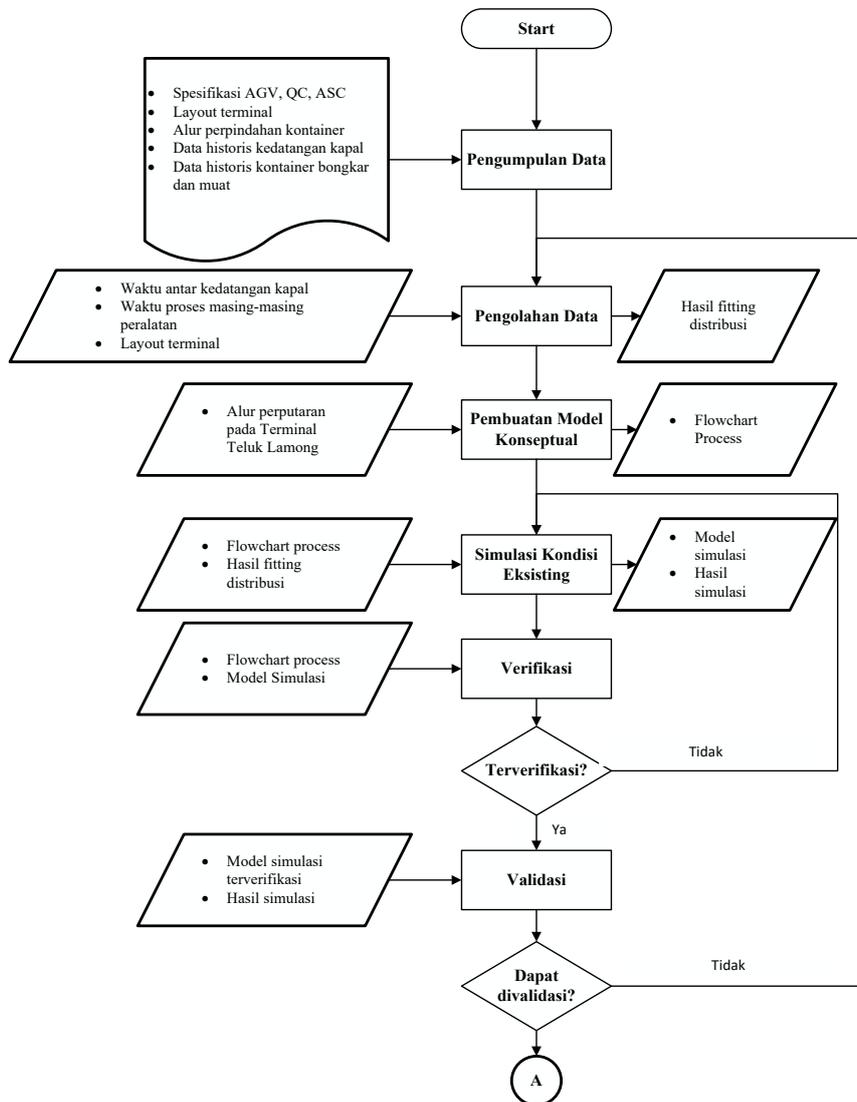
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

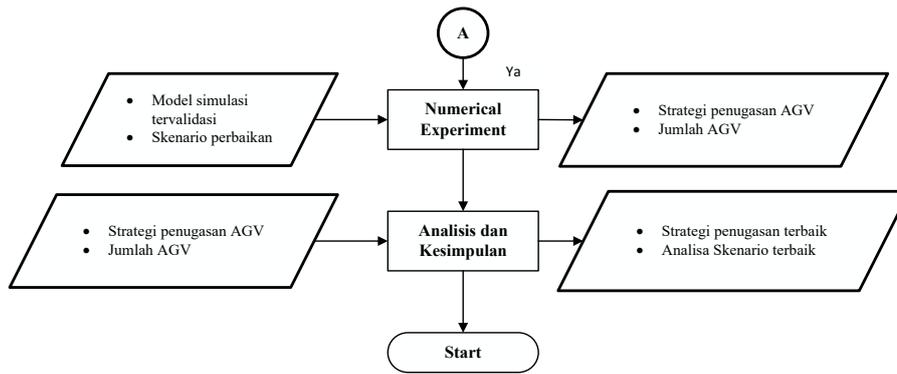
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian yang diintegrasikan dalam sebuah *flowchart*, serta penjelasan untuk setiap proses yang ada pada *flowchart*.

3.1 *Flowchart*

Berikut merupakan *flowchart* metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini.



Gambar 3.1 *Flowchart* Pengerjaan Penelitian Tugas Akhir



Gambar 3.2 *Flowchart* Pengerjaan Penelitian Tugas Akhir (Lanjutan)

3.2 Penjelasan *Flowchart*

Berdasarkan *flowchart* pada gambar 3.1, maka berikut ini merupakan penjelasan setiap proses pada *flowchart* tersebut.

3.2.1 Pengumpulan Data dan Pengolahan Data

Berdasarkan referensi yang digunakan dan pengamatan langsung terhadap kondisi Terminal Teluk Lamong maka berikut ini merupakan beberapa data yang dibutuhkan untuk melakukan proses simulasi: denah terminal *container*, spesifikasi dan jumlah AGV, QC, dan ASC, alur perpindahan *container*, data historis waktu antar kedatangan kapal, dan data historis jumlah *container* bongkar dan muat.

Setelah melakukan pengumpulan data, penulis mengolah data tersebut dengan menggunakan *software* InputAnalyzer. Hasil pengolahan data pada *software* InputAnalyzer berupa data distribusi yang merepresentasikan keadaan nyata yang terjadi pada Terminal Teluk Lamong. Data distribusi ini akan menjadi input data pada model simulasi yang akan dibuat dengan menggunakan *software* ARENA.

3.2.2 Model Konseptual

Setelah melakukan pengamatan langsung pada Terminal Teluk Lamong, maka penulis membuat model konseptual mengenai proses yang terjadi pada Terminal Teluk Lamong. Proses yang diamati dimulai ketika sebuah kapal memasuki *berthing area* hingga proses bongkar muat yang dilakukan pada kapal

tersebut selesai. Model konseptual yang dibuat fokus pada alur pergerakan *container* dari kapal menuju *container yard* (CY) ataupun sebaliknya dari CY menuju kapal. *Output* dari proses ini berupa sebuah diagram proses.

3.2.3 Simulasi Kondisi *Eksisting*

Hal-hal yang mendasari penggunaan simulasi pada penelitian ini adalah adanya ketidakpastian yang terjadi pada aktivitas-aktivitas di terminal *container*. Ketidakpastian yang terjadi antara lain waktu kedatangan kapal, waktu *setup* kapal ketika tiba di dermaga, waktu pergerakan QC maupun ASC. Ketidakpastian ini akan sulit diselesaikan dengan menggunakan metode *exact* ataupun metode *heuristic*.

Penelitian tugas akhir ini menggunakan *software* ARENA sebagai alat dalam melakukan simulasi. Model konseptual yang telah dibuat pada tahap sebelumnya akan menjadi acuan dalam pembuatan model pada *software* ARENA. Setelah model pada *software* ARENA selesai, maka data yang telah diolah dengan menggunakan *software* InputAnalyzer akan menjadi input pada model ini.

3.2.4 Verifikasi dan Validasi

Verifikasi model dilakukan sebagai proses pengecekan terhadap model simulasi yang telah dibuat. Apakah model simulasi yang telah dibuat sudah sesuai dengan model konseptual atau masih terdapat kesalahan. Bila masih terdapat kesalahan maka model simulasi harus dibenahi sehingga model simulasi tersebut dapat berjalan sesuai alur pada model konseptual. Verifikasi dapat dilakukan secara manual dan juga dapat dilakukan dengan menggunakan komputer. Verifikasi secara manual dilakukan oleh penulis dengan cara melihat persamaan pada logika model dengan kondisi nyata yang terjadi. Sedangkan verifikasi dengan menggunakan komputer dilakukan dengan menjalankan model dan melakukan pengecekan apakah terjadi *error* pada model tersebut.

Sedangkan validasi dilakukan untuk menguji apakah model simulasi yang dibuat sudah dapat merepresentasikan kondisi nyata pada Terminal Teluk Lamong. Validasi dilakukan dengan melakukan analisa statistik terhadap data

hasil simulasi dan data *eksisting* yang terjadi pada Terminal Teluk Lamong. Analisa statistik dapat dilakukan dengan menggunakan t-test.

3.2.5 Numerical Experiment

Pengembangan skenario dilakukan dengan tujuan untuk mencari skenario terbaik yang sesuai untuk diterapkan pada Terminal Teluk Lamong. Percobaan pertama, penulis akan menguji strategi penugasan AGV. Strategi penugasan ini dibagi menjadi tiga, *dedicated* AGV berdasarkan *crane*, *dedicated* AGV berdasarkan BA dan *undedicated* AGV. Parameter yang diukur dari ketiga strategi ini adalah minimum *berthing time*. Kemudian penulis melakukan *experiment* terkait jumlah AGV dan *demand*. Jumlah AGV yang dianalisa adalah 35 AGV, 40AGV, 45AGV, dan 50 AGV. Sedangkan *demand* dibagi menjadi tiga kategori yaitu rendah, sedang, dan tinggi.

3.2.6 Analisis dan Kesimpulan

Tahapan ini merupakan tahapan dimana penulis melakukan analisa terhadap alternatif terbaik yang dapat diterapkan pada PT Terminal Teluk Lamong. Hasil pada tahapan ini merupakan strategi penugasan apa yang sesuai untuk diterapkan, serta jumlah AGV yang sesuai untuk digunakan. Kemudian hasil analisa tersebut dirangkum dalam sebuah kesimpulan yang dapat menjawab tujuan penelitian. Kesimpulan ini diharapkan dapat membantu PT Terminal Teluk Lamong dalam mengambil keputusan terkait strategi penugasan AGV.

BAB 4

PENGEMBANGAN MODEL

Bab ini terdiri dari penjelasan-penjelasan terkait pengolahan data, pembuatan model konseptual, pembangunan model simulasi, verifikasi dan validasi, serta penentuan jumlah replikasi minimum.

4.1 Pengembangan Model Simulasi

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai *fitting* distribusi, model konseptual, dan juga model *eksisting* yang dibuat dengan menggunakan *software* ARENA.

4.1.1 *Fitting* Distribusi

Pada subsubbab ini penulis akan melampirkan hasil pengolahan data dengan menggunakan Input Analyzer. Software ini digunakan untuk mengetahui distribusi apa yang sesuai dengan data yang telah dikumpulkan. Pemilihan distribusi yang sesuai dilakukan berdasarkan nilai $square\ error < \alpha$. Selain itu distribusi dapat dipilih berdasarkan penggunaan distribusi tersebut pada umumnya. Sebagai contoh, distribusi exponential biasanya digunakan dalam proses kedatangan.

Pada penelitian ini *fitting* distribusi dilakukan pada 7 jenis proses yang terkait dengan penugasan AGV pada Terminal Teluk Lamong. Berikut ini merupakan *fitting* distribusi pada 7 proses tersebut:

1. Kedatangan kapal

Data waktu antar kedatangan kapal diambil dari laporan VESSEL THROUGHPUT INTER dan VESSEL THROUGHPUT DOM. Data yang digunakan merupakan data yang dikumpulkan pada bulan Desember 2015-Februari 2015. Berdasarkan hasil *fitting* distribusi maka distribusi yang dapat merepresentasikan kedatangan kapal adalah distribusi EXPO. Dengan nilai $square\ error$ lebih kecil dari nilai α ($0.040803 < 0,05$), maka distribusi eksponential dapat merepresentasikan

kondisi *eksisting*. Sedangkan untuk waktu antar kedatangan kapal domestik, dapat direpresentasikan dengan distribusi EXPO dengan nilai *square error* 0,014454.

2. Jumlah *container* bongkar pada kapal

Data jumlah *container* bongkar untuk masing-masing kapal internasional dan domestik didapatkan dari laporan VESSEL THROUGHPUT INTER dan VESSEL THROUGHPUT DOM. Data jumlah *container* diambil pada bulan Desember 2015-Februari 2016. Hasil *fitting* distribusi untuk jumlah *container* bongkar kapal Internasional adalah distribusi EXPO dengan *square error* $0.010683 < 0,05$. Sedangkan untuk jumlah *container* bongkar kapal domestik, distribusi yang dapat merepresentasikan adalah distribusi EXPO dengan *square error* $0.013690 < 0,05$.

3. Jumlah *container* muat pada kapal

Data jumlah *container* muat untuk masing-masing kapal internasional dan domestik didapatkan dari laporan VESSEL THROUGHPUT INTER dan VESSEL THROUGHPUT DOM. Data jumlah *container* diambil pada bulan Desember 2015-Februari 2016. Hasil *fitting* distribusi untuk jumlah *container* muat kapal Internasional adalah distribusi EXPO dengan *square error* $0.013690 < 0,05$. Sedangkan untuk jumlah *container* muat kapal domestik, distribusi yang dapat merepresentasikan adalah distribusi EXPO dengan *square error* $0,01369 < 0,05$.

4. Waktu *setup* kapal ketika tiba di dermaga

Waktu *setup* kapal ketika tiba di dermaga di mulai ketika kapal bersandar pada BA. Waktu ini meliputi waktu bersandar, waktu pemasangan QC, waktu untuk membuka *hatch cover*, dan aktivitas-aktivitas lain. Berdasarkan laporan PORT TIME PRODUCTION STATEMENT – VESSEL, maka distribusi yang dapat merepresentasikan waktu *setup* kapal Internasional adalah distribusi NORM dan kapal Domestik dengan distribusi NORM. *Fitting* distribusi dilakukan pada BA Internasional 1 dan BA Domestik 1. Distribusi pada BA I1 dapat merepresentasikan kondisi pada BA I2. Begitu juga dengan distribusi BA D1 dapat merepresentasikan kondisi pada BA D2 dan BA D3

5. QC rate

Data proses pemindahan *container* menggunakan QC untuk kapal internasional dan domestik tertulis pada laporan PORT TIME PRODUCTION STATEMENT-VESSEL. Berdasarkan data tersebut maka dilakukan *fitting* distribusi dengan menggunakan Input Analyzer. Hasil *fitting* distribusi untuk QC pada BA Internasional adalah distribusi NORM dengan *square error* sebesar $0.001132 < 0,05$. Sedangkan hasil *fitting* distribusi untuk QC pada BA domestik adalah distribusi NORM dengan *square error* sebesar $0,001132 < 0,05$.

6. ASC rate

ASC merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan *container* dari menuju CY. Data waktu dari pemindahan tersebut tertulis pada laporan ASC/RS/SC OPERATOR PRODUCTION-DISCHARGE. Berdasarkan data tersebut maka dilakukan *fitting* distribusi. Hasil *fitting* distribusi menunjukkan bahwa distribusi NORM dengan *square error* 0.001132 dapat merepresentasikan kondisi *eksisting* pada CY Internasional. Sedangkan distribusi NORM dengan *square error* 0.001132 dapat merepresentasikan kondisi *eksisting* pada CY Domestik.

7. Waktu *setup* kapal ketika selesai proses di dermaga

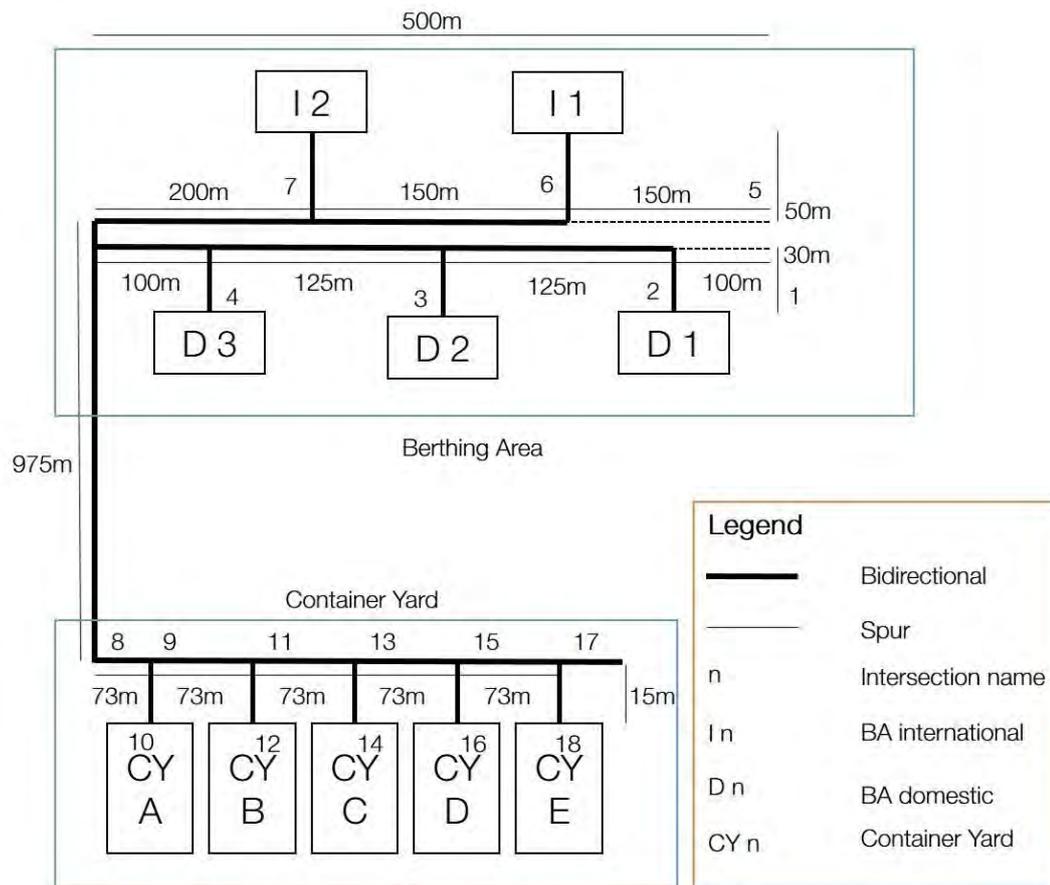
Waktu *setup* kapal ketika selesai melakukan proses bongkar dan muat dimulai ketika *container* muat terakhir berada di atas kapal. Waktu ini meliputi waktu pelepasan QC, waktu untuk memasang *hatch cover*, dan aktivitas-aktivitas lain. Berdasarkan laporan PORT TIME PRODUCTION STATEMENT – VESSEL, maka distribusi yang dapat merepresentasikan waktu *setup* kapal Internasional adalah distribusi TRIA dan kapal Domestik dengan distribusi NORM. *Fitting* distribusi dilakukan pada BA Internasional 1 dan BA Domestik 1. Distribusi pada BA I1 dapat merepresentasikan kondisi pada BA I2. Begitu juga dengan distribusi BA D1 dapat merepresentasikan kondisi pada BA D2 dan BA D3

Tabel 4.1 Rekap Data *Fitting* Distribusi

Keterangan	Distribusi	Satuan
Kedatangan kapal (inter)	1 + EXPO(39.9)	Jam
Kedatangan kapal (dom)	EXPO(20.6)	Jam
<i>Container</i> bongkar (inter)	100 + EXPO(157)	TEUs
<i>Container</i> muat (inter)	50 + EXPO(278)	TEUs
<i>Container</i> bongkar (dom)	2 + EXPO(157)	TEUs
<i>Container</i> muat (dom)	11 + EXPO(176)	TEUs
<i>Setup</i> kapal datang (inter)	NORM(0.935, 0.18)	Jam
<i>Setup</i> kapal datang (dom)	NORM(1.78, 0.0883)	Jam
QC (inter)	NORM(2.48, 0.714)	Menit
QC (dom)	NORM(2.75, 0.544)	Menit
ASC (inter)	NORM(2.33, 0.304)	Menit
ASC (dom)	NORM(2.55, 0.456)	Menit
<i>Setup</i> kapal pergi (inter)	TRIA(3.31, 3.74, 4.28)	Jam
<i>Setup</i> kapal pergi (dom)	NORM(4.46, 0.214)	Jam

Adapun data lain yang digunakan pada penelitian ini diambil berdasarkan laporan pada Terminal Teluk Lamong, namun tidak dapat dipublikasikan. Data tersebut antara lain:

- Rasio jumlah perpindahan *container* dari menuju CY
 - Kapal Internasional:
 - CY A : 0,3296896
 - CY B : 0,3364050
 - CY C : 0,3339054
 - Kapal Domestik:
 - CY D : 0,4997988
 - CY E : 0,5002011
- AGV
 - Kecepatan : 25 km/jam
 - Jumlah AGV aktif : 7 AGV setiap *crane*
 - Aturan penugasan AGV : *Cyclical*
- *Layout* Terminal Teluk Lamong untu mengukur jarak antara BA dan CY.
Berikut ini merupakan *layout* dari Teriminal Teluk Lamong.



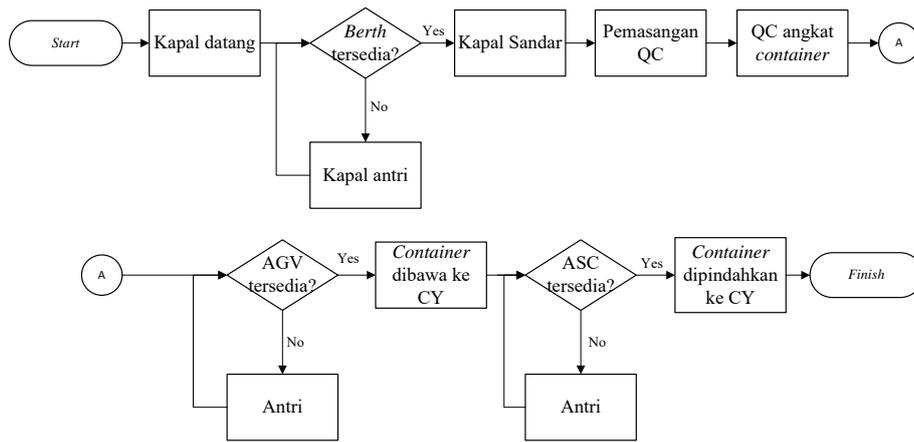
Gambar 4.1 *Layout* Terminal Teluk Lamong

4.1.2 Model Konseptual

Model konseptual digunakan sebagai acuan dalam pembuatan model simulasi. Model konseptual ini mendeskripsikan proses-proses yang terjadi pada keadaan nyata. Model konseptual dibagi menjadi dua diagram yaitu proses bongkar dan proses muat.

a. Proses bongkar

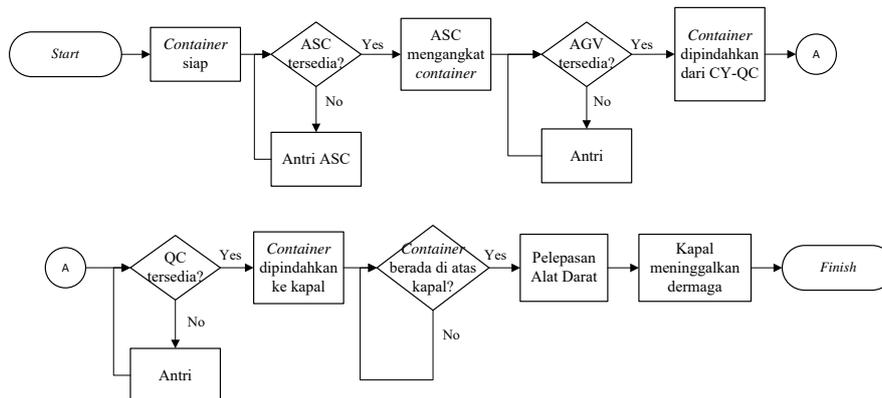
Proses bongkar adalah proses dimana *container* dipindahkan dari kapal menuju CY. Proses pemindahan *container* dari kapal dilakukan dengan menggunakan QC, kemudian *container* dibawa oleh AGV menuju CY yang dituju. Setelah tiba di CY, *container* akan dipindahkan dengan menggunakan ASC menuju block penyimpanan. Berikut ini merupakan diagram proses bongkar pada Terminal Teluk Lamong.



Gambar 4.2 *Logic Flow Diagram* Proses Bongkar

b. Proses muat

Proses muat merupakan proses pemindahan *container* dari CY menuju kapal. Proses muat dimulai ketika *container* muat siap pada CY. Kemudian ASC akan memindahkan *container* menuju AGV. AGV akan bergerak menuju BA tujuan *container* tersebut. Setibanya di BA, *container* akan dipindahkan ke atas kapal dengan menggunakan QC. Kapal akan meninggalkan Terminal Teluk Lamong ketika seluruh *container* telah berada di atas kapal. Berikut ini merupakan diagram proses muat.



Gambar 4.3 *Logic Flow Diagram* Proses Muat

Adapun elemen-elemen sistem yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

a. Entitas

Entitas pada penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu kapal dan *container*. Kapal merupakan input awal, sedangkan *container* merupakan entitas kedua ketika kapal telah memasuki sistem.

b. Aktivitas

Aktivitas –aktivitas berikut ini merupakan aktivitas yang dilakukan untuk memproses entitas:

- *Setup* kapal ketika tiba di BA.
- Pemindahan *container* dari kapal menuju AGV dengan menggunakan QC.
- Pemindahan *container* dari BA menuju CY dengan menggunakan AGV.
- Pemindahan *container* dari AGV menuju CY dengan menggunakan ASC.
- Pemindahan *container* dari CY menuju AGV menggunakan ASC.
- Pemindahan *container* dari CY menuju BA menggunakan AGV.
- Pemindahan *container* dari AGV menuju kapal menggunakan QC.
- *Setup* kapal setelah melakukan proses bongkar dan muat.

c. *Resource*

Resource yang digunakan antara lain:

- *Berthing Area* (BA) sebagai tempat kapal berlabuh.
- *Quay Crane* (QC) sebagai alat untuk memindahkan *container* dari dan menuju kapal.
- ASC sebagai alat untuk memindahkan *container* dari dan menuju CY.
- Automated Guided Vehicle (AGV) sebagai alat transportasi.

d. *Control*

Control yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Aturan FIFO (First In First Out) sebagai aturan dalam antrian yang terjadi pada BA, QC, dan ASC.
- Jam Operasional pada Terminal Teluk Lamong, 24 jam dalam 7 hari.
- Urutan list *container* yang akan dibongkar dari kapal dan posisi CY tujuan dari masing-masing *container* menjadi aturan dalam penugasan AGV.

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

a. Variabel Keputusan

Variabel keputusan merupakan variabel yang berada di bawah control pemegang keputusan dan nilainya ditentukan oleh pemegang keputusan.

Variabel keputusan pada penelitian ini sebagai berikut:

- Waktu antar kedatangan kapal.
- Jumlah *container* bongkar dan muat yang akan dikategorikan berdasarkan *demand*.
- Jumlah AGV
- Kecepatan AGV pada Terminal Teluk Lamong.

b. Variabel Respon

Variabel respon atau variabel hasil merupakan keluaran dari model dan ditentukan oleh variabel keputusan. Variabel respon pada penelitian ini adalah *berthing time* (BT) yaitu waktu yang dibutuhkan kapal untuk melakukan proses bongkar dan muat. Waktu akan mulai dihitung ketika kapal sandar pada BA hingga kapal meninggalkan BA.

c. Variabel *State*

Variabel *state* adalah status sistem pada titik-titik waktu tertentu.

Variabel *state* pada penelitian ini antara lain:

- Jumlah *container* bongkar pada waktu X
- Jumlah *container* muat pada waktu X

Model simulasi ini akan mensimulasikan beberapa skenario untuk menemukan alternatif terbaik dalam permasalahan yang terjadi. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan dalam pembangkitan skenario:

a. Strategi penugasan AGV

Strategi penugasan AGV dibagi menjadi dua yaitu *dedicated* AGV berdasarkan *Berthing Area* (BA) dan *undedicated* AGV. Simulasi dilakukan dengan menggunakan data *eksisting*. Kemudian hasil simulasi akan dibandingkan dengan simulasi kondisi *eksisting*, dimana strategi yang digunakan pada kondisi *eksisting* adalah *dedicated crane*. Strategi penugasan terbaik dipilih berdasarkan *berthing time* minimum.

b. *Numerical Experiments*

Pada *numerical experiments* akan ada dua parameter yang akan disimulasikan. Parameter tersebut antara lain *demand* dan jumlah AGV. Dimana *demand* diartikan sebagai jumlah *container* yang harus dilayani oleh Terminal Teluk Lamong. *Demand* dibagi menjadi tiga kategori (rendah, menengah, tinggi). Sedangkan jumlah AGV akan dibagi menjadi 4 kategori (35, 40, 45, 50). Sehingga pada *numerical experiments* akan dilakukan 12 kombinasi skenario.

4.1.3 Model *Eksisting*

Tahapan yang dilakukan setelah model konseptual adalah pembangunan model simulasi. Penelitian ini menggunakan software ARENA untuk melakukan simulasi. Pembangunan model dibagi menjadi 3 sub proses. Berikut ini penjelasan untuk masing-masing subproses.

1. Proses Bongkar

Proses bongkar merupakan aktivitas pertama yang terjadi ketika kapal berlabuh pada BA. Berikut ini penjelasan untuk masing-masing modul pada proses bongkar.

- a. Modul *create* digunakan sebagai pemicu kedatangan kapal. Baik kapal Domestik maupun Internasional. Kedatangan kapal dengan aturan satu kapal setiap kedatangan.

- b. Modul *assign* digunakan untuk memberikan atribut jumlah *container* bongkar dan muat pada entitas kapal.
- c. Modul *hold* berfungsi menahan kapal agar tidak masuk dalam sistem. Kapal akan dilepaskan dari modul ini ketika terdapat BA yang kosong.
- d. Modul *decide* digunakan sebagai persimpangan bagi kapal yang akan memasuki BA. BA Internasional terdiri dari dua BA (BA I1 dan BA I2), sedangkan BA Domestik terdiri dari tiga BA (BA D1, BA D2, BA D3).
- e. Modul *assign* digunakan untuk memberi status pada BA. Bila kondisi BA terisi maka status pada modul *assign* berubah menjadi 1. Begitu sebaliknya, bila kondisi BA kosong maka status BA berubah menjadi 0.
- f. Modul *proses* digunakan untuk memproses entitas, pada modul ini terjadi proses *setup* pada kapal yang baru berlabuh. *Setup* ini terdiri dari pemasangan QC, membuka pengaman *container*, dan aktivitas lain yang dilakukan sebelum proses bongkar berlangsung.
- g. Modul *separate* digunakan untuk memecah entitas kapal menjadi entitas *container*. *Separate* pertama dilakukan untuk memecah *container* dengan tujuan CY berbeda. Kemudian *separate* kedua digunakan untuk memecah entitas kapal menjadi *container* untuk masing-masing CY.
- h. Modul *assign* berfungsi untuk mengubah entity type dari kapal menjadi *container*.
- i. Modul *hold* digunakan untuk menahan entitas *container* sehingga entitas yang masuk pada proses selanjutnya berjumlah satu.
- j. Modul *proses* merupakan proses pemindahan *container* dari kapal menuju AGV.
- k. Modul *request* digunakan untuk memanggil transporter atau AGV untuk datang ke station tersebut sehingga dapat melakukan pemindahan *container*.

- l. Setelah *container* tiba, modul *release* akan melepas *container* dari QC.
 - m. *Decide* digunakan untuk membaca tujuan dari entitas *container* yang melewati modul tersebut.
 - n. Setelah *container* siap pada AGV, modul *transport* akan membawa *container* tersebut menuju CY tujuan.
2. Proses pada CY

Proses pada CY dimulai ketika *container* tiba pada CY. Berikut penjelasan untuk masing-masing modul pada proses ini.

- a. Modul *free* digunakan untuk melepas *container* dari AGV.
- b. Kemudian *container* akan ditahan oleh modul *hold* hingga proses selanjutnya kosong. Modul ini melepas entitas satu demi satu.
- c. Modul *proses* digunakan untuk melakukan proses berupa pemindahan *container* oleh ASC menuju *block* penyimpanan pada CY.
- d. Modul *batch* digunakan untuk menggabungkan *container-container* yang telah berada pada CY. Untuk modul *batch* ini dibagi berdasarkan asal *container*.
- e. Kemudian entitas yang telah digabung oleh modul *batch* ditahan oleh modul *hold* hingga, seluruh jumlah *container* bongkar pada kapal berada di CY.
- f. Setelah seluruh *container* bongkar berada pada CY maka, modul *separate* akan memecah entitas menjadi *container* muat untuk masing-masing BA.
- g. Modul *hold* digunakan untuk menahan *container* sehingga entitas yang diproses oleh CY berjumlah 1.
- h. Modul *proses* digunakan sebagai proses pemindahan *container* dari CY menuju AGV.
- i. Modul *request* digunakan untuk memanggil AGV.
- j. Setelah AGV berada di station, maka modul *release* bertugas untuk melepas *container* dari ASC.

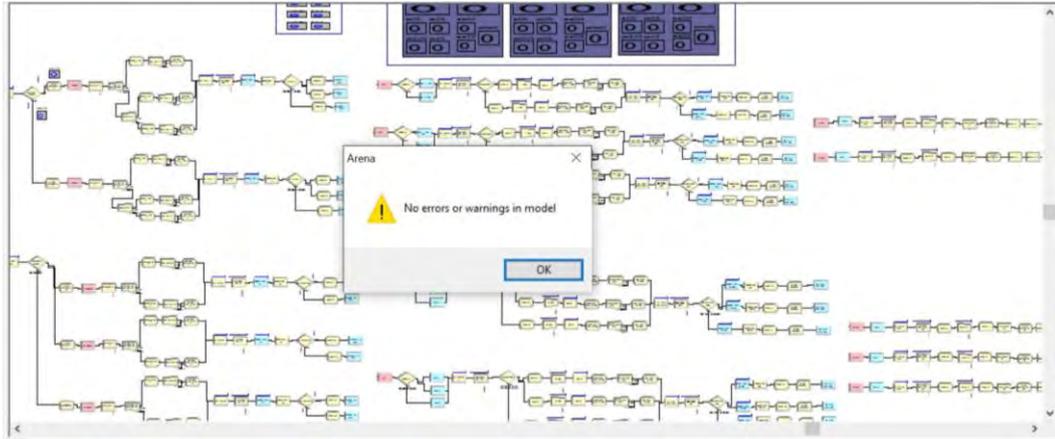
- k. Modul *transport* digunakan untuk mengirim *container* menuju BA tujuan dengan menggunakan AGV.
3. Proses Muat
- Proses muat merupakan proses lanjutan dari proses pada CY. Dimana proses ini akan dimulai dengan masuknya *container* pada BA.
- a. Modul *free* digunakan untuk melepas *container* dari AGV.
 - b. Kemudian *container* masuk ke dalam list antrian. Dimana modul *hold* ini akan melepas entitas ketika QC dalam keadaan kosong.
 - c. Modul proses merupakan proses pemindahan *container* dari AGV menuju kapal.
 - d. Modul *batch* digunakan untuk menggabungkan entitas *container* menjadi satu entitas baru yaitu kapal.
 - e. Modul *assign* digunakan untuk merubah *entity type* menjadi kapal.
 - f. Kemudian modul proses yang terakhir merupakan proses dimana seluruh peralatan yang menempel pada kapal dilepas.
 - g. Modul *assign* digunakan untuk merubah status BA dari 1 menjadi 0.
 - h. Modul *read write* digunakan untuk merekam data *berthing time* setiap kapal serta jumlah kapal yang dilayani.

4.2 Verifikasi dan Validasi

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai verifikasi dan validasi model simulasi yang telah dilakukan.

4.2.1 Verifikasi

Proses verifikasi dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan apakah model simulasi telah sesuai dengan logika pada model konseptual. Verifikasi dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan pengecekan error secara terkomputerisasi yang telah disediakan pada software ARENA, dan dengan pengecekan error secara manual. Berikut ini merupakan hasil pengecekan error dengan menggunakan software ARENA.



Gambar 4. 4 Verifikasi dengan Menggunakan Model *Check* pada ARENA

Pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa tidak terdapat error pada model simulasi. Hal ini merupakan salah satu bukti bahwa model simulasi yang telah dibuat berjalan dengan baik dan dapat diverifikasi. Untuk memastikan model telah benar-benar terverifikasi maka dapat dilakukan pengecekan error secara manual terhadap proses-proses yang terjadi pada model. Berikut ini merupakan verifikasi yang dilakukan secara manual.

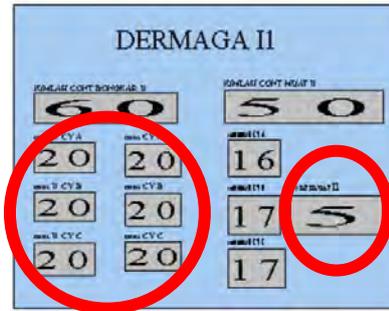
4.2.1.1 Verifikasi *Container* pada BA Internasional

Verifikasi jumlah *container* bongkar dilakukan dengan meninjau apakah jumlah *container* bongkar pada kapal sesuai dengan jumlah *container* bongkar pada CY. Berikut ini merupakan verifikasi pada BA Internasional.



Gambar 4. 5 Verifikasi Model Simulasi pada BA Internasional

Pada kondisi tersebut jumlah *container* yang berada pada CY berjumlah 14 *container*. Dan jumlah *container* muat yang berada di atas kapal 0 *container*. Proses muat pada kapal dapat dilakukan setelah seluruh *container* berada di CY.



Gambar 4. 6 Verifikasi Model Simulasi pada BA Internasional Lanjutan

Sedangkan pada kondisi ini, seluruh *container* bongkar telah berada pada CY masing-masing. Pada proses ini, *container* muat telah diperbolehkan untuk memasuki kapal. Terlihat bahwa 5 *container* muat telah berada di atas kapal.



Gambar 4. 7 Verifikasi Model Simulasi pada BA Internasional Lanjutan

Setelah seluruh *container* muat berada di atas kapal, maka kapal akan melanjutkan pada proses selanjutnya, yaitu *setup* kapal untuk meninggalkan BA. Pada gambar terlihat bahwa seluruh *container* muat sudah berada di atas kapal, maka kapal dapat meninggalkan BA. Berdasarkan proses tersebut maka model telah dapat diverifikasi.

4.2.1.2 Verifikasi *Container* pada BA Internasional

Sama dengan verifikasi pada BA Internasional, verifikasi jumlah *container* pada BA Domestik dilakukan untuk melihat apakah seluruh *container* bongkar telah berada pada CY dan *container* muat telah berada di atas kapal sebelum kapal meninggalkan Terminal Teluk Lamong.



Gambar 4. 8 Verifikasi Model Simulasi pada BA Domestik

Pada gambar tersebut terlihat bahwa, seluruh *container* bongkar masih berada di atas kapal dan seluruh cotainer muat masih berada oada CY masing-masing.



Gambar 4. 9 Verifikasi Model Simulasi pada BA Domestik Lanjutan

Sedangkan pada gambar diatas terlihat bahwa seluruh *container* bongkar telah berada pada masing-masing CY dan proses muat telah dimulai. Pada waktu ini 3 *container* muat telah berada di atas kapal.



Gambar 4. 10 Verifikasi Model Simulasi pada BA Domestik Lanjutan

Dan pada titik ini seluruh *container* telah berada pada posisi masing-masing. Untuk *container* bongkar telah berada pada CY, dan *container* muat

telah berada pada kapal. Sehingga kapal dapat melanjutkan proses berikutnya. Berdasarkan proses tersebut maka model telah dapat diverifikasi.

4.2.2 Validasi

Validasi model simulasi dilakukan dengan membandingkan data jumlah kapal yang diproses pada sistem nyata, dan jumlah kapal yang diproses pada sistem simulasi. Uji statistik dengan metode t-test digunakan untuk menguji validitas dari model simulasi.

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1$$

$$H_1 : \mu_0 \neq \mu_1$$

Berikut ini merupakan hasil t-test dengan menggunakan software Microsoft Excel.

Tabel 4.2 Hasil Validasi dengan Menggunakan Metode t-Test

	<i>Simulasi</i>	<i>Real</i>
Mean	96,73333	89,5
Variance	53,44368	193
Observations	30	4
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	1,022626	
P(T<=t) one-tail	0,190876	
t Critical one-tail	2,353363	
P(T<=t) two-tail	0,381752	
t Critical two-tail	3,182446	

Berdasarkan analisis data di atas maka diketahui bahwa nilai t Stat 1,022626 berada pada interval nilai minus dan nilai positif t Critical two-tail (-3,182446 < t Stat < 3,82446). Sehingga dapat disimpulkan bahwa, hipotesa null diterima dengan interpretasi tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara output simulasi dengan *real system*. Model simulasi valid secara statistik.

4.3 Penentuan Jumlah Replikasi

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai perhitungan minimum replikasi. Penulis melakukan simulasi awal dengan jumlah replikasi sebesar 30 replikasi. Kemudian penulis melakukan perhitungan *half width* dengan rumus sebagai berikut.

$$Hw = \frac{[t_{n-1, \alpha/2}]s}{\sqrt{n}} \quad (4.1)$$

dimana,

Hw = *half width*

n = jumlah replikasi awal

s = standard deviasi

sehingga,

$$Hw = \frac{[t_{30-1, 0,05/2}]s}{\sqrt{n}}$$
$$Hw = \frac{[2,04523]0,762808}{\sqrt{30}}$$
$$Hw = 0,284837$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah replikasi minimum (n') dengan rumus sebagai berikut.

$$n' = (Z \times s / hw)^2 \quad (4.2)$$

$$n' = (1,64 \times 0,762808 / 0,284837)^2$$

$$n' = 19,2897 = 20$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka didapatkan jumlah replikasi minimum sebesar 19,2897. Sehingga *running* model simulasi dilakukan sebanyak 20 replikasi untuk simulasi kondisi *eksisting* maupun simulasi skenario percobaan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

NUMERICAL EXPERIMENTS DAN ANALISIS

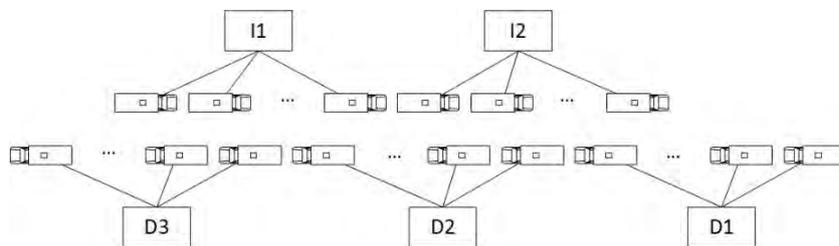
Bab ini terdiri dari pengembangan skenario, skenario percobaan, serta analisa-analisa terkait hasil output dari setiap skenario.

5.1 Pengembangan Skenario dan Analisis

Pengembangan skenario dilakukan berdasarkan skema penugasan AGV. Skenario ini bertujuan untuk mendapatkan skenario terbaik, dimana parameter pengukurannya berdasarkan rata-rata *berthing time* minimum. Berikut ini merupakan definisi dari masing-masing skenario.

- *Dedicated* AGV berdasarkan *Crane*

Strategi penugasan *Dedicated Crane* merupakan strategi *eksisting* yang digunakan oleh Terminal Teluk Lamong. Untuk setiap *crane* ditugaskan 7 unit AGV. Dengan menggunakan strategi ini, *berthing time* akan menjadi panjang. Hal ini dikarenakan AGV available dari *crane* lain tidak dapat mengambil *job* pada *crane* lain. Sebagai contoh, bila terdapat kapal sandar pada BA I1 sedangkan pada BA I2 tidak terdapat kapal sandar. Maka AGV I2 tidak dapat mengambil *job* pada BA I1. Berikut ini merupakan ilustrasi dari strategi penugasan AGV *dedicated crane*.

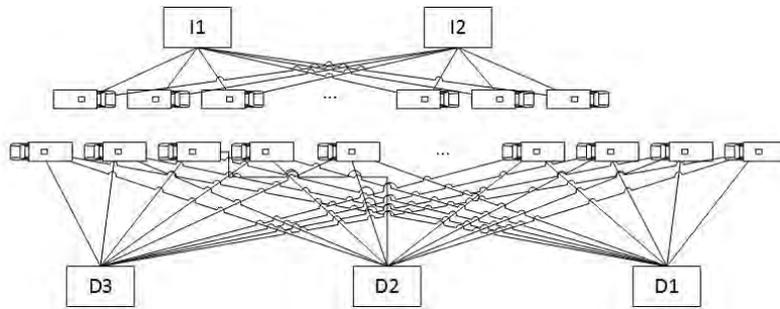


Gambar 5.1 Ilustrasi Skenario Penugasan AGV - *Dedicated Crane*

- *Dedicated* AGV berdasarkan *Berthing Area* (BA)

Strategi penugasan *Dedicated BA* merupakan strategi penugasan yang membagi AGV menurut *berthing area*. Pada Terminal Teluk Lamong, *berthing area* dibagi menjadi dua, yaitu BA Internasional dan BA domestik. Penugasan AGV akan dibatasi menurut BA. Secara logika, strategi ini

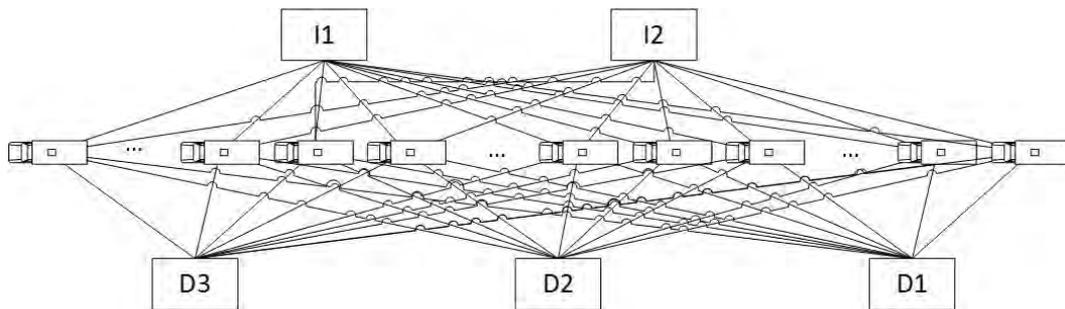
memungkinkan AGV melakukan proses bongkar dan muat secara bersamaan. Sebagai contoh, bila BA I1 dan BA I2 sedang terisi kapal. BA I1 sedang melakukan proses bongkar dan BA I2 sedang melakukan proses muat. Pada kasus ini AGV dapat memindahkan *container* bongkar pada BA I1 dan kembali dengan membawa *container* muat BA I2. Berikut ini ilustrasi strategi penugasan AGV berdasarkan *berthing area*.



Gambar 5.2 Ilustrasi Skenario Penugasan AGV - *Dedicated BA*

- *Undedicated AGV*

Strategi penugasan AGV *undedicated* memperbolehkan AGV melakukan *job* pada seluruh *crane*. Secara logika strategi ini akan memiliki minimum *berthing time*. Selain itu strategi akan memaksimalkan utilisasi AGV. Berikut ini merupakan ilustrasi strategi penugasan AGV *undedicated*.



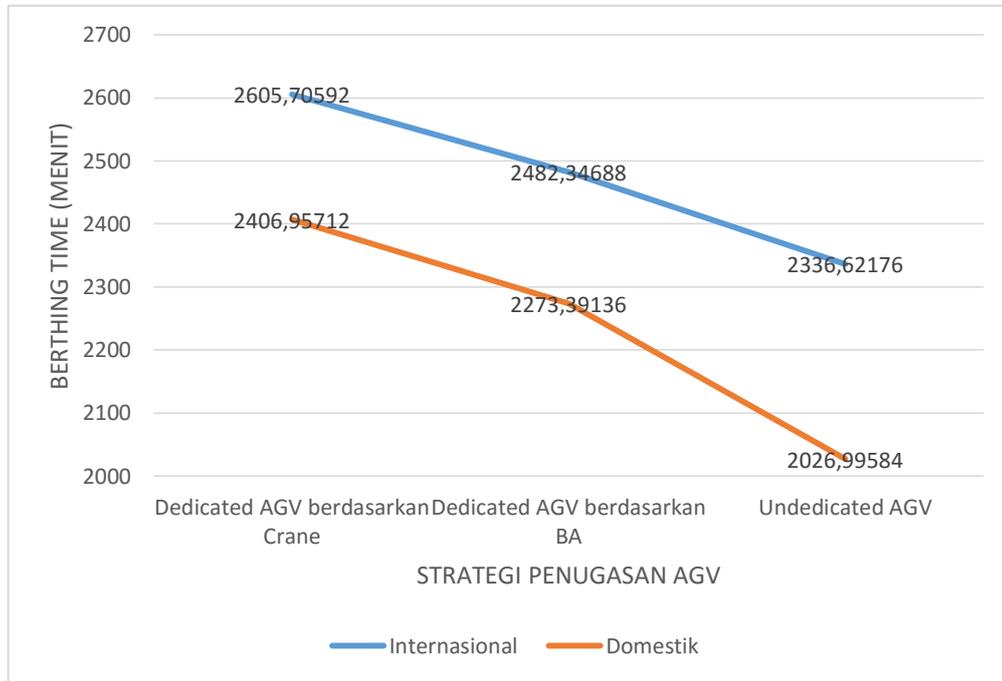
Gambar 5.3 Ilustrasi Skenario Penugasan AGV – *Undedicated*

Simulasi akan dilakukan untuk membandingkan skenario strategi penugasan AGV dengan kondisi *eksisting*. Dimana strategi *dedicated* AGV berdasarkan *crane* merupakan kondisi *eksisting* pada Terminal Teluk Lamong.

5.1.1 Analisis Skenario Penugasan *Dedicated* AGV Berdasarkan BA

Running akan dilakukan dengan lama waktu *warm up* selama 30 hari, lama waktu replikasi sebesar 90 hari dengan jumlah replikasi sebanyak 20

replikasi. Setelah melakukan *running* untuk masing-masing skenario, maka dilakukan uji hipotesa untuk melihat apakah terjadi perbedaan yang signifikan antara skenario penugasan perbaikan dengan skenario penugasan *eksisting*. Berikut ini merupakan grafik perbandingan skenario penugasan AGV terhadap rata-rata *berthing time* kapal.



Gambar 5.4 Perbandingan *Berthing Time* antar Strategi Penugasan AGV

Berdasarkan gambar 5.4, strategi penugasan *dedicated* AGV berdasarkan *berthing area* (BA) memiliki waktu *berthing time* yang lebih kecil bila dibandingkan dengan kondisi *eksisting*. Dimana kondisi *eksisting* yang digunakan Terminal Teluk Lamong adalah strategi penugasan *dedicated* AGV berdasarkan *crane*. Besar penghematan yang terjadi untuk kapal Internasional adalah 123 menit/kapal (4,73%) dan untuk kapal Domestik sebesar 134 menit/kapal (5,54%). Strategi penugasan *dedicated* AGV berdasarkan BA memperbolehkan AGV untuk melayani job dari *berthing area* yang sama. Sehingga memungkinkan AGV untuk melayani proses bongkar pada BA I1 dan melayani proses muat pada BA I2 ataupun sebaliknya, hal inilah yang membuat *berthing time* dari strategi ini memiliki nilai yang lebih kecil bila dibandingkan dengan strategi penugasan *dedicated* AGV berdasarkan *crane*. Selain menurunnya *berthing time* kapal, dampak lain yang terjadi atas perubahan

strategi ini adalah meningkatnya jumlah kapal yang dilayani. Dimana pada kondisi *eksisting* jumlah kapal yang dilayani sebesar 102,59 kapal dan pada skenario *dedicated* AGV berdasarkan BA jumlah kapal yang dilayani menjadi 103,93. Sedangkan untuk jumlah *container* yang dilayani mengalami peningkatan sebesar 2,41%. Dari hasil simulasi tersebut, terlihat bahwa perbedaan performansi yang terjadi sangat kecil sehingga dibutuhkan uji hipotesa untuk melihat apakah skenario ini memiliki perbedaan yang signifikan terhadap kondisi eksisting. Berikut ini data yang digunakan untuk melakukan uji hipotesa.

Tabel 5.1 Data *Berthing Time* Skenario Penugasan *Dedicated* AGV Berdasarkan *Crane* dan Skenario Penugasan *Dedicated* AGV Berdasarkan BA

Rep	<i>Dedicated</i> AGV berdasarkan Crane (hari)	<i>Dedicated</i> AGV berdasarkan to BA (hari)	Selisih (hari)
1	1,982	1,978	0,004
2	1,846	1,849	-0,003
3	1,582	1,393	0,189
4	1,698	1,557	0,140
5	1,757	1,630	0,127
6	1,749	1,589	0,160
7	1,943	1,530	0,413
8	1,835	1,760	0,075
9	1,898	1,844	0,055
10	1,649	1,589	0,059
11	1,492	1,932	-0,440
12	1,980	1,465	0,515
13	2,034	1,680	0,353
14	1,801	1,894	-0,092
15	1,589	1,959	-0,370
16	1,796	1,435	0,361
17	1,926	1,818	0,108
18	1,672	1,983	-0,312
19	1,967	1,958	0,009
20	1,991	1,617	0,374
Rataan	1,809	1,723	0,086
Std. Dev	0,158	0,197	0,255
Var	0,025	0,039	0,065

Dengan hipotesis sebagai berikut,

H_0 : $\mu_1 = \mu_2$ (tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara skenario dengan kondisi *eksisting*).

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$ (terjadi perbedaan yang signifikan antara skenario dengan kondisi *eksisting*).

Kemudian penulis melakukan perhitungan H_w dengan menggunakan rumus berikut:

$$H_w = \frac{[t_{n-1, \alpha/2}]s}{\sqrt{n}}$$
$$H_w = \frac{2,085963 \times 0,255}{\sqrt{20}}$$
$$H_w = 0,119$$

Maka *confidence interval* pada data tersebut menjadi:

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - H_w \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + H_w$$
$$0,086 - 0,119 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 0,086 + 0,119$$
$$-0,033 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 0,205$$

Dikarenakan nilai 0 (nol) berada di dalam interval $\mu_1 - \mu_2$ maka dapat ditarik kesimpulan bahwa $\mu_1 - \mu_2 = 0$ dan H_0 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa dengan tingkat kepercayaan 95%, tidak terdapat perbedaan signifikan antara skenario strategi penugasan *dedicated* AGV berdasarkan BA dengan strategi penugasan *dedicated* AGV berdasarkan *crane*. Uji hipotesa yang dilakukan menunjukkan bahwa bila strategi penugasan AGV berdasarkan BA diterapkan pada Terminal Teluk Lamong maka *berthing time* strategi ini tidak akan berbeda jauh dari *berthing time* rata-rata saat ini..

5.1.2 Analisis Skenario Penugasan *Undedicated* AGV

Hasil simulasi skenario penugasan *undedicated* AGV pada gambar 5.1 menunjukkan bahwa strategi ini memiliki nilai rata-rata *berthing time* minimum bila dibandingkan dengan skenario penugasan *dedicated* AGV berdasarkan *crane* dan skenario penugasan AGV berdasarkan BA. Strategi penugasan *undedicated* AGV memiliki waktu rata-rata *berthing time* kapal Internasional sebesar 2336,32 menit/kapal dan waktu rata-rata *berthing time* kapal Domestik

sebesar 2026,99 menit/kapal. Bila dibandingkan dengan skenario penugasan *dedicated* AGV berdasarkan *crane* maka penghematan yang terjadi sebesar 270 menit/kapal (10,32%) untuk kapal Internasional dan 380 menit/kapal (15,78%) untuk kapal Domestik. Strategi penugasan *undedicated* AGV memperbolehkan AGV untuk melayani job dari seluruh *berthing area* tanpa dibatasi oleh aturan tertentu. Sehingga memungkinkan AGV untuk melayani proses bongkar dan melayani proses muat pada saat yang bersamaan. Hal inilah yang membuat *berthing time* dari strategi ini memiliki nilai yang lebih kecil bila dibandingkan dengan strategi penugasan *dedicated* AGV berdasarkan *crane*. Sedangkan jumlah kapal yang dilayani pada strategi penugasan *undedicated* AGV berjumlah 104,28 dan peningkatan jumlah *container* yang dilayani sebesar 2,49%. Sama halnya dengan strategi penugasan *dedicated* AGV berdasarkan BA, maka uji hipotesa juga dilakukan untuk melihat apakah terjadi perbedaan yang signifikan antara strategi penugasan AGV berdasarkan *crane* dengan strategi penugasan *undedicated* AGV. Berikut tabel data uji hipotesa antara strategi *undedicated* AGV dengan strategi penugasan *dedicated* AGV berdasarkan *crane*.

Tabel 5.2 Data *Berthing Time* Skenario Penugasan *Dedicated* AGV Berdasarkan *Crane* dan Skenario Penugasan *Undedicated* AGV

Rep	<i>Dedicated</i> AGV berdasarkan Crane (hari)	<i>Undedicated</i> AGV (hari)	Selisih (hari)
1	1,982	1,654	0,328
2	1,846	1,536	0,310
3	1,582	1,546	0,036
4	1,698	1,479	0,219
5	1,757	1,855	-0,098
6	1,749	1,748	0,001
7	1,943	1,748	0,195
8	1,835	1,777	0,058
9	1,898	1,660	0,238
10	1,649	1,746	-0,098
11	1,492	1,456	0,036
12	1,980	1,388	0,592
13	2,034	1,445	0,589
14	1,801	1,579	0,223
15	1,589	1,851	-0,262

Rep	<i>Dedicated</i> AGV berdasarkan Crane (hari)	<i>Undedicated</i> AGV (hari)	Selisih (hari)
16	1,796	1,711	0,085
17	1,926	1,563	0,363
18	1,672	1,472	0,200
19	1,967	1,534	0,433
20	1,991	1,678	0,313
Rataan	1,809	1,621	0,188
Std. Dev	0,158	0,140	0,223
Var	0,025	0,020	0,050

Dengan hipotesis sebagai berikut,

H_0 : $\mu_1 = \mu_2$ (tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara skenario dengan kondisi *eksisting*).

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$ (terjadi perbedaan yang signifikan antara skenario dengan kondisi *eksisting*).

Kemudian penulis melakukan perhitungan H_w dengan menggunakan rumus berikut:

$$H_w = \frac{[t_{n-1, \alpha/2}]s}{\sqrt{n}}$$

$$H_w = \frac{2,085963 \times 0,222912}{\sqrt{20}}$$

$$H_w = 0,10397$$

Maka confidence interval pada data tersebut menjadi:

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - H_w \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + H_w$$

$$0,188 - 0,103 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 0,188 + 0,103$$

$$0,084 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 0,292$$

Dikarenakan nilai 0 (nol) berada di luar interval $\mu_1 - \mu_2$ maka dapat ditarik kesimpulan bahwa $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ dan H_0 ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa dengan tingkat kepercayaan 95% terdapat perbedaan signifikan antara skenario strategi penugasan *undedicated* AGV dengan strategi penugasan *dedicated* AGV berdasarkan *crane*. Oleh karena itu strategi penugasan *undedicated* AGV merupakan strategi yang terbaik berdasarkan waktu rata-rata

berthing time minimum dan strategi ini memiliki perbedaan yang signifikan terhadap strategi penugasan *dedicated* AGV berdasarkan *crane*.

5.2 Numerical Experiments

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai skenario percobaan yang dilakukan penulis. Skenario percobaan dilakukan dengan merubah jumlah *demand* dari Terminal Teluk Lamong. Jumlah *demand* disesuaikan dengan *strategic planning* yang telah ditetapkan oleh Terminal Teluk Lamong.

Tabel 5.3 *Strategic Planning* Terminal Teluk Lamong

	Fase 1 (2014)	Fase 2 (2014-2016)	Fase 3 (2016-2023)	Fase 4 (2023-2030)
Kapasitas <i>Container</i> (Teus)	0.78 juta	1.56 juta	3.11 juta	4.59 juta
International <i>Berthing</i>	500 x 50	500 x 50	1080 x 50	1080 x 50
Domestic <i>Berthing</i>	450 x 30	450 x 30	1030 x 30	2390 x 30
Reclaimed Land	39	20 + 277	117 + 245	140 + 246
Quay Crane	5	10	20	28
Automated Stacking Crane	10	20	44	54

(Sumber : PT Terminal Teluk Lamong, 2015)

Berdasarkan tabel *strategic planning* dari Terminal Teluk Lamong, maka penulis menetapkan kapasitas *container* sebagai acuan dalam menentukan *demand* dalam *numerical experiments* yang akan dilakukan. Walaupun pada tahun 2014 kapasitas *container* ditargetkan mampu menampung hingga 780.000 TEUs, namun pada periode Desember 2015 – Februari 2016 jumlah *container* yang diproses oleh Terminal Teluk Lamong hanya mencapai 44.000 TEUs. Dari data tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa Terminal Teluk Lamong tiap tahunnya hanya melayani 176.000 TEUs. Karena target fase 1 dari *strategic planning* Terminal Teluk Lamong belum terpenuhi, maka penulis memutuskan untuk menggunakan *demand* diantara kondisi *eksisting* dan target pada fase 1 sebagai *input* dalam *numerical experiments*. Berikut ini merupakan perhitungan *demand input* pada *numerical experiments*.

Tabel 5.4 Skema Penentuan *Demand*

<i>Demand</i>/tahun (TEUs)		175.296	400.000	780.000
Rata-rata <i>Demand</i>/3bulan (TEUs)		43824	100000	195000
Rata-rata jumlah <i>demand</i>/3 bulan (TEUs)	D	22960	50000	97500
	I	20864	50000	97500
Jumlah Kapal/3bulan (unit)	D	68	148	289
	I	34	82	159
Rata-rata jumlah <i>container</i>/kapal (TEUs)	D	338	338	338
	I	614	614	614
Waktu antar kedatangan (jam)	D	31,7647059	14,5945946	7,47404844
	I	63,5294118	26,3414634	13,5849057

Pada tabel 5.2, jumlah *demand* yang digunakan dalam *numerical experiments* adalah 175.296 TEUs, 400.000 TEUs, dan 780.000 TEUs. *Demand* 175.296 merepresentasikan kondisi *demand* saat ini dan dikategorikan sebagai *demand* tingkat rendah. Sedangkan *demand* 400.000 dikategorikan *demand* tingkat menengah, dan *demand* 780.000 dikategorikan sebagai *demand* tingkat tinggi. Pada kondisi *eksisting*, jumlah kapal internasional yang sandar sebanyak 34 kapal dan jumlah kapal domestik sebanyak 68 kapal. Dengan rata-rata *demand* sebesar 22960 TEUs untuk kapal domestik dan 20864 TEUs untuk kapal internasional, maka rata-rata *demand* dibagi dengan jumlah kapal akan menghasilkan jumlah *container* per kapal. Hasil perhitungan tersebut sebesar 338 *contaiiner* untuk kapal domestik dan 614 untuk kapal internasional. Sedangkan untuk waktu antar kedatangan didapatkan dari 90 hari x 24 jam = 2160 jam. 2160 jam dalam 3 bulan dibagi dengan jumlah kapal yang datang, maka waktu antar kedatangan kapal domestik sebesar 31,7647059 jam dan 63,5294118 jam untuk kapal internasional.

Asumsi yang digunakan pada perhitungan *demand* tingkat sedang dan tinggi adalah rata-rata jumlah *container* per kapal sama dengan *demand* tingkat rendah. Sehingga frekuensi kedatangan kapal meningkat berdasarkan jumlah *demand*nya. Untuk *demand* 400.000 TEUs, jumlah kedatangan kapal domestik dalam 3 bulan mencapai 148 kapal dan 82 kapal untuk internasional. Dengan begitu, waktu antar kedatangan menjadi 14,5945946 jam untuk kapal domestik dan 26,3414634 jam untuk kapal internasional. Begitu pula dengan jumlah *demand* 780.000, jumlah kapal domestik dalam 3 bulan mencapai 289 kapal dan

159 kapal internasional. Waktu antar kedatangan kapal domestik sebesar 7,4740844 jam dan 13,5849057 jam kapal internasional.

5.2.1 Analisis Jumlah AGV dan Total Biaya pada *Demand Rendah*

Percobaan dilakukan dengan *demand* sebesar 175.296 TEUs/tahun, dimana *demand* ini merupakan kondisi *eksisting* yang terjadi pada Terminal Teluk Lamong saat ini. Dengan jumlah kedatangan kapal sebesar 68 kapal domestik dan 34 kapal internasional, maka penulis melakukan perhitungan waktu antar kedatangan dengan cara membagi jumlah jam dalam tiga bulan dengan jumlah kapal. Sehingga waktu antar kedatangan kapal menjadi konstan. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk melihat *berthing time* minimum untuk setiap jumlah AGV pada tingkat *demand* tertentu. Jumlah AGV sendiri dibagi menjadi empat, yaitu 35 AGV sebagai kondisi *eksisting*, 40 AGV, 45 AGV, dan 50 AGV sebagai batas maksimum AGV. Penambahan jumlah AGV sebanyak lima AGV didasari oleh jumlah BA dari Terminal Teluk Lamong. Dengan melakukan *running* pada ARENA serta mengatur waktu antar kedatangan kapal dan jumlah *container*/kapal menjadi konstan, maka berikut ini merupakan rata-rata *berthing time* untuk kapal Internasional.

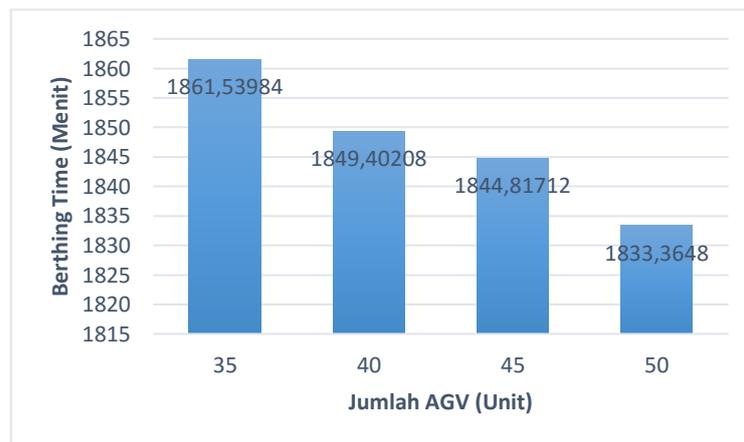


Gambar 5.5 Perbandingan antara *Berthing Time* Kapal Internasional dan Jumlah AGV – *Demand Rendah*

Berdasarkan gambar 5.2, *berthing time* dari 35 AGV, 40 AGV, 45 AGV, dan 50 AGV sudah memenuhi standard dari Terminal Teluk Lamong. Dimana standard untuk *berthing time* kapal Internasional berdasarkan kondisi nyata pada Terminal Teluk Lamong adalah 2581,41 menit atau 1,79 hari. Nilai minimum

berthing time berada pada jumlah AGV 50 unit, dengan lama *berthing time* 2506,284 menit. Semakin banyak jumlah AGV aktif maka semakin cepat pelayanan yang dapat dilakukan untuk masing-masing kapal. Adapun jumlah penghematan yang diakibatkan oleh 40 AGV sebesar 5,3928 menit/kapal (0,21%), 45 AGV sebesar 9,92592 menit/kapal (0,39%), dan 50 AGV sebesar 15,71 menit/kapal (0,62%).

Berdasarkan hasil simulasi terhadap kondisi *demand* eksisting dan dengan mengatur jadwal kedatangan kapal menjadi konstan, maka dapat disimpulkan bahwa dengan jumlah *demand* 175.296 TEUs/tahun jumlah BA aktif yang digunakan hanya 3 BA dari 5 BA yang tersedia. Dengan begitu minimum *berthing time* dengan 35 AGV dimana kapal datang dengan waktu kedatangan konstan akan lebih minimum bila dibandingkan dengan 35 AGV pada kondisi eksisting. Penghematan yang terjadi antara kondisi eksisting dengan kondisi kapal yang terjadwal adalah 59,40 menit. Secara logika kedatangan kapal sangat sulit untuk dijadwalkan dikarenakan tingkat ketidakpastian yang sangat tinggi. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi kedatangan kapal antara lain cuaca, tinggi rendahnya volume air, dan lain-lain. Hal ini juga terjadi pada kapal domestik, dibuktikan dengan gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.6 Perbandingan Rata-Rata *Berthing Time* Kapal Domestik dengan Jumlah AGV Aktif– *Demand* Rendah

Berthing time standard pada Terminal Teluk Lamong sebesar 2394,69 menit atau 1,66 hari. Berdasarkan ukuran standard *berthing time* kapal domestik tersebut maka dengan jumlah AGV 35 unit sudah dapat memenuhi minimum *berthing time*. Namun dengan jumlah AGV sebanyak 50 unit, maka

penghematan *berthing time* akan menjadi lebih besar. Secara logika, dengan penghematan yang besar maka Terminal Teluk Lamong dapat melayani kapal dengan jumlah yang lebih besar pula. Penghematan yang terjadi untuk jumlah AGV 40 unit sebesar 12,13 menit/kapal (0,65%), 45 AGV sebesar 16,72 menit/kapal (0,89%), dan 50 AGV sebesar 28,175 menit/kapal (1,51%). Menurunnya *berthing time* kapal sangat dipengaruhi oleh jumlah AGV yang digunakan. Semakin banyak jumlah AGV yang digunakan maka akan semakin cepat *job* pada masing-masing crane terpenuhi. Sehingga akan berdampak pada cepatnya perpindahan *container* pada internal terminal *container* dan meminimasi *delay* yang terjadi pada QC *area* yang disebabkan oleh proses menunggu AGV. Namun penggunaan AGV dalam jumlah besar akan mengakibatkan kemacetan dan juga meningkatkan biaya operasional dari Terminal Teluk Lamong. Sehingga Terminal Teluk Lamong harus memperhatikan hal-hal tersebut dalam pengambilan keputusan.

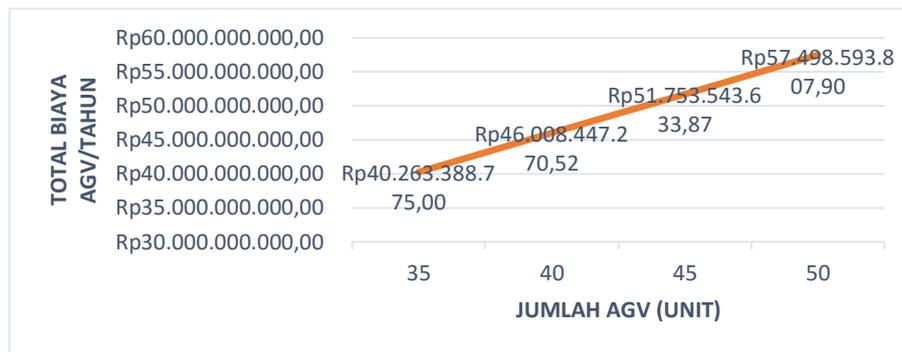
Kenaikan biaya yang diakibatkan oleh penambahan jumlah AGV aktif dapat dihitung dengan menjumlah biaya investasi AGV dengan biaya konsumsi bahan bakar AGV. Dengan asumsi penggunaan 1 liter bahan bakar untuk 12,7 km, dan harga bahan bakar compressed natural gas (cng) sebesar Rp 3.200/lsp. Maka berikut ini merupakan rumus perhitungan *variable cost* untuk penggunaan AGV.

$$\text{Variable cost} = \frac{\text{total jarak tempuh (km)}}{12,7 \text{ km}} \times \text{harga bahan bakar} \times \text{jumlah AGV}$$

Sedangkan *fixed cost* AGV terdiri dari biaya depresiasi AGV, biaya *maintenance*, biaya asuransi, dan juga pajak dari masing-masing AGV. Menurut (Ioannou & Jula, 2001), biaya investasi yang harus dikeluarkan untuk 1 AGV sebesar \$75.000 dengan umur pakai selama 15 tahun. Sedangkan untuk biaya *maintenance* sebesar 10%/tahun dari biaya investasi, biaya asuransi 1%/tahun, dan pajak 10%/tahun, dan asumsi nilai tukar dollar sebesar Rp 12.000. Rumus yang digunakan dalam perhitungan *fixed cost* sebagai berikut.

$$\text{Fixed cost} = \frac{\text{biaya investasi}}{\text{umur pakai}} + \text{biaya maitenance} + \text{biaya asuransi} + \text{pajak}$$

Dan total biaya AGV dihitung dengan menjumlahkan *variable cost* dan *fixed cost* maka berikut ini merupakan total biaya per tahun yang harus dikeluarkan pihak Terminal Teluk Lamong untuk masing-masing jumlah AGV aktif.

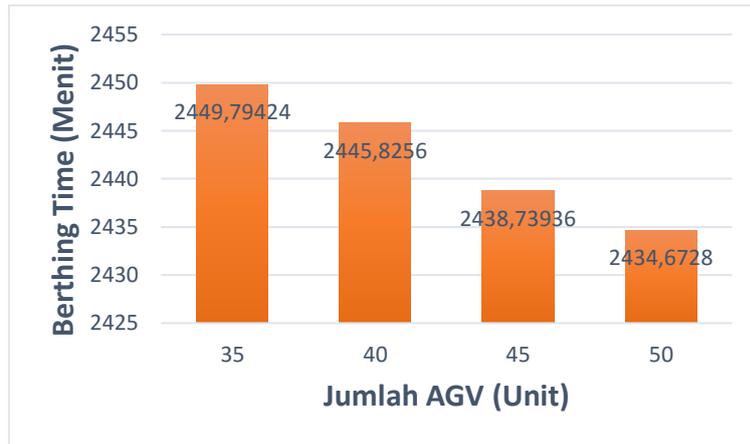


Gambar 5.7 Total Biaya AGV per Tahun – *Demand Rendah*

Gambar 5.7 menggambarkan peningkatan biaya yang diakibatkan oleh penambahan jumlah AGV. Untuk penggunaan 35 AGV aktif, maka Terminal Teluk Lamong harus membayar biaya sebesar Rp 40.263.388.775/tahun. Peningkatan biaya sebesar 14,27% menjadi Rp 46.008.447.270,52/tahun terjadi dengan penggunaan 40 AGV aktif, 28,54% menjadi Rp 51.753.543.633,87/tahun untuk penggunaan 45 AGV aktif, dan 42,81% menjadi Rp 57.498.593.807,90/tahun untuk penggunaan 50 AGV aktif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah AGV yang digunakan oleh Terminal Teluk Lamong maka semakin besar biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan setiap tahunnya.

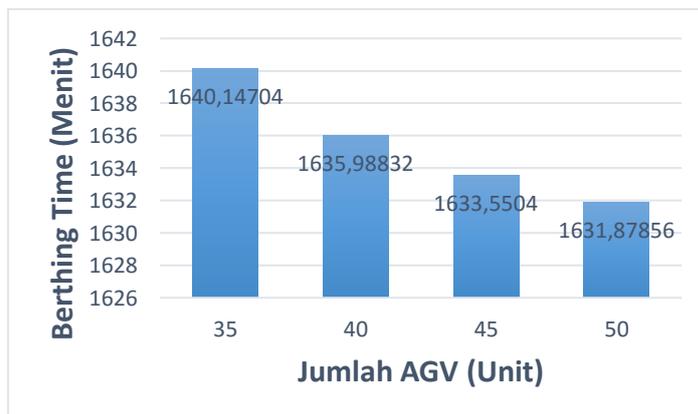
5.2.2 Analisis Jumlah AGV dan Total Biaya pada *Demand Menengah*

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *demand* 400.000 TEUs. Berikut ini merupakan *berthing time* kapal internasional untuk *demand* menengah.



Gambar 5.8 Perbandingan *Berthing Time* Kapal Internasional Terhadap Jumlah AGV Aktif - *Demand* Menengah

Dengan jumlah *demand* menengah, maka jumlah penghematan akan dibandingkan antara 40 AGV, 45 AGV, dan 50 AGV terhadap jumlah AGV 35 unit. Penghematan yang terjadi untuk jumlah AGV 40 unit adalah 3,96 menit/kapal (0,16%), sedangkan untuk 45 AGV penghematan yang terjadi sebesar 11,05 menit/kapal (0,45%), dan untuk 50 AGV penghematan yang terjadi sebesar 15,12 menit/kapal (0,61%). Sama halnya dengan *berthing time* kapal Internasional, berikut ini merupakan grafik *berthing time* kapal Domestik dengan *demand* menengah.

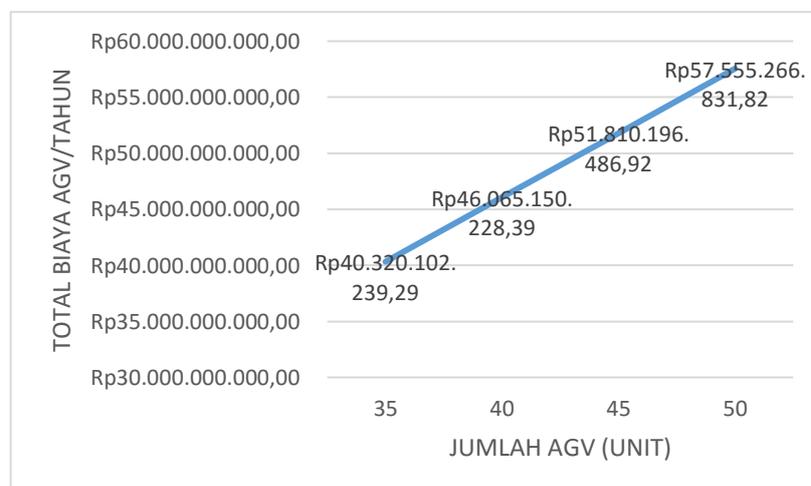


Gambar 5.9 Perbandingan *Berthing Time* Kapal Domestik Terhadap Jumlah AGV Aktif – *Demand* Menengah

Pada *demand* menengah, seluruh *berthing time* berada di bawah standard dari Terminal Teluk Lamong. Penghematan kapal domestik dibandingkan antara jumlah AGV 40 unit, 45 unit, dan 50 unit terhadap 35 unit AGV. Penghematan terbesar terjadi pada jumlah AGV 50 unit, dimana jumlah penghematan yang

terjadi sebesar 8,26 menit/kapal (0,50%). Kemudian penghematan terbesar kedua pada AGV 45 unit dengan jumlah penghematan 6,59 menit/kapal (0,40%). Dan penghematan yang terjadi pada jumlah AGV 40 unit sebesar 4,16 menit/kapal (0,25%). Menurunnya *berthing time* kapal sangat dipengaruhi oleh jumlah AGV yang digunakan. Semakin banyak jumlah AGV yang digunakan maka akan semakin cepat *job* pada masing-masing crane terpenuhi. Sehingga akan berdampak pada cepatnya perpindahan *container* pada internal terminal *container* dan meminimasi *delay* yang terjadi pada QC area yang disebabkan oleh proses menunggu AGV. Namun penggunaan AGV dalam jumlah besar akan mengakibatkan kemacetan dan juga meningkatkan biaya operasional dari Terminal Teluk Lamong. Dengan *demand* 400.000 TEUs, *berthing time* kapal juga dipengaruhi oleh kepadatan kapal yang bersandar. Dimana pada *demand* rendah, tingkat *idle* dermaga masih tinggi, sehingga AGV mengantri dalam mendapatkan *job* berikutnya. Hal ini diakibatkan aturan pemilihan AGV yang digunakan adalah *cyclical* sehingga AGV pertama tidak akan mendapatkan *job* berikutnya bila AGV terakhir belum mendapatkan *job*. Sedangkan dengan *demand* 400.000 TEUs, waktu *idle* pada dermaga sangat kecil sehingga AGV tidak menunggu untuk mendapatkan *job* berikutnya.

Seperti yang telah dibahas pada awal subbab ini, dimana jumlah AGV yang digunakan akan sangat berpengaruh pada biaya operasional dari AGV maka berikut ini merupakan dampak yang terjadi akibat penambahan jumlah AGV aktif.

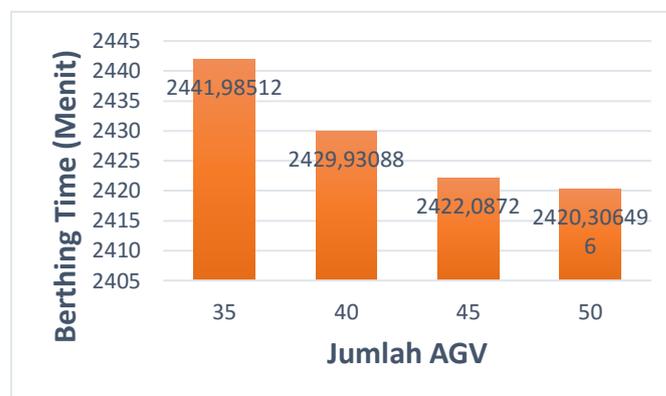


Gambar 5.10 Total Biaya AGV per Tahun – Demand Menengah

Berdasarkan hasil simulasi, biaya yang harus dikeluarkan untuk *demand* 400.000 TEUs dengan 35 AGV adalah Rp 40.320.102.239,29, 40 AGV aktif Rp 46.065.150.228,39 terjadi peningkatan sebesar 14,25%, 45 AGV aktif Rp 51.810.196.486,92 dengan peningkatan sebesar 28,50%, dan 50 AGV aktif Rp 57.555.266.831,82 dengan peningkatan sebesar 42,75%. Besar biaya ini dipengaruhi oleh biaya bahan bakar, biaya depresiasi, biaya *maintenance*, biaya asuransi, dan pajak. Salah satu biaya yang sangat mempengaruhi total biaya keseluruhan adalah biaya depresiasi. Dimana biaya depresiasi didapatkan dari biaya investasi dibagi dengan umur ekonomis AGV. Biaya investasi untuk 1 unit AGV sebesar Rp 900.000.000 dan umur ekonomis sebesar 15 tahun. Sehingga biaya depresiasi untuk 1 unit AGV sebesar Rp 60.000.000. Selain biaya depresiasi, biaya yang mempengaruhi total biaya keseluruhan adalah biaya *maintenance* dimana biaya *maintenance* untuk 1 unit AGV sebesar Rp 90.000.000.

5.2.3 Analisis Jumlah AGV dan Total Biaya pada *Demand* Tinggi

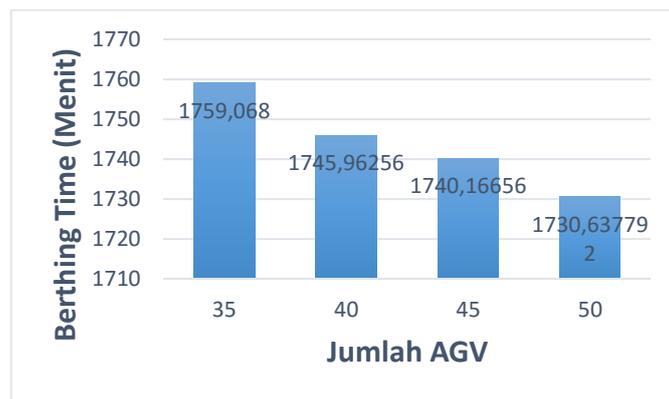
Berdasarkan hasil simulasi maka, jumlah penghematan akan dihitung dengan membandingkan waktu rata-rata *berthing time* antara 40 AGV, 45 AGV, dan 50 AGV terhadap waktu rata-rata *berthing time* 35 AGV. Berikut ini merupakan grafik *berthing time* untuk *demand* tinggi.



Gambar 5.11 Perbandingan *Berthing Time* Kapal Internasional Terhadap Jumlah AGV Aktif – *Demand* Tinggi

Berdasarkan gambar 5.11 mengenai *berthing time* yang terjadi pada jumlah *demand* tinggi, maka jumlah penghematan yang terjadi pada 40 AGV

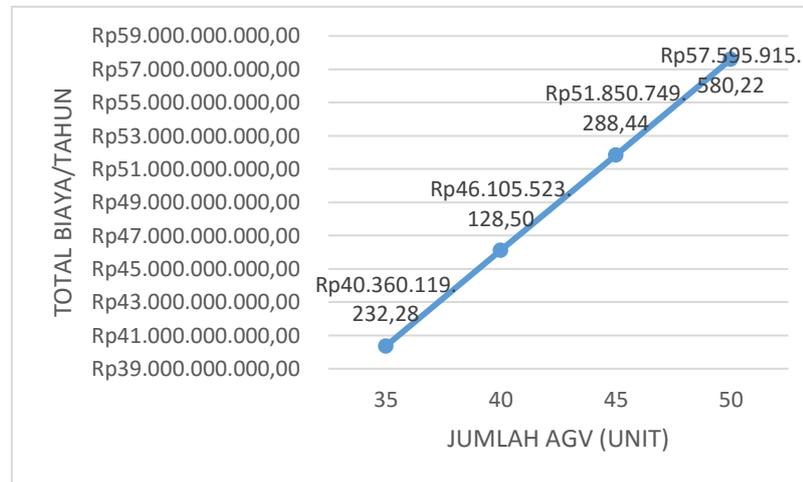
adalah 12,02 menit/kapal (0,49%), jumlah penghematan untuk 45 AGV adalah 19 menit/kapal (0,81%), dan untuk 50 AGV jumlah penghematan yang terjadi sebesar 21,67 menit/kapal (0,88%). Hasil simulasi untuk jumlah *demand* tinggi mengindikasikan bahwa fasilitas dermaga yang dimiliki tidak dapat memenuhi frekuensi kedatangan kapal yang tinggi. Dengan menggunakan 35 AGV dengan *berthing time* 2441,98 menit, maka BA Internasional hanya mampu untuk menampung 106,14 kapal Internasional dengan rata-rata jumlah *container*/kapal sebesar 614 TEUs. Berikut ini merupakan grafik *berthing time* untuk jumlah *demand* tinggi.



Gambar 5.12 Perbandingan *Berthing Time* Kapal Domestik Terhadap Jumlah AGV Aktif – *Demand* Tinggi

Penghematan yang terjadi pada jumlah AGV 50 unit sebesar 28,431 menit/kapal (1,61%). Sedangkan untuk jumlah AGV 45 unit, penghematan yang terjadi sebesar 18,902 menit/kapal (1,07%). Dan untuk jumlah AGV 40 unit, penghematan yang terjadi sebesar 13,10 menit/kapal (0,74%). Dengan indikasi dermaga yang penuh maka kapasitas maksimum kapal domestik dengan menggunakan 35 AGV adalah 221,02 kapal. Menurunnya *berthing time* kapal sangat dipengaruhi oleh jumlah AGV yang digunakan. Semakin banyak jumlah AGV yang digunakan maka akan semakin cepat *job* pada masing-masing crane terpenuhi. Sehingga akan berdampak pada cepatnya perpindahan *container* pada internal terminal *container* dan meminimasi *delay* yang terjadi pada *QC area* yang disebabkan oleh proses menunggu AGV. Namun penggunaan AGV dalam jumlah besar akan mengakibatkan kemacetan dan juga meningkatkan biaya operasional dari Terminal Teluk Lamong. Dengan *demand* 780.000 TEUs, *berthing time* kapal juga dipengaruhi oleh kepadatan kapal yang bersandar.

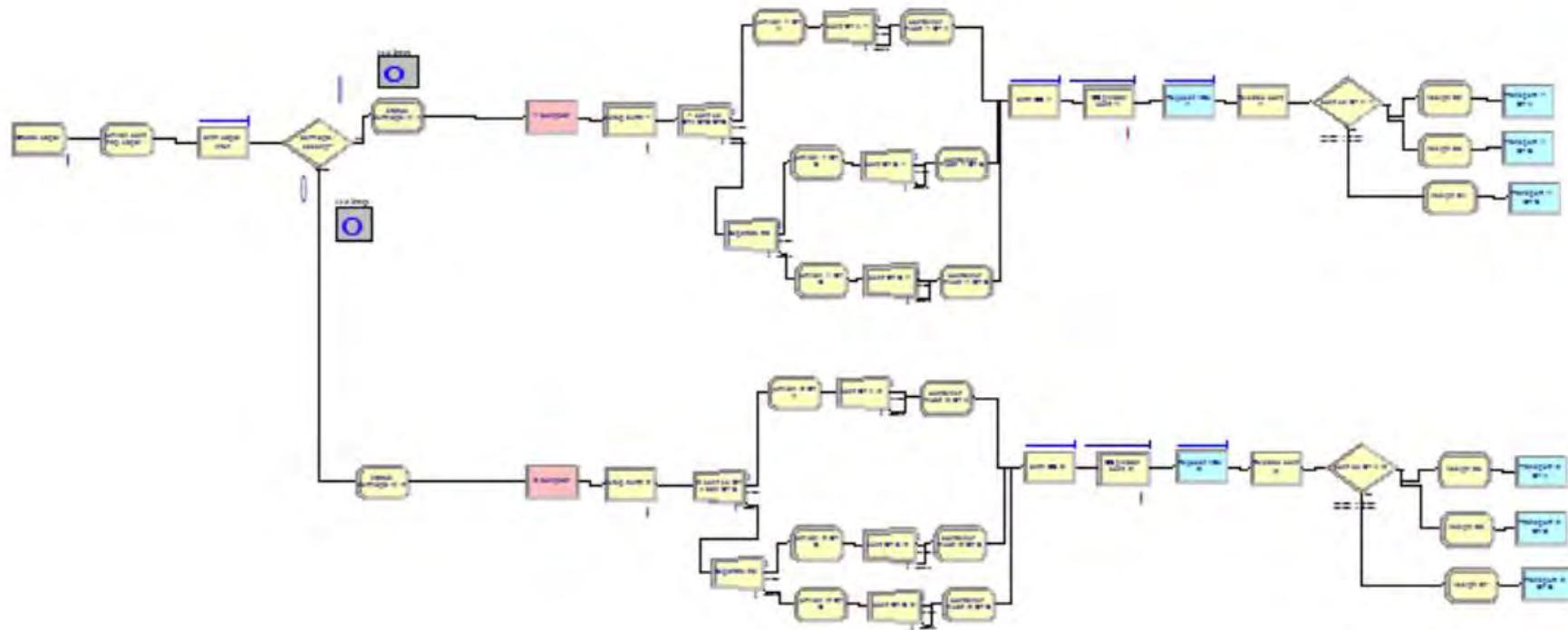
Dimana pada *demand* tinggi ini, tingkat *idle* pada dermaga mencapai 0% dikarenakan tingginya frekuensi kedatangan kapal, sehingga AGV tidak mengantri untuk mendapatkan *job* berikutnya. Penambahan jumlah AGV akan berdampak pada total biaya yang harus dikeluarkan oleh Terminal Teluk Lamong. Berdasarkan hasil perhitungan *variable cost* dan *fixed cost*, maka berikut ini merupakan grafik pengaruh total biaya terhadap jumlah AGV.



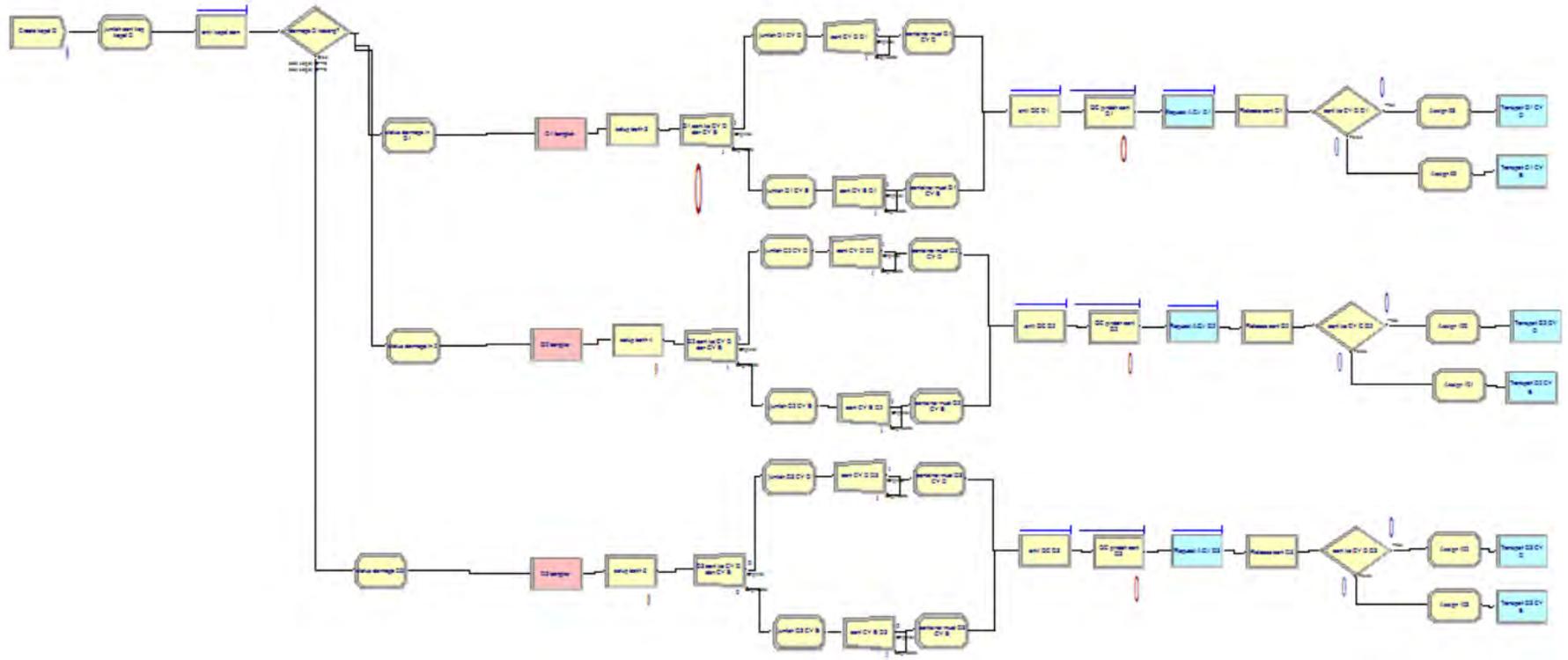
Gambar 5.13 Total Biaya AGV per Tahun – *Demand* Tinggi

Gambar 5.13 menunjukkan bahwa dengan jumlah 35 AGV maka total biaya yang harus dikeluarkan oleh Terminal Teluk Lamong sebesar Rp 40.360.119.232,28, 40 AGV aktif Rp 46.105.523.128,50 terjadi peningkatan sebesar 14,24%, 45 AGV aktif Rp 51.850.749.288,44 dengan peningkatan sebesar 28,47%, dan 50 AGV aktif Rp 57.595.915.580,22 dengan peningkatan sebesar 42,71%. Salah satu komponen biaya yang sangat mempengaruhi peningkatan total biaya adalah biaya depresiasi dari AGV, walaupun biaya bahan bakar merupakan salah satu faktor biaya yang mempengaruhi namun biaya bahan bakar hanya mempengaruhi total biaya sebesar 0,36%. Dimana sebagian besar total biaya depresiasi dipengaruhi oleh banyaknya jumlah AGV aktif pada Terminal Teluk Lamong. Selain biaya depresiasi, total biaya juga dipengaruhi oleh biaya *maintenance* untuk masing-masing AGV. Besar biaya *maintenance* adalah Rp 90.000.000/tahun per AGV.

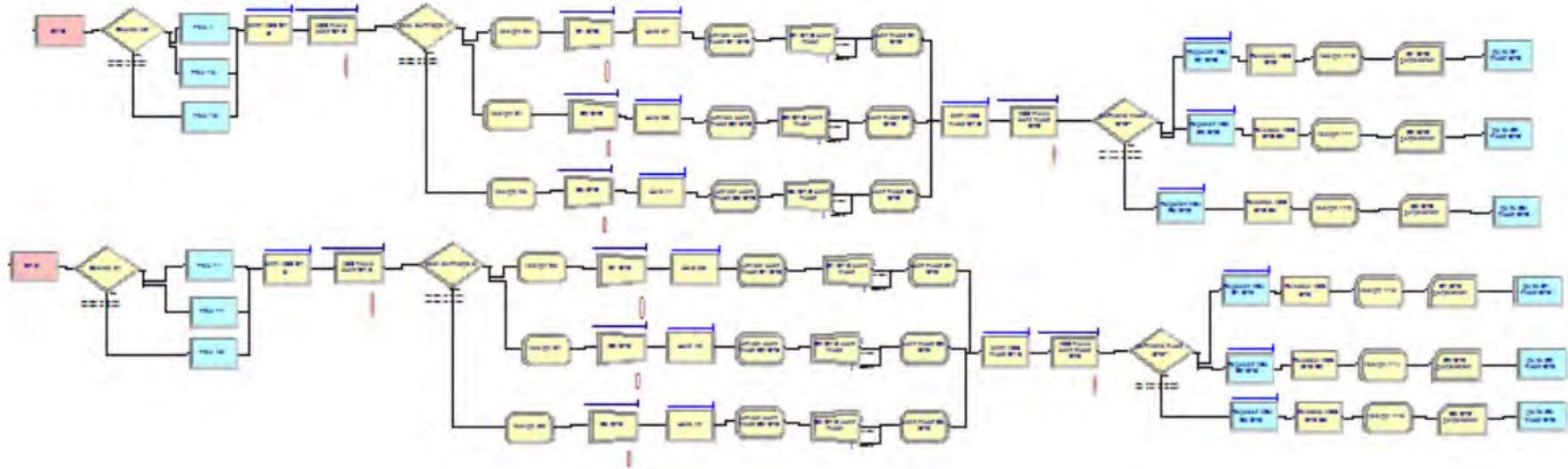
Lampiran 2 Model Simulasi Proses Bongkar Kapal Internasional



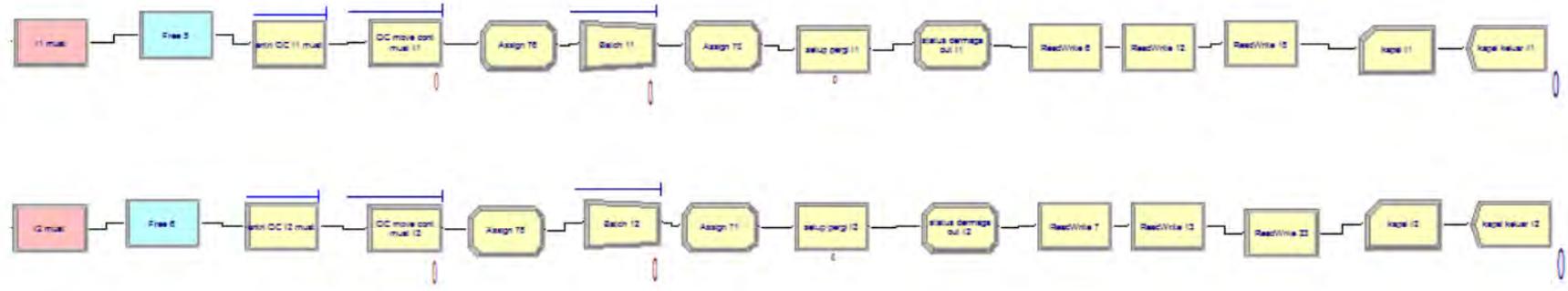
Lampiran 3 Model Simulasi Proses Bongkar Kapal Domestik



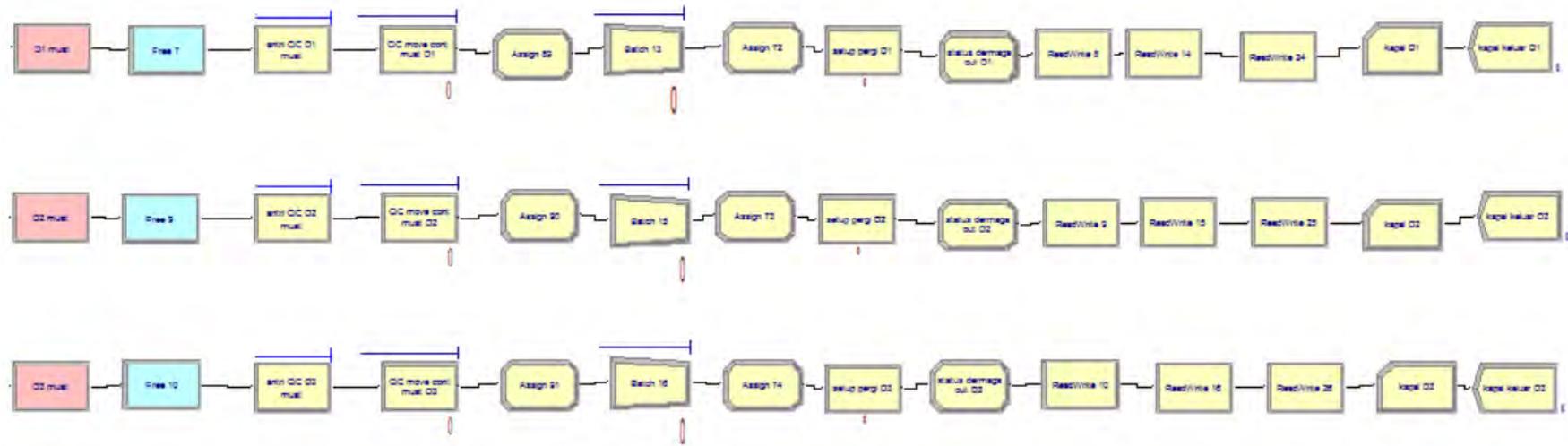
Lampiran 5 Model Simulasi Proses di CY Domestik



Lampiran 6 Model Simulasi Proses Muat BA Internasional



Lampiran 6 Model Simulasi Proses Muat BA Domestik



Lampiran 7 Data Validasi Model Simulasi

Simulasi			Real System	
rep	inter	dom	inter	dom
1	51	110	-	82
2	55	100	-	74
3	47	83	54	98
4	54	89	51	104
5	58	99		
6	50	96		
7	55	81		
8	51	103		
9	57	95		
10	49	95		
11	54	106		
12	46	93		
13	53	98		
14	55	94		
15	55	95		
16	55	100		
17	51	105		
18	55	96		
19	49	92		
20	51	89		
21	51	89		
22	52	100		
23	53	103		
24	56	104		
25	49	110		
26	53	91		
27	54	106		
28	63	88		
29	56	98		
30	59	94		

Lampiran 8 Rekap Data Hasil Simulasi Skenario Strategi Penugasan

Expression	Average		
	<i>Dedicated AGV</i> berdasarkan <i>Crane</i>	<i>Dedicated AGV</i> berdasarkan BA	<i>Undedicated AGV</i>
d1 cyd perjalanan	4717,53	4995,23	5241,73
d1 cye perjalanan	4711,23	4982,86	5232,78
d2 cyd perjalanan	3888,99	3958,51	3919,35
d2 cye perjalanan	3880,94	3956,2	3916,41
d3 cyd perjalanan	2888,11	3080,5	2734,74
d3 cye perjalanan	2873,11	3070,12	2730,51
i1 cya perjalanan	4376,76	4449,52	4566,95
i1 cyb perjalanan	4463,05	4539,24	4659,1
i1 cyc perjalanan	4426,96	4503,15	4620,9
i2 cya perjalanan	2507,48	2423,89	2404,92
i2 cyb perjalanan	2557,09	2472,11	2451,29
i2 cyc perjalanan	2532,04	2449,8	2434,81
TOTAL	43823,29	44881,13	44913,49
<i>Berthing Time BA</i> Internasional	2605,706	2482,347	2336,622
<i>Berthing Time BA</i> Domestik	2406,957	2273,391	2026,996

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menjelaskan mengenai kesimpulan dan rekomendasi yang dapat ditarik dari penelitian terkait strategi penugasan AGV dan penentuan jumlah AGV.

6.1 Kesimpulan

Berikut ini merupakan kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian yang dilakukan oleh penulis:

1. Untuk melayani 5 BA dan 5 CY pada Terminal Teluk Lamong, maka hasil simulasi skenario perbaikan menunjukkan bahwa strategi penugasan *undedicated* AGV memiliki *berthing time* minimum dan memiliki perbedaan yang signifikan bila dibandingkan dengan kondisi *eksisting*. Pada skenario *undedicated* AGV, minimum *berthing time* untuk kapal Internasional sebesar 2336,62 menit dan penghematan terhadap kondisi *eksisting* sebesar 10,32% per kapal. Sedangkan *berthing time* untuk kapal domestik sebesar 2026,99 menit dan penghematan sebesar 15,78% per kapal.
2. Pada penelitian ini jumlah *demand* yang disimulasikan dibagi menjadi 3 kategori, yaitu *demand* rendah, *demand* menengah, dan *demand* tinggi. Berdasarkan hasil simulasi untuk seluruh kategori *demand*, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah AGV aktif maka akan semakin cepat *berthing timenya*. Penelitian ini menguji jumlah AGV 35 unit, 40 unit, 45 unit, dan 50 unit. Minimum *berthing time* akan tercapai ketika menggunakan 50 AGV. Namun konsekuensi yang ditimbulkan akibat kenaikan jumlah AGV aktif adalah naiknya biaya operasional dari Terminal Teluk Lamong. Kenaikan biaya operasional untuk 40 AGV sebesar 14%, sedangkan 45 AGV sebesar 28%, dan 50 AGV sebesar 42% dari biaya total.

6.2 Rekomendasi

Berikut ini merupakan rekomendasi yang dapat diberikan oleh penulis untuk keberlanjutan penelitian maupun untuk Terminal Teluk Lamong.

1. Berdasarkan jumlah *demand* saat ini, penulis merekomendasikan strategi penugasan AGV yang dapat menguntungkan Terminal Teluk Lamong dari sisi minimasi *berthing time* adalah strategi *undedicated* AGV.
2. Untuk penelitian berikutnya, penulis menyarankan untuk mempertimbangkan kepadatan jalur dari AGV dan juga kapasitas AGV dari satu TEUs menjadi dua TEUs.

DAFTAR PUSTAKA

- Anh, T. L. & Koster, M. D., 2004. *A review of design and control of automated guided vehicle systems*, Rotterdam: Erasmus Research Institute of Management.
- Bish, E. et al., 2005. dispatching vehicles in a mega *container terminal*. *container terminals and automated transport systems* , pp. 179-194.
- Cheng, Y. L., Sen, H. C. & Natarajan, K., 2003. dispatching automated guided vehicles in a *container terminal*. pp. 1-30.
- Dziwis, D., 2005. Automated/Slf Guided Vehicles (AGV/SGV) and System Design Considerations. *St. Onge Company*.
- Egbelu, P. & Tanchoco, J., 1984. characterization of automated guided vehicle dispatching rules. *International Journal of Production Research*, 22(3), pp. 359-374.
- Guenther, H. O. et al., 2006. Simulation of transportation activities in automated seaport *container terminals*. *proceedings of the second international intelligent logistics systems conference*.
- Harrell, C. R., Ghosh, B. K. & Bowden, R. O., 2000. *simulation using promodel*. 1st penyunt. s.l.:McGraw-Hill.
- Law, A. M. & Kelton, W. D., 1991. *Simulation modeling & analysis*. 2nd penyunt. s.l.:McGraw-Hill.
- Law, A. M. & Kelton, W. D., 2000. *Simulation modeling and analysis*. 3rd penyunt. s.l.:McGraw-Hill.
- Nguyen, V. D. & Kim, K. H., 2009. Dispatching vehicles considering uncertain handling *times* at port *container terminals*.
- Pegden, C. D., 1990. *Introduction to simulation using SIMAN*. s.l.:McGraw-Hill.
- Rossetti, M., 2009. *Simulation Modelling and ARENA*. 1st penyunt. s.l.:s.n.
- Steenken, D., VoB, S. & Stahlbock, R., 2004. *container terminal operation and operations research - a classification and literature review*. *OR Spectrum*, 26(1), pp. 3-49.

- Vis, I. & Harika, I., 2004. Comparison of vehicle types at an automated *container* terminal. *OR Spectrum*, pp. 117-143.
- Vis, I. R. d. K. K. J. R. L. P., 2001. determination of the number of automated guided vehicle required at a semi automatd *container* terminal. *Journal of the Operational Research Society*, Issue 52, pp. 409-417.
- Yang, C., Choi, Y. & Ha, T., 2004. simulation-based performance evaluation of transport vehicles at automated *container* terminal. *OR Spectrum*, pp. 149-170.

BIOGRAFI PENULIS



Rezqi Andithika Putri lahir di Soroako pada 3 Februari 1994. Penulis menempuh pendidikan di TK YPS Lawewu Soroako (1997-1999), dilanjutkan dengan menempuh pendidikan dasar di SD YPS Singkole Soroako (1999-2006). Selanjutnya penulis menempuh pendidikan tingkat lanjut di SMP Islam Sabilillah Malang (2006-2009) dan SMA Negeri 3 Malang (2009-2012). Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Surabaya (ITS) dengan Jurusan Teknik Industri pada tahun 2012.

Selama masa kuliah di Jurusan Teknik Industri ITS, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan yang mengasah kemampuan akademik maupun kemampuan non akademik. Penulis aktif pada Sport Club, Unit Mahasiswa Teknik Industri pada tahun kedua dan ketiga dimana, pada tahun kedua penulis menjabat sebagai anggota unit Badminton bagian Sarana dan Prasarana dan tahun ketiga menjabat sebagai Sekertaris dan Bendahara Sport Club. Untuk mengasak kemampuan akademik, penulis menjalani Kerja Praktek di PT Vale Indonesia, Soroako pada Departemen *Supply Chain Management*. Penulis dapat dihubungi melalui email putrirezqiandithika@gmail.com.