

PERBAIKAN SISTEM PENGATURAN KAPAL PADA PELABUHAN MUAT TELUK BAYUR DENGAN PENDEKATAN SIMULASI

Wisnel¹, Alexie Herryandie¹, Petri Yusrina²

¹⁾ Laboratorium POSI Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Andalas

²⁾ Alumni Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Andalas

Abstract

At the process of cement loading in Teluk Bayur harbor, time between arrival and process time were stochastic, which caused waiting time and tardiness for the ships. Beside caused by stochastic processes, the tardiness was also caused by the downtimes of the equipment along the loading process. To solve this problem, an effort to improve ship service by properly assigning and allocating service facility is needed to be done. In this research the solution will be provided by using simulation approach.

The simulation model developed consists of 3 scenarios which are: ship allocation with considering the harbor condition and ship characteristics; proportion of every kind of ship; also downtime and breakdown frequency of loading equipment. Every scenario is perform in some condition those are :(1) recently condition,(2) adding speed loading,(3) decreasing downtime and (4) combination between adding speed and decreasing downtime.

The result from the best scenario (Scenario 3) gives waiting time 2.79 hours and tardiness 12.35 hours. This means that through this scenario waiting time can decrease 69.87% and tardiness 26.79% from recent condition.

Keywords : *Pengaturan kapal, Simulasi Sistem, Desain Eksperimen, Distribusi Semen*

1. Pendahuluan

PT.Semen Padang melaksanakan aktivitas produksi semen untuk memenuhi permintaan dalam negeri dan mancanegara. Pendistribusian semen ke berbagai daerah tersebut sebagian besar dilakukan melalui jalur laut. Kapal yang digunakan untuk pengangkutan semen disewa dari beberapa perusahaan penyedia jasa sewa kapal.

Dalam pengaturan kapal, PT Semen Padang sebenarnya telah membuat rencana bongkar muat kapal berdasarkan prediksi waktu yang dibutuhkan untuk proses pemuatan, pembongkaran, serta perjalanan kapal menuju pelabuhan muat dan bongkar. Namun realisasi proses bongkar muat dan perjalanan kapal seringkali tidak sesuai dengan waktu yang diperkirakan, baik karena faktor cuaca (hujan, gelombang) maupun berbagai gangguan seperti kerusakan alat, listrik mati, kerusakan alat muat, silo minim, dll.

Penyimpangan dari rencana sebelumnya akan berpengaruh terhadap perencanaan untuk kapal berikutnya. Pada saat jumlah kedatangan kapal meningkat, menyebabkan kapal harus menunggu di pelabuhan sampai terdapat dermaga kosong. Waktu menunggu kapal merupakan salah satu penyebab terjadinya keterlambatan kapal dari jadwal yang telah dibuat. Keterlambatan kapal dari waktu yang telah dijanjikan, untuk kapal dengan *freight basis* akan menyebabkan terjadinya *demurrage*. Sedangkan pada kapal *time charter*

waktu tunggu kapal menyebabkan tidak tercapainya jumlah trip yang direncanakan.

Karena itu perlu dilakukan usaha untuk meminimasi terjadinya keterlambatan kapal dengan memperbaiki proses pelayanan. Perbaikan layanan dapat dilakukan dengan pengaturan alokasi dermaga untuk masing-masing tipe kapal. Dalam jangka pendek hal ini perlu mendapat perhatian karena dermaga merupakan fasilitas yang sangat berperan dalam pengoperasian kapal dan kapal hanya dapat sandar jika dermaga harus dalam keadaan kosong.

Selama ini pengaturan kapal dilakukan berdasarkan disiplin *first come first served*, yaitu kapal yang dahulu datang yang akan dilayani. Namun karena waktu kedatangan kapal yang tidak sesuai rencana dan waktu proses bongkar muat yang bervariasi maka sulit untuk memenuhi target-target penyelesaian pelayanan kapal serta pemenuhan kebutuhan daerah tujuan.

Dalam penelitian ini dirumuskan suatu kebijakan dalam melakukan pengaturan kapal yaitu dengan menentukan alternatif pengaturan kapal yang mampu meminimasi waktu tunggu dan keterlambatan kapal.

Adapun yang menjadi tujuan dalam penelitian ini adalah mendapatkan sistem pengaturan kapal baik kapal sewaan PT.Semen Padang maupun kapal FOB yang dapat meminimasi waktu tunggu dan keterlambatannya.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam 4 tahap yaitu:

A. Formulasi Masalah dan Rencana Studi

Dalam tahap ini terdapat beberapa kegiatan yang dilakukan yaitu:

1. Survei Sistem

Pada survei awal dilakukan pengumpulan data awal yang berkaitan dengan sistem pemuatan semen yaitu data proses pemuatan semen, data spesifikasi kapal dan dermaga, dan data fasilitas alat muat. Data ini diperlukan untuk mengetahui performansi sistem sekarang dan sebagai acuan dalam melakukan perbaikan sistem.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori serta konsep yang mendukung dalam penelitian dan berkaitan dengan masalah yang dibahas dalam penelitian. Teori yang berkaitan dengan penelitian ini adalah teori antrian, pemodelan sistem, simulasi sistem dan perancangan percobaan.

3. Identifikasi Masalah

Berdasarkan survei sistem diketahui bahwa proses bongkar muat kapal tidak berjalan sesuai dengan rencana sehingga keterlambatan kapal yang secara tidak langsung akan mempengaruhi kapal berikutnya. Jika seharusnya kapal tersebut dapat disandarkan, tetapi karena dermaga dalam keadaan penuh maka kapal tersebut terpaksa menunggu. Waktu tunggu kapal menyebabkan tidak tercapainya jumlah trip dan terjadinya *demurrage*.

4. Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan dibandingkan dengan teori dari literatur maka dapat dirumuskan permasalahan adalah bagaimana menentukan alternatif pengaturan kapal baik kapal sewaan PT.Semen Padang dan kapal FOB yang dapat mengurangi waktu tunggu dan keterlambatannya.

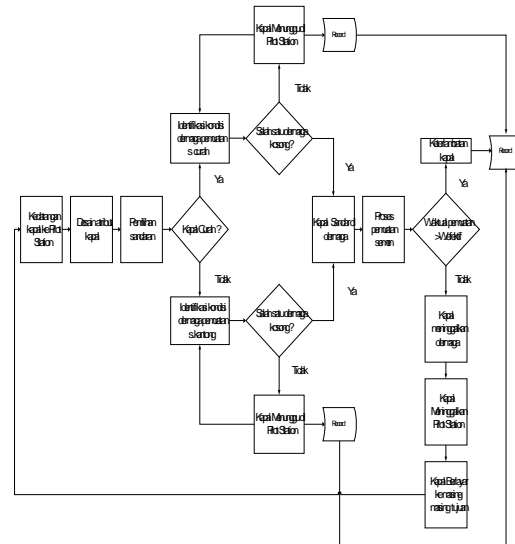
B. Pengumpulan Data dan Formulasi Masalah

Dalam tahapan ini terdapat beberapa langkah yang dilakukan yaitu:

B.1. Pengembangan Model Konseptual

Model konseptual proses pemuatan semen pada pelabuhan Teluk Bayur ini digambarkan dalam diagram logika seperti terlihat pada Gambar 1. Berdasarkan tersebut dapat dilihat pada saat kedatangan kapal ke pelabuhan Teluk Bayur, terlebih dahulu diidentifikasi atribut masing-masing kapal untuk menentukan jenis kapal, kelas kapal,

dll. Desain atribut kapal ini diperlukan untuk menentukan dermaga yang akan digunakan sebagai sandaran. Jika terdapat salah satu dermaga kosong maka kapal dapat disandarkan sebaliknya kapal akan menunggu di pelabuhan (*Pilot station*). Sebaliknya kapal dapat langsung disandarkan dan dimuat. Jika waktu pemuatan melebihi dari rencana maka terjadi keterlambatan kapal. Selesai muat kapal akan meninggalkan dermaga untuk berlayar ke masing-masing pelabuhan tujuan.



Gambar 1. Model Konseptual Proses Pemuatan Semen

Pada sistem pemuatan semen ini karakteristik sistem sangat dipengaruhi oleh karakteristik yang dimiliki oleh kapal, dermaga dan alat muat. Kapal mempunyai spesifikasi yang berbeda-beda baik dari segi tonase maupun panjang kapal (LOA). Tonase berpengaruh terhadap pemilihan dermaga dan lamanya proses pemuatan semen ke kapal. Setiap kapal memiliki tonase yang berbeda-beda sehingga waktu proses masing-masing kapal berbeda dengan kapal lainnya.

Dermaga memiliki karakteristik dari segi panjang, *draft* (kedalaman), jenis alat muat dan tipe semen yang akan dimuat. Alat muat yang digunakan memiliki spesifikasi yang berbeda dari segi kecepatan muat dan kefleksibelan untuk diposisikan serta kemampuan untuk memuat semen curah ataupun kantong.

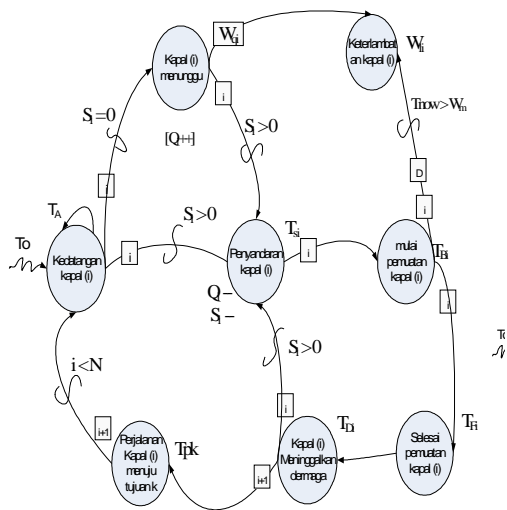
Berdasarkan karakteristik yang dimiliki sistem, maka dapat diidentifikasi variabel-variabel sistem yaitu:

- a. Variabel *input* terdiri dari:
- Waktu kedatangan masing-masing kapal ke pelabuhan Teluk Bayur
 - Tingkat atau jumlah kedatangan kapal.
 - Waktu trip kapal untuk masing-masing tujuan
 - Waktu gangguan proses pemuatan
- b. Variabel *output* yaitu lamanya waktu tunggu dan keterlambatan kapal. Kriteria performansi yang diharapkan dari variabel *output* ini adalah minimasi waktu tunggu dan keterlambatan.

Parameter lain yang digunakan dalam model pemuatan semen ini adalah:

- Kecepatan alat muat
- Kapasitas atau tonase kapal.
- Kecepatan alat pembongkaran

Struktur dan kejadian yang dialami oleh entiti dalam model dijelaskan dengan menggunakan *event graph* pada Gambar 2.



Keterangan

\mathcal{N} Tahap inisialisasi

\curvearrowright Peristiwa berulang

i = kelas entiti (kapal) berdasarkan jenis dan tonase

Q_i : Jumlah kapal i yang menunggu

T_{Ai} : Waktu kedatangan kapal i

T_{Si} : Waktu sandar kapal i

T_{Bi} : Waktu mulai muat kapal i

T_{Fi} : Waktu selesai muat kapal i

T_{Di} : Waktu kapal i meninggalkan dermaga

T_{pk} : Waktu tempuh kapal untuk masing-masing tujuan k

T_{now} : waktu simulasi

D : Distribusi gangguan proses pemuatan

W_{li} : Waktu keterlambatan kapal i

W_{qi} : Waktu tunggu kapal i

Gambar 2. Penjabaran Model Konseptual Proses Pemuatan Semen

B.2. Pengumpulan Data

Berdasarkan model konseptual yang telah dibuat, maka dapat ditentukan data yang harus dikumpulkan untuk membangun model. Data yang dikumpulkan untuk membangun model simulasi proses pemuatan semen terdiri dari:

- Data waktu kedatangan kapal pada pelabuhan Teluk Bayur.
- Data waktu kedatangan dan keberangkatan kapal untuk masing-masing daerah tujuan.
- Data waktu gangguan proses pemuatan masing-masing alat muat yang terdapat pada dermaga yang terdiri dari gangguan yang dapat dikontrol (kerusakan alat muat dan kapal, *shifting*, silo minim, tunggu buruh dan buka palka) dan gangguan yang tidak dapat dikontrol (hujan, gelombang dan PLN *off*).

B.3. Pengolahan Data

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan maka dapat dilakukan pengolahan data. Hasil dari pengolahan data ini digunakan dalam penentuan nilai parameter model atau input data untuk pengembangan model simulasi *Arena*. Pengolahan data yang dilakukan terdiri dari:

1. Penentuan Waktu Antar Kedatangan (WAK) Kapal

Penentuan waktu antar kedatangan kapal berdasarkan selang antara waktu kedatangan kapal pertama dengan kapal berikutnya. Distribusi data waktu antar kedatangan dapat dilihat pada Tabel A.2. Lampiran A.

2. Penentuan Waktu Trip Kapal

Penentuan waktu trip dihitung berdasarkan selang waktu kapal meninggalkan pelabuhan Teluk Bayur dengan waktu kedatangan kapal tersebut kembali ke pelabuhan Teluk Bayur dengan syarat daerah tujuan harus sama. Distribusi data waktu trip dapat dilihat pada Tabel A.2. Lampiran A.

3. Penentuan Proporsi Kapal Masing-masing Daerah Tujuan

Pendistribusian semen bertujuan untuk memenuhi kebutuhan *Packing Plant* dan gudang-gudang distributor pada beberapa daerah. Setiap kapal yang dialokasikan tergantung pada permintaan masing-masing daerah tersebut. Dengan demikian setiap kapal memiliki proporsi untuk tujuan daerah tertentu. Proporsi kapal diperoleh berdasarkan frekuensi (jumlah trip) kapal untuk masing-masing daerah tujuan yang dapat dilihat pada Tabel A.1. Lampiran A.

4. Waktu Efektif Pemuatan Semen

Waktu efektif pemuatan ini merupakan waktu teoritis pemuatan di luar terjadinya faktor gangguan. Secara matematis dapat dibuatkan hubungan keduanya sebagai berikut.

$$W_m = \frac{\text{Tonase kapal}_i}{V_m} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

i : Kelas kapal, ($i=1,2,3,\dots\dots N$)

W_e : Waktu proses pemuatan efektif kapal i

V_m : Kecepatan rata-rata alat muat

Rekapitulasi waktu efektif pemuatan masing-masing kelas kapal dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Waktu Efektif Proses Pemuatan

	Jenis Kapal	Kelas Kapal	Tonase (Ton)	Kec.Alat Muat (Ton/jam)	Waktu Efektif Pemuatan (jam)
Kapal Sewaan PT.Semen Padang	Kapal Curah	1	5600	350	16.000
		2	5800	350	16.571
		3	6000	350	17.143
		4	8000	350	22.857
		5	9000	350	25.714
		6	14500	350	41.429
	Kapal Kantong	7	2000 - 3000	70	36.607
		8	3100- 4000	70	52.656
		9	4100- 5000	70	69.206
		10	5100-6000	70	79.333
		11	6100-7000	70	96.303
		12	7100- 8000	70	112.946
Kapal Non Sewaan PT.Semen Padang (FOB)	Kapal Curah Ekspor	13	<9000	350	15.968
		14	9000-12000	350	27.089
		15	12100-18000	350	48.263
		16	18100-27000	350	66.667
		17	>27100	350	97.500
	Kapal Kantong	18	200-1000	70	7.447
		19	1100-2000	70	23.019
		20	2100-3000	70	39.859
		21	3100-4000	70	52.500
		22	4100-5000	70	68.571
		23	5100-6000	70	82.973
		24	6100-7000	70	97.143
		25	>7000	70	148.214

5. Penentuan Nilai Parameter

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan maka dapat ditentukan nilai parameter model yang telah didefinisikan sebelumnya. Nilai distribusi dari parameter model dapat dilihat pada **Tabel A.2 Lampiran A.**

Setelah nilai distribusi data diperoleh, maka sebelum data tersebut diinputkan ke dalam model maka perlu dilakukan terlebih dahulu pengujian terhadap kecocokan data observasi terhadap distribusi teoritis yang dipilih. Metode yang digunakan adalah metode *Chi Square* dan *Kolmogorov Smirnov Test*.

C. Pengembangan Program Simulasi dan Verifikasi

Proses perancangan model simulasi dilakukan dengan menggunakan *Software Arena 3.0* dengan masukan (input) berupa distribusi dari

waktu antar kedatangan kapal, waktu efektif proses pemuatan semen masing-masing dermaga, dan waktu trip kapal pada masing-masing tujuan. Model logika dari proses pemuatan semen ini dapat dilihat pada Lampiran B.

Setelah program simulasi yang dibuat selesai maka terlebih dahulu diverifikasi untuk mengetahui apakah model tersebut telah sesuai dengan yang diinginkan. Dalam hal ini verifikasi dilakukan dengan cara :

1. Melakukan *debugging* terhadap model simulasi komputer yaitu dengan mengecek kesalahan-kesalahan yang mungkin terdapat dalam konfigurasi model simulasi komputer tersebut.
2. Melakukan *tracing* yaitu pengecekan tiap elemen model apakah sudah didefinisikan dengan benar.
3. Verifikasi juga dapat dilakukan dengan mengamati Animasi selama program berjalan.

D. Eksperimentasi dan Analisis

Pada tahap eksperimentasi dan analisis ada beberapa langkah yang dilakukan yaitu:

D.1. Simulasi Awal dan Validasi

Pada simulasi awal ini perlu ditetapkan terlebih dahulu tipe simulasi yang digunakan untuk memudahkan dalam melakukan analisis output simulasi. Tipe simulasi proses pemuatan semen ini adalah tipe *nonterminating system*, karena kondisi awal dan akhir simulasi tidak dapat didefinisikan dengan jelas. Hal ini karena kedatangan kapal dapat terjadi kapan saja tanpa batas waktu yang ditetapkan. Sistem berjalan terus menerus (24 jam) sehingga perlu ditentukan waktu dan kondisi awal yang tepat untuk menggambarkan sistem tersebut.

Simulasi awal ini dilakukan dengan menggunakan *pseudo random number generator* (bilangan acak) sama dengan 10 secara *default* telah terfasilitasi dalam program Arena 3.0. Hasil simulasi awal yang dilakukan ini belum dapat digunakan untuk menganalisis performansi sistem. Hal ini karena belum mempertimbangkan variasi antar input yang dibangkitkan oleh bilangan random dan belum divalidasi. Oleh karena itu perlu dilakukan validasi terhadap simulasi sistem pemuatan semen ini.

Ada beberapa pendekatan yang digunakan dalam melakukan validasi terhadap model simulasi, yaitu:

1. Metode Kotak Hitam (*Black Box Validation*)

Validasi ini dilakukan dengan cara membandingkan rata-rata hasil simulasi dengan rata-rata performansi sistem nyata. Nilai yang menjadi parameter pembandingan adalah rata-rata waktu tunggu kapal, rata-rata waktu proses pemuatan dan rata-rata keterlambatan kapal. Pada metode ini digunakan uji T untuk membandingkan nilai rata-rata antara output simulasi dengan hasil observasi sistem nyata. Hasil pengujian dengan menggunakan uji T masing-masing parameter dengan menggunakan software SPSS 11.0.dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil *Pair-Sample T test* untuk Waktu Tunggu, Waktu Proses dan Keterlambatan Kapal

Paired Differences	SIMULASI - AKTUAL			
	Waktu Tunggu	Waktu Proses	Keterlambatan	
Mean	-1,3351	9,5484	-.1181	
Std. Deviation	8,35003	29,70127	18,21870	
Std. Error Mean	1,67001	5,94025	5,94025	
95% CI of the Difference	Lower	-4,7818	-2,7117	-7,6384
	Upper	2,1116	21,8085	7,4022
Sig. (2-tailed)	,432	,121	,974	

Hipotesis nol diterima jika nilai *significance level*-nya lebih dari nilai α . Pada Tabel 2 diketahui bahwa nilai *significance level*-nya lebih besar dari nilai α (0,05). Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa hipotesa nol diterima, dan dinyatakan bahwa tidak ada perbedaan rata-rata antara hasil simulasi dengan hasil observasi pada sistem nyata.

2. Metode Kotak Putih (*White Box Validation*)

Metode ini dilakukan untuk memastikan bahwa detail-detail yang terdapat dalam model simulasi sama dengan yang terdapat dalam sistem. Beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan adalah:

a. Distribusi Input

Input yang digunakan dalam model simulasi ini berupa waktu antar kedatangan kapal, waktu gangguan pemuatan, waktu efektif pemuatan dan waktu trip perjalanan kapal untuk masing-masing daerah tujuan. Input terdiri dari dua jenis input yaitu yang bersifat deterministik dan stokhastik. Untuk input yang bersifat stokhastik seperti waktu antar kedatangan kapal, waktu gangguan proses dan waktu trip menunjukkan sebuah nilai distribusi tertentu dari sistem nyata.

Proses penentuan nilai distribusi adalah dengan membuat histogram data dan melakukan pencocokan data pengamatan dengan distribusi teoritis. Tingkat kecocokan distribusi data pengamatan terhadap data teoritis ditunjukkan oleh besarnya nilai *square error*. Nilai *error* terkecil

menunjukkan bahwa distribusi teoritis tersebut paling sesuai dan didukung dengan nilai *corresponding p - value* yang lebih besar dari 0,05 untuk *Chi-Square Test* atau lebih besar dari 0,01 untuk *Kolmogorov Smirnov Test*. Jika tidak ada distribusi teoritis yang sesuai dengan data, maka digunakan distribusi Empiris.

b. Logika Statis

Dalam simulasi terdapat logika statis yang membangun perilaku objek dalam sistem. Dalam *discrete event simulation* terdapat aturan yang berlaku tentang logika statis tersebut, yaitu:

If (Kondisi) Then (Aksi)

Pada model simulasi sistem pemuatan semen ini, logika statis yang digunakan adalah pada *event* penyandaran kapal, dimana untuk dapat terlaksanannya *event* tersebut terdapat kondisi-kondisi yang harus dipenuhi yaitu dermaga dalam keadaan kosong. Hal ini sesuai dengan kondisi sistem yang ada, karena tidak mungkin kapal akan disandarkan jika dermaga dalam keadaan penuh.

c. Logika Dinamis

Logika dinamis untuk model sistem pemuatan semen ini dapat dilihat dari tampilan animasi selama *running* simulasi. Dari tampilan animasi pada model ini dapat dilihat pergerakan entiti melewati sistem dari waktu ke waktu. Berdasarkan logika dinamis model ini sudah dapat dikatakan dapat mewakili sistem nyata.

D.2. Perancangan Percobaan

Perancangan percobaan merupakan tahap untuk melakukan skenario percobaan yang dirancang terhadap sistem. Pada sistem ini simulasi dijalankan pada kondisi sekarang dan kondisi usulan yang terbagi atas 3 skenario alokasi kapal. Pola perancangan ketiga skenario ini adalah sama yaitu dengan menentukan alokasi kelas kapal pada masing-masing dermaga yang terbagi atas 3 skala prioritas dan menentukan urutan kelas kapal yang akan disandarkan. Salah satu skenario alokasi kapal yang dikembangkan yaitu skenario 3 dengan formasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Alokasi Kapal Skenario 3

Dermaga	Alat muat	Prioritas		
		1	2	3
DST	FluxofilingA&B	1Kapal Curah \geq 9000	1Kapal Curah < 9000	
DSB	BMHA	1Kapal Curah \geq 9000	1Kapal Curah < 9000)*2 Kapal Bag
	LCIII	1 Kapal Bag \leq 1000	1 Kapal Bag \leq 3000	
DKS	LCI	1 Kapal Bag \leq 2000	1 Kapal Bag > 3000)*1 Kapal Bag
	LCII	1 Kapal Bag 2000-3000		
BTU	LCIV	1 Kapal Bag > 5000	1 Kapal Bag < 3000)*2 Kapal Bag
	BMHB	1 Kapal Bag > 5000	1 Kapal Bag < 3000	

Perancangan skenario 3 dilakukan dengan pertimbangan bahwa proporsi kapal curah > 9000 ton lebih banyak dibandingkan kapal curah < 9000 ton. Pada prioritas 3 setiap dermaga *bag* di sandarkan semua kelas kapal *bag*, hal ini bertujuan untuk meminimasi jumlah kapal yang menunggu karena kapal tersebut tidak menjadi prioritas 1 atau 2 untuk disandarkan pada salah satu dermaga.

Perancangan skenario alokasi dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa hal:

- a. Karakteristik kapal yaitu tonase dan panjang kapal
 Karakteristik kapal akan menentukan alokasi kapal yang akan disandarkan pada dermaga tertentu.
- b. Karakteristik dermaga yaitu panjang dermaga, fasilitas alat muat, dan *draft* dermaga.
 Karakteristik dermaga akan berpengaruh pada penentuan jenis dan jumlah kapal yang dapat disandarkan.
- c. Frekuensi kedatangan kapal berdasarkan data-data historis yang dikumpulkan.
- d. Waktu dan frekuensi kerusakan alat muat.
 Waktu dan frekuensi kerusakan alat berpengaruh terhadap pengaturan kapal yang akan disandarkan. Alat muat yang memiliki waktu dan frekuensi kerusakan lebih rendah akan lebih diprioritaskan

Disamping mempertimbangkan faktor pengalokasian kapal untuk masing-masing dermaga, eksperimentasi juga dilakukan dengan mempertimbangkan faktor kondisi proses selama pemuatan yang terdiri atas 4 kondisi kondisi proses yaitu:

1. Kondisi proses 1 simulasi dijalankan dengan menggunakan waktu proses dan gangguan untuk kondisi sekarang.
2. Kondisi proses 2 simulasi dijalankan dengan menambah kecepatan alat muat (mempercepat waktu proses pemuatan).
3. Kondisi proses 3 simulasi dijalankan dengan mengurangi waktu gangguan pemuatan.
4. Kondisi proses 4 simulasi dijalankan dengan menambah kecepatan alat muat dan mengurangi waktu gangguan.

Lebih jelasnya prosedur pengembangan skenario untuk model pelayanan kapal mengikuti langkah-langkah berikut:

Langkah 1 Input karakteristik kapal yang datang yang terdiri dari jenis kapal, kelas kapal dan proporsi atau frekuensi

kedatangan masing-masing kelas kapal.

Input waktu efektif proses pemuatan dan pembongkaran masing-masing kelas kapal.

Input waktu tempuh kapal untuk masing-masing tujuan

- Langkah 2 Inisial kondisi
- Langkah 2a Set variabel $W_{qi} = 0, W_{li} = 0, Q_i = 0, S_j = 0$
- Langkah 2b Jadwalkan kedatangan kapal pertama
- Langkah 3 Identifikasi kondisi dermaga
- Langkah 3a Jika *state* $S_j = 1$ maka lakukan langkah 4
 jika *state* $S_j = 0$ maka lakukan langkah 3b
- Langkah 3b Set $Q_i > 0$, hitung W_{qi} dan kemudian kembali ke langkah 3
- Langkah 4 Identifikasi atribut masing-masing kapal
 Identifikasi atribut kapal berdasarkan karakteristik yang dimilikinya yaitu jenis kapal dan kelas kapal.
- Langkah 5 Penentuan alokasi kapal untuk masing-masing dermaga
 Penentuan alokasi kapal dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik yang dimiliki oleh dermaga dan kapal seperti panjang dermaga, *draft* (kedalaman), fasilitas muat, dll. Penentuan alokasi kapal untuk masing-masing dermaga dilakukan untuk 3 skenario.
- Langkah 6 Penentuan urutan kapal
 Penentuan urutan kapal yang akan dilayani ditentukan untuk dua atau lebih kapal yang memiliki prioritas sama untuk disandarkan pada dermaga yang sama. Penentuan urutan kapal dilakukan berdasarkan urutan waktu proses yang lebih pendek didahulukan sampai waktu proses yang lebih lama.
- Langkah 6a Urutkan W_m dari yang terpendek sampai terpanjang ($W_{m1}, W_{m2}, \dots, W_{mn}$)
- Langkah 6b Pilih W_m terbesar
- Langkah 7a Jadwalkan waktu kapal disandarkan berikutnya
- Langkah 7b Set Q_i -dan *state* $S_j = 1$
- Langkah 8 Jadwalkan waktu proses pemuatan kapal *i*
 $(W_{mi}) =$ waktu selesai muat – mulai muat)
- Langkah 9 Jika $W_{mi} > W_{efi}$, hitung W_{li}
 $W_{li} = W_{mi} - D + W_{qi}$
- Langkah 10 Jadwalkan waktu keberangkatan kapal *i*
- Langkah 11 Jadwalkan kedatangan kapal berikutnya

Notasi yang digunakan dalam algoritma ini adalah:

- Qi : Jumlah kapal i yang menunggu
- Sj : Jumlah server j yang idle (j= 1,2...8)
- D : Gangguan proses pemuatan
- W_{li} : Waktu keterlambatan kapal i
- W_{qi} : Waktu tunggu kapal i
- W_{mi} : Waktu proses pemuatan efektif kapal i

Setiap skenario yang dirancang dilakukan *running* simulasi dengan jumlah replikasi 210 dengan panjang replikasi 22520 jam. Untuk lebih jelasnya skenario percobaan yang dilakukan pada eksperimntasi ini dapat dilihat pada Tabel 4 yang mengilustrasikan kombinasi faktor percobaan dari segi faktor alokasi dan faktor kondisi proses.

Tabel 4. Ilustrasi Skenario Percobaan

		Alokasi			
		S0	S1	S2	S3
Kondisi Proses	A1	A1S0R1	A1S1R1	A1S2R1	A1S3R1
		A1S0R2	A1S1R2	A1S2R2	A1S3R2
		A1S0R3	A1S1R3	A1S2R3	A1S3R3
	A2	A2S0R1	A2S1R1	A2S2R1	A2S3R1
		A2S0R2	A2S1R2	A2S2R2	A2S3R2
		A2S0R3	A2S1R3	A2S2R3	A2S3R3
	A3	A3S0R1	A3S1R1	A3S2R1	A3S3R1
		A3S0R2	A3S1R2	A3S2R2	A3S3R2
		A3S0R3	A3S1R3	A3S2R3	A3S3R3
	A4	A4S0R1	A4S1R1	A4S2R1	A4S3R1
		A4S0R2	A4S1R2	A4S2R2	A4S3R2
		A4S0R3	A4S1R3	A4S2R3	A4S3R3

Keterangan:

- Si: Skenario i (0 = sistem sekarang)
- Aj: Kondisi proses j
- Rk: Replikasi ke-k

D.3. Analisis Hasil Simulasi

Setelah dilakukan perancangan model simulasi maka dilakukan analisis hasil simulasi terhadap semua skenario yang dikembangkan. Analisis dilakukan untuk menentukan pengaruh masing-masing faktor yang dieksperimenkan dan menentukan faktor yang memiliki pengaruh terbesar terhadap performansi sistem yang dihasilkan. Analisis hasil simulasi juga dilakukan dengan mengevaluasi kondisi aktual sistem nyata pada saat sekarang ini.

D.4. Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir dari penelitian adalah membuat kesimpulan dan saran berdasarkan hasil yang telah diperoleh selama penelitian. Kesimpulan berisi hal-hal penting yang telah didapatkan sehingga dapat diketahui tercapai atau tidaknya tujuan penelitian. Selain itu juga terdapat beberapa

saran yang berguna bagi perusahaan dan penelitian berikutnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan ilustrasi percobaan yang dilakukan maka eksperimen termasuk pada *factorial eksperimen* secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{k(ij)}$$

dimana:

- Y_{ijk} = waktu tunggu ke k yang dipengaruhi oleh faktor alokasi ke i dan pada kondisi proses ke j
- μ = Nilai rata-rata waktu tunggu sesungguhnya
- A_i = Pengaruh faktor alokasi ke i
- B_j = Pengaruh faktor kondisi proses ke j
- (AB)_{ij} = Pengaruh interaksi dari alokasi ke i dan kondisi proses ke j
- ε_{ijk} = Pengaruh galat percobaan waktu tunggu ke k yang dipengaruhi oleh alokasi ke i dan kondisi proses ke j

1. Asumsi yang digunakan untuk analisis ini adalah:

- Komponen-komponen μ, τ_i dan ε_{ij} bersifat aditif.
- Nilai-nilai τ_i (i = 1, 2,..., 4) bersifat tetap.
- ε_{ij} timbul secara acak, menyebar secara normal dengan nilai tengah nol dan ragam σ².

2. Hipotesis yang diuji pada percobaan ini adalah:

- H₀: (AB)_{ij} = 0, artinya tidak ada pengaruh interaksi faktor alokasi dan kondisi proses terhadap waktu tunggu.
- H₁: minimal ada satu pengaruh ada pengaruh interaksi antara faktor alokasi dan kondisi proses terhadap waktu tunggu.
- H₀: A_i = 0, artinya tidak ada pengaruh alokasi terhadap waktu tunggu.
- H₁: minimal ada satu pengaruh alokasi terhadap waktu tunggu.
- H₀: B_j = 0, artinya tidak ada pengaruh kondisi proses terhadap waktu tunggu.
- H₁: minimal ada satu pengaruh ada pengaruh kondisi proses terhadap waktu tunggu.

3. Perhitungan

Proses perhitungan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

- Menentukan jumlah kuadrat (JK) masing-masing sumber keragaman
- Menentukan derajat bebas (db) masing-masing sumber keragaman
- Menentukan kuadrat tengah (KT) masing-masing sumber keragaman
- Menentukan F hitung

Daftar hasil analisis ragam dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis Ragam Waktu Tunggu

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	Ftabel	
					5%	1%
Perfakuan	15	158.28				
Alokasi (A)	3	121.18	40.39	45.78	2.90	4.46
Kondisi Proses (B)	3	21.15	7.05	7.99	2.90	4.46
Interaksi (AB)	9	15.96	1.77	2.01	2.19	3.01
Galat	32	28.24	0.88			

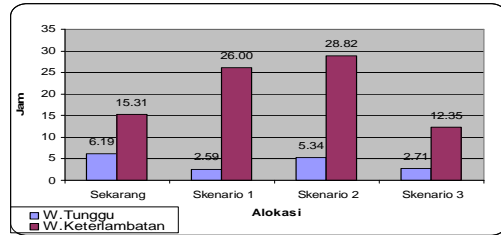
Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa faktor alokasi dan faktor kondisi proses $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka tolak H_0 sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor alokasi dan faktor kondisi proses berpengaruh signifikan terhadap waktu tunggu kapal. Oleh karena itu perlu dilakukan uji untuk menentukan seberapa besar perbedaan diantara masing-masing faktor, dalam hal ini dilakukan dengan menggunakan uji *Student-Newman-Keuls* (uji SNK). Uji SNK dilakukan untuk masing-masing faktor tunggal yaitu faktor alokasi dan faktor kondisi proses. Sedangkan untuk interaksi antar kedua faktor tidak dilakukan uji SNK karena faktor interaksi tidak berpengaruh terhadap kriteria performansi yang ditentukan.

Dengan menggunakan pendekatan analisis ragam (ANOVA) maka diperoleh hasil bahwa faktor yang signifikan berpengaruh terhadap performansi sistem adalah faktor alokasi dan faktor kondisi proses. Analisis pengaruh masing-masing faktor tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

3.1. Analisis Pengaruh Faktor Alokasi

1. Skenario 1 menghasilkan waktu tunggu minimum yaitu 2.59 jam namun dari segi waktu keterlambatannya lebih besar dibandingkan sistem sekarang namun

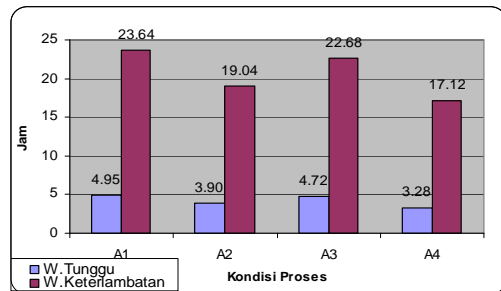
skenario 1 lebih baik digunakan untuk meminimasi waktu tunggu.



Gambar 3. Pengaruh Faktor Alokasi

2. Skenario 2 menghasilkan waktu tunggu lebih kecil dibandingkan sistem sekarang tetapi waktu keterlambatan lebih besar dari sistem sekarang.
3. Skenario 3 menghasilkan waktu tunggu dan waktu keterlambatan lebih kecil dibandingkan sistem sekarang. Sehingga skenario 3 lebih baik digunakan sebagai alternatif solusi sistem pengaturan untuk meminimasi waktu tunggu dan waktu keterlambatan kapal.

3.2. Analisis Pengaruh Faktor Kondisi Proses



Gambar 4. Pengaruh Faktor Kondisi Proses

1. Kondisi Proses 2 yaitu penambahan kecepatan pemuatan dapat mengurangi waktu tunggu dan waktu keterlambatan masing-masing 21.22% dan 22.02% dari kondisi 1.
2. Kondisi Proses 3 yaitu pengurangan waktu gangguan pemuatan dapat mengurangi waktu tunggu dan waktu keterlambatan masing-masing 4.65 % dan 3.88% dari kondisi 1
3. Kondisi Proses 4 yaitu penambahan kecepatan pemuatan dan pengurangan waktu gangguan dapat meminimasi waktu tunggu dan waktu keterlambatan masing-masing sebesar 33.74% dan 29.5 %.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan untuk meminimasi waktu tunggu dan keterlambatan kapal selama proses pemuatan semen pada pelabuhan muat Teluk Bayur maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Model simulasi sistem pengaturan kapal pada pelabuhan muat Teluk Bayur ini dapat digunakan sebagai alat untuk pengambilan keputusan dalam meminimasi waktu tunggu dan keterlambatan kapal.
2. Pada kondisi aktual sistem sekarang terjadi waktu tunggu rata-rata kapal adalah 9.26 jam dan rata-rata waktu keterlambatan 16.87 jam .
3. Usulan perbaikan sistem pengaturan kapal dilakukan dengan mengembangkan skenario alokasi dan dijalankan pada beberapa kondisi proses. Dengan menggunakan skenario alokasi 3 menghasilkan waktu tunggu dan waktu keterlambatan lebih kecil dibandingkan sistem sekarang. Rata-rata waktu tunggu dan keterlambatan yang dihasilkan masing-masing adalah 2.79 jam dan 12.35 jam artinya dengan menggunakan skenario 3 maka dapat mengurangi waktu tunggu sebesar 69.87% dari kondisi aktual sekarang dan waktu keterlambatan dapat dikurangi 26.79% dari kondisi sekarang.

4.2. Saran

Saran yang dapat diajukan dibawah ini merupakan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya:

1. Sebaiknya pada penelitian berikutnya mempertimbangkan kondisi permintaan masing-masing daerah pemasaran maupun permintaan dari konsumen serta mempertimbangkan fluktuasi persediaan silo yang terdapat pada *Packing Plant* Teluk Bayur.
2. Sebaiknya pada penelitian berikutnya mempertimbangkan kondisi yang terjadi pada masing-masing pelabuhan tujuan.

5. Daftar Pustaka

- Ballou, R.H., *Bussiness Logistics Management*, Third Edition, Prentice-Hall International, New York, 1998.
- Baker, K.R., *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons, New York, 1974.
- Carson II, J.S., 2004, *Introduction to Modelling and Simulation*, Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference.
- Dimiyanti, T.T. dan Dimiyanti, A., *Operation Research: Model-Model Pengambilan Keputusan*, Edisi Keempat, PT Sinar Baru Algensindo, Bandung, 1999.
- French, S., *Sequencing and Scheduling*, Jhon Wiley & Sons, New York, 1982.
- Fogarty, D., *Production and Inventory Management*, South Westren Publishing Co., New York, 1991.
- Gaspersz, V., *Metode Perancangan Percobaan*, Armico, Bandung, 1994.
- Kelton, W.D., et.al., *Simulation with Arena*, McGraw-Hill, United States, 1998.
- Law, A.M.W and Kelton, D., *Simulation Modelling And Analysis*. Edisi Kedua. McGraw-Hill Book Company, New York, 1991.
- Pidd, M., *Computer Simulation in Management Science*, Jhon Willey & Sons Ltd, Chicester West Sussex, 1992.
- Simatupang, T.M., *Pemodelan Sistem*. Edisi Pertama, Nindita, Klaten, 1992.
- Sutalaksana, I.Z., dkk, *Teknik Tata Cara Kerja*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1979.
- Taha, H.A., *Riset Operasi*, Edisi Kelima, Bina Rupa Aksara, Jakarta, 1997.

6. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, oleh karena itu pada kesempatan ini tim penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak PT.Semen Padang dan seluruh pihak yang telah turut membantu yang dalam hal tidak disebutkan satu persatu.

Lampiran A

Tabel A.1. Proporsi Kapal Masing-masing Tujuan

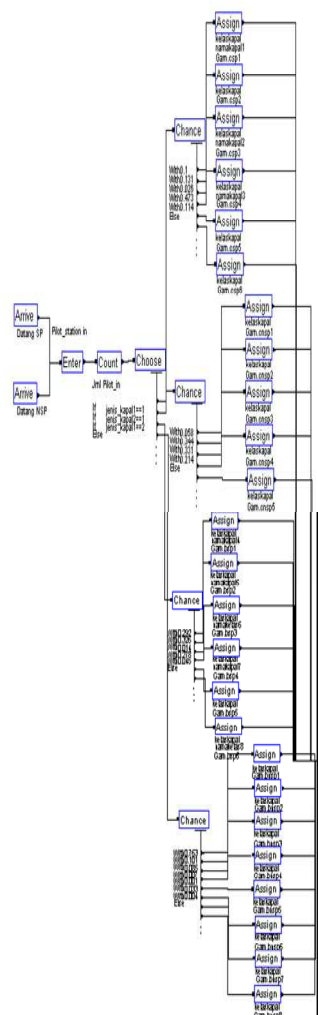
	Jenis Kapal	Kelas Kapal	Proporsi	Nama Kapal	persentase	Proporsi Distribusi S. Curah			Proporsi Distribusi S.Bag							
						Batam	DKI	Medan	Aceh	Medan	Lampung	DKI	Dumai	Semarang	Daerah lain	
Kapal Sewaan PT.SP (35%)	Kapal Curah (50%)	1	0.100	Fasific Poseidon	82.86%		1.00									
				Parnaraya 18	17.14%	0.67	0.17	0.17								
		2	0.131	Sari Fasific	100.00%	0.04	0.96									
		3	0.026	Tonasa Maru	55.56%	1.00										
				Sari Bahtera	44.44%	0.50	0.50									
		4	0.473	Parnaraya 28	30.72%	0.18	0.06	0.76								
	Parnaraya 38			34.34%	0.11	0.04	0.86									
			Rimba 5	34.94%	0.03		0.97									
	5	0.114	Swadaya Lestari	100.00%	0.90	0.10										
	6	0.157	Cement Success	100.00%		1.00										
	Kapal Kantong (50%)	7	0.292	Artha Samudra	32.04%				0.12	0.21	0.42	0.12	0.09	0.09		
				Damar Wulan	21.36%					0.05	0.59				0.36	
				Gani Safari	5.83%				0.67				0.17			0.17
				Pulau Sumatera	24.27%							0.04				0.96
				Sinar Minang	16.50%						0.06	0.41		0.41	0.06	0.06
		8	0.326	Caraka JN 21	20.00%					0.26	0.43	0.09	0.17	0.09		
				Caraka JN 20	19.13%				0.05		0.59	0.27				
				Indobaruna III	31.30%					0.67	0.19	0.08		0.06		
				Caraka JN 18	25.22%					0.55	0.10	0.10	0.07	0.17		
				Adhiguna P.	3.48%										1.00	
				Langgeng II	0.87%									1.00		
		9	0.014	Surabaya Express	80.00%									0.50	0.50	
			Langgeng I	20.00%										1.00		
	10	0.278	Rimba III	8.16%					0.25	0.38	0.25		0.13			
			Artha 8	33.67%				0.03	0.79	0.06	0.12					
Indobaruna V			36.73%					0.61	0.14	0.11	0.03	0.11				
Bunga Mawar			3.06%									1.00				
Fajar Fasifik			13.27%						0.08	0.08		0.38	0.46			
Tanto Citra			3.06%							0.67		0.33				
		Tanto Anda	2.04%						0.50				0.50			
11	0.045	Rimba IV	100.00%					0.94	0.06							
12	0.045	Berkah Lestari	18.75%							0.33			0.67			
		Salindo Perdana	12.50%						1.00							
		RSSI	12.50%							0.50			0.50			
		Isa Mandiri	56.25%						0.67	0.11			0.22			
Kapal Non Sewaan PT.SP (65%)	Kapal Curah Ekspor (12%)	13	0.058													
		14	0.344													
		15	0.331													
		16	0.214													
		17	0.052													
	Kapal Kantong (88%)	18	0.763													
		19	0.101													
		20	0.085													
		21	0.007													
		22	0.001													
23	0.033															
24	0.004															
25	0.007															

Tabel A.2. Rekapitulasi Distribusi Parameter

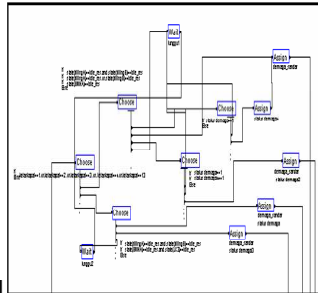
NO	Data Input	Distribusi Data	Standar Error	Nilai
1	Waktu antar kedatangan Kapal SP	Exponential	0.002829	$1 + \text{EXPO}(171)$
2	Waktu antar kedatangan Kapal NSP	Gamma	0.000531	$-0.001 + \text{GAMM}(20.3, 0.881)$
3	Waktu Tempuh TL.Bayur - Batam (Curah)	Beta	0.002076	$W.\text{tempuh teoritis} + 1 + 72 * \text{BETA}(0.998, 1.64)$
4	Waktu Tempuh TL.Bayur - Medan (Curah)	Weibull	0.001007	$w.\text{tempuh teoritis} + \text{WEIB}(16.4, 1.27)$
5	Waktu Tempuh TL.Bayur - DKI (Curah)	Erlang	0.00129	$w.\text{tempuh teoritis} + \text{ERLA}(14, 1)$
6	Waktu Bongkar Batam (Curah)	Erlang	0.012368	$W.\text{bongkar} + 1 + \text{ERLA}(9.8, 2)$
7	Waktu Bongkar Medan (Curah)	Weibull	0.002081	$W.\text{bongkar} + \text{WEIB}(21.9, 1.4)$
8	Waktu Bongkar DKI (Curah)	Gamma	0.002731	$W.\text{bongkar} + \text{GAMM}(14.6, 0.968)$
9	Waktu trip TL.Bayur - Aceh (Bag)	Erlang	0.001529	$W.\text{tempuh teoritis} + W.\text{bongkar} + 15 + \text{ERLA}(166, 2)$
10	Waktu trip TL.Bayur - Semarang (Bag)	Triangular	0.045175	$W.\text{tempuh teoritis} + W.\text{bongkar} + \text{TRIA}(157, 456, 3.15e+003)$
11	Waktu trip TL.Bayur - Medan (Bag)	Weibull	0.001174	$W.\text{tempuh teoritis} + W.\text{bongkar} + \text{ERLA}(172, 1)$
12	Waktu trip TL.Bayur - DKI (Bag)	Triangular	0.279244	$W.\text{tempuh teoritis} + W.\text{bongkar} + \text{TRIA}(25, 99.9, 774)$
13	Waktu trip TL.Bayur - Lampung (Bag)	Triangular	0.121384	$W.\text{tempuh teoritis} + W.\text{bongkar} + \text{TRIA}(46, 120, 785)$
14	Waktu trip TL.Bayur - Dumai (Bag)	Triangular	0.38716	$W.\text{tempuh teoritis} + W.\text{bongkar} + \text{TRIA}(30, 80.1, 531)$
15	W.gangguan pemuatan f.filling (controlable)	Exponential	0.000982	$-0.001 + \text{EXPO}(2.95)$
16	W.gangguan pemuatan f.filling (uncontrolable)	Triangular	0.580137	$\text{TRIA}(-0.001, 1.2, 12)$
17	W.gangguan pemuatan LC3 (controlable)	Erlang	0.000552	$-0.001 + \text{ERLA}(4.71, 1)$
18	W.gangguan pemuatan LC3 (uncontrolable)	Beta	0.005746	$-0.001 + 24 * \text{BETA}(0.418, 1.83)$
19	W.gangguan pemuatan BMHA (controlable)	Gamma	0.007555	$-0.001 + \text{GAMM}(10.8, 0.502)$
20	W.gangguan pemuatan BMHA (uncontrolable)	Beta	0.004285	$-0.001 + 21 * \text{BETA}(0.129, 1.2)$
21	W.gangguan pemuatan LC1 (controlable)	Exponential	0.005000	$-0.001 + \text{EXPO}(7.64)$
22	W.gangguan pemuatan LC1 (uncontrolable)	Beta	0.004905	$-0.001 + 24 * \text{BETA}(0.349, 1.09)$
23	W.gangguan pemuatan LC2 (controlable)	Exponential	0.001803	$-0.001 + \text{EXPO}(5.87)$
24	W.gangguan pemuatan LC2 (uncontrolable)	Weibull	0.003349	$-0.001 + \text{WEIB}(5.13, 0.883)$
25	W.gangguan pemuatan LC4 (controlable)	Exponential	0.020859	$-0.001 + \text{EXPO}(8.18)$
26	W.gangguan pemuatan LC4 (uncontrolable)	Beta	0.006460	$-0.001 + 24 * \text{BETA}(0.448, 2.13)$
27	W.gangguan pemuatan BMHB (uncontrolable)	Beta	0.007220	$-0.001 + 21 * \text{BETA}(0.373, 1.49)$
28	W.gangguan pemuatan BMHB (controlable)	Gamma	0.004423	$-0.001 + \text{GAMM}(7.25, 0.933)$

Lampiran B

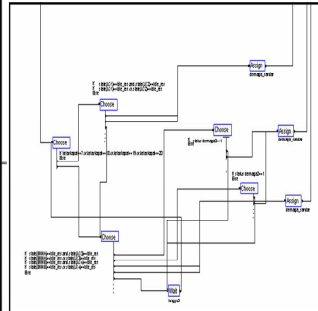
Proses Kedatangan Dan Desain Atribut Kapal



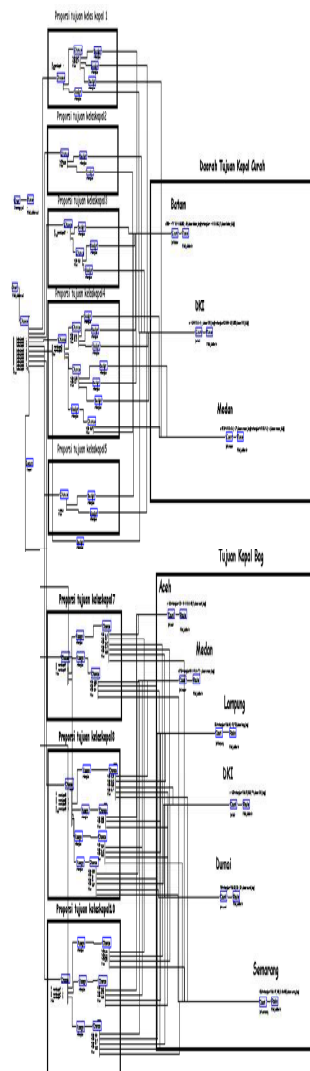
Proses Pemilihan Sandaran Kapal Curah



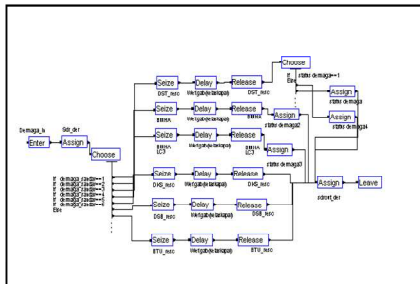
Proses Pemilihan Sandaran Kapal Bag



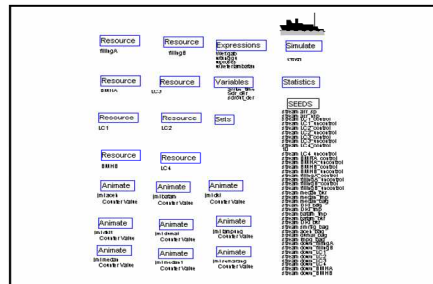
Kapal Berlayar Ke Masing-Masing Pelabuhan Tujuan



Proses Pemuatan Kapal Masing-Masing Dermaga



Model Animasi Dan Inisialisasi



Gambar B.1. Model Logika Proses Pemuatan Semen