

# Analisis Sistem Antrian Kapal Pengangkut Barang di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

Aulia Ahmad dan Muhammad Mashuri  
Jurusan Statistika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail*: m\_mashuri@statistika.its.ac.id

**Abstrak**— Indonesia sebagai negara kepulauan membutuhkan sistem logistik yang terintegrasi, efektif dan efisien guna meningkatkan daya saing, dan menjamin keberadaan komoditi strategis dari bahan kebutuhan pokok masyarakat secara merata dan terjangkau. Pelabuhan Tanjung Perak merupakan salah satu pelabuhan pintu gerbang Indonesia bagian timur, menjadi pusat kolektor dan distributor barang ke Kawasan Timur Indonesia. Arus petikemas di Pelabuhan Tanjung Perak terminal Petikemas Surabaya tahun 2012 mencapai 984.178 boks. Dalam menjaga pelayanan pelabuhan yang optimal, maka perlu menghindari waktu tunggu kapal (*waiting time*) yang lama serta utilitas sistem antrian yang rendah. Teori antrian merupakan salah satu metode untuk melakukan pengukuran fenomena menunggu dalam sebuah garis dengan memperhatikan representasi dari ukuran performansi. Tujuan dari sistem antrian adalah untuk menawarkan kepuasan kepada pelanggan yang menunggu. Setelah mengetahui model antrian maka dilanjutkan melakukan simulasi model antrian. Model Antrian yang sesuai di Pelabuhan Tanjung Perak yakni G/G/46/I/I. Perbaikan sistem antrian dilakukan dengan mencoba memindahkan beberapa aktivitas bongkar muat dari dermaga yang sudah ada ke dermaga baru. Hasil percobaan menunjukkan peningkatan utilitas pada dermaga yang ada. Dermaga Mirah mengalami peningkatan utilitas paling tinggi yakni 2,24%.

**Kata Kunci**— Pelabuhan Tanjung Perak, Simulasi, Sistem Antrian, Utilitas.

## I. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan membutuhkan sistem logistik yang terintegrasi, efektif dan efisien guna meningkatkan daya saing, dan menjamin keberadaan komoditi strategis dari bahan kebutuhan pokok masyarakat secara merata dan terjangkau. Pilar pokok sistem logistik adalah menjamin secara efektif dan efisien yang tercermin dalam biaya logistik yang rendah, dan pelayanan yang responsif dan memuaskan. Pengelolaan logistik yang efisien dan efektif akan membantu pelaku usaha untuk dapat lebih unggul dalam persaingan melalui penciptaan nilai tambah yang lebih tinggi. Hasil Survei Indeks Kinerja Logistik (*Logistic Performance Indeks/ LPI*) oleh Bank Dunia tahun 2007, Indonesia menduduki peringkat ke-43 dari 150 negara yang disurvei dan pada tahun 2010 posisi Indonesia terus merosot ke peringkat 75 di antara 155 negara yang disurvei dan berada di bawah kinerja beberapa negara ASEAN lainnya seperti Singapura (urutan kedua), Malaysia (urutan ke-29) dan Thailand (urutan ke-35). LPI yang diterbitkan oleh Bank Dunia menggunakan enam indikator penilaian, yaitu kepabeanaan, infrastruktur, kemudahan mengatur pengapalan internasional, kompetensi

logistik dari pelaku dan penyedia jasa lokal, biaya logistik dalam negeri dan waktu delivery [1].

Pelabuhan Tanjung Perak sebagai pelabuhan terbesar di Jawa Timur tentunya memberikan sumbangsih yang besar terhadap laju perekonomian di Jawa Timur. Pelabuhan Tanjung Perak merupakan salah satu pelabuhan pintu gerbang Indonesia bagian timur, menjadi pusat kolektor dan distributor barang ke Kawasan Timur Indonesia. Arus petikemas di Pelabuhan Tanjung Perak terminal Petikemas Surabaya tahun 2012 mencapai 984.178 boks atau 103 persen dari anggaran sebesar 958.893 boks, hal ini disebabkan adanya peningkatan arus petikemas baik di dermaga internasional maupun domestik dari yang direncanakan dan tingkat perdagangan nasional mulai menunjukkan peningkatan baik dalam boks maupun Teu's [2].

Laporan Manajemen PT Pelindo III Persero Cabang Tanjung Perak Semester I Tahun 2015 mencatat jumlah kunjungan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak sebanyak 6.645 unit kapal. Terdapat penurunan jumlah kapal dibandingkan periode yang sama di tahun 2014. Lama *waiting time* kapal di Pelabuhan Tanjung Perak mencapai 3-4 hari dengan rata-rata lama layanan kapal di dermaga mencapai 47,58 jam untuk kapal pengangkut barang luar negeri dan 49,55 jam untuk kapal pengangkut barang dalam negeri [3].

Oleh karena itu perlu melakukan optimalisasi untuk melakukan perbaikan pelayanan Pelabuhan Tanjung Perak. Salah satu cara untuk melakukan optimalisasi adalah dengan menggunakan teori antrian. Antrian adalah suatu garis tunggu dari nasabah (satu) yang memerlukan layanan dari satu atau lebih pelayan (fasilitas layanan) [4]. Antrian terjadi karena tingkat kedatangan lebih besar dari pada kemampuan untuk melayani pada suatu waktu tertentu dan tidak terjadi sepanjang waktu. Oleh karena itu perlunya penelitian untuk menghindari waktu tunggu kapal (*waiting time*) yang lama menggunakan teori antrian demi tercapainya pelayanan pelabuhan Tanjung Perak yang cepat.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Layanan Bongkar Muat di Pelabuhan Tanjung Perak

Pelabuhan Tanjung Perak merupakan salah satu pelabuhan pintu gerbang di Indonesia, yang menjadi pusat kolektor dan distributor barang ke Kawasan Timur Indonesia. karena letaknya yang strategis dan didukung oleh daerah *hinterland* Jawa Timur yang potensial maka Pelabuhan Tanjung Perak juga merupakan pusat pelayanan interinsular Kawasan Timur Indonesia. Pelabuhan Tanjung Perak telah memberikan suatu kontribusi yang cukup besar bagi

perkembangan ekonomi dan memiliki peranan yang penting tidak hanya bagi peningkatan lalu lintas perdagangan di Jawa Timur tetapi juga di seluruh Kawasan Timur Indonesia.



Gambar. 1. Layout Terminal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

Terdapat enam terminal di Pelabuhan Tanjung Perak, yakni Nilam, Jamrud, Mirah, Berlian, Kalimas dan Terminal Petikemas. Namun yang berada dibawah cakupan PT Pelindo III Cabang Tanjung Perak yakni Terminal Jamrud, Terminal Nilam, Terminal Mirah serta Terminal Kalimas. Sementara Terminal Berlian berada dibawah cakupan PT BJTJ (Berlian Jaya Terminal Indonesia) yang merupakan anak perusahaan PT Pelindo III (Persero). Terdapat satu terminal lagi yakni Terminal Kalimas yang berfungsi untuk melayani aktivitas kapal-kapal pelayaran rakyat (Pelra). Selain itu, Terminal Kalimas juga termasuk salah satu Cagar Budaya Kota Surabaya.

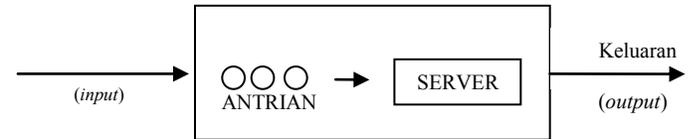
Alur pelayanan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak, dapat diketahui bahwa ketika ada kapal yang datang, agen pelayaran atau perusahaan pelayaran dipastikan sudah mengajukan permintaan pelayanan jasa kapal di Pusat Pelayanan Satu Atap (PPSA) paling lambat 1x24 jam sebelum kapal tiba dan juga sudah memberikan *Ship Arrival List (SAL)* paling lambat satu minggu sebelumnya. Kemudian kapal masih harus menunggu jadwal untuk merapat (tambat) di dermaga yang sebelumnya harus menunggu di rede untuk beberapa waktu. Ketika sudah terdapat jadwal merapat, maka kapal akan mendapat pelayanan di dermaga. Setelah selesai mendapatkan pelayanan, kapal bisa keluar dari area pelabuhan dengan catatan semua proses administrasi dokumen telah selesai dan mendapat persetujuan untuk meninggalkan area pelabuhan.

### B. Teori Antrian

Sistem antrian merupakan bagian dari kehidupan sehari-hari. Studi tentang antrian berkaitan dengan mengukur fenomena menunggu dalam sebuah garis dengan memperhatikan representasi dari ukuran performansi, seperti rata-rata panjang antrian, rata-rata waktu dalam antrian, serta rata-rata pemanfaatan fasilitas. Tujuan dari sistem antrian adalah untuk menawarkan kepuasan pada kepada pelanggan yang menunggu [5].

Antrian adalah suatu garis tunggu dari nasabah (satu) yang memerlukan layanan dari satu atau lebih pelayan (fasilitas layanan) [4]. Kejadian garis tunggu timbul disebabkan oleh kebutuhan akan layanan melebihi kemampuan atau kapasitas. Antrian terjadi karena tingkat kedatangan lebih besar dari pada kemampuan untuk melayani pada suatu waktu tertentu dan tidak terjadi sepanjang waktu. Struktur dasar sistem antrian di asumsikan bahwa sistem

antrian mengikuti “pelanggan datang memerlukan jasa pelayanan yang disebut sebagai input atau sumber”.



Gambar 2. Model Sistem Antrian

Berdasarkan Gambar 2 dapat dijelaskan istilah-istilah yang digunakan yakni sebagai berikut.

1. Sumber (*input*), disebut juga populasi adalah pelanggan yang datang untuk minta jasa pelayanan, ukuran dari input adalah kuantitas yang meningkat dari waktu ke waktu. Asumsi umum dari sumber (*input*) mengikuti proses poisson, dan waktu antar kedatangan pelanggan ke sistem antrian berdistribusi eksponensial dimana kedatangan pelanggan untuk masuk sistem antrian terjadi secara random.

2. Antrian, disebut juga garis tunggu, atau pelanggan yang sedang antri, yaitu jumlah pelanggan maksimum yang diijinkan untuk menunggu di layani dalam sistem antrian. Antrian disebut *finite* atau *infinite*. Antrian *finite* artinya panjang antrian terbatas, yaitu pelanggan yang berada dalam sistem antrian dibatasi jumlahnya.

3. Disiplin antrian, adalah cara server memilih anggota antrian untuk dilayani, diantaranya sebagai berikut.

- Yang datang pertama yang dilayani terlebih dahulu ((FCFS) *first come first served*) atau FIFO (*first in first out*).
- Prioritas, anggota yang mempunyai prioritas tinggi yang akan dilayani terlebih dahulu.
- Random, semua anggota mempunyai kesempatan yang sama.
- Yang datang terakhir yang dilayani terlebih dahulu (LIFO) *last in first out*).

### 4. Pelayanan

Pelayanan dalam sistem antrian bisa memuat satu atau lebih proses pelayanan. Proses pelayanan ini disebut *phase* di mana dalam satu phase bisa memuat satu server atau lebih. Ada empat struktur model pelayanan pada system antrian, yaitu: *Single server, single phase; Single server, multi phase; Multi server, single phase; Multi server, multi phase*.

5. Keluaran (*output*), adalah pelanggan yang keluar dari sistem antrian karena sudah selesai mendapatkan pelayanan secara lengkap [6].

Pada pengelompokan model-model antrian yang berbeda-beda akan digunakan suatu notasi yang disebut dengan notasi Kendall. Notasi ini sering dipergunakan karena beberapa alasan. Diantaranya, karena notasi tersebut merupakan alat yang efisien untuk mengidentifikasi tidak hanya model-model antrian, tetapi juga asumsi-asumsi yang harus dipenuhi [7].

Format umum model antrian:

**1 / 2 / 3 / 4 / 5**

- Menunjukkan tingkat kedatangan ke dalam sistem antrian.
- Menunjukkan tingkat pelayanan dalam sistem antrian.
- Menunjukkan jumlah server (fasilitas pelayanan).
- Menunjukkan jumlah populasi.
- Menunjukkan panjang antrian.

Berikut terdapat beberapa jenis model antrian.

1. Model Antrian  $M/M/s/I$

Model antrian yang memiliki  $s$  jumlah server, server tersebut beroperasi dengan tingkat pelayanan yang sama dan server melayani satu pelanggan dalam satu waktu.

$$\lambda_n = \lambda \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$\mu_n = n\mu \quad n = 0, 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

Utilitas sistem dapat diketahui melalui ratio antara  $\lambda$  dengan  $\mu$ .

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3)$$

$$P_0 \frac{1}{\sum_{n=0}^{m-1} \rho^n / n!} + \frac{\rho^m}{m!} \frac{1}{1 - \rho/m} \quad (\rho/m < 1) \quad (4)$$

Ukuran performansi ditulis dalam fungsi  $P_0$ . ekspektasi jumlah pelanggan dalam antrian dinyatakan dalam  $L_q$ .

$$L_q = \frac{\rho^{m+1} / m}{m! \left(1 - \frac{\rho}{m}\right)^2} P_0 \quad (5)$$

Ekspektasi waktu tunggu dapat diketahui melalui persamaan berikut.

$$W_q = L_q / \lambda \quad (6)$$

2. Model Antrian  $M/M/\sim$  dan  $M/G/\sim$

Kinerja sistem dengan jumlah server yang besar dapat diketahui dengan pendekatan model antrian  $M/M/\sim$ . Hal ini menunjukkan model antrian  $M/M/\sim$  lebih mudah dievaluasi dibandingkan  $M/M/s/I$ . Rata-rata laju kedatangan dan rata-rata laju pelayanan dapat diketahui melalui persamaan berikut.

$$\lambda_n = \lambda \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

$$\mu_n = n\mu \quad n = 0, 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{\sim} \rho^n / n!} \quad (9)$$

$P_0$  menunjukkan probabilitas sistem mengganggu, yakni tidak terdapat pelanggan dalam sistem antrian. Model  $M/M/I/I$  mendefinisikan batas performansi model antrian  $M/M/s/I$  dengan  $s$  merupakan jumlah server. Model antrian  $M/M/I/I$  juga mendefinisikan batas performansi model antrian  $M/G/s/I$  dan model antrian  $M/G/I/I$  dengan jumlah server yang besar.

3. Model Antrian  $G/G/s/I$

Pendekatan Allen-Cunneen menjadi salah satu alternatif dalam melakukan evaluasi sistem antrian dengan tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan tidak mengikuti distribusi eksponensial. Pendekatan untuk mendapatkan nilai  $L_q$  dari model  $M/M/s/I$  persamaan (2.5). Pendekatan Allen-Cunneen ( $G/G/m/I$ ).

$$L_q = L_{q,M/M/s} \cdot \left[ \frac{C^2(A) + C^2(S)}{2} \right] \quad (10)$$

Dimana  $C(A)$  merupakan koefisien variasi untuk waktu antar kedatangan dan  $C(S)$  merupakan koefisien variasi waktu pelayanan (rasio standar deviasi terhadap *mean*) [8].

C. Pengujian Distribusi Data

Pengujian distribusi untuk masing-masing data dapat dilakukan dengan menggunakan statistik uji *Kolmogorov Smirnov* [9]. Cara kerja metode ini adalah dengan

membandingkan fungsi distribusi empiris  $F_n(x_i)$  dengan fungsi distribusi hipotesis,  $\hat{F}(x)$ .

Jika  $X_1, X_2, \dots, X_n$  adalah order statistik dari variabel random yang independen dengan distribusi hipotesis,  $\hat{F}(x)$  dan distribusi empirisnya didefinisikan sebagai berikut.

$$F_n(x_i) = \frac{\text{Banyaknya data } X_i \leq x_i}{n}, \text{ untuk } i=1,2,\dots,k < n \quad (11)$$

Dimana  $F_n(x_i)$  adalah fungsi step kontinu kanan (*right continuous step function*). Setiap nilai  $F_n(x_i)$  akan dibandingkan dengan nilai distribusi dugaan  $\hat{F}(x)$ . Sehingga statistik uji yang digunakan adalah jarak vertikal terbesar (*maximum*) antara  $\hat{F}(x)$  dan  $F_n(x_i)$  yang disimbolkan dengan

$D_n$  dan ditulis dengan  $D_n = \sup_x \left| \hat{F}_n(x) - F(x) \right|$ , dengan uji hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$H_0$ : Data adalah variabel random independen yang berdistribusi sesuai dengan distribusi  $\hat{F}(x)$

$H_1$ : Data adalah variabel random independen yang tidak berdistribusi sesuai dengan distribusi  $\hat{F}(x)$

$H_0$  akan ditolak bila  $D_n > d_{n,\alpha/2}$ , dimana  $d_{n,\alpha/2}$  merupakan nilai tabel *Kolmogorov Smirnov* atau p-value lebih kecil dari  $\alpha$ .

D. Pengujian Validitas Data

Uji dua sampel *Kolmogorov Smirnov* digunakan sebagai metode yang untuk validasi, dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0$ : Data hasil pengamatan berdistribusi sama dengan data hasil simulasi

$H_1$ : Data hasil pengamatan berdistribusi tidak sama dengan data hasil simulasi

Statistik uji:

$$D_n = \sup_x \left| \hat{F}_n(x) - F(x) \right| \quad (12)$$

$H_0$  akan ditolak bila  $D_n > d_{n,\alpha/2}$ , dimana  $d_{n,\alpha/2}$  merupakan nilai tabel *Kolmogorov Smirnov* atau p-value lebih kecil dari  $\alpha$ .

E. Extend Simulator

Salah satu software simulasi (*simulator*) yang digunakan untuk membangun model dinamis dari sistem nyata yang sedang diamati. Membuat *simulator* berarti mengkomunikasikan apa-apa yang ada dalam suatu sistem nyata dengan membuat model atau beberapa *block* yang bersesuaian dengan sistem tersebut. Tiap-tiap *block* tersimpan dalam suatu *library* dimana setiap *library* mewakili karakteristik kelompok yang sama. Dalam *block* tersebut terdapat kotak dialog yang berfungsi untuk mendefinisikan kondisi sistem yang akan digunakan.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua sumber data yakni data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kapal yang berlabuh di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Data yang digunakan yakni data kapal yang berlabuh di Pelabuhan Tanjung Perak mulai Bulan Januari hingga Mei 2015. Keseluruhan data yang diperoleh tersebut dijadikan menjadi sampel. Data kapal yang berlabuh terlebih memuat waktu kapal datang serta kapal selesai melakukan aktivitas bongkar

muat. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui waktu antar kedatangan seta waktu lama pelayanan kapal, dimana dua waktu tersebut sangat erat kaitannya dalam penggunaan teori antrian. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dan informasi tentang sistem dan tata letak dermaga, serta mekanisme pelayanan yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak. Variabel penelitian yang digunakan adalah waktu antar kedatangan kapal, lama pelayanan di terminal.

Langkah analisis yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis data, dengan terlebih dahulu melakukan pendugaan distribusi data dari waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan.
2. Menentukan dan menganalisa model antrian yang terdapat pada Pelabuhan Tanjung Perak.
3. Merancang model layanan yang optimal dalam pelayanan di Pelabuhan Tanjung Perak.
4. Menarik kesimpulan dan memberi saran dari hasil analisis dan pembahasan terkait sistem antrian di Pelabuhan Tanjung Perak .

#### IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

##### A. Model Antrian di Pelabuhan Tanjung Perak

Pelabuhan Tanjung Perak merupakan salah satu pelabuhan dengan aktivitas kepelabuhan yang sangat padat di Indonesia dan juga sebagai kolektor dan distributor barang dari dan ke kawasan Indonesia Timur. Berikut ini statistika deskriptif pelayanan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak.

Tabel 1  
Deskriptif Lama Waktu Antar Kedatangan Kapal di Dermaga

Dermaga	N (kapal)	Min (jam)	Max (jam)	Mean (jam)	Std. Deviasi
Jamrud Selatan	498	0,00	42,07	6,05	6,39
Berlian Utara	95	0,00	85,08	35,11	17,05
Jamrud Barat	31	19,67	435,52	92,84	72,29
Jamrud Utara	316	0,00	58,75	5,34	6,03
Berlian Barat	464	0,00	96,47	7,38	8,24
Berlian Timur	573	0,00	39,07	5,89	5,61
Mirah	649	0,00	24,00	4,48	4,58
Nilam	537	0,00	40,90	4,62	6,58

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui waktu antar kedatangan kapal di masing-masing dermaga. Diantara kedelapan dermaga, waktu antar kedatangan paling rendah di Jamrud Barat adalah selama 19,67 Jam. Sementara pada dermaga lainnya memiliki waktu antar kedatangan paling rendah selama 0 jam, atau sering kali kapal datang di waktu yang bersamaan. Waktu antar kedatangan yang paling lama yakni terjadi di Dermaga Jamrud Barat selama 435,52 jam atau sekitar 18 hari.

Tabel 2  
Deskriptif Lama Waktu Pelayanan Kapal di Masing-Masing Dermaga

Dermaga	Min (jam)	Max (jam)	Mean (jam)	Std. Deviasi
Jamrud Selatan	0,17	439,42	45,98	66,14
Jamrud Barat	13,75	127,70	70,79	32,54
Jamrud Utara	1,05	222,67	39,75	47,86
Berlian Utara	4,67	69,12	30,42	14,14
Berlian Barat	3,33	122,90	29,59	17,15
Berlian Timur	0,20	135,00	24,53	16,74
Nilam	1,50	240,50	28,96	25,12
Mirah	4,83	231,20	37,29	31,16

Tabel 2 menunjukkan lama pelayanan kapal di masing-masing dermaga. Secara keseluruhan, lama pelayanan kapal di

masing-masing dermaga lebih dari satu hari. Hal ini dapat diketahui dari rata-rata lama pelayanan kapal yang lebih dari 24 jam pada semua dermaga. Hal ini menunjukkan bahwa satu unit kapal membutuhkan waktu setidaknya satu hari dalam melakukan aktivitas bongkar muat barang.

Lama sebuah kapal melakukan aktivitas bongkar muat juga dipengaruhi oleh jumlah dan jenis muatan kapal serta ukuran kapal, hal ini dikarenakan semakin besar ukuran kapal, tentunya juga akan mempengaruhi banyak muatan yang dibawa oleh kapal serta akan berpengaruh pada waktu yang diperlukan kapal untuk melakukan aktivitas bongkar muat. Berikut ini deskriptif jumlah muatan yang dibawa oleh kapal.

Tabel 3.  
Deskriptif Jumlah Muatan Kapal di Masing-Masing Dermaga

Dermaga	Min (ton)	Max (ton)	Mean (ton)	Std. Deviasi
Jamrud Selatan	340	33.900	3.615,6	5.371,38
Jamrud Barat	2.518	36.400	17.937,0	12.234,50
Jamrud Utara	425	61.800	13.549,0	13.469,60
Berlian Utara	2.979	9.606	6.211,1	2.089,72
Berlian Barat	661	16.900	5.410,7	2.672,65
Berlian Timur	500	54.600	5.633,8	7.030,53
Nilam	81	18.000	3.893,4	3.253,59
Mirah	336	8.203	2.430,7	1.892,67

Tabel 3 menunjukkan jumlah muatan kapal yang sandar di masing-masing dermaga. Jumlah muatan pada kapal yang bersandar di masing-masing dermaga beragam, hal itu bisa di ketahui dari jumlah muatan minimum dan maksimum yang sandar di masing dermaga. Rata-rata jumlah muatan kapal paling banyak terdapat di Dermaga Jamrud Barat yakni sebesar 17.937 ton. Kemudian dermaga Jamrud Utara sebesar 13.549 ton. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas bongkar muat di kedua dermaga banyak melayani kapal-kapal dengan muatan yang besar. Melihat kedua dermaga tersebut melayani pelayaran internasional.

Tabel 4  
Deskriptif Panjang Kapal yang Berlabuh di Masing-Masing Dermaga

Dermaga	Min (m)	Max (m)	Mean (m)	Modus (m)	Std. Deviasi
Jamrud Selatan	42	200	85,09	70	28,07
Jamrud Barat	85	200	151,81	190	42,93
Jamrud Utara	42	239	133,79	107	48,83
Berlian Utara	93	141	117,78	97	13,14
Berlian Barat	52	185	112,46	120	21,96
Berlian Timur	52	230	106,65	120	30,85
Nilam	36	129	94,08	55	32,18
Mirah	25	177	76,07	107	32,12

Tabel 4. menunjukkan panjang kapal yang berlabuh di masing-masing dermaga. Panjang kapal yang berlabuh di masing-masing dermaga memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Mulai dari kapal yang memiliki panjang 25 meter hingga kapal yang panjangnya 239 meter. Rata-rata panjang kapal yang berlabuh di Dermaga Jamrud Barat yakni 151,81 meter dan merupakan rata-rata panjang kapal yang paling besar dibanding di dermaga lainnya. Kapal yang paling sering berlabuh di dermaga jamrud selatan adalah kapal dengan panjang 70 meter.

Tabel 5  
Hasil Pengujian Distribusi Waktu Antar Kedatangan di Dermaga

Dermaga	P-Value	Keputusan
Jamrud Utara	0,428	Gagal Tolak $H_0$
Jamrud Barat	0,019	Tolak $H_0$
Jamrud Selatan	0,000	Tolak $H_0$
Berlian Utara	0,000	Tolak $H_0$
Berlian Timur	0,830	Gagal Tolak $H_0$
Berlian Barat	0,756	Gagal Tolak $H_0$
Nilam	0,000	Tolak $H_0$
Mirah	0,000	Tolak $H_0$

Berdasarkan Tabel 5 Dapat diketahui bahwa dari delapan dermaga, hanya empat dermaga yang memiliki p-value lebih besar dari taraf signifikansi ( $\alpha$ ) 0,05, sehingga dermaga yang memiliki waktu antar kedatangan kapal yang berdistribusi eksponensial adalah Dermaga Jamrud Utara, Dermaga Berlian Timur, Dermaga Berlian Barat. Sementara untuk lima dermaga lainnya tidak memenuhi asumsi distribusi eksponensial. Selanjutnya melakukan pengujian distribusi data waktu pelayanan kapal di masing-masing dermaga.

Tabel 6  
Hasil Pengujian Distribusi Waktu Pelayanan Kapal di Dermaga

Dermaga	P-Value	Keputusan
Jamrud Utara	0,000	Tolak $H_0$
Jamrud Barat	0,037	Tolak $H_0$
Jamrud Selatan	0,000	Tolak $H_0$
Berlian Utara	0,000	Tolak $H_0$
Berlian Timur	0,000	Tolak $H_0$
Berlian Barat	0,000	Tolak $H_0$
Nilam	0,000	Tolak $H_0$
Mirah	0,000	Tolak $H_0$

Dapat diketahui nilai p-value hasil pengujian distribusi eksponensial semua dermaga lebih kecil dibandingkan nilai taraf signifikansi ( $\alpha$ ) 0,05, sehingga keputusan pengujian distribusinya tolak  $H_0$ . Dengan demikian seluruh dermaga memiliki waktu pelayanan yang tidak berdistribusi eksponensial.

Tabel 7  
Notasi Kendall yang Berlaku di Masing-Masing Dermaga

Dermaga	Notasi Kendall
Jamrud Utara	M/G/5
Jamrud Barat	G/G/1
Jamrud Selatan	G/G/9
Berlian Utara	G/G/1
Berlian Timur	M/G/7
Berlian Barat	M/G/6
Nilam	G/G/9
Mirah	G/G/8

Tabel 7 Menunjukkan Notasi Kendall yang berlaku di masing-masing dermaga. Dermaga Jamrud Utara memiliki tingkat kedatangan yang berdistribusi eksponensial serta tingkat pelayanan yang berdistribusi *general distribution* dan terdapat 5 server. Panjang antrian serta sumber antrian tidak terbatas (*infinite*). Tingkat kedatangan kapal di dermaga Jamrud Barat berdistribusi *general distribution* dan Tingkat pelayanan di dermaga Jamrud Barat berdistribusi *general distribution* dengan server yang tersedia hanya satu. Dermaga Jamrud Selatan memiliki tingkat kedatangan yang berdistribusi *general independent distribution* serta tingkat pelayanan yang berdistribusi *general distribution* dan terdapat 9 server.

Setelah mengetahui Notasi Kendall untuk masing-masing dermaga, selanjutnya adalah menentukan notasi kendall secara umum di Pelabuhan Tanjung Perak dengan mengacu notasi kendall pada dermaga yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak.

Berikut ini Notasi Kendall pada Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

G/G/46/I/I

Pola kedatangan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak mengikuti *general independent distribution*. Tingkat pelayanan di Pelabuhan Tanjung Perak memiliki distribusi yang berbeda-beda sesuai dengan pelayanan masing-masing dermaga sebagaimana telah dibahas sebelumnya. Jumlah server yang terdapat pada Pelabuhan Tanjung Perak adalah 46 server. Jumlah ini diperoleh melalui menjumlahkan server yang ada di masing-masing dermaga. Sumber populasi dan panjang antrian di Pelabuhan Tanjung Perak yakni tidak terbatas (*infinite*). Disiplin antrian yang digunakan yakni FCFS, yang pertama kali datang, yang pertama kali mendapatkan pelayanan di Pelabuhan Tanjung Perak.

*B. Model Simulator Sistem Antrian Pelabuhan Tanjung Perak*

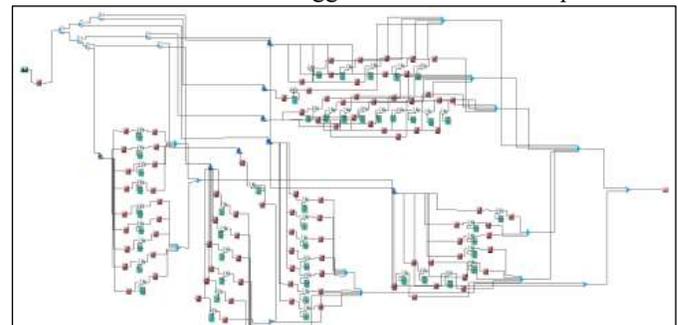
Pembuatan model simulator sistem antrian di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya menggunakan *Extend Simulator*. Simulator disusun berdasarkan *block* yang sesuai dan *input random* berdasarkan distribusi yang sesuai.

Tabel 8  
Hasil Pengujian Distribusi Waktu Pelayanan Kapal di Dermaga

Dermaga	Distribusi Yang Sesuai	P-Value	Keputusan
Jamrud Utara	Pearson V	0,0046	Tolak $H_0$
Jamrud Barat	Johnson SB	0,9861	Gagal Tolak $H_0$
Jamrud Selatan	Pearson VI	0,3766	Gagal Tolak $H_0$
Berlian Utara	Log-Logistic	0,6841	Gagal Tolak $H_0$
Berlian Timur	Pearson VI	0,9952	Gagal Tolak $H_0$
Berlian Barat	Lognormal	0,8599	Gagal Tolak $H_0$
Nilam	Johnson SB	0,0172	Tolak $H_0$
Mirah	Pearson V	0,2338	Gagal Tolak $H_0$

Dengan membandingkan nilai *p-value* dengan nilai alfa 0,05, maka dapat diketahui distribusi waktu pelayanan masing-masing dermaga yang sesuai. Namun, pada waktu pelayanan di Dermaga Jamrud Utara dan Nilam, dapat diketahui bahwa p-value kurang dari alfa, sehingga distribusi yang sesuai tidak signifikan. Namun pada pembuatan simulasi tetap menggunakan distribusi tersebut.

Hasil pengujian distribusi waktu antar kedatangan kapal dapat diketahui bahwa nilai p-value sebesar 0,000. Dengan membandingkan *p-value* dan nilai alfa, dapat diketahui bahwa tolak  $H_0$  untuk waktu antar kedatangan, sehingga tidak berdistribusi eksponensial. Waktu antar kedatangan kapal tidak mempunyai distribusi yang sesuai sehingga dalam input simulator model antrian menggunakan distribusi empiris.



Gambar. 2 Model Simulator Sistem Antrian Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

Gambar 2 menunjukkan model simulator sistem antrian di Pelabuhan Tanjung Perak. Setelah membuat model simulator

sistem antrian di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, perlu dilakukan pemeriksaan terhadap simulator yang dibuat. Meskipun dalam penyusunan model simulator sudah mengikuti distribusi yang sesuai, namun masih perlu dilakukan pengujian terkait input simulator dengan data pengamatan awal.

Tabel 9  
Hasil Pengujian Kesesuaian Input Simulator dengan Data Pengamatan

Dermaga	P-Value	Keputusan
Jamrud Utara	0,034	Tolak $H_0$
Jamrud Barat	0,946	Gagal Tolak $H_0$
Jamrud Selatan	0,638	Gagal Tolak $H_0$
Berlian Utara	0,227	Gagal Tolak $H_0$
Berlian Timur	0,861	Gagal Tolak $H_0$
Berlian Barat	0,156	Gagal Tolak $H_0$
Nilam	0,200	Gagal Tolak $H_0$
Mirah	0,211	Gagal Tolak $H_0$

Tabel 9 menunjukkan hasil pengujian kesesuaian input simulator lama waktu pelayanan dengan data pengamatan. Pada Tabel 4.11 dapat diketahui *p-value* setiap dermaga lebih besar dari alfa 0,05, sehingga keputusan untuk hasil pengujianya adalah gagal tolak  $H_0$ . Dalam hal ini dapat diketahui bahwa data bangkitan input simulator pada model simulator sudah sesuai dengan data pengamatan awal. Selanjutnya model simulator yang telah valid dapat digunakan untuk melakukan analisis untuk setiap karakteristik antrian yang ada dalam sistem yang sebenarnya.

Tabel 10  
Karakteristik Model Antrian Simulator

Dermaga	$\lambda$ (jam)	$\mu$ (jam)	$\rho$ (%)
Jamrud Utara	19,72	56,88	6,93
Jamrud Barat	127,30	74,95	169,87
Jamrud Selatan	8,40	41,25	2,26
Berlian Utara	49,29	27,11	170,75
Berlian Timur	7,11	24,04	4,23
Berlian Barat	8,87	30,41	4,86
Nilam	6,37	32,79	2,16
Mirah	8,50	43,54	2,44

Tabel 12 menunjukkan nilai laju kedatangan rata-rata serta laju pelayanan rata-rata masing-masing dermaga pada model simulator. Laju kedatangan rata-rata pada Dermaga Jamrud Utara yakni sebesar 19,72 jam, hal ini menunjukkan setiap 19,72 jam akan ada satu kapal datang ke dermaga. Sementara nilai laju pelayanan rata-rata sebesar 56,88 jam, hal ini menunjukkan waktu yang diperlukan untuk melayani kapal pada masing-masing server yakni 56,88 jam. Utilitas pada dermaga Jamrud Utara dapat diketahui melalui persamaan (7) dan diperoleh utilitas sebesar 6,93 %. Dermaga Jamrud Barat memiliki laju kedatangan rata-rata sebesar 127,30 jam, dengan demikian dapat diketahui akan ada satu kapal yang datang pada dermaga Jamrud Barat setiap 127,30 jam. Laju pelayanan rata-rata Dermaga Jamrud Barat yakni 74,95 jam. Utilitas pada dermaga Jamrud Barat dapat diketahui melalui persamaan (3) dan diperoleh utilitas sebesar 169,87 %, namun bila servernya adalah 2 server maka utilitasnya sebesar 84,92 %. Dermaga Jamrud Selatan memiliki laju kedatangan rata-rata sebesar 8,40 jam, hal ini menunjukkan dalam 8,40 jam akan ada satu kapal yang datang. Laju pelayanan rata-rata sebesar 41,25 jam. Utilitas pada dermaga Jamrud Selatan dapat diketahui melalui persamaan (3) yakni sebesar 2,236 %.

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat diketahui bahwa hanya Dermaga Jamrud Barat dan Berlian Utara yang memiliki utilitas di atas 100 %. Hal ini menunjukkan bahwa sistem di

kedua dermaga telah berjalan dengan baik. Namun perlu diketahui, bahwa laju kedatangan rata-rata di kedua dermaga tersebut sangatlah besar. Hal ini menunjukkan aktivitas bongkar muat kapal kedua dermaga tersebut tidak terlalu padat. Dermaga Jamrud Selatan, Dermaga Nilam serta Dermaga Nilam memiliki utilitas sistem yang paling rendah. Hal ini bisa dipengaruhi dari kepadatan aktivitas bongkar muat yang terjadi di dermaga tersebut. Ketiga dermaga tersebut melayani aktivitas bongkar muat untuk pelayaran domestik untuk berbagai komoditi.

### C. Perbaikan Sistem Antrian

Perbaikan Sistem Antrian dimaksudkan untuk meningkatkan utilitas sistem pada dermaga-dermaga yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Dengan meningkatnya utilitas, diharapkan dapat meningkatkan produktivitas di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Perbaikan sistem antrian dilakukan dengan mencoba memindahkan beberapa aktivitas bongkar muat dari dermaga-dermaga yang sudah ada ke dermaga-dermaga baru. Dermaga-dermaga baru tersebut yakni dermaga di Terminal Petikemas Surabaya, dermaga di Terminal Teluk Lamong serta dermaga di Pelabuhan Gresik. Ketiga perusahaan tersebut masih berada di lingkup usaha PT. Pelabuhan Indonesia III (Persero).

Aktivitas bongkar muat di Dermaga Mirah akan dialokasikan ke salah satu dermaga di Terminal Petikemas Surabaya, adapun yang dipindahkan yakni aktivitas bongkar muat kapal yang bermuatan Petikemas. Pada Dermaga Jamrud Selatan aktivitas bongkar muat akan dialokasikan ke salah satu dermaga di Pelabuhan Gresik, adapun yang dipindahkan yakni aktivitas bongkar muat kapal yang bermuatan *bagcargo* dan petikemas. Pada Dermaga Nilam aktivitas bongkar muat akan dialokasikan ke salah satu dermaga di Terminal Teluk Lamong, adapun yang dipindahkan yakni aktivitas bongkar muat kapal yang bermuatan curah kering. Pada Dermaga Jamrud Utara aktivitas bongkar muat akan dialokasikan ke dermaga Jamrud Barat, adapun yang dipindahkan yakni aktivitas bongkar muat kapal yang bermuatan *bagcargo* dan *breakbulk*. Pada Dermaga Berlian Barat aktivitas bongkar muat akan dialokasikan dermaga Berlian Utara, adapun yang dipindahkan yakni aktivitas bongkar muat kapal yang bermuatan petikemas.

Tabel 11  
Karakteristik Model Antrian Simulator Perbaikan

Dermaga	$\lambda$ (jam)	$\mu$ (jam)	$\rho$ (%)
Jamrud Utara	21,27	47,99	8,86
Jamrud Barat	67,85	67,22	100,93
Jamrud Selatan	10,36	44,17	2,61
Berlian Utara	31,93	31,55	101,20
Berlian Timur	7,69	25,16	4,37
Berlian Barat	10,37	30,53	5,66
Nilam	8,32	33,57	2,75
Mirah	15,75	42,07	4,68

Tabel 13 menunjukkan nilai laju kedatangan rata-rata serta laju pelayanan rata-rata masing-masing dermaga pada model simulator perbaikan. Berdasarkan penjelasan di atas, dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan utilitas pada hampir semua dermaga. Dermaga Jamrud Utara mengalami peningkatan utilitas hingga 1,93 % dibanding model simulator sistem real, Dermaga Jamrud Selatan mengalami peningkatan utilitas sebesar 0,34%. Pada Dermaga Berlian Barat mengalami peningkatan utilitas sebesar 0,80 %, Sementara pada Dermaga

Berlian Timur terjadi peningkatan utilitas sebesar 0,14 %. Pada Dermaga Nilam terjadi peningkatan utilitas sebesar 0,60 %, sementara pada Dermaga Mirah, terjadi peningkatan utilitas hingga 2,24 %. Sementara pada Dermaga Jamrud Barat dan Berlian Utara terjadi penurunan yang signifikan.

#### D. Perbandingan Estimasi Biaya Tambat di Dermaga

Biaya yang dapat dibandingkan dalam penelitian ini yakni biaya kapal tambat di dermaga saat melakukan aktivitas bongkar muat. Biaya untuk kapal yang tambat di dermaga adalah Rp. 116 (bila menggunakan US Dolar, biaya tambat sebesar 0,1 US Dollar) per GRT (*gross register ton/* muatan kapal) per *etmal*. Biaya tambat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Total Biaya tambat} = \text{Biaya Tambat} \times \text{Jumlah Muatan} \times \text{lama pelayanan di dermaga (dalam etmal)}$$

Jumlah muatan yang digunakan dalam perhitungan estimasi biaya tambat adalah rata-rata jumlah muatan kapal yang sandar di masing-masing dermaga. Lama pelayanan di dermaga berdasarkan rata-rata lama pelayanan di masing-masing dermaga dan diubah dalam satuan etmal. Dengan memperhatikan rumus perhitungan tersebut, dapat diketahui estimasi biaya tambat kapal di masing-masing dermaga.

Tabel 12

Perbandingan Estimasi Biaya Tambat di Dermaga (dalam Rupiah)

Dermaga	Data	Perbaikan
	Pengamatan	
Jamrud Utara	2.750.447	3.143.368
Jamrud Barat	6.242.076	6.242.076
Jamrud Selatan	838.680	838.680
Berlian Utara	1.080.731	1.080.731
Berlian Timur	784.552	941.462
Berlian Barat	816.901	816.901
Nilam	564.543	677.452
Mirah	493.432	493.432

Tabel 12 menunjukkan estimasi biaya tambat kapal yang sandar di masing-masing dermaga. Berdasarkan tabel 12, dengan membandingkan biaya tambat antara data pengamatan dan model simulator perbaikan dapat diketahui bahwa pada Dermaga Jamrud Utara terdapat peningkatan biaya tambat sebesar Rp392.921 sementara pada Dermaga Berlian Barat terdapat peningkatan biaya sebesar Rp156.910 dan pada Dermaga Nilam terdapat peningkatan biaya tambat sebesar Rp112.909. Sementara itu, pada dermaga lainnya tidak terdapat peningkatan biaya.

Apabila dalam satu bulan terdapat 100 kapal yang sandar di Dermaga Jamrud Utara, maka akan terdapat peningkatan pendapatan sebesar Rp39.292.100 tiap bulannya. Apabila dalam satu bulan terdapat 100 kapal yang sandar di Dermaga Berlian Barat, maka akan terdapat peningkatan pendapatan sebesar Rp15.691.030 tiap bulannya, sementara pada Dermaga Nilam akan terdapat peningkatan sebesar Rp11.290.860 tiap bulannya. Apabila diakumulasikan dalam satu tahun, maka akan ada tambahan pendapatan sebesar Rp795.287.880 hanya dari jasa tambat di dermaga yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, kesimpulan yang diperoleh yakni model antrian yang sesuai di Pelabuhan Tanjung Perak yakni G/G/46/1/I. Model pelayanan yang optimal dapat dicapai dengan merubah aktivitas bongkar muat

di beberapa dermaga dan mampu meningkatkan utilitas sistem di beberapa dermaga yang ada. Dermaga Jamrud Utara mengalami peningkatan utilitas hingga 1,93 % dibanding model simulator sistem real, Dermaga Jamrud Selatan mengalami peningkatan utilitas sebesar 0,34 %. Pada Dermaga Berlian Barat mengalami peningkatan utilitas sebesar 0,80 %, Sementara pada Dermaga Berlian Timur terjadi peningkatan utilitas sebesar 0,14 %. Pada Dermaga Nilam terjadi peningkatan utilitas sebesar 0,60 %, sementara pada Dermaga Mirah, terjadi peningkatan utilitas hingga 2,24 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mulyadi, D. (2011). Pengembangan Sistem Logistik yang Efisien dan Efektif dengan Pendekatan Supply Chain Management. *Jurnal Riset Industri Vol V No.3*, 275-282.
- [2] Pelindo. (2013). *Annual Reports 2012 PT Pelindo III*. Surabaya: PT Pelindo III.
- [3] Pelindo. (2015). *Laporan Manajemen Semester I Tahun 2015*. Surabaya: PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) Cabang Tanjung Perak.
- [4] Siagian, P. (1987). *Penelitian Operasioanl: Teori dan Praktek*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- [5] Taha, H. A. (2007). *Operation Research: an Introduction 8th dition*. Boston: Pearson Prentice Hall.
- [6] Retnaningsih, S. M., & Irhamah. (2011). *Riset Operasi Teori & Aplikasi*. Surabaya: ITS Press.
- [7] Subagyo, P., & dkk. (2000). *Dasar-Dasar Operations Research*. Yogyakarta: BPFE.
- [8] Hall, R. W. (1991). *Queueing Methods For Services and Manufacturing*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- [9] Iriawan, N. (2000). *Buku Ajar Teknik Simulasi*. Surabaya