DESAIN MODEL ANTRIAN PADA MARINE TERMINAL – (PORT HUB & SUB PORT HUB MARINE SYSTEM)

Rony Prabowo, Juvinal Lucas Monteiro, Lukmandono

KONSEP TEORI SEDERHANA ANTRIAN

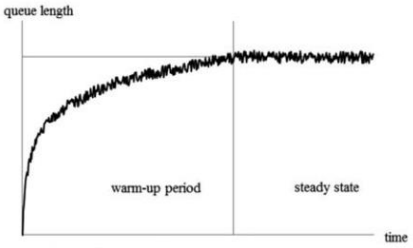
Menurut Adedayo *et.al* (2006) banyak situasi dalam hidup yang mengharuskan individu untuk melakukan aktivitas mengantri dimana secara umum mengantri digambarkan berbentuk garis lurus. Garis-garis yang terbentuk ini disebut sebagai garis tunggu atau antrian. Hensley (2012) menyatakn antrian terjadi ketika kapasitas layanan yang disediakan kurang dari permintaan layanan. Sanish (2007) meneliti aplikasi dari antrian untuk lalu lintas di New Mangalore Port dapat diterima sebagai metode yang tepat untuk memecahkan masalah kemacetan dengan kontribusi utama berupa model pola kedatangan dan pelayanan. Pola-pola ini umumnya digambarkan dengan acak yang sesuai distribusi. Pengamatan terhadap tingkat kedatangan kapal mengikuti distribusi eksponensial dan selama layanan waktu mengikuti distribusi Erlang atau Poisson.

Lebih lanjut Sanish (2007) menjelaskan bawa teori antrian dapat digunakan untuk memprediksi beberapa parameter penting seperti rata-rata waktu tunggu kapal, rata-rata panjang antrian, rata-rata jumlah kapal di pelabuhan dan faktor pemanfaatan dermaga rata-rata yang mendekati nilai sebenarnya. Antrian bukanlah fenomena baru dan untuk mendefinisikannya diperlukan spesifikasi karakteristik yang menggambarkan sistem seperti pola kedatangan, pola pelayanan, disiplin antrian dan kapasitas antrian. Adedayo *et al* (2006) mengamati bahwa terdapat banyak model antrian yang dapat dirumuskan. Menurut Pullman (2012) bahwa model antrian yang tepat digunakan untuk menganalisis masalah di kondisi riil. Teori antrian membahas ketidakpastian mengenai waktu kedatangan yang tepat dan jumlah entitas yang tiba. Dan untuk menggambarkan ini Proses ada beberapa atribut penting seperti sumber kedatangan, ukuran setiap kedatangan, itu pengelompokan waktu kedatangan dan waktu antar kedatangan. Pola layanan: Ini mungkin semua jenis

operasi layanan yang memproses entitas yang datang. Itu Fitur utama yang harus ditentukan adalah jumlah server dan durasi layanan. Disiplin antrian mendefinisikan aturan tentang bagaimana kedatangan berperilaku sebelum layanan terjadi. Kapasitas antrian mungkin terbatas atau tidak terbatas.

KONDISI IDEAL UNTUK *PORT MARITIME*

Secara umum sistem gerbang terminal laut memiliki situasi yang dinamis, dimana tingkat kedatangan truk dan tarif layanan gerbang bervariasi dari waktu ke waktu. Interval dari perubahan tersebut terlalu pendek untuk antrian yang hampir penuh untuk mencapai kondisi ideal. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, dibutuhkan waktu antrean mencapai kondisi ideal. Proses pembentukan dan kondisi mapan memainkan peran penting peran dalam menganalisis antrian. Apalagi truk punya antrian karakteristik lalu lintas yang jelas terlihat. Karena itu, untuk memperkirakan secara akurat panjang antrian truk di gerbang di terminal laut. Untuk mengetahui kondisi ideal pada port maritime dapat dilakukan beberapa metode antara lain dengan metode regresi linier berganda dimana sebagai variabel terikatnya adalah fungsi layanan sedangkan variabel bebasnya antara lain jumlah kapal yang masuk, lama antrian, jumlah truk masuk pada pelabuhan, kapasitas angkut, jumlah crain dan sebagainya. Namun model regresi ini hanya melihat kuatnya korelaasi antar entiti dan berapa besar pengaruh entiti bebas terhadap entiti terikatnya, tetapi sulit untuk digunakan sebagai pembentukan skenario model yang lebih kompleks.



Gambar. 1. Perilaku Sementara dari Simulasi Antrian dengan Idle Kondisi Awal

Pada penelitian eksisting terdapat lima jenis antrian kendaraan metode estimasi untuk sistem port marine fasilitas transportasi dan logistik pada skala besar.

1. Yang pertama adalah metode aliran fluida, yang pada dasarnya mengikuti prinsip keseimbangan aliran, artinya perubahan dalam antrian sama dengan aliran masuk dikurangi aliran keluar. Prinsip ini hanya berlaku dalam lingkungan deterministik, tetapi dapat juga diterapkan panjang antrian rata-rata dalam lingkungan yang stokastic, namun seringkali bias karena mengabaikan fenomena antrian yang disebabkan oleh elemen stokastik dalam proses kedatangan dan layanan. Model ini pernah diusulkan oleh Chen dan Yang (2010) sehingga secara sederhana mengasumsikan bahwa tidak ada antrian yang terjadi ketika tingkat kedatangan lebih rendah dari kapasitas gerbang. Model mereka pasti mengabaikan panjang antrian truk, karena antrian teori mengatakan bahwa antrian selalu dapat terjadi bahkan ketika tingkat kedatangan tidak melebihi kapasitas server di dalam suatu periode antrian.

2. Metode kedua adalah model antrian stasioner, metode ini telah diterapkan secara luas di berbagai industri, misalnya, manajemen lalu lintas Internet (Chydzi´and Chr'ost, 2011), antrian pada industri jasa (Davidson, 1988) dan antrian pada industri logistik (Guan and Liu, 2009; Kim, 2009; Taniguchi *et al*., 1999). Guan and Liu (2009) dimana model yanng digunakan adalah model antrian M / Ek / s multi server sehingga model ini dapat digunakan untuk menganalisis gerbang antrian di salah satu terminal peti kemas di pelabuhan dari New York ke New Jersey. Para peneliti tersebut mengabaikan antrian dengan proses transien yang berkembang dan mengasumsikan bahwa antrian bisa mencapai kondisi ideal secara instan. Oleh karena itu, panjang antrian dalam penelitian tersebut sangat mungkin terjadi men-generate data.

Taniguchi *et.al* (1999) juga menerapkan model antrian M / Ek / s untuk menjelaskan pergerakan truk di terminal logistik publik.

Sistem antrian serupa juga ada di beberapa wilayah penelitian lain, misalnya, Masalah desain / optimasi plaza tol, yang memiliki suatu struktur dan fungsi serupa sebagai gerbang terminal. Kim (2009) menggunakan model antrian M / G / 1 untuk menganalisis antrian mobil di alun-alun tol. Sebagaimana dibahas oleh Srivatsan dan Kempf (1995), asumsi kondisi mapan menghalangi penggunaan prediksi waktu jika waktunya jangka pendek. Demikian masalah umum dari aplikasi antrian ini adalah karena mengabaikan proses transien antrian, sehingga menyebabkan desain kelebihan kapasitas fasilitas. Selanjutnya model antrian stasioner tidak dapat menangani situasi dimana permintaan melebihi kapasitas, yang juga sering terjadi pada fasilitas transportasi dan logistik.

3. Metode ketiga adalah mengadopsi antrian model non stasioner. Chen *et al* (2011) mengembangkan antrian dua lapis jaringan, dimana sistem gerbang diperlakukan sebagai multipel antrian M (t) / M (t) / 1 independen (setiap jalur gerbang adalah M (t) / M (t) / 1 antrian) dan sistem halaman diperlakukan sebagai beberapa model antrian independen yang non stasioner M (t) / G (t) / 1 (setiap zona persinggahan adalah antrian dengan model M (t) / G (t) / 1). Namun, terdapat dua keterbatasan jaringan antrian ini: pertama, asumsi bahwa layanan gerbang mengikuti distribusi eksponensial tidak berdasarkan studi empiris apapun; kedua, asumsi bahwa sistem gerbang terdiri dari beberapa independen sistem antrian tidak sesuai dengan praktik, seperti biasanya pengemudi truk akan memilih jalur terpendek untuk menunggu, yang artinya pintu gerbang sistem harus dilihat sebagai sistem antrian tunggal dengan banyak server. Chen *et al* (2013) mengembangkan berbasis aliran pemodelan sistem antrian Erlang Eksponensial non-stasioner yang disebut dengan pendekatan metode B-PSFFA. Chen *et al* (2013) menerapkan perkiraan B-PSFFA dengan menganalisis panjang antrian truk di pintu gerbang sebuah kontainer terminal dan dibandingkan dengan model stasioner yang dikembangkan oleh Guan dan Liu (2009), dengan melakukan simulasi.sebanyak 10.000 iterasi untuk membuat berbagai sknario peramalan, hasil perbandingan menunjukkan bahwa model antrian stasioner tidak

akurat,sedangkan perkiraan B-PSFFA dari antrian non-stasioner dapat mencapai akurasi tinggi.

4. Metode keempat adalah melakukan simulasi continue discrete. Terutama untuk aplikasi karakteristik lalu lintas antrian kend araan (Wu *et al*., 2013). Secara khusus, untuk sistem gerbang terminal, kurva simulasi tidak hanya menggambarkan proses transien antrian dalam situasi dinamis, tetapi juga detail perilaku berkendra mengemudi. Dalam beberapa tahun terakhir, simulasi telah telah banyak digunakan dalam studi terminal kontainer diantaranya oleh Kia *et al* (2002), Liu *et al* (2002), Shabayek dan Yeung (2002), Yang *et al* (2004), Hartmann (2004) serta Sacone dan Siri (2009). Terdapat banyak pilihan perangkat lunak untuk simulasi *port traffic*, misalnya, mikroskopis PARAMICS paket simulasi (Xie *et al*., 2012). Simulasi *port traffic* dapat berupa suatu studi yang memakan waktu.lama.

5. Metode kelima adalah mengembangkan model analitik. Huynh *et al* (2004) mengembangkan simulasi kejadian diskrit model terminal kontainer dengan simulasi Arena, yang dapat menampilkan pergerakan truk dan ruang crane pada pelabuhan. Data simulasi untuk semua skenario dapat dianalisis dengan regresi. Berdasarkan hasil regresi, dapat dikembangkan model estimasi waktu antrian truk dengan variabel independen dari rata-rata jumlah truk yang dilayani dengan derek. Namun, modelnya hanya mencakup bagian di sekitar pelabuhan yang dekat dengan kapal bersandar, bukan bagian pintu masuk port.

EXISTING METHODS

Pada sub bab ini, ditunjukkan model spesifik dari masing-masing metode estimasi panjang antrian kapal di pelabuhan.

MODEL ALIRAN FLUIDA

Model aliran fluida memiliki dasar fungsi keseimbangan aliran, artinya perubahan dalam antrian panjang sama dengan aliran masuk

dikurangi aliran keluar. Model yang digunakan oleh Chen dan Yang (2010) adalah:

$$l_t = \max\{0, l_{t-1} + \lambda_t - \mu\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

dimana *l* adalah rata-rata panjang antrian pada kondisi steady state, *t* adalah interval waktu, λ adalah rata-rata tingkat kedatangan kapal per interval waktu, dan μ adalah tarif layanan gerbang rata-rata per jarak waktu.

MODEL ANTRIAN STASIONARY

Model antrian stasionary merupakan model sederhana untuk pendekatan sistem antrian multi server, dan memungkinkan untuk mengukur kinerja sejumlah entiti yang ada pada sistem. Model Telah banyak diterapkan di berbagai bidang, misalnya untuk jaringan komunikasi, sistem komputer, mesin pabrik, dan lain sebagainya.

Berdasarkan tata letak fisik dan karakteristiknya, sistem *port maritime* dapat diperlakukan sebagai suatu sistem antrian multi server dengan beberapa inbound dan jalur keluar, jadi model antrian multi-server berlaku untuk menganalisis kondisi antrian kapal. Model antrian multi-server memiliki tambahan berikut parameter:

- s sebagai jumlah jalur gerbang dan
- W sebagai rata-rata waktu tunggu pelanggan dalam kondisi normal.

Jenis model antrian ditentukan oleh distribusi statistik interval kedatangan kapal dan gerbang waktu layanan. Dua studi yang ada, oleh Guan dan Liu (2009) serta Taniguchi *et al*. (1999), adopsi jenis M / Ek / s model antrian untuk menjelaskan pergerakan kapal di pelabuuhan dan suatu terminal logistik publik, sementara menurut Kim (2009) untuk model antrian staasionary lebihbaik gunakan M / G / 1. Guan dan Liu (2009) dan Taniguchi *et.al* (1999) dalam analisa antrian menggabungkan antrian antara kapal yang kosong dan yang terisi bersama dalam analisis antrian serta menyimpulkan sebuah Distribusi Erlang waktu layanan untuk kedua jenis kapal. Namun, karena beberapa alasan, ini tipikal untuk membagi layanan jalur untuk kapal kosong dan bermuatan di terminal kontainer. Waktu

layanan rata-rata untuk kapal kosong biasanya jauh lebih rendah daripada kapal yang bermuatan barang. Logika dasar untuk menyederhanakan asumsi asumsi tersebut dapat diterima terutama untuk waktu layanan untuk kapal kosong maupun bermuatan setelah dibuat berdistribusi normal. Oleh karena itu secara umum pendekatan antrian kapal tersebut dimodelkan sebagai M / G / s, dimana proses kedatangan mengikuti a Distribusi Poisson (artinya waktu antar-kedatangan kapal selalu berdistribusi eksponensial) dan waktu layanan pelabuhuan mengikuti distribusi normal.

Karena sulitnya membuat model matematika sederhana untuk model antrian M / G / s, maka diperlukan peramalan. Cosmetatos (1996) membuat perkiraan yang berhubungan dengan waktu menunggu rata-rata untuk kapal dalam model M / G / s dan dengan model M / M / s. Faktor pemanfaatan sistem (ρ) dan rata-rata waktu tunggu kapal (W) ditunjukkan melalui persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad \text{..... (2)}$$

$$W' = \frac{\rho^s}{\mu(s-1)!(s-\rho)^2}\ x\ \left\{\sum_{n=0}^{s-1}\frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^s}{(s-1)!(s-\rho)}\right\} \quad \text{..... (3)}$$

Sedangkan rumus untuk pendekatan Stasionary Effort dapat ditunjukkan di bawah ini:

$$W \cong W'\left\{\frac{1+v^2}{2} + (1 - v^2)(1-\rho)\ x\ (s-1)\frac{\sqrt{4+5s}-2}{32\rho s}\right\} \quad \text{..... (4)}$$

dimana v adalah koefisien variasi waktu pelayanan pelabuhan pada model M / G / s

$$v = \frac{\sqrt{var}}{\mu} \quad \text{..... (5)}$$

dimana var adalah variasi waktu pelayanan pelabuhan. Dimana menurut hukum Little dirumusan sebagai berikut:

$$L = W\ .\ \lambda \quad \text{..... (6)}$$

Sedangkan panjang antrian rata-rata model M / G / s adalah:

$$L \cong W\, x \left\{\frac{1+v^2}{2} + (1 + v^2)(1-\rho)x(s-1)\frac{\sqrt{4+5s}\ 2}{32\rho s}\right\}\lambda \ldots\ldots (7)$$

MODEL ANTRIAN NON-STATIONARY

Keterbatasan pada model antrian stasioner adalah bahwa model tersebut mengabaikan perilaku transien antrian dan menganggap antrian dapat mencapai keadaan statisnya secara instan. Karena itu, model antrian kapal secara stasionary hanya cocok untuk sistem antrian yang stabil. Biasanya kapal mengantri dalam satu sub pelabuhan atau pelabuhan tidak dalam keadaan acak dan tidak bisaaa diprediksi, karena itu tarif kedatangan kapal dan tarif layanan pelabuhan bervariasi dari waktu ke waktu. Untuk mengurai jenis kemacetan karena antrian kapal yang dinamis ini, bergantung pada kebijakan masing-masing pemangku kepentingan pelabuhan. Smith (2010), Chen *et al* (2011) mengembangkan model antrian efektif dengan dua layer, di mana sistem gerbang pelabuhan diperlakukan sebagai multipel independen non-stasioner M (t) / M (t) / 1 antrian (masing-masing jalur gerbang merupakan antrian M (t) / M (t) / 1) dan sistem perhentian sementara kapal diperlakukan sebagai beberapa non-stasioner independen.

Smith (2010), Chen *et al* (2011) mengasumsikan antrian dengan model M (t) / G (t) / 1 (setiap zona yard adalah M (t) / G (t) / 1 antrain). Namun, asumsi tersebut mengabaikan bahwa setiap kapal yang datang di pelabuhan tidak mengikuti distribusi eksponensial sedangkan waktu pelayanan pelabuhan dimodelkan dengan distribusi normal, artinya sistem gerbang dapat diperlakukan sebagai antrian bebas dengan model M (t) / G (t) / 1 non-stasioner (setiap jalur antrian saat kapal masuk pelabuhan akan memiliki model M (t) / G (t) / 1).

Secara rinci untuk model M (t) / G (t) / 1 yang dikembangkan oleh Chen *et al* (2011) untuk perkiraan panjang antrian kapal adalah sebagai berikut:

$$l_t = l_{t-1} + \lambda_{t-1} - d_{t-1}, \forall t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

$$\rho_t = \frac{l_t+1-\sqrt{(l_t)^2+2\ x\ l_t\ x\ v^2+1}}{1-v^2}, \forall t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

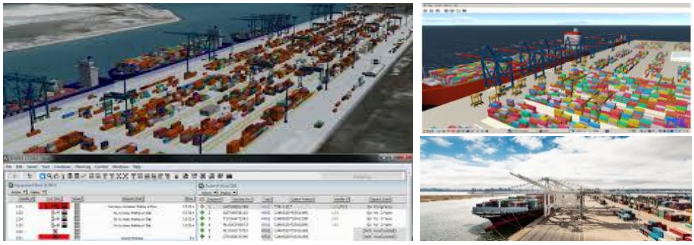
$$d_t = \min(l_t, \rho_t, \mu_t), \forall t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

- Persamaan (8) merupakan model keseimbangan fluida, artinya selama terdapat transisi antrian pada pelabuhan, panjang antrian perubahan adalah sama dengan kedatangan yaitu (λt) dikurangi keberangkatan (*dt*).
- Persamaan (9) merupakan diferensiasi rasio pemanfaatan kapasitas (ρt) berdasarkan antrian terkait panjang antrian (*lt*) dengan v adalah sebagai koefisien variasi waktu pelayanan pada pelabuhan.
- Persamaan (10) menentukan keberangkatan *rate* (*dt*) pada interval waktu (t) berdasarkan kapasitas layanan (μt) dan perkiraan rasio pemanfaatan kapasitas (ρt).

Sebagai catatan pada asumsi formulasi ini adalah bahwa interval waktu harus cukup kecil sehingga sistem dalam suatu interval dapat diasumsikan dalam kondisi normal, dan sistem keberangkatan kapal (*dt*) pada interval pertama bisa diasumsikan nol.

SIMULASI *TRAFFIC* MIKROSKOPIS

Simulasi merupakan proses merancang model sistem nyata dan melakukan eksperimen untuk tujuan pemahaman perilaku sistem. Secara riil antrian kapal memiliki karakteristik *traffic* yang jelas, sehingga dapat diadopsi perilakunya melalui model dengan bantuan Pro Model. Pro Model sendiri merupakan *software* simulasi yang memiliki penggunan mudah adalah mikro yang dapat diterapkan secara luas simulasi sistem pemodelan *traffic* pada pelabuhan. Pro Model mensimulasikan masing-masing komponen *traffic* dan kemacetan pada pelabuhan, mewakili tindakan dan interaksi transportsi kapal saat melalui jaringan pelabuhan. Pada Pro Model terdapat fungsi entiti-entiti pelabuhan secara lengkap yang dapat memodelkan struktur fisik dari sistem gerbang pelabuhan. Hasil dari model simulasi Pro Model ditunjukkan pada Gambar. 2.



Gambar 2. Hasil Simulasi dengan Menggunakan Pro Model

Hasil simulasi Pro Model dapat menghasilkan ratusan scenario model dalam waktu yang relatif lebih cepat dengan berbagai alternatif hasil melalui iterasi tertentu. Penelitian ini membangun 4 (empat) skenario pada sistem gerbang terminal pelabuhan pada Pro Moel dan menjalankannya secara bersamaan waktu, sehingga diperoleh data simulasi yang memadai dengan iterasi sebanyak 500, 1000, 2000 dan 3000. Berdasarkan studi literatur yang telh dilakukan, iterasi sebanyak 1.000 sudah cukup untuk mengurangi variasi sehingga mendapatkan kurva yang *smooth* untuk mengurangi antrian kapal yang ada di pelabuhan.

Langkah kedua adalah memvalidasi hasil simulasi. Simulasi komputer seringkali spesifik untuk skenario tertentu, sehingga diperlukan validasi data setelah diperoleh hasil dari simulasi. Validasi pada penelitian ini dengan membandingkan panjang antrian yang stabil dari hasil simulasi dibandingkan dengan hasil dari model antrian stasioner.

Langkah ketiga dilakukan dengan menghitung rata-rata bergerak kapal di setiap titik waktu; maka dipilih data simulasi sebelum titik kritis, dan dianalisis proses pembentukan antrian dengan melakukan suatu analisis regresi. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi kurva yang bisa paling sesuai dengan data simulasi. Hubungan antara entiti yang dominan terhadap pelayanan pelabuhan yang efektif dapat dievaluasi dengan nilai R^2 (koefisien determinasi). Karena data simulasi disini hanya digunakan terkait dengan proses pembentukan

antrian, yaitu kurva yang diperoleh juga memiliki rentang yang valid dari nol hingga titik kritis. Setelah titik kritis, antrian akan tetap ada dalam kondisi ideal dan panjang antriannya akan sama dengan satu di titik kritis. Persamaan kurvanya adalah:

$$l_t = f(t), \quad t \in [0, critical\ point] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

dimana *lt* adalah panjang antrian pada interval waktu t.

Persamaan kurva tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan panjang antrian berdasarkan waktu proses (keadaan pembentukan antrian), atau cara lain sekitar untuk memproyeksikan status pembentukan antrian berdasarkan panjang antrian.

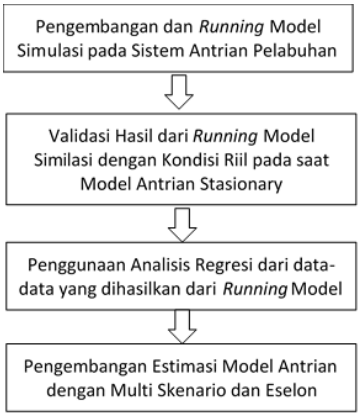
Pada langkah keempat, berdasarkan antrian yang teridentifikasi kurva formasi, dapat diusulkan model yang komprehensif untuk memperkirakan panjang antrian kapal. Model berfungsi dengan cara berikut: selama transisi negara dari satu interval waktu berikutnya, tingkat kedatangan (biasanya diketahui) dapat digunakan untuk menentukan kurva (parameter) mana yang akan dimodelkan, sedangkan antrian dan sisa panjang antrian dari interval terakhir dapat digunakan untuk memproyeksikan keadaan pembentukan antrian (atau waktu titik) dengan kurva, dan seiring berjalannya waktu satu interval panjang antrian dapat diperkirakan mengikuti kurva. Misalkan antrian di awal memiliki interval waktu t panjang antrian l (t − 1) dan tingkat kedatangan pelanggan (*λt*). Persamaannya dapat dibuat sebagai berikut:

$$T = f^{-1}(l_{t-1}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Persamaan (12) dapat memproyeksikan status pembentukan (atau titik waktu) antrian

T. Panjang antrian di akhir selang waktu t bisa diperkirakan dengan persamaan:

$$l_t = \min\big(L(\lambda_t), f(T+1)\big) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$



Gambar 3. Prosedur Pengembangan Estimasi Model Antrian

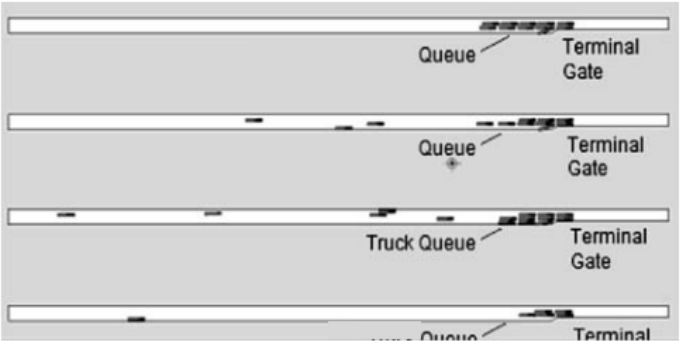
STUDI KASUS: TERMINAL KAPAL TANJUNG PERAK SURABAYA

Studi kasus pertama yang dipilih adalah terminal kontainer di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya terkait dengan analisis antrian kapal. Karena kapal kosong dan bermuatan dilayani dengan berbeda jalur, maka penelitian difokuskan pada sistem gerbang pelabuhan untuk kapal yang membawa muatan. Terdapat dua jalur yang melayani kapal bermuatan. Secara umum, tingkat kedatangan kapal sangat dinamis dan bervariasi dari jam ke jam jam, sedangkan waktu layanan lebih atau kurang stabil dengan rata-rata 8,6 menit dan deviasi standar 0.2 menit. Perilaku lalu lintas kapal juga penting elemen dalam sistem, karena dibutuhkan 1,3 menit pada rata-rata untuk kapal saat ini meninggalkan pos pemeriksaan dan pelaporan agar kapal berikutnya siap untuk diservis. Akibatnya, dengan mempertimbangkan kedua waktu di atas, kapasitas sistem adalah 8,2 kapal per jam.

Tingkat kedatangan bervariasi antara 1 dan 40, penelitian ini merancang sistem antrian dengan 40 skenario yang akan disimulasikan. Skenario lain di mana tingkat kedatangan pelanggan melebihi tingkat layanan tidak perlu disimulasikan, karena pemanfaatan tingkatan pada sistem antrian akan menjadi satu dalam skenario ini, dan panjang antrian akan meningkat dengan

perbedaan antara pelanggan, tingkat kedatangan dan tarif layanan.

Dengan bantuan Software simulasi Pro Model untuk kasus Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya maka dapat ditampilkan hasil *snapshot* 2D pada Gambar 4, di mana setiap balok ungu mewakili satu kapal sehingga antrian mencapai kondisi ideal. Karena simulasi sangat dipengaruhi oleh faktor stokastik, maka terlebih dahulu dihitung nilai rata-rata dengan 1.000 iterasi pada setiap skenario. Panjang antrian rata-rata tidak berfluktuasi tinggi dan menunjukkan tren kenaikan pola kedatangan yang jelas.

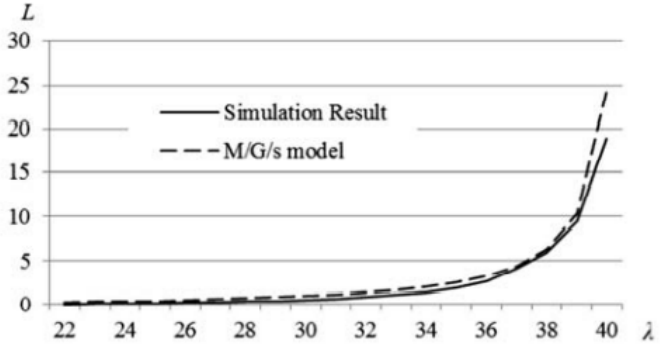


Gambar 4. 2D View Snapshot pada Model Simulasi Pro Model

Melalui observasi lapangan dapat ditentukan titik kritis, dimana antriannya berhenti meningkat dan sedikit berfluktuasi dalam suatu rentang periode tertentu. Penelitian ini menggunakan titik kritis ini sebagai batas untuk memisahkan proses peningkatan antrian dan kondisi ideal. Hasil dari simulasi Pro Model dapat dilihat pada Tabel 1.

Sedangkan untuk memvalidasi hasil simulasi, dengan membandingkan panjang antrian tetap dengan yang dari model M / G / s, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 5. Kurva simulasi dengan panjang antrian yang stabil umumnya sesuai dengan model antrian stasioner. Jika terdapat perbedaan maka cenderung minor karena perilaku *traffic* yang dimodelkan Pro Model berbeda nilai entitinya. Model regresi kurva logaritma naturalnya adalah:

$$t_t = aln\ (t) + \ b,\ t \in \ [0, critical\ point] \text{..... (14)}$$



Gambar 5. Perbedaan antara Panjang Antrian Steady dengan Model M/G/s

Tabel 1. Hasil Regresi untuk Analisis Proses Antrian di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

λ	Hasil Simulasi		Model Regresi (Natural Logaritm)			
	Critical Point (*hour*)	*L*	*a*	*b*	R^2	*Estimated L*
40	24	18.90	4.89	3.15	0.94	18.69
39	18	9.50	2.32	2.74	0.96	9.44
38	16	6.00	1.33	2.38	0.96	6.07
37	15	4.10	0.95	1.54	0.97	4.11
36	9	2.60	0.52	1.48	0.82	2.63
35	8	1.90	0.36	1.14	0.78	1.88
34	6	1.30	0.28	0.82	0.77	1.33
33	5	1.10	0.27	0.65	0.86	1.09
32	4	0.80	0.21	0.47	0.84	0.77
31	4	0.60	0.15	0.39	0.76	0.59
30	4	0.50	0.14	0.29	0.68	0.48
29	4	0.40	0.13	0.26	0.68	0.44
28	4	0.30	0.07	0.17	0.69	0.26

27	4	0.15	0.06	0.12	0.69	0.20
26	3	0.20	0.04	0.10	0.47	0.15
25	3	0.15	0.04	0.09	0.47	0.14
24	3	0.10	0.02	0.04	0.52	0.06
23	2	0.05	0.02	0.03	0.52	0.05
22	1	0.05	0.01	0.02	0.61	0.02
21-1	0	0	-	-	-	-

PORT PERFORMANCE DETERMINATION

Kinerja pelabuhan didasarkan pada data yang dicatat oleh otoritas pelabuhan yang secara tradisional cenderung berfokus pada perekaman lalu lintas dan parameter yang digunakan dalam mengukur layanan Pelabuhan. Sebagian besar data yang tersedia dan dapat diandalkan terkait aktiftas kemaritiman dimana informasi lebih mudah dikumpulkan daripada aktivitas darat. Otoritas biasanya memantau hunian dermaga dan waktu tinggal kapal, karakteristik kinerja panggilan ketersediaan penanganan kargo kapal ke kapal dari peralatan penanganan utama. Tambahan tetapi seringkali lebih sedikit data yang andal mungkin tersedia mengenai operasi darat, waktu tinggal kargo di pelabuhan, karakteristik adat istiadat dan prosedur administrasi lainnya dan jarang kinerja penanganan peralatan untuk pengiriman barang.

Chen Hsiu dan Kuang Che (2004) mengemukakan bahwa efisiensi sistem pelabuhan dapat diukur dengan rata-rata waktu yang dihabiskan kapal dalam antrian. Pengirim dan pengguna pelabuhan tertarik untuk mengurangi waktu tunggu dalam antrian sistem sebanyak mungkin. Kemampuan pelabuhan untuk memuat dan menurunkan kargo dari kapal sangat penting untuk pelabuhan faktor perencanaan dan efisiensi pelabuhan.

BERTH OCCUPANCY

Kapasits dermaga ditentukan dan dihitung berdasarkan rasio waktu tunggu dermaga untuk melayani dermaga waktu. Tingkat waktu tunggu yang dapat diterima umumnya menentukan rasio hunian dermaga yang diizinkan (Warwar, 2010). Waktu pelayanan

yang lebih lama menyebabkan waktu tunggu kapal yang lebih lama dimana fasilitas pelabuhan tidak memadai dan ruang terminal terlalu jenuh. Kedatangan kapal pola biasanya merupakan proses acak yang dijelaskan oleh beberapa jenis probabilitas distribusi (Fararoui, 1989). Distribusi eksponensial negatif dari waktu antar-kedatangan (dan karenanya poisson tingkat kedatangan) adalah perkiraan yang paling umum digunakan. Waktu penyelesaian kapal melibatkan kedatangan kapal mengharapkan untuk menggunakan fasilitas pelabuhan dan durasi hunian di dermaga (waktu layanan).

Port atau lebih tepatnya, link dermaga kapal dianggap sebagai sistem antrian dengan kedatangan massal, layanan tunggal dan antrian tak terbatas di pelabuhan (Radmilovich, 1992). Jumlah tempat berlabuh yang tersedia merupakan faktor yang jelas dalam menentukan apakah antrian kapal akan terbentuk dan berapa panjangnya (Fararoui, 1989). Waktu antara kedatangan kapal dan pemberangkatannya merupakan faktor utama dalam operasi pelabuhan yang mempengaruhi kapasitas pelabuhan.

INSTRUMENT FOR DATA COLLECTION

Data yang digunakan untuk penelitian ini dikumpulkan dari sumber primer dan sekunder. Sumber utama adalah wawancara pribadi dengan Manajer Pelabuhan dan operator terminal sedangkan sumber sekunder termasuk catatan kegiatan operasional masa lalu, kebijakan pemerintah yang terkait dengan pengelolaan pelabuhan, penelitian yang sudah dilakukan oleh pemangku kepentingan maritim. Wawancara pada diskusi tingkat individu dilakukan dengan karyawan untuk mendapatkan klarifikasi yang memadai berkenaan dengan variabel lain yang dapat mempengaruhi pengembangan model antrian di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan Pelabuhan Teluk Lamong Greik terkait kemacetan kapal.

Wawancara dilakukan dengan Operator Terminal dan Manajer Pelabuhan oleh para peneliti diamana dijelaskan rata-rata 920 kapal tiba di Pelabuhan Tanjung Perak dalam sebulan sedangkan untuk Pelabuhan Teluk Lamong Gresik sebanyak 260 Kapal per bulan. Dibutuhkan rata-rata 2 sampai 3 hari untuk membongkar dan memuat peti kemas kosong di atas kapal. Dari Wawancara

terungkap terdapat 22 sub port di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan 8 sub port pada pelabuhan Teluk Lamong Gresik. Sub port tersebut sebagai tempat berlabuhnya kapal dengan basis *First Come First Serve* (FCFS).

STUDI KASUS PADA TELUK LAMONG GRESIK

Dengan adanya lebih dari satu server, proses *check-in* kapal dapat dilakukan meningkat secara drastis. Dalam situasi ini, pelanggan menunggu dalam satu baris dan pindah ke server berikutnya yang tersedia. Setiap server memiliki antrian yang berbeda, karena perbedaan tol kepabeanan, pembayaran di tiap server, jalur *checkout* dan sebagainya. Dalam situasi seperti ini, pelanggan akan "berebut" untuk posisi antara server (saluran). Jockeying merupakan istilah proses pelanggan meninggalkan satu antrian untuk bergabung dengan yang lain dalam konfigurasi multi-server (saluran). Pada bagian ini kami membahas berbagai karakteristik operasi untuk antrean multi-server. Model yang digunakan dapat diterapkan pada situasi yang memenuhi asumsi berikut:

1. Garis tunggu memiliki dua atau lebih server yang identik
2. Kedatangan mengikuti distribusi probabilitas Poisson dengan rata-rata tingkat kedatangan λ
3. Waktu layanan mengikuti distribusi probabilitas eksponensial
4. Tingkat layanan rata-rata, "μ" adalah sama untuk setiap server
5. Pola menunggu kedatangan dalam satu baris dan kemudian pindah ke server terbuka pertama untuk layanan secara tertib
6. Disiplin antrian adalah *First Come First Serve* (FCFS)
7. Tidak diperbolehkan menolak kedatangan kapal

Dengan menggunakan asumsi ini, peneliti operasi telah mengembangkan formula untuk menentukan karakteristik operasi dari jalur tunggu multi server seperti kasus kapal yang menunggu berlabuh sehingga menyebabkan kemacetan yang mungkin tidak diinginkan oleh semua pemangku kepentingan. Penelitian ini menawarkan solusi untuk kemacetan pelabuhan di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan Teluk Lamong Gresik. Ukuran Kinerja yang Relevan dalam analisis model adalah:

a. Distribusi waktu tunggu dan waktu tinggal kapal atau kapal. Waktu singgah adalah waktu tunggu ditambah waktu pelayanan.
b. Distribusi jumlah kapal dalam sistem (termasuk atau tidak termasuk yang satu atau yang ada di layanan)
c. Distribusi jumlah pekerjaan di sistem (*port*). Hal tersebut merupakan jumlah waktu layanan dari menunggu kapal dan sisa waktu pelayanan kapal dalam pelayanan.
d. Distribusi periode sibuk server (tempat berlabuh). Ini adalah periode waktu di mana server bekerja terus menerus. Secara khusus, kami tertarik pada ukuran kinerja rata-rata, seperti waktu tunggu rata-rata dan berarti waktu singgah sehingga menyebabkan kemacetan Pelabuhan.

Uji distribusi kedatangan kapal merupakan bagian penting dari penelitian dasar untuk perencanaan pelabuhan, dan juga merupakan dasar untuk model antrian teoritis dalam analisis kapasitas pelabuhan dan untuk pemilihan pola distribusi dalam pendekatan simulasi. Hasil pengujian distribusi kedatangan kapal akan mempengaruhi pemilihan sistem antrian pelabuhan, yang selanjutnya mempengaruhi variabel-variabel relevan yang diukur dari model tersebut. Mengingat prevalensi terbaru dari liner kontainer berkala, penerapan model terkait dengan teori antrian yang diterapkan secara luas (M / M / N, M / Ek / N) masih diragukan.

Karena disebut sebagai pola kedatangan kapal linier, beberapa peneliti berpendapat bahwa pola distribusi harus di bawah distribusi deterministik untuk kedatangan berkala. Dari sudut pandang tersebut di atas hanya untuk Model liner berkala, tetapi dermaga perusahaan pelayaran mungkin beroperasi lebih dari satu jalur pengiriman. Demikian pula, terminal peti kemas mungkin terdiri dari berbagai dermaga, milik berbeda perusahaan pelayaran, sementara pelabuhan mencakup banyak terminal peti kemas untuk penggunaan yang beragam, berdedikasi dan umum. Dengan demikian, setelah banyak jalur pelayaran berkala digabungkan, analisis dan verifikasi lebih lanjut diperlukan tentukan pola statistik waktu kedatangan kapal distribusi. Mengenai masalah ini, penelitian ini didasarkan pada data dinamis kapal dari pelabuhan di Pelabuhan

Teluk Lamong Gresik, peneliti akan membagi sistem yang berbeda sebagai berikut:

1. Jalur pelayaran tunggal
2. Tempat sandar kapal tunggal
3. Kontainer terminal tunggal, dan
4. Seluruh sub pelabuhan diamati

Tahapan pertama pada penelitian ini dilakukan uji *goodness of fit* dan analisis waktu antar kedatangan kapal kontainer atau jumlah kapal yang tiba selama satu unit waktu. Peneitian ini menyelidiki evolusi pola distribusi kedatangan kapal dengan sistem observasi. Kedua, pola distribusi kedatangan kapal memiliki berubah dari pengacakan yang diterima secara tradisional untuk pengaturan tanggal kedatangan khusus sesuai dengan pesanan pengelola dermaga. Untuk itu kajian penelitian ini juga akan dilaksanakan pengujian untuk tempat berlabuh kontainer umum dan khusus dengan membandingkan variasi dalam pola dan karakteristik distribusi kedatangan kapal mereka.

Terdapat banyak literatur tentang penelitian distribusi kedatangan kapal. Beberapa peneliri antara lain Plumlee (2009) menjadikan pelabuhan Ekuador sebagai subjek dan menerapkan pendekatan statistik matematis untuk menyelidiki pola distribusi kedatangan kapal. Menurut analisisnya, jika analisis didasarkan pada satuan waktu hari dan jam, kedua hasil tersebut cukup mirip dan kedua distribusi kedatangan kapal aktual mendekati distribusi probabilitas Poisson. Namun analisisnya tentang distribusi kedatangan kapal mengadopsi statistik deskriptif, yang tidak memiliki ketelitian uji statistik lainnya. Nicolaou (2011) menjelaskan pada penelitiannya bahwa distribusi tersebut sesuai dengan kedatangan acak distribusi Poisson jika semua dermaga di pelabuhan dianggap integral. Dengan demikian, aturan acak distribusi Poisson berlaku untuk kedatangan kapal yang tidak teratur.

Selain itu, Tromb, Noritake dan Kimura (2014) telah membuktikan bahwa distribusi Erlang merupakan cara terbaik untuk menggambarkan waktu layanan kedatangan kapal yang tidak teratur. Berkenaan dengan beberapa tempat berlabuh khusus,

seperti tempat berlabuh kontainer, dalam penelitiann ini memungkinkan terdapat urutan k yang lebih besar, sehingga distribusi Erlang dari k = 3 diterapkan untuk tujuan deskriptif. Kozan (2015) menganalisis data dari pemuatan kapal perusahaan terminal peti kemas Pulau Nelayan Brisbane, Australia, di mana informasi di setiap kapal yang tiba telah tercatat selama lebih dari dua tahun.

Won dan Yong (2016) menggunakan perangkat lunak simulasi berorientasi objek untuk membangun terminal kontainer sederhana, yang direduksi sistem terminal nyata di pelabuhan Pusan di Korea, dan menganalisis kinerja sistem. Dalam penelitiannya juga ditemukan waktu kedatangan antar kapal mengikuti distribusi eksponensial, dan rata-rata tingkat kedatangan λ adalah 10 jam. Jika waktu operasin bongkar muat kontainernya dengan Gantry crane mengikuti distribusi eksponensial, dan rata-ratanya tarif layanan adalah 2 menit. Shabayek dan Yeung (2016) menggabungkan perangkat lunak simulasi untuk mengembangkan model simulasi pada terminal peti kemas Kwai Chung di Hong Kong. Studi tersebut juga menemukan bahwa waktu kedatangan antar kapal di Kwai Chung mengikuti eksponensial distribusi, dan waktu layanan mengikuti tahap Distribusi Erlang. Kia *et al* (2015) mempelajari sekumpulan data realtime mengenai kedatangan/keberangkatan kapal dari terminal kontainer di pelabuhan Melbourne di Australia, dan menyelidiki dan membandingkan penampilan keduanya sistem operasional yang berbeda melalui model simulasi.

Berdasarkan uji Chi-square pada tingkat kepercayaan 95%, maka penelitian menemukan bahwa waktu antar-kedatangan kapal sesuai distribusi eksponensial dengan 1 / λ = 23,37 jam. Dan sebaliknya, uji Chi-square menunjukkan bahwa bejana waktu layanan tidak sesuai baik distribusi normal atau eksponensial, dan berdasarkan data, erlang k-stage distribusi (dengan k = 4) akhirnya digunakan untuk layanan tersebut waktu. Selain studi yang disebutkan di atas, Mettam [9], Jones dan Blunden [5], Agerschou dan Korsgaard [1], De Weille dan Ray [3], Huang dan Wu [4] dll telah membuktikan M / M / S (∞) dan M / Ek / S (∞) (k = 2 atau 3) menjadi model antrian terbaik untuk menggambarkan karakteristik kapal di pelabuhan, yang membuktikan kelayakan model antrian yang diterapkan di

sistem pelabuhan.

Model antrian ditampilkan dengan simbol A / B / S (N), S melambangkan tambatan, A melambangkan distribusi antar kedatangan kapal, B melambangkan distribusi waktu pelayanan, dan N, jumlah kapal yang sudah tiba. Jika M mewakili inter-arrival dan mengikuti Distribusi eksponensial, dan Ek mewakili nomor tahap k dalam distribusi Erlang, jika k = 1, distribusi Erlang sama dengan distribusi eksponensial (E1 = M); jika k = ∞, maka itu sama dengan distribusi deterministik.

1. Probability Distribution and Test Approach
   a. Probability Distribution Pattern

      Penelitian pada Pelabuhan Teluk Lamong Gresik menitikberatkan pada pola distribusi probabilitas dari distribusi kedatangan secara periodik dan liner, beberapa pola distribusi kedatangan umum akan diuraikan di bagian ini, termasuk Distribusi erlang dan distribusi Eksponensial. Karena distribusi Gamma sama dengan yang lain maka akan terdapat dua pola distribusi probabilitas di beberapa khusus keadaan, bagian ini pertama-tama akan menggambarkan distribusi Gamma dengan fungsi probabilitas kepadatan antrian kapal.

   b. Gamma Distribution

      Nilai fungsi probabilitas untuk dstribusi Gamma dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\alpha)} (\lambda t)^{\alpha-1} e^{-\lambda t}, t > 0, \lambda > 0, \alpha > 0 \quad \ldots\ldots (15)$$

      Dimana:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt, \alpha > 0 \quad \ldots\ldots (16)$$

      Sedangkan untuk probabilitas fungsi tujuan ditentukan sebagai berikut:

$$F_t(t) = 1 - e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{\alpha-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!}, t > 0, \alpha \; integer \quad \ldots\ldots (17)$$

      Pada Persamaan (1), jika parameter α bukan bilangan bulat,

maka persamaannya merupakan distribusi Gamma. Sebaliknya, jika parameter α adalah bilangan bulat positif, maka persamaan tersebut berdistribusi Erlang sehingga parameter α merupakan nilai perkiraan parameter k dalam distribusi Erlang (Fraudel, 2015).

$$F(t) = \begin{cases} 1 - \sum_{i-1}^{k-1} e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^i}{i!}, t \geq 0 \end{cases} \quad \text{..... (18)}$$

$$f(t) = \frac{\lambda(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\lambda t}, t \geq 0 \quad \text{..... (19)}$$

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t \geq 0 \quad \text{..... (20)}$$

c. Distribusi Erlang
Jika terdapat fungsi probabilitas kepadatan antrian kapal kumulatif maka variabel t, seperti dalam Persamaan. (20), dengan λ> 0 dan merupakan suatu bilangan konstan, dapat dikatakan bahwa variabel t mengikuti distribusi erlang k-stage.

2. Sistem Antrian pada Sub Pelabuhan

Sistem sub pelabuhan dengan lalu lintas yang padat seringkali menjadi pusat jaringan pelayaran global bagi kapal-kapal domestik maupun internasional didemonstrasikan di tempat lain (Deng et al., 2009; Hu dan Zhu, 2009; Ducruet dan Notteboom, 2012) Fungsi hub pada port harus meningkatkan waktu efisiensi karena banyak keunggulan seperti situs perairan dalam, ketersediaan ruang, dan modernisasi infrastruktur untuk memastikan transshipment yang cepat (Rodrigue dan Notteboom, 2010). Keempat ukuran ini dengan demikian saling melengkapi dalam hal pelabuhan berlokasi strategis sebagai lalu lintas kontainer maritim global dari perspektif yang berbeda. Koefisien clustering menunjukkan seberapa banyak konektivitas ini terpusat atau merata

didistribusikan di sekitar setiap pelabuhan; sentralitas antara memperhitungkan "tingkat global" dari jaringan karena lebih merupakan ukuran aksesibilitas global; eksentrisitas adalah perantara mengukur situasi port di lingkungan yang terhubung lebih atau kurang padat (atau jarang).

Operasional pelabuhan terkait dengan kapal dianggap bergantung pada model transportasi dan teknologi atau lebih tepatnya pada jenis kapal dan derek yang digunakan di perairan yang membutuhkan layanan pelabuhan. Setiap pelabuhan dapat dianggap sebagai suatu jaringan yang terdiri dari satu set tautan dan node sekuensial atau parralel. Pelabuhan link adalah elemen mikro-teknologi yang mewakili satu set operasi port atau aktivitas antar node port. Simpul pelabuhan merupakan kumpulan kargo dengan sistem fasilitas seperti gudang, dermaga, tempat truk, tempat khusus dan lain-lain. Kapal berpindah dari tempat berlabuh ke tempat berlabuh lainnya, Jumlah semua pergerakan kendaraan antar node akan menunjukkan intensitas saling ketergantungan diantara entiti. Setiap subsistem pelabuhan pedalaman sebenarnya dapat direpresentasikan sebagai suatu matriks dan probabilitas transisi dapat dihitung.

Sistem pelabuhan yang melibatkan kapal dan dermaga sebagai suatu sistem antrian dengan prioritas pelayanan di dermaga. Secaraa stochastic karakteristik dan komponen operasi sistem pada sub pelabuhan (sub port) yang ada di Teluk Lamong Gresik adalah sebagai berikut:

- Waktu kedatangan kapal tunggal atau dalam jumlah besar di sub pelabuhan tidak dapat diberikan secara tepat.
- Waktu layanan (waktu bongkar / muat) adalah variabel acak tergantung pada kapasitas penanganan dermaga, pengangkutan tongkang, hidrometeorologi kondisi, ukuran kelompok yang datang, dan lain-lain.
- Tempat sandar sementara tidak selalu ditempati; dalam beberapa periode tidak ada tongkang (kapasitas kurang dimanfaatkan) terdapat interval waktu penggunaan yang tinggi saat antrian terbentuk.

Operasi link tempat berlabuh kapal berlabuh di Teluk Lamong Gresik meliputi:

- Menunggu di area pelabuhan; jika semua posisi jangkar ditempati, kapal atau tongkang ditolak dan harus pergi ke ruang tunggu lain itu atau beberapa port yang berdekatan lainnya.
- Kapal berpindah dari tempat berlabuh ke tempat berlabuh dengan kapal tunda atau tanpa tunda.
- Memuat dan atau membongkar di dermag.
- Penarikan kapal dan pemberangkatan kapal setelah bongkar muat ke area pelabuhan atau keluar dari pelabuhan.

Operator kapal sedang dan besar menyukai pelabuhan yang memiliki kecukupan ruang berlabuh untuk menampung setiap kapal sedang dan besar pada saat kedatangan, sehingga menghilangkan waktu tunggu yang mahal. Tempat berlabuh di pelabuhan seperti itu mungkin sering kali kosong. Jumlah dermaga yang akan mencapai transfer kargo paling ekonomis antar kapal dan tujuan sub pelabuhan. Situasi yang ideal adalah situasi di mana semua tempat berlabuh ditempati semua di waktu yang disediakan. Kedatangan kapal bisa tunggal atau berkelompok, dan dengan ukuran ukuran yanng berbeda sehingga merupakan variabel acak dan dengan demikian lebih sulit ditangani. Sebuah penelitian sistematis dari teori antrian memberikan dasar pengetahuan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi banyak antrian sistem di dunia nyata. Metode ini dapat digunakan untuk memberikan solusi eksplisit terhadap banyaknya masalah antrian.

Antrian pada pelabuhan Teluk Lamong Gresik untuk kapal kecil dan sedang dianggap sebagai model antrian M / D / c / N dengan prioritas non preemptive dalam melayani kapal di sub dermaga. Terdapat dua kelas prioritas di antara kapal yang tiba di pelabuhan sub pelabuhan. Di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan Teluk Lamong Gresik yang dianalisis, link

pelabuhan kapal kecil, sedang dan besar diasumsikan sebagai berikut:

a. Model antrian yang diterapkan tidak bergerak, dengan ruang tunggu terbatas di pelabuhan.
b. Sumber pola kedatangan bukan merupakan bagian integral dari dermaga kapal yang bersandar.
c. Unit kedatangan dapat berupa kapal tunggal dan kapal kecil maupun sedang. Proses kedatangan entitas pencari layanan mengikuti distribusi Poisson.
d. Saluran layanan yang merupakan tempat berlabuh dengan kapasitas penanganan muatan independen yang serupa atau identik.
e. Layanan diasumsikan deterministik dan diberikan kepada kapal dengan basis *first-comefirst-serve*. Diasumsikan bahwa disiplin prioritas adalah nonpreemptive tipe *head-of-the-line*.
f. Jumlah kelas prioritas diadopsi menjadi "1" dan "2", di mana angka yang lebih rendah menunjukkan kelas prioritas yang lebih tinggi (kapal sedang memiliki kelas prioritas "1" yang lebih tinggi dan diprioritaskan daripada kapal kecil sebagai kelas "2").
g. Anchorage adalah penyangga dengan kapasitas terbatas sebelum area layanan dermaga. Kapanpun kapasitas jangkar melebihi kapal yang ditolak dari sistem untuk kelas prioritas.
h. Panjang antrian kapal, atau jumlah kapal yang menunggu di area pelabuhan terbatas dan diberikan.

Terminal pelabuhan Teluk Lamong Gresik memiliki tempat berlabuh untuk layanan tersebut. Kargo rata-rata tingkat penanganan per dermaga adalah R. Terlepas dari kemungkinan kedatangan kapal untuk layanan, terdapat ruang B di jangkar. Kapal kecil dan sedang tiba sesuai dengan proses distribusi Poisson homogen waktu dengan tingkat kedatangan rata-rata λ. Menggunakan matematika derivasi, Bose dan Pal (1995), di sini, kita bisa mulai dengan derivasi kapal waktu tunggu rata-rata. Waktu tunggu rata-rata kapal milik kelas prioritas n akan

terdiri dari tiga komponen. Komponen pertama adalah waktu rata-rata kapal harus menunggu sebelum salah satu tempat tidur menjadi gratis. Komponen kedua adalah waktu tunggu karena kapal kelas prioritas n atau lebih tinggi, yang telah tiba sebelumnya kapal baru dan menunggu untuk dilayani. Komponen terakhir adalah penantian waktu karena kapal milik kelas prioritas lebih tinggi dari n yang tiba saat kapal milik kelas prioritas n menunggu untuk dilayani.

Kleinrock (2014) mengusulkan solusi untuk waktu tunggu rata-rata dalam antrian untuk suatu pelanggan dengan kelas prioritas n sebagai berikut:

$$\overline{W}_{qn} = \frac{\overline{W}_0}{(1-\sigma_{n-1})(1-\sigma_n)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (21)$$

dimana $\overline{W}_0$ adalah waktu tunggu rata-rata kedatangan baru sampai salah satu tempat berlabuh menjadi bebas, sehingga pada titik ini, akan lebih mudah untuk mendefinisikan:

$\sigma_n = \sum_{i=1}^{n} \rho_i$ (i = 1, 2,…, n – priority classes) …… (22)

dimana

$$\rho_i = \frac{\lambda_1(1-P_N)}{cR} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (23)$$

dimana

$$\overline{W}_0 = \frac{T}{c+1}\sum_{s=c}^{N-1} P_s \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (24)$$

λ : Tingkat kedatangan kapal kelas prioritas i (unit / periode waktu).

P_N : Probabilitas bahwa ada N kapal di pelabuhan (yaitu probabilitas jangkar penuh dan semua kapal baru ke pelabuhan hilang).

$\lambda i (1-P_N)$: Tingkat kedatangan efektif karena adanya area pelabuhan dengan kapasitas terbatas di depan area layanan dermaga.

Dengan menggunakan turunan dari Bose dan Pal (2015), maa waktu tunggu rata-rata untuk yang baru kapal, sampai salah satu sub pelabuhan menjadi berurang antriannya maka

diperoleh persamaan:

$$\overline{W}_{qn} = \frac{(T/(c+1))\ \sum_{s=c}^{N-1} P_S}{(1-\sigma_{n-1})(1-\sigma_n)} \quad \text{..... (25)}$$

dimana T = 1 / R dan Ps adalah probabilitas bahwa ada kapal di pelabuhan. Perhitungan probabilitas kondisi-mapan tidak bergantung pada prioritas pertimbangan sebagai waktu layanan tidak tergantung pada kelas prioritas dan hasilnya dari antrian non-prioritas dapat digunakan di sini. Karena itu

$$P_s = \begin{cases} \frac{(c\rho)^s P_0}{s!} \\ \frac{(c\rho)^c\ 1-\xi}{s!}\xi^{s-c}P_0 \\ \frac{(c\rho)^c}{c!}\xi^B P_0 \end{cases} \quad \text{..... (26)}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{cR} \quad \text{..... (27)}$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^{n} \lambda_0 \quad \text{..... (28)}$$

$$P_0 = \left\{ \sum_{s=0}^{c-1} \frac{(c\rho)^s}{s!} + \frac{(c\rho)^c}{c!} + \frac{1-\rho\xi^B}{1-\rho} \right\}^{-1} \quad \text{..... (29)}$$

$$\xi = \frac{\rho R_D}{1-\rho+\rho R_D} \quad \text{..... (30)}$$

$$R_D = \frac{\rho}{2} + \frac{(1-\rho)c}{c+1} \quad \text{..... (31)}$$

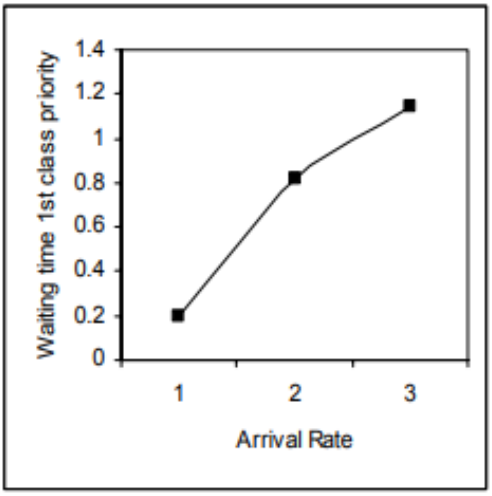
Semua nilai di atas dihitung dalam fungsi laju kedatangan kapal (λ = 1, 3 dan 7), jumlah sub dermaga (c = 4), tingkat layanan konstan untuk kapal milik ke salah satu kelas prioritas (R = 2) dan kapasitas jangkar (B = 5 kapal). Untuk antrian M / D / c / N, service rate diasumsikan sama untuk semua kelas prioritas (R1 = R2 =… = Rn = R).

Tabel 2. Kinerja Pelabuhan Teluk Lamong Gresik dengan Parameter c = 4, R = 2 dan B = 5

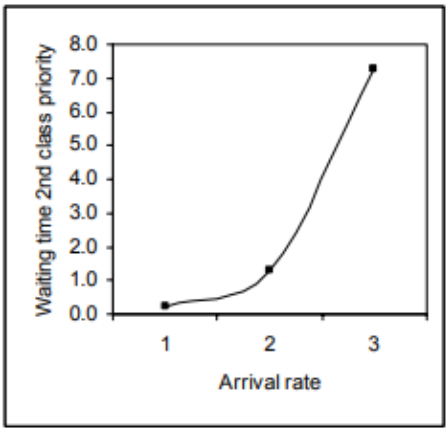
Tingkat Kedatangan Kapal (λ)	P_0	P_s	P_N	$\bar{W}_0$	$\bar{W}_{0q1}$	$\bar{W}_{q2}$
1	0.6065	0.0018	1.44E-07	0.0002	0.000193	0.00022
3	0.2376	0.2376	0.0025	0.0066	0.0082	0.0131
7	0.0191	0.6614	0.0367	0.0661	0.1143	0.7276

Tabel 3. Kinerja Pelabuhan Teluk Lamong Gresik dengan Parameter c = 2, R = 3 dan B = 8

Tingkat Kedatangan Kapal (λ)	P_0	P_s	P_N	$\bar{W}_0$	$\bar{W}_{0q1}$	$\bar{W}_{q2}$
1	0.7144	0.0476	1.04E-09	0.0053	0.00578	0.00693
3	0.2558	0.2852	0.000247	0.0317	0.0423	0.0844



Gambar 6. Waktu Tunggu untuk Kapal Sedang di Pelabuhan Teluk Lamong Gresik dengan c = 4, R = 2 dan B = 5



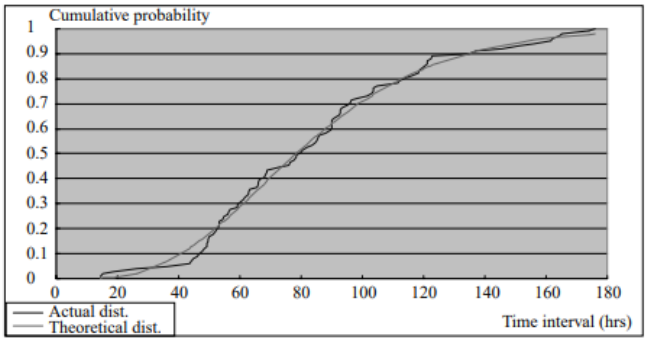
Gambar 7. Waktu Tunggu untuk Kapal Kecil di Pelabuhan Teluk Lamong Gresik dengan c = 4, R = 2 dan B = 5

Tabel 2 dan 3 berisi hasil numerik untuk P_0, P_s, P_N, W_0, W_{q1} dan W_{q2} pada fungsi laju kedatangan kapal λ = 1 dan 3 kapal perhari, c = 2, R = 2 dan B = 8. Selain itu, total tingkat kedatangan kapal ke pelabuhan Teluk Lamong Gresik terdistribusi secara merata antara dua kelas yaitu kecil dan sedang. Perbandingan Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan bahwa waktu tunggu kapal rata-rata mengalami peningkatan baik untuk kapal jenis kecil maupun kapal jenis sedang dengan peningkatan jangkar kapasitas dan dengan penurunan antrian di beberapa sub dermaga di Teluk Laamong Gresik. Hal ini dapat disimpulkan bahwa terdapat pertukaran antara jumlah dermaga dan kapasitas pelabuhan harus dilakukan untuk menyeimbangkan waktu tunggu dalam harga yang dapat diterima baik operator kapal dan pelabuhan.

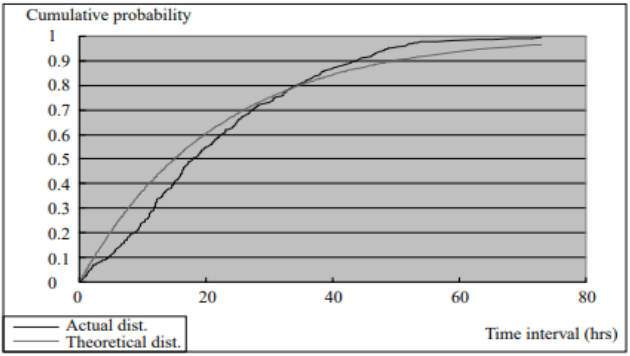
PENGUJIAN DISTRIBUSI PADA BONGKARAN KONTAINER

Pengujian terminal kontainer dilaksanakan di dua tempat yaitu di Pelabuhan Tanung Perak Surabaya dan Pelabuhan Teluk Lamong Gresik. Pengujian pada distribusi bongkaran kontainer ini tetap

dengan mempertimbangkan karakteristik kedatangan kapal secara berkala (yaitu, terminal peti kemas khusus hanya tersedia untuk kapal milik perusahaan atau perusahaan yang dikontrak) dan dengan definisi dasar teori antrian, segmentasi oleh perusahaan dan sistem digunakan dalam penelitian ini. Hasil dari pengujian distribusi kontainer ini dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Distribusi Waktu Bongkar Kontainer pada Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya



Gambar 9. Distribusi Waktu Bongkar Kontainer pada Pelabuhan Teluk Lamong Gresik

Di terminal kontainer umum seperti di Pelabuhan Tanjung Perak

Surabaya dan Pelabuhan Teluk Lamong Gresik, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 8 dan 9, kedatangan kapal lulus uji distribusi Erlang pada nilai koefisien distribusi 1, meskipun itu deviasi standar pada Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya jelas lebih besar daripada deviasi standar terminal kontainer di Pelabuhan Teluk Lamong Gresik. Ini karena perusahaan pelayaran bisa menjadwalkan tanggal pengirimannya kapal, sedangkan waktu antar kedatangan untuk umum Terminal peti kemas tidak dapat diatur untuk kapal milik berbagai perusahaan pelayaran, itulah sebabnya waktu antar-kedatangan untuk terminal kontainer umum adalah lebih banyak tersebar.

DAFTAR PUSTAKA

Agerschou, H. and Korgaard, J. (2009). Systems Analysis for Port Planning. *Dock and Harbor Authority*, Vol. 49, pp. 411-415.

Barry, P.C. and Moshe, F.F. (2004) The Joint Distribution of Occurrences of Two Interrelated Poisson Processes. *European Journal of Operational Research*, Vol. 89, pp. 660-667.

Berg-Andreassen, J.A. and Prokopowicz, A.K. (2002). Conflict of Interest in Deep Draft Anchorage Usage Applications of QT. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 118 (1), pp.75-86.

Bose, I. and Pal, R. (2012). Average Waiting Time of Customers in a Priority M/D/k queue with finite buffers. *Computers and Operations Research*, 29, pp.327-339.

Chen, G., Kannan, G., Yang, Z., Choi, T. and Jiang, L. (2013). Terminal appointment system design by non-stationary M(t)/Ek/c(t) queueing model and genetic algorithm. *International Journal of Production Economics* 146 (2): 694–703.

Chen, G. and Yang, Z. (2010). Optimizing time windows for managing arrivals of export containers at Chinese container terminals. *Maritime Economics and Logistics* 210 (12): 111–126.

Chen, X., Zhou, X. and List, G.F. (2011). Using time-varying tolls to optimize truck arrivals at ports, Transportation Research, Part E. *Logistics and Transportation Review* 47 (6): 965–982.

Chydzi´nski, A. and Chr´ost, Ł. (2011). Analysis of AQM queues with queue size based packet dropping. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* 21 (3): 567–577.

Cosmetatos, G.P. (2006). Some approximate equilibrium results for the multi-server queue (M/G/r). *Operational Research Quarterly* 27 (3): 615–620.

Davidson, C. (1988). Equilibrium in service industries: An economic application of queuing theory. *Journal of Business* 61 (3): 347–367.

De Weille, J. and Ray, A. (2004). The Optimum Port Capacity. *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 8, No. 3, pp. 244-259.

Guan, C. Q. and Liu, R.F. (2009). Modeling maritime container terminal gate congestion, truck waiting cost, and optimization. *Transportation Research Record*: *Journal of the Transportation Research Board* 2100 (7): 58–67.

Hartmann, S. (2004). Generating scenarios for simulation and optimization of container terminal logistics. *OR Spectrum* 26 (2): 171–192.

Huang, W.C. and Wu, S.C. (2005). The Estimation of the Initial Number of Berths in a Port System Base on Cost Function. *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 13, No. 1, pp. 35-45.

Huynh, N., Walton, M.C. and Davis, J. (2004). Finding the number of yard cranes needed to achieve desired truck turn time at maritime container terminals. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1873 (12): 99–108.

Jones, J.H. and Blunden, W.R. (2008). Ship Turn-Around Time at the Port of Bangkok. *Journal of the Waterways and Harbors*

Division, Vol. 94, No. 2, pp. 135-148.

Kia, M., Shayan, E., and Ghotb, F. (2002). Investigation of Port Capacity Under a New Approach by Computer Simulation. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 42, pp. 533-540.

Kim, S. (2009). The toll plaza optimization problem: Design, operations, and strategies. *Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review* 45 (1): 125–137.

Kleinrock, L. (2005). *Queueing Systems*, Vols. 1 & 2. John Wiley and Sons, New York.

Kozan, E. (2007). Comparison of Analytical and Simulation Planning Models of Seaport Container Terminals. *Transportation Planning and Technology*, Vol. 20, pp. 235- 248.

Lawless, J.F. (2007). Regression Method for Poisson Process Data. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 82, pp. 808-815.

Liu, C.I., Jula, H. and Ioannou, P.A. (2002). Design, simulation, and evaluation of automated container terminals, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 3 (1): 12–26.

Mettam, J.D. (2007). Forecasting Delays to Ships in Port. *Dock and Harbor Authority*, Vol. 47, pp. 380-382.

Nicalau, S.N. (2007). Berth Planning by Evaluation of Congestion and Cost. *Journal of the Waterways and Harbors*, Vol. 93, Vol. 4, pp. 107-132.

Noritake, M. and Kimura, S. (2003). Optimum Number and Capacity of Seaport Berth. *Journal of Watwerway Port Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 109, No. 3, pp. 323-329.

Plumlee, C.H. (2006). Optimum Size Seaport. *Journal of Waterway and Harbors*, Vol. 92, No. 3, pp. 1-24.

Radmilović, Z. (2013). Ship - Berth Link as Bulk Queueing System in Ports. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean*

Engineering, ASCE, 118 (5), pp. 474-495.

Ravindran, A. (2007). *Operations Research*. John Wiley & Sons. New York.

Richard, L.S. (2006). Extreme Value Theory Based on the r Largest Annual Events. *Journal of Hydrology*, Vol. 86, pp. 27-43.

Sacone, S. and Siri, S. (2009). An integrated simulation-optimization framework for the operational planning of seaport container terminals. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems* 15 (3): 275–293.

Shabayek, A. and Yeung, W. (2002). A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong. *European Journal of Operational Research* 140 (1): 1–11.

Sheldon, M.R. (2003). *Introduction to Probability Models*. Academic Press, Inc. New York.

Smith, J. (2010). Robustness of state-dependent queues and material handling systems. *International Journal of Production Research* 48 (16): 4631–4663.

Srivatsan, N. and Kempf, K. (1995). Effective modeling of factory throughput times. 17th IEEE/CPMT *International Electronics Manufacturing Technology Symposium*, Omiya, Japan, pp. 377–383.

Steute, F.W. (2005). Poisson Processes and a Bessek Function Integral. *SIAM Review*, Vol. 27, No. 1, pp. 73-77.

Taniguchi, E., Noritake, M., Yamada, T. and Izumitani, T. (1999). Optimal size and location planning of public logistics terminals. *Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review* 35 (3): 207–222.

Thomas, S.S. (2001). An Analysis of the Trend in GroundLevel Ozone Using Non-Homogeneous Poisson Processes. *Atmospheric Environment*, Vol. 25B, No. 3, pp. 387-395.

UNCTAD. (2005). *Port Development: a Handbook for Planners in*

Developing Countries. United Nations, New York (1985).

Wanhill, S.R.C. (2014). Further Analysis of Optimum Size Seaport. *Journal of Waterway and Harbour Division*, ASCE, 100 (4), pp.377-383.

Won, Y.Y. and Yong, S.C. (2009). A Simulation Model for Container-Terminal Operation Analysis Using an Object Oriented Approach. *International Journal of Production Economics*, Vol. 59, pp. 221-230.

Wu, J., Abbas-Turki, A. and Perronnet, F. (2013). Cooperative driving at isolated intersections based on the optimal minimization of the maximum exit time. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* 23 (4): 773–785.

Xie, Y., Chowdhury, M., Bhavsar, P. and Zhou, Y. (2012). An integrated modeling approach for facilitating emission estimations of alternative fueled vehicles. *Transportation Research, Part D: Transport and Environment* 17 (1): 15–20.

Zrnić, Dj., Dragović, B. and Radmilović, Z. (2019). Anchorage: Ship - Berth Link as Multiple Server Queueing System. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 125 (5), pp.232-240, 1999.