

**ANALISA DAYA MESIN DAN BOLLARD PULL KAPAL TUNDA UNTUK KAPAL PETI
KEMAS POST-PANAMAX DI PELABUHAN KALIBARU**
***ANALYSIS OF POWER ENGINE AND BOLLARD PULL OF TUGBOAT FOR POST-PANAMAX
CONTAINER SHIPS AT KALIBARU PORT***

Soegeng Hardjono

Pusat Teknologi Industri dan Sistem Transportasi, BPPT
Gedung Teknologi 2, Lt 3, PUSPITEK, Serpong, Tangerang Selatan 15314
e-mail: soegenghardjono@yahoo.com

Diterima:....., Revisi 1:....., Revisi 2:....., Disetujui:.....

ABSTRAK

Pembangunan Pelabuhan peti kemas Kalibaru merupakan perluasan pelabuhan peti kemas Tanjung Priok dengan sarana dan prasarana modern dilengkapi kolam pelabuhan berkedalaman 16 meter untuk labuh kapal-kapal peti kemas berukuran besar hingga kelas post Panamax. Sebagai pelabuhan modern, diperlukan sarana armada kapal tunda dengan daya mesin penggerak dan kekuatan tarik (*Bollard Pull*) mampu melayani kapal-kapal besar tersebut. Berdasarkan hasil analisa dengan metode statistik dan kurva hubungan antara besarnya *displacement* atau *draught* kapal dengan daya mesin tugboat, dapat ditentukan ukuran maksimum kapal peti kemas yang dapat berlabuh di pelabuhan Kalibaru yaitu kapal dengan *draught* maksimum 14,55 meter, *displacement* 167.573 ton, kapasitas 9.231 Teus, dan panjang kapal sekitar 323 m sebagai kategori *Post Panamax Plus*. Lebih dari itu, telah dapat pula ditentukan ukuran kapal tunda yang sesuai untuk layanan penarikan atau penundaan kapal berbobot 167.573 ton tersebut yaitu kapal tunda berkekuatan 5799 HP dan 73 ton *bollard pull*. Hasil ini telah sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan oleh otoritas pelabuhan bahwa kapal dengan panjang lebih dari 250 meter harus ditunda oleh 3 (tiga) kapal tunda dengan kekuatan mesin paling rendah 11000 HP dan *bollard pull* 125 ton.

Kata Kunci : Kapal peti kemas, kapal tunda, *draught*, kekuatan mesin, *bollard pull*.

ABSTRACT

The development of Kalibaru container port has been an expansion of the container port of Tanjung Priok equipped with modern facilities and infrastructure including its water depth of 16 meters to accommodate container ships with a capacity of up to post-Panamax class. Based on the analysis result by using statistical method and a correlation curve between displacement of ship and the power of tugboat, it can be determined that the maximum size of container ships that can be berthing in Kalibaru port has a maximum draught of 14.55meters, displacement of 167.573tons, load capacity of 9.231 TEUs and a ship's length of about 323 m catagorized as Post Panamax Plus class. In addition, it has also been determined the engine power of tugboat suitable for serving and pulling a such big vessel of 167.573 tons where the tug boat's engine power and bollard pull are 5799 HP and 73 tons respectively. This result has already met the requirements specified by the Port Outhority in which the tow ships with a length of more than 250 meter must be served by 3 (three) tugboats with the lowest total amount of engine power and bollard pull of 11.000 HP and 125 ton respectively.

Keywords: Container vessel, Tug boat, *draught*, engine horse power, *bollard pull*.

PENDAHULUAN

Pelabuhan Tanjung Priok terletak di kawasan Jakarta Utara merupakan Pelabuhan Utama dan terbesar di Indonesia yang berfungsi sebagai pintu gerbang arus keluar-masuk barang ekspor-impor maupun barang antar pulau dibawah pengelolaan PT. Pelabuhan Indonesia II. Khusus untuk arus barang peti kemas, telah terjadi peningkatan setiap tahunnya seperti yang terjadi pada periode 2010-2014 dimana arus peti kemas mencapai 5,23 juta Teus pada tahun 2010 dan meningkat menjadi 6,44 juta Teus pada tahun 2014. Namun demikian, kapasitas maksimum di Pelabuhan Tanjung Priok hanya mampu menampung 7,5 juta TEUs (RJ. Lino, 2015). Disamping itu, penyebab lain adalah masalah keterbatasan kedalaman kolam dan alur pelabuhan yaitu antara 8 hingga 14 meter dan hanya bisa disinggahi kapal peti kemas berkapasitas maksimum 6.000 Teus. Kondisi ini pernah dialami oleh pelabuhan *Jakarta International Container Terminal* (JICT) Februari 2012 (RJ.Lino, 2012) ketika untuk pertama kalinya melayani kapal besar dari negara lain yaitu kapal “*Maersk Diadema*” berkapasitas 4.500 Teus dengan *draught* 11 meter milik perusahaan *Maerskline*. Untuk mengatasi permasalahan tersebut di atas, Pemerintah telah melakukan pembangunan dan pengembangan pelabuhan peti kemas sejak tahun 2012 yang diawali dengan proses *groundbreaking* oleh Presiden Indonesia Susilo Bambang Yudhoyono pada bulan

Maret 2013 yang dikenal sebagai pelabuhan peti kemas Kalibaru atau *New Priok Port*. Pembangunan pelabuhan Kalibaru (*New Priok Port*) ini berlangsung dalam 2 (dua) tahap yaitu tahap I (2012-2017) untuk terminal peti kemas berkapasitas 4,5 juta Teus per tahun dengan kedalaman kolam (*draught*) pelabuhan 16 m dan tahap II (2018-2023) untuk terminal peti kemas berkapasitas 8.000 juta Teus per tahun dengan kedalaman kolam pelabuhan hingga 20 m (Annual Repot Pelindo II, 2014). Sehubungan dengan rencana pelabuhan Terminal Kalibaru akan dioperasikan sepenuhnya pada pertengahan tahun 2016 ini, maka diperlukan peningkatan kinerja jasa kepelabuhanan, salah satu diantaranya adalah peningkatan kinerja armada kapal tunda melalui peningkatan daya mesin penggerak dan kekuatan tarik (*Bollard Pull*) yang sesuai untuk

melayani kapal-kapal besar tersebut. Oleh karena itu diperlukan suatu kajian untuk memprediksi seberapa besar kapasitas kapal yang akan ditunda dan seberapa besar daya mesin dan *Bollard Pull* yang sesuai. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna bagi pihak-pihak terkait diantaranya adalah para penyedia jasa pelayanan penundaan kapal di pelabuhan khususnya pelabuhan Tanjung Priok, pihak disainer dan galangan kapal, serta para peneliti dibidang teknik perkapalan (*Naval Architect*).

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pelabuhan Kalibaru (*New Priok Port*)

Pertumbuhan arus peti kemas di Tanjung Priok mengalami peningkatan yang kontinu setiap tahun seperti terlihat dalam periode 2007-2014 (tabel 1). Namun disisi lain, adanya keterbatasan kedalaman kolam pelabuhan hanya 8 hingga 14 meter menjadikan hambatan kapal-kapal besar berukuran >5000Teus untuk berlabuh.

Tabel 1. Pertumbuhan Arus Petikemas di Pel.Tanjung Priok (2007-2014)

Tahun	Volume Petikemas
2007	4,116,045 juta teus
2008	4,527,650 juta teus
2009	4,757,031 juta teus
2010	5,229,434 juta teus
2011	5,752,377 juta teus
2012	6,445,791 juta teus
2013	6,589,982 juta teus
2014	6,442,968 juta teus

Sumber: *Annual Report*-PT.PelindoII-2014

Berdasarkan Rencana Induk pelabuhan Tanjung Priok Permenhub, PM 38, tahun 2012 menetapkan bahwa Pengembangan Pelabuhan Tanjung Priok dibagi dalam 5 (lima) wilayah yaitu Pelabuhan Tanjung Priok (*existing*), Terminal Kalibaru Utara, Terminal Ancol Timur, Terminal Cilamaya, dan Terminal Tarumanegara. Khusus untuk pembagunan Terminal Kalibaru dilakukan dalam 2 (dua) tahap, yaitu Tahap 1 (2013-2018) dan tahap 2 (dua) (2018-2030) seperti terlihat pada Gambar 1&2 Setelah selesai pembangunan pelabuhan Kalibaru tahap 1 dan 2, diharapkan arus petikemas dapat meningkat menjadi 20-22 juta Teus per tahun (IPC Developer, 2015).



Sumber: PPI Corporate Public Relation, 2015
Gambar 1. Peta Pel.Tj. Priok (existing)



Sumber: PPI Corporate Public Relation, 2015
Gambar 2. Peta Pel.Tj. Priok (2014-2030)

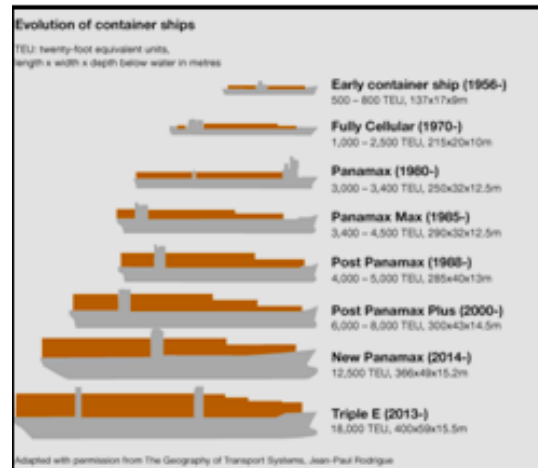
B. Perkembangan Kapal Peti Kemas

Dalam kurun waktu lebih dari 50 tahun, ukuran kapal peti kemas mengalami beberapa kali perubahan dengan kecenderungan ukuran semakin besar, karena alasan nilai ekonomis. Perkembangan ini dapat dikelompokkan dalam beberapa generasi seperti ditampilkan pada Gambar 3 hasil penelitian dari (JeanPaul Rodrigue-2012) tentang *The evolution of Container Ships*. Sedangkan menurut Marie Lutzen (2013), seorang peneliti dari Denmark, dalam penelitiannya tentang *Data Analyses – Standard Vessel Determination. Tankers, Bulk Carriers and Container Vessels*, mengkategorikan kapal petikemas dalam 3 tipe sbb: *Feeder* <2900TEU, *Panamax* 1900<TEU<5300) dan *Post Panamax* >4000 TEU.

C. Kapal Tunda

1. Karakteristik Umum Kapal Tunda.

Secara umum kapal tunda adalah sarana bantu pemanduan yang digunakan untuk kegiatan membantu olah-gerak kapal di alur pelayaran, kolam pelabuhan, serta proses tambat dan lepas dermaga sesuai ketentuan yang disyaratkan guna menjamin keselamatan pelayaran. Proses penundaan kapal dapat menggunakan satu atau dua bahkan tiga kapal tunda seperti pada gambar 4.



Sumber: Jean Paul Rodrigue, 2012

Gambar 3. Perkembangan Kapal Peti kemas



Sumber : Henk Hensen, *Tug Use in Port*, 2003.

Gambar 4. Bulkcarrier “Berge Stahl” ditunda oleh 4 Tug boat

Kemampuan manuver yang tinggi pada kapal tunda tergantung dari sistem dan tipe propulsinya. Saat ini telah ada jenis penggerak yang lazim digunakan antara lain jenis *Fixed Pitch Propeller (FPP)* dan *Controllable Pitch Propellers (CPP)*, dengan dilengkapi sistem konstruksi propeler terbuka maupun dalam tabung *Kort-Nozzle*. Tipe propeler lainnya adalah *Azimuth Thrusters* (misalkan *Schottel, Aquamaster, Z-peller*) dengan atau tanpa *Kort-Nozzle* seperti pada gambar 5, dan *Cycloid Thrusters (Voith-Schneider Propulsion/ VSP)* seperti pada Gambar 6, (Z. Górski, M. Giernalczyk, 2012).

Schottel Propulsion System (azimuth thruster/Z-peller) (gambar 5) adalah bentuk sistem propeler yang berada di bawah belakang badan kapal dengan hasil gaya dorong yang dapat diarahkan hingga mencapai sudut 360°. Serta jenis propeler dengan sistem *Voith-Schneider Propulsion (VSP)* (gambar 6).



Sumber : kortpropulsion.com/products/kort-nozzles,
2016

Gambar 5. Tipe Azimuth Thruster Propulsion with Kort-Nozzel



Sumber : wikipedia.org/wiki/File:VSP_surtug.JPG,
2016

Gambar 6. Tipe Voith Schneider Propulsion

dimana daun propeler berbentuk semacam pisau yang disusun vertikal terletak dibawah badan kapal dengan sudut *pitch* yang dapat diatur agar badan kapal dapat berputar 360°. Daya mesin kapal tunda relatif besar hingga 3400 hp (2500 kw) bahkan mencapai 27.200 hp (20 000 kw) untuk kelas *ocean going tugboat*. Berdasarkan pengalaman, manfaat dari tenaga propulsi yang tinggi dan sudah terbukti dilapangan tidak perlu lagi disangsikan. (Jaroslaw Artyszuk, 2013).

2. *Bollard Pull* (BP) dan *Break Horse Power* (BHP)

Ukuran kekuatan kapal tunda dinyatakan oleh dua faktor antara lain kekuatan mesin (*Horse Power*) dan kekuatan tarik (*Bollard Pull*). Menurut Peraturan Menteri Perhubungan RI, Nomor PM 93 Tahun 2014 tentang Sarana Bantu dan Prasarana Pemanduan Kapal, dalam Bab I, Pasal 1, ayat 9 didefinisikan bahwa *Bollard Pull* adalah ukuran daya tarik kapal tunda dengan menggunakan tali tunda yang dibuktikan dengan sertifikat pengujian (*test certificate*) dari klasifikasi yang diakui oleh Pemerintah.

Khusus untuk jenis kapal tunda pelabuhan, di era tahun 2000 hingga 2010 telah mengalami peningkatan kapasitas *Bollard Pull* sekitar 60-65 tons lebih tinggi 15 tons dari umumnya nilai *Bollard Pull* kapal tunda yang lain (*The Independent*, 2012).

Guillermo Gefaell maupun Capt. P. Zahalka telah menurunkan formula empiris (*empirical formula*) untuk menentukan nilai *Bollard Pull* (BP) dan daya mesin (BHP) fungsi dari displacement (Δ), kecepatan kapal (V), lebar kapal (B), tinggi bidang diatas air (D_1), faktor kondisi perairan (k) serta faktor koef. kecepatan angin (C_{mw}).

a. Guillermo Gefaell (2005):

$$1). BP = [\Delta^{2/3} V^3 / 120 \times 60 + 0,06 B \cdot D_1] \cdot K$$

Faktor kondisi perairan (k) besarnya antara 0.5 hingga 3.0. BHP diestimasikan 100 s/d 125 kali *Bollard Pull* (ton).

$$2). BHP = 2/3 D \cdot V^2 / 120,$$

Formula BHP ini mengabaikan faktor eksternal angin dan gelombang. Konversi BHP ke *Bollard Pull* (tons) tergantung sistem propulsi yang digunakan. Formula $BP = BHP \cdot 1,26 / 100$ (t) adalah contoh formula BP menggunakan propulsi tipe CPP dengan KortNozzle.

b. Capt. P. Zahalka (2008):

$$1). BP = ((D^{2/3} \cdot V^3) / 7200 + C_{mv} \cdot B \cdot D_1) \cdot K$$

Faktor kondisi perairan (K) besarnya antara 3 hingga 8. Formula ini memperhitungkan tahanan *aerodynamic* dan *sea state*.

Konversi BHP ke *Bollard Pull* (tons) tergantung sistem propulsi yang digunakan. $BP = BHP \times 0,9 \times 1,40 / 100$ (t) adalah contoh formula BP untuk propulsi tipe CPP dengan KortNozzle.

$$2). BHP = D^{2/3} \cdot V^2 : 120$$

Formula untuk mengkonversi BHP ke *Bollard Pull* (tons) tergantung sistem propulsi yang digunakan. Formula $BP = BHP \cdot 1,40 / 100$ (t) adalah contoh formula BP menggunakan propulsi tipe CPP dengan KortNozzle.

$$3). BP = (Displ.(t) \times 60 / 100.000) + 40$$

Formula ini tidak berlaku bagi kapal

tunda yang memerlukan *Bollard Pull* kurang dari 40 ton.

- Divisi Kepanduan Pelabuhan Tanjung Priok dibawah PT. Pelabuhan Indonesia II mempunyai kekuatan armada kapal tunda mencapai 21 buah dengan kapasitas mesin mulai dari 1200 HP (2x600 HP) hingga 4.000 HP (2x2000HP) untuk menyambut pengoperasian Terminal Kalibaru (Tabel 2).

Tabel 2. Jumlah Kapal Tunda di Pelabuhan Tanjung Priok

Tahun	Kapal Tunda
2008	14
2009	13
2010	13
2011	14
2012	15
2013	17
2014	21

Sumber : PT. Pelindo II-Cab.Tj. Priok

Dua dari 21 armada kapal tunda tersebut baru tiba pada tahun 2014 berkapasitas 4.000 HP untuk bergabung memperkuat armada kapal tunda.

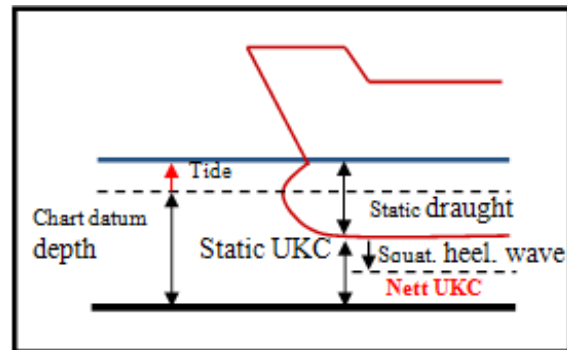
Arus kunjungan kapal di Pelabuhan Tanjung Priok rata-rata mencapai 90-120 unit setiap hari dan diperkirakan akan bertambah saat pengoperasian Terminal Kalibaru (*Priok New Port*) pada pertengahan 2016 dengan lebar alur pelabuhan sudah dilebarkan 300 m dari semula 140 m, dimana kapal yang keluar dan masuk tidak lagi saling menunggu dapat melintas di alur secara bersamaan.

D. Under Keel Clearance (UKC)

Pengertian *Under Keel Clearance* (UKC) adalah jarak vertikal minimum antara bagian terendah dari badan kapal dengan dasar perairan di air tenang. Formula UKC adalah = (*Charted Depth of Water + Height of Tide*) – (*Static Draught*)

- Dalam teori tentang *ship manoeuvring*, ditentukan bahwa nilai UKC minimal 10% T, dan umumnya 15%T.
- Pihak toritas pelabuhan Tanjung Priok, menetapkan bahwa kedalaman kolam pelabuhan adalah 1,1 T dengan

memperhitungkan gerak kapal akibat gelombang, angin dan pasang surut.



Sumber : www.maritimeworld.web.id/

Gambar 7. Kedudukan UKC

- Badan Asosiasi Dunia Dalam Bidang Infrastruktur Transportasi Laut (PIANC, 1992) di Belgia menetapkan nilai rasio kedalaman perairan terhadap sarat kapal h/T tergantung kondisi kedalaman perairan mulai dari *Very shallow water*, *Shallow water*, *Medium deep water* hingga *Deep water* dengan nilai rasio dari h/T<1.2 hingga h/T>3.0.

Pergerakan kapal di perairan sangat dangkal (*Very shallow water*) seperti perairan alur, pelabuhan, dan kanal, maka Komisi Internasional *The International Commission on the Reception of Large Ship* (ICORELS 1980) menetapkan standar nilai UKC dari 7% hingga 20%, sesuai letak dan kondisi perairan apakah dilaut terbuka (*open sea*), *waiting areas*, *channel*, *berthing area*, *protected berthing areas* dan lemah kuatnya gelombang.

- Komisi Perlindungan Lingkungan Laut Baltic, menetapkan untuk pergerakan kapal di pelabuhan, nilai UKC $\geq 1,5\%$ B dan ≥ 30 cm. (*SAFE NAV* 5, 2014).
- Standar IMO (MSC/Cir 644) menetapkan rasio h/T ≥ 4 untuk perairan dalam dan h/T<4 untuk perairan dangkal. Sedangkan nilai UKC mulai dari 20%, 50%, 150%, hingga 2140% untuk rasio h/T= 1,2 hingga ≥ 4 .

E. Kebijakan Jasa Penundaan di Pelabuhan Tanjung Priok

Otorita pelabuhan di setiap negara mempunyai peraturan yang berbeda tentang jumlah kapal

tunda yang harus digunakan setiap kali proses penundaan.

1. Peraturan Penundaan Kapal di Indonesia.

Di Indonesia khususnya di pelabuhan Tanjung Priok, Divisi Kepanduan menerapkan Permenhub, No.93, 2014, Bab II, Pasal 2 tentang Sarana Bantu Dan Prasarana Pemanduan kapal sebagai berikut:

- a. Panjang kapal 70 meter sampai dengan 150 meter menggunakan paling sedikit 1 unit kapal tunda dengan jumlah daya paling rendah 2000 HP dan jumlah gaya tarik paling rendah 24 ton *Bollar Pull*.
- b. Panjang kapal di atas 150 meter sampai dengan 250 meter menggunakan paling sedikit 2 unit kapal tunda dengan jumlah daya paling rendah 6.000 HP dan jumlah gaya tarik paling rendah 65 ton *Bollard Pull* ; atau

- c. Panjang kapal 250 meter ke atas paling sedikit 3 unit kapal tunda dengan jumlah daya paling rendah 11.000 HP dan jumlah gaya tarik paling rendah 125 ton *Bollard Pull* .

2. Peraturan Penundaan Kapal di Singapura.

Negara Singapore mempunyai aturan penundaan kapal di area perairan pelabuhan tertuang dalam *Maritime and Port Authority of Singapore* (PMA). PMA menetapkan ukuran kapal tunda pelabuhan (*harbour tug*) dalam 4 (empat) kategori diantaranya adalah :

- a. 10 - 16 tons *Bollard Pull*= *small tug*
- b. 17 - 24 tons *Bollard Pull*= *medium tug*
- c. 25 - 45 tons *Bollard Pull*= *big tug*
- d. di atas 45 tons *Bollard Pull*= *x-big tug*

Sedangkan jumlah kapal tunda yang harus digunakan untuk penundaan kapal di wilayah perairan pelabuhan Singapore ditentukan seperti dalam tabel 3.

Tabel 3. *Tug Requirement for Vessel Berthing and Unberthing*

Lenght Overall of Vessel (Loa)	Number of Tugs
Up to 70 meter Loa	Pihak otorita pelabuhan mengkonfirmasi kepada pengguna jasa atas order kapal tunda yang akan digunakan
71 to 122 meter Loa	1 small tug
123 to 152 meter Loa	2 small tugs
153 to 180 meter Loa	2 medium tugs
More than 180 meter Loa	2 big tugs

Sumber: Maritime and Port Authority of Singapore (PMA), 2016

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi metode pengumpulan data baik primer maupun sekunder dan metode analisa data. Metode pengumpulan data primer dilakukan melalui kunjungan ke perusahaan terkait dalam hal ini PT. Pelindo II cabang Tanjung Priok untuk memperoleh data primer mengenai kedalaman dan kapasitas pelabuhan Tanjung Priok, khususnya pelabuhan peti kemas sebelum dan sesudah pelaksanaan pembangunan pelabuhan peti kemas di wilayah utara pelabuhan Tanjung Priok . Disamping itu, untuk perolehan data sekunder dilakukan melalui studi literatur ke beberapa sumber baik dari instansi pemerintah maupun swasta dibidang terkait serta

sumber-sumber informasi hasil penelitian dari para peneliti sebelumnya baik dari kalangan akademisi maupun praktisi lapangan. Jenis data sekunder yang diperlukan adalah data tentang pertumbuhan volume arus peti kemas, kapasitas armada kapal peti kemas yang keluar masuk pelabuhan Tanjung Priok maupun perkembangan kapal peti kemas di dunia. Data jumlah dan kapasitas kapal tunda saat ini yang beroperasi di pelabuhan Tanjung Priok serta beberapa formula untuk penentuan *Bollar Pull* dan *Horse Power* (tenaga mesin) penggerak kapal tunda serta formula UKC (*Under Keel Clearance*) untuk alur dan kolam pelabuhan, hasil *research* para peneliti dibidang *Naval Architect* maupun *Marine Transporation*. Dibawah ini adalah salah satu contoh formula penentuan BHP

kapal tunda dari Capt. P. Zahalka fungsi dari *displacement* (D) dan kecepatan (V) kapal yang di tunda sebagai berikut:

$$\text{BHP} = D^{2/3} \cdot V^2 : 120$$

Formula empiris penentuan *Bollard Pull* tergantung dari tipe propeler yang digunakan. Sebagai contoh misalkan:

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,40 / 100 = \text{Bollard Pull (t)}, \text{ untuk propeler CPP dengan Kort-Nozzle.}$$

Sedangkan untuk pengolahan data akan dilakukan melalui *statistical analysis* dengan bantuan *software excel* dalam bentuk kurva untuk menentukan hubungan antara nilai *draught* dengan *displacement* kapal peti kemas, kurva antara *draught* kapal peti kemas dengan *Horse Power* kapal tunda, dan kurva hubungan antara *displacement* kapal peti kemas dengan daya *Horse Power* kapal tunda. Berdasarkan hasil korelasi antara *displacement* kapal dengan *Horse Power*, maka untuk suatu nilai tertentu dari kedalaman kolam pelabuhan yang direncanakan disertai hasil perhitungan nilai *Under Keel Clearance* (UKC) yang sesuai, maka akan dapat ditentukan nilai *draught*, *displacement* maksimum kapal peti kemas dan daya *Horse Power* serta kekuatan *Bollard Pull* kapal tunda yang sesuai untuk penundaan kapal peti kemas tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kedalaman Pelabuhan Kalibaru (*New Priok Port*)

Kedalaman pelabuhan adalah faktor utama untuk menentukan kapasitas maksimum kapal

yang dapat berlabuh. Hal ini merupakan konsep dasar bagi program pengembangan pelabuhan peti kemas Kalibaru yang sedang berlangsung saat ini dengan kedalaman kolam mencapai 16 hingga 19 meter, bahkan kedepannya akan dikembangkan hingga 20 meter agar dapat menampung armada peti kemas dengan kapasitas hingga 20.000 Teus dibandingkan dengan kapasitas semula hanya maksimum 6.000 Teus dengan kedalaman kolam 8 s/d 14 m (tabel 4). Ada 3 (tiga) faktor penting untuk merencanakan kapasitas maksimum kapal untuk dapat singgah di pelabuhan antara lain nilai kedalaman pelabuhan, nilai *Under Keel Clearance* minimum, dan nilai *draught* kapal yang dapat masuk ke pelabuhan Kalibaru.

1. Penentuan Kedalaman Alur dan Kolam Pelabuhan.

Kedalaman alur pelabuhan Tanjung Priok menurut data dari Sistem Informasi Geografis Prasarana Transportasi, Kementrian Perhubungan dan PT. Pelindo II, cabang Tanjung Priok tercatat antara 6 – 14 m, begitu pula data yang disampaikan oleh Devi Arnita dalam penelitiannya yang berjudul “*Strategi Pelabuhan Tanjung Priok Sebagai International Hub. tahun 2014*” mencatat bahwa kedalaman alur pelabuhan Tanjung Priok antara 10 hingga 14 m. Namun saat ini kedalaman alur pelabuhan diperdalam hingga minimal 16 m, dengan lebar semula 140 m menjadi 300 m untuk meningkatkan fungsi alur tersebut agar bisa digunakan untuk 2 (dua) arah pergerakan

Tabel 4. Fasilitas Terminal Pelabuhan Tanjung Priok

NO	TYPE OF TERMINAL	TOTAL (UNIT)	TOTAL LENGHT (METER)	DEPTH (M-LWS)
1	<i>General Cargo</i>	42	6.329	5-11
2	<i>Multipurpose</i>	5	772	8-11
3	<i>Container Terminal</i>	5	3.193	8-14
4	<i>Passenger Terminal</i>	1	375	9
5	<i>Dry Bulk Terminal</i>	8	1.242	4-10
6	<i>Liquid Bulk Terminal-Oils Only</i>	4	100	9-12
7	<i>Liquid Bulk Terminal-Chemical Only</i>	1	276	9
8	<i>Beaching Point</i>	1	305	6
9	<i>Car Terminal</i>	2	268	10

Sumber: PT.Pelindo II-Cabang Tanjung Priok

kapal masuk dan keluar pelabuhan dalam waktu bersamaan. Kedalaman kolam pelabuhan Kalibaru menurut data pada Tabel 5, bervariasi mulai dari 16 hingga 19 meter.

Untuk menentukan kedalaman kolam pelabuhan apakah 16 atau 19 meter, maka perlu adanya suatu asumsi. Berdasarkan data dari Tabel 3, terdapat 7 (tujuh) terminal peti kemas di pelabuhan Kalibaru. Terdapat 5 (lima) terminal peti kemas berkedalaman 16

meter sedangkan 2 (dua) terminal peti kemas berkedalaman 19 meter. Untuk itu ditentukan kedalaman kolam 16 meter dengan asumsi dan pertimbangan bahwa kedalaman 16 meter dapat mewakili penggunaan semua 9 (sembilan) terminal yang direncanakan termasuk 7 (tujuh) terminal peti kemas di dalamnya. Kondisi ini sekaligus dapat menunjang 3 (tiga) terminal peti kemas di phase 1 yang secara resmi akan dioperasikan pada periode bulan Juli tahun 2016 ini.

Tabel 5. Fasilitas Terminal Pelabuhan Kalibaru (*New Priok Port*)

<i>Phase</i>	<i>Terminal</i>	<i>Type</i>	<i>Capacity/Year</i>	<i>Draught</i>	<i>Length</i>	<i>Planned Operations</i>
<i>Phase 1</i>	<i>Container Terminal 1</i>	<i>Container</i>	1.500.000 TEUs	16 m	850 m	2016
	<i>Container Terminal 2</i>	<i>Container</i>	1.500.000 TEUs	16 m	800 m	2017
	<i>Container Terminal 3</i>	<i>Container</i>	1.500.000 TEUs	16 m	800 m	2018
	<i>Product Terminal 1</i>	<i>Petroleum Product 1</i>	5.000.000 M ³	16 m	800 m	2017
	<i>Product Terminal 2</i>	<i>Petroleum Product 2</i>	5.000.000 M ³	16 m	1000 m	2018
<i>Phase 2</i>	<i>Container Terminal 4</i>	<i>Container</i>	2.000.000 TEUs	16 m	1000 m	2019-2023
	<i>Container Terminal 5</i>	<i>Container</i>	2.000.000 TEUs	16 m	1000 m	2019-2023
	<i>Container Terminal 6</i>	<i>Container</i>	2.000.000 TEUs	19 m	1000 m	2019-2030
	<i>Container Terminal 7</i>	<i>Container</i>	2.000.000 TEUs	19 m	1000 m	2019-2030

Sumber: PT.Pengembang Pelabuhan Indonesia (PPI), 2015

2. *Under Keel Clearance (UKC)*

Sebuah kapal yang melalui perairan dangkal akan terjadi suatu perubahan kecepatan aliran potensial yang lebih cepat di bawah badan kapal yang dapat menimbulkan penurunan tekanan sekitar bawah badan kapal dan berakibat kenaikan sarat (*draught*) kapal serta penurunan freeboard untuk berat kapal (*displacement*) yang sama. Phenomena ini disebut sebagai *Squat* yang berdampak pada penting adanya aturan yang mengatur perbandingan antara kedalaman perairan (*h*) dengan kedalaman sarat kapal (*T*) yang sering disebut sebagai *depth to draught ratio* (*h/T*). Untuk *Squat* yang semakin besar mengakibatkan *draught* kapal semakin dalam dan jarak antara bagian bawah kapal dan dasar perairan atau *Under Keel Clearance (UKC)* semakin kecil. Walaupun demikian untuk kasus penundaan kapal di pelabuhan Tanjung Priok, mesin pada kapal

wajib tunda diwajibkan untuk dimatikan karena alasan untuk menjaga keselamatan awak dan keamanan kapal karena kedalaman lautnya kian berkurang (Peraturan Menteri Perhubungan, PM 42 tahun 2011). Menurut otoritas pelabuhan Tanjung Priok (*Port Authority of Tanjung Priok*) sebagai lembaga pemerintah di pelabuhan yang melaksanakan fungsi pengaturan, pengendalian, dan pengawasan kegiatan kepelabuhanan yang diusahakan secara komersial menyatakan bahwa kedalaman kolam pelabuhan harus memperhitungkan gerak kapal akibat pengaruh alam, seperti gelombang, angin dan pasang surut. Pada umumnya, kedalaman kolam pelabuhan (*h*) adalah 1,1 kali *draught* (*T*) kapal pada muatan penuh.

a. Penentuan Sarat Kapal (*T*) maksimum

Menurut standard IMO merujuk pada standar IMO (MSC/Cir 644) untuk perairan dangkal (*shallow water*) <200

m disyaratkan $h/T=1,2$ dan $UKC=20\%T$. Sedangkan menurut PIANC untuk perairan very shallow water $h/T<1,2$ dan $UKC=10\%T$ karena menurut PIANC alur dan kolam pelabuhan dikategorikan sebagai perairan very shallow water. Sementara menurut *theory of ship manoeuvring* dan Otoritas pelabuhan Tanjung Priok memberlakukan nilai kedalaman kolam pelabuhan adalah 1,1 kali *draught* kapal atau $h/T=1,1$ pada muatan penuh. Berdasarkan ketentuan tersebut maka ditentukan nilai h/T adalah $=1,1$ dan $UKC=10\%T$ dengan pertimbangan bahwa alur dan perairan pelabuhan termasuk kategori very shallow water dan menurut ketentuan *theory of ship manoeuvring* dan otoritas pelabuhan Tanjung Priok. Dengan diketahuinya kedalaman perairan baik untuk alur maupun kolam pelabuhan Kalibaru sebesar 16 meter, maka dapat ditentukan nilai *draught* maksimum kapal dan *Under Keel Clearance* (UKC) minimum sebesar $T=14,55$ meter dan $UKC=1,45$ meter. Namun untuk rencana kedepan bila kedalaman pelabuhan direncanakan mencapai 20 meter, maka sarat kapal bisa mencapai T maksimum 18,20 meter.

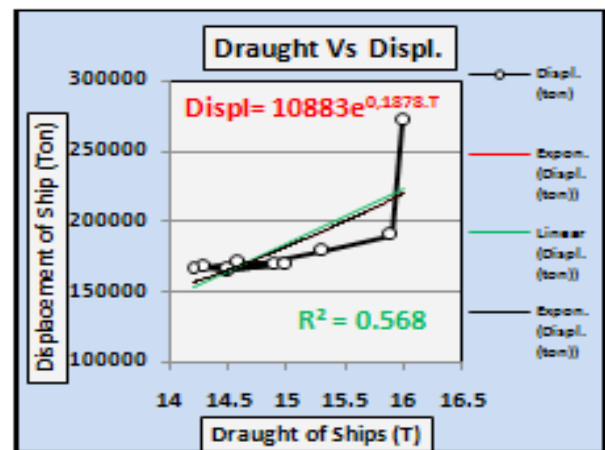
a. Penentuan *Under Keel Clearence* (UKC) minimum

Pada prinsipnya besarnya nilai UKC ini direncanakan seminimal mungkin menurut ketentuan yang berlaku dengan harapan untuk memperoleh nilai sarat kapal maksimum. Berdasarkan *draught* maksimum hasil perhitungan yaitu $T_{maks.}=14,55$ meter, maka nilai UKC dapat ditentukan sebesar $10\%T$ yaitu $UKC=1,45$ meter.

c. *Displacement* Kapal Peti Kemas Maksimum.

Berdasarkan hasil penentuan kedalaman alur dan pelabuhan Kalibaru sebesar 16 meter dan *draught* kapal maksimum (T) 14,55 meter dan nilai UKC minimum 1,45 meter, maka untuk penentua *displacement* kapal peti kemas dapat ditentukan dengan

menggunakan metode statistik melalui analisa data beberapa ukuran utama kapal tipe peti kemas yang diutamakan mempunyai sarat (*draught*) di atas 10 meter terlihat pada Tabel 6. Berdasarkan hasil grafik hubungan antara *draught* kapal (T) dengan *displacement* kapal dan persamaan regresi seperti ditampilkan dalam Gambar 8, maka dengan *draught* kapal $T=14,55$ meter dan persamaan eksponensial $Displ=10883.e^{0,1878.T}$ (ton), dapat ditentukan *displacement* kapal maksimum sebesar 167.573 ton. Namun bila rencana kedalaman ditingkatkan hingga 20 meter, maka *displacement* kapal bisa mencapai maksimum 331.479 ton pada *draught* 8.18 m.



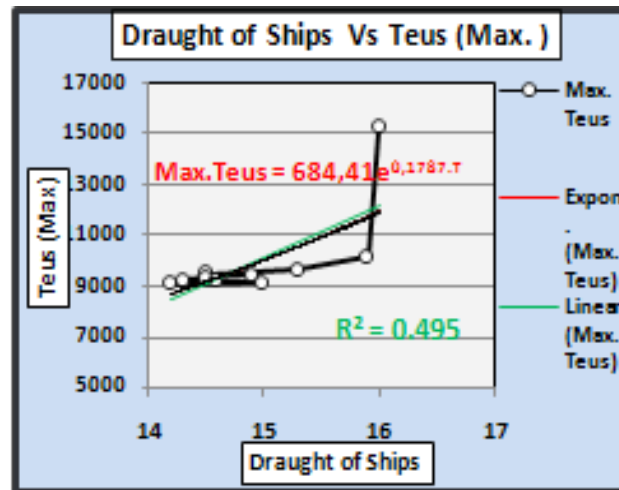
Sumber: Hasil analisa data

Gambar 8. *Displ. Vs Draught (T)*

d. Kapasitas Peti Kemas Maksimum (*Max. Teus*)

Setelah mengetahui *displacement* kapal untuk kedalaman pelabuhan 16 meter adalah 331.479 ton, maka kapasitas peti kemas dapat ditentukan melalui persamaan regresi dari grafik hubungan antara sarat kapal (T) dengan kapasitas maksimum kapal (*Max. Teus*) (Gmb 9) sebagai berikut: Kapasitas $Max.=684,41.e^{0,1787.T}$ Dengan sarat kapal 14,45 meter, maka kapasitas maksimum kapal kurang lebih mencapai 9.231 Teus.

Bila kedepan akan direncanakan untuk kedalaman pelabuhan 20 meter, maka kapasitas kapal akan bisa mencapai 17.666 Teus.



Sumber: Hasil analisa data

Gambar 9. *Teus(Max.)VsDraught (T)*

Tabel 6. Data Kapal Peti Kemas dengan Draught > 10 m

Name	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Dwt (ton)	Displ. (ton)	Max. TEUs	GT	Speed
Emma Mærsk	397	56	30	16	156907	271735	15.200	170794	25,5
Gudrun Mærsk	367	43.0	24,1	15,9	115700	190321	10150	97933	24
Xin Los Angeles	336.7	45.64	27.2	15.3	111889	178335	9600	107200	25.4
COSCO Guangzhou	350,56	42,8	27,3	14,5	107277	165017	9469	99833	25.6
CMA CGM Medea	349	42,8	30	14,9	113964	168815	9415	99500	25.4
Axel Mærsk	352,6	42,8	24,1	14,5	109000	165978	9310	93496	25.4
NYK Vega	338,17	45,6	20,14	14,3	103310	167260	9200	97825	25
MSC Pamela	336,64	45,65	27,2	14,6	117063	170183	9178	90500	25
MSC Madeleine	348,5	42,8	27,2	15	114908	169705	9100	107551	25.1
Hannover Bridge	336	46	24,4	14,2	98849	166472	9040	98747	23,5

Sumber: www.containership-info.com

e. Tenaga Mesin Kapal Tunda (BHP)

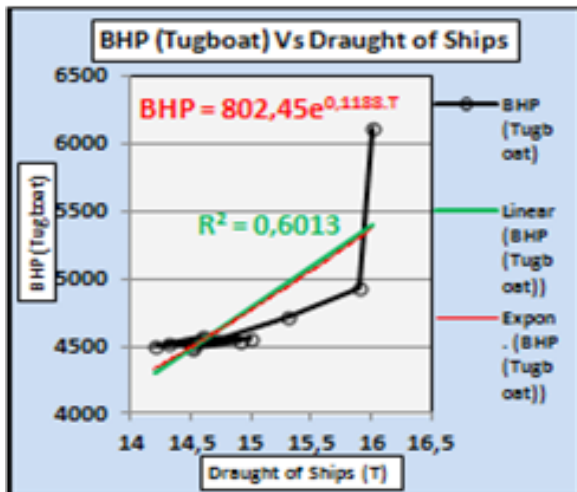
Penentuan kekuatan mesin kapal tunda (BHP) dapat diprediksi melalui formula fungsi dari *Displacement* dan kecepatan kapaldari Capt. Zahalka sebagai berikut : $BHP = D^{2/3} \times V^2$: 120 x k, dimana koefisien k = 5 adalah faktor keamanan (*safety factor*) untuk mengatasi kekuatan tarik akibat cuaca (angin, arus, dan gelombang), serta 6 (enam) gerakan kapal (*six degree motions*) khususnya *surging* (gerakan maju mundur), *heaving* (naik turun), dan *pitching* (mengangguk-angguk). Gambar 10 merupakan bentuk presentasi dari grafik hubungan antara *draught* (T) kapal peti kemas dengan kekuatan mesin kapal tunda (BHP). Melalui formula BHP dari

grafik tersebut, maka untuk kapal peti kemas dengan *draught* 14,55 meter dapat diprediksi kekuatan kapal tunda untuk menarik bobot *displacement* 167.573 ton adalah sekitar 5.799 HP.

f. Kekuatan *Bollard Pull* Kapal Tunda (BP)

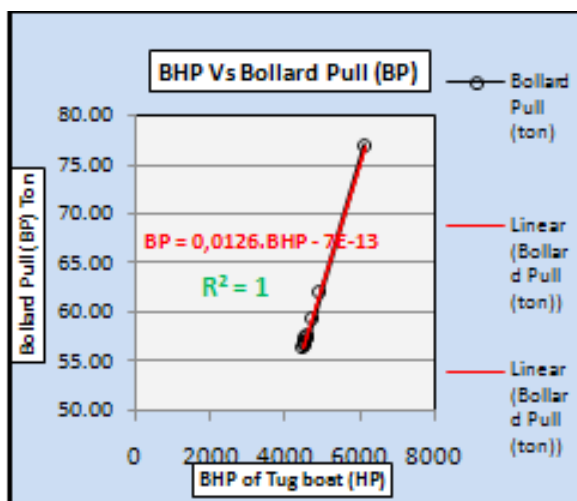
Kekuatan tarik kapal tunda dapat diprediksi melalui formula hasil analisa statistik pada grafik hubungan antara kekuatan mesin kapal tunda (BHP) dengan kekuatan tarik kapal tunda (*Bollard Pull*) seperti terlihat pada Gambar 10. Besarnya nilai kekuatan tarik kapal tunda untuk horse power yang sama dapat menghasilkan *Bollard Pull* yang berbeda. Hal ini dikarenakan pengaruh dari jenis sistem propulsi yang digunakan. Untuk

pemakaian sistem propulsi dengan propeler jenis *Controlable Pitch Propeller* (CPP) yang dilengkapi dengan tabung Kort-Nozzle dapat menghasilkan gaya dorong dan efisiensi bahan bakar lebih besar dibandingkan dengan tipe propeler jenis konvensional maupun *Fixed Pitch Propeller* (FPP) terbuka (*freewheeling*). Sehingga untuk dasar perhitungan penentuan *Bollard Pull* dapat menggunakan formula Zahalka sebagai berikut : $BHP \times 0,9 \times 1,40 / 100 = (t)$, *Controlable Pitch Propeller* (Kort-Nozzle). Berdasarkan kekuatan mesin kapal tunda hasil analisa adalah 5799 HP, dengan formula analisa regresi $BP = 0,0126 \cdot BHP - 7E-13$, dapat ditentukan nilai *Bollard Pull* sebesar 73 ton.



Sumber: Hasil analisa data

Gambar 10. *BHP Vs Draught (T)*



Sumber: Hasil analisa data

Gambar 11. *BHP Vs Bollard Pull*

g. Menentukan Dimensi Utama Kapal Peti Kemas.

Untuk memprediksi ukuran utama panjang kapal (L) peti kemas, maka dengan menggunakan formula regresi hasil penelitian dari Hans Otto (Hans Otto Kristensen, 2013) melalui hasil penelitiannya tentang “*Statistical Analysis and Determination of Regression Formulas for Main Dimensions of Container Ships based on IHS Fairplay Data*” ,February 2013, maka panjang kapal dapat ditentukan dengan formula sebagai berikut :

$$\text{Length pp} = 14.66 \cdot \text{TEU}^{0.339} (>8000 \text{ Teus})$$

Untuk kapasitas kapal 9231 Teus dan draught 14,55 meter, maka panjang kapal Lpp adalah 323,86 meter. Untuk program pengembangan kedepan dengan kedalaman kolam 20 meter, draught 18,18 meter dan kapasitas kapal 17.666 Teus, maka panjang kapal Lpp adalah 403,56 meter.

h. Pengoperasian Kapal Tunda & Kebijakan Otoritas Pelabuhan.

Berdasarkan kekuatan mesin penggerak kapal tunda hasil analisa 5799 HP dan kekuatan *Bollard Pull* 73 ton untuk menarik kapal berbobot *displacement* 167.573 ton dan panjang kapal 300 meter, maka menurut peraturan penundaan kapal di pelabuhan Tanjung Priok menurut Peraturan Menteri Perhubungan RI, No. PM 93 Tahun 2014, Bab II, Pasal 2, point c, yang menyatakan bahwa: Panjang kapal 250 (dua ratus lima puluh) meter ke atas paling sedikit 3 (tiga) unit kapal tunda dengan jumlah daya paling rendah 11.000 (sebelas ribu) HP dan jumlah gaya tarik paling rendah 125 ton *Bollard Pull*, maka berdasarkan ketentuan tersebut, kapal tunda hasil penelitian telah memenuhi kriteria teknis dimana jumlah kekuatan tarik untuk 3 (tiga) unit kapal tunda sudah mencapai 168 ton *Bollard Pull* yang berarti sudah melampaui batas minimal gaya tarik yang disyaratkan 125 ton. Begitu pula dengan daya 3 (tiga)

unit kapal tunda sudah mencapai 13.380 HP yang berarti sudah melampaui batas minimal *horse power* mesin 11.000 HP.

KESIMPULAN

Dari hasil analisa penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dalam rangka pengembangan pelabuhan peti kemas Tanjung Priok di pelabuhan Kalibaru yang dilengkapi dengan peralatan modern dan kolam pelabuhan dengan kedalaman 16 meter, maka kapal peti kemas yang bisa berlabuh di pelabuhan Kalibaru adalah kapal dengan *draught* maksimum (T) 14,55 meter, panjang (Lpp) sekitar 323,86 meter, *displacement* maksimum sekitar 167.573 ton serta mempunyai kapasitas 9.231 Teus sudah melebihi kategori Post Panamax Plus yang mempunyai *draught* 14,5 meter, panjang 300 meter dan kapasitas maksimum 8000 Teus. Dengan ukuran kapal tersebut, maka telah dapat dianalisa dan ditentukan besarnya kekuatan mesin dan kekuatan tarik (*Bollard Pull*) kapal tunda yang sesuai yaitu sekitar 5.799 HP dan 73 ton *Bollard Pull*.

Berdasarkan peraturan otoritas pelabuhan, maka kekuatan kapal tunda dengan 5.799 HP dan 73 ton *Bollard Pull* sudah dapat memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh otoritas pelabuhan dimana untuk menarik kapal lebih besar dari 250 meter diharuskan menggunakan 3 (tiga) unit kapal tunda dengan jumlah kekuatan minimal 11.000 HP dan 125 ton *Bollard Pull*.

SARAN

Untuk mendapatkan hasil yang optimal dari penelitian ini, maka penulis menyarankan agar dilakukan pengujian di laboratorium hidrodinamika dalam bentuk pengujian model untuk mendapatkan perbandingan terhadap ketelitian hasil penelitian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terlaksananya penelitian ini, kami penulis pertama mengucapkan rasa bersyukur kepada Tuhan yang maha Esa atas diberikannya hidayah dan kesehatan dalam usaha selama proses penelitian ini dan kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada Sekretariat PT.Pelindo II-Jakarta atas bantuan data dan informasinya serta selalu tak

lupa rasa terimakasih yang sebesar bearnya kepada Dewan Redaksi, Mitra Bestari, dan segenap Insan di Warta Perhubungan atas bantuannya dalam ikut serta menyempurnakan karya tulis hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Annual Report-PT Pelabuhan Indonesia II, *New Priok Development*, Tahun 2014. www.indonesiaport.co.id/sub/laporan-tahunan.html
- Devi Arnita, 2014, *Strategi Pelabuhan Tanjung Priok Sebagai International Hub Port : Studi Banding Dengan Pelabuhan Singapura*, Institut Pertanian Bogor, Tesis, Bogor.
- Dr. Jean-Paul Rodrigue, 2012, *Evolution of Containerships*, Dept. of Global Studies & Geography, Hofstra University, New York, USA.
- Guillermo Gefaell, 2005, *Formula for Determination of The Requested Bollard Pull & Break Horse Power*, Gestenaval S.L., Naval Architecture & Marine Engineering, Spain.
- Hans Otto Kristensen, 2013, *Statistical Analysis and Determination of Regression Formulas for Main Dimensions of Container Ships based on IHS Fairplay Data*, University of Southern Denmark.
- Henk Hensen Capt., 2003, *Tug Use in Port.*, A Practical Guide Book, 2nd edition, The Nautical Institute London, UK.
- ICORELS (International Commission for The Reception of Large Ships), 1980, *Report of Working Group IV*, Supplement to PIANC Bulletin No.35, p. 39.
- IPC Port Developer, March 2015. *Kalibaru Terminal Tanjung Priok Port As Supporting Economic Growth And Connectivity In National And International*, IPC, Jakarta.
- Jaroslav Artyszuk, 2013. *Types And Power Of Harbour Tugs-The Latest Trend*, Faculty of Navigation, Maritime University of Szczecin, Poland.
- Marie Lützen, 2013. *Data Analyses – Standard Vessel Determination. Tankers, Bulk Carriers and Container Vessels*, Project no. 2010-56. Work Package 2, Report no. 01. University of Southern Denmark.
- Maritime and Port Authority of Singapore (PMA) 2016, *Tug Requirement For Vessels Berthing And Unberthing*, Singapore.

Peraturan Menteri Perhubungan RI, No. PM: 38 Tahun 2012, tentang *Rencana Induk Pelabuhan Tanjung Priok*, Jakarta.

Peraturan Menteri Perhubungan RI, No. PM: 93 Tahun 2014, tentang Sarana Bantu Dan Prasarana Pemanduan kapal, Jakarta.

PIANC, 1992, *Capability of Ship Manoeuvring Simulation Models for Approach Channels and Fairways in Harbour*, Report of Working Group No.20 of Permanent Technical Committee II, Supplement to PIANC Bulletin No.77, 49 pp.

RJ. Lino, 2012, *Pelabuhan Tanjung Priok Layani Kapal Berkapasitas 4.500 TEUs untuk Pertama Kali di Indonesia*, Siaran Pers Pelindo II. Jakarta, 4 Februari.

RJ. Lino, 2015, *the 29th International Association of Ports and Harbours (IAPH) World Port Conference*, Hamburg, Jerman.

SAFE NAV5 2014, Baltic Marine Environment Protection Commission, Group of Experts on Safety of Navigation Copenhagen, Denmark, 3 December 2014.

The Independent, 4 June 2012, *Western Marine to build tugboat, vessel for Chittagong port*, Bangladesh, Retrieved 19 August 2013.

Z. Górski and M. Giernalczyk, 2012, *Method For Determination Of Energy Demand For Main Propulsion And Onboard Electric Power For Modern Harbour Tug Boats By Means Of Statistics*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 19, No.1.

Zahalka Capt P, 2008, *Association of Hanseatic Marine Underwrites, Bollard Pull*, Sayfa 1-10, Hamburg, Bremen.