

STUDI EKSPERIMEN ROLL EKSTRIM PADA CATAMARAN FLOATING CRANE

Baharuddin Ali, Nurcholis, Yuniati, Andik Machfudin

Balai Teknologi Hidrodinamika - BPPT, Surabaya
Jl. Hidrodinamika-BPPT Komplek ITS, Surabaya-Jawa Timur

Email: baharuddin.ali@bppt.go.id.

Abstrak

Kekuatan struktur dan stabilitas *catamaran floating crane* (wahana angkut anjungan lepas pantai pasca operasi, ALPO) dalam operasinya menjadi kunci penting dalam menunjang *decommissioning* anjungan lepas pantai pasca operasi. Penentuan nilai sudut roll pada DNVGL-OS-C102, 2018 amplitudo roll ekstrim didasarkan pada prediksi *long term* amplitudo roll dengan nilai probabilitas $P = 10^{-8}$. Pada penelitian ini bertujuan untuk memprediksi probabilitas kejadian *long term* diperoleh dari kejadian *short term* melalui uji model. Pada studi ini disajikan hasil analisa probabilitas kejadian roll ekstrim dari pengujian seakeeping model *catamaran floating crane*. Menggunakan distribusi Weibull-tail menunjukkan keseimbangan yang bagus antara akurasi, varian rendah, dan penggunaan data yang efisien. Dengan metode Weibull-tail didapatkan nilai roll ekstrim model ALPO untuk *block maxima+* : 23.07 deg, untuk *block maxima-* : 20.27 deg pada kondisi gelombang $H_s = 6.37$ m, $T_p = 12.30$ sec arah heading 90 deg.

Kata Kunci: ALPO, roll ekstrim, Weibull-tail, katamaran, crane

Abstract

The structural strength and stability of the floating crane catamaran (post-operation offshore platform transport vehicle, ALPO) in its operation are important keys in supporting post-operation offshore platform decommissioning. Determination of the roll extreme value at DNVGL-OS-C102, 2018 based on the prediction of long term roll amplitude with probability value $P = 10^{-8}$. Prediction of the probability of long-term occurrence is obtained from short-term occurrences which can be obtained through model testing. In this paper, results of the extreme roll exceedance probability analysis from the seakeeping test of the floating crane catamaran model is investigated. Weibull-tail distribution shows a fine balance between accuracy, low variance and efficient data usage. With the Weibull-tail method, the extreme roll value ALPO model is obtained, for block maxima +: 23.07 deg, for block maxima -: 20.27 deg at wave conditions $H_s = 6.37$ m, $T_p = 12.30$ sec heading 90 deg.

Keywords: ALPO, extreme roll, Weibull-tail, catamaran, crane

1. PENDAHULUAN

Pembuatan desain *catamaran floating crane* (wahana angkut anjungan lepas pantai pasca operasi, ALPO) dilakukan dalam rangka mendukung kegiatan pembongkaran anjungan lepas pantai yang memasuki masa pasca operasi. Anjungan lepas pantai yang sudah tidak beroperasi dan tidak dipergunakan diharuskan untuk diambil atau ditenggelamkan seperti yang tercantum dalam UNCLOS tahun 1982, dan Undang-Undang Nomor 17/2008 tentang Pelayaran dan Permen ESDM no 1 tahun 2011.

Kekuatan desain struktur dan stabilitas ALPO dalam operasinya menjadi kunci penting dalam menunjang *decommissioning* anjungan lepas pantai pasca operasi. Penentuan nilai sudut roll seperti ketentuan class DNVGL tentang *Structural Design of Offshore Ship-Shaped Units* dimana amplitudo roll maksimum didasarkan pada prediksi long term amplitudo roll dengan nilai probabilitas $P = 10^{-8}$ [1]. Prediksi *long term* ini bisa didapatkan antara lain dengan pengujian model. Analisa time history dari pengujian model dengan gelombang ireguler ini dapat digunakan dalam memprediksi probabilitas kejadian dalam kondisi ekstrim

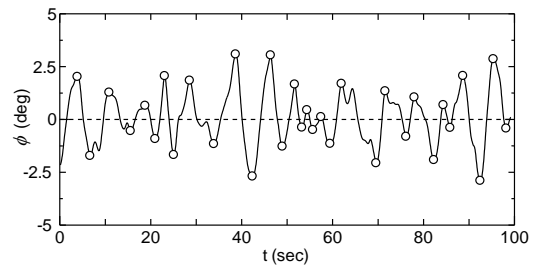
[6]. *Long-term prediction roll amplitude* didapatkan dengan probabilitas kejadian (exceedance probability) gerak roll dalam short-term pada gelombang ireguler [4].

Kondisi ekstrim yang dipersyaratkan dalam aturan class menjadikan gerakan bangunan apung non-linier karena sifat stokastik alamiah gelombang [5]. Hal ini menjadikan penentuan probabilitas kejadian untuk long term prediction dari data distribusi kejadian short term prediction lebih sulit. Beberapa studi tentang perbandingan pemakaian berbagai jenis distribusi probabilitas dalam memprediksi beban ekstrim bangunan apung akibat gelombang [7;11;12]. Pada penentuan lambung timbul kapal, probabilitas kejadian dapat diprediksi dengan distribusi Rayleigh maupun Weibull [3].

Pada tulisan ini disajikan hasil kajian tentang probabilitas kejadian ekstrim roll hasil pengujian model *floating crane* tipe catamaran ALPO menggunakan model probability density functions dari Weibull 2-parameter, Rayleigh dan Weibull-tail dengan variasi *sea state* dan arah gelombang terhadap model. Pengujian model yang bersifat short term dalam ukuran 3 jam dalam standar pengambilan data riil kapal, maka memprediksi probabilitas dalam kurun long term dibutuhkan suatu pendekatan yang akurat berdasar data short term yang ada.

2. METODE

Analisa data gerak roll berupa *time series* yang diperoleh dari pengujian model, nilai respon gerak dalam signal ireguler diambil nilai block maxima o seperti didefinisikan pada contoh Gambar 1. Nilai *block maxima* x digunakan dalam menyusun probabilitas kejadian dalam suatu fungsi distribusi kumulatif.



Gambar 1. *Block maxima peaks* gerak roll dari *time series*

Persamaan *cumulative distribution function* (cdf) Weibull dengan 2- parameter seperti berikut :

$$P(X \leq x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b} \tag{1}$$

Untuk mendapatkan nilai 2- parameter *a* dan *b* dari persamaan (1) maka dapat dilakukan dengan langkah berikut :

$$1 - P(X \leq x) = e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b} \tag{2}$$

$$\ln\left(\frac{1}{1-P(X \leq x)}\right) = \left(\frac{x}{a}\right)^b \tag{3}$$

$$\ln\left[\ln\left(\frac{1}{1-P(X \leq x)}\right)\right] = -b \ln a + b \ln x \tag{4}$$

persamaan (4) dapat digambarkan sebagai persamaan linier $Y = pX + q$ maka dengan regresi linier akan didapatkan nilai parameter *a* dan *b* dimana ekspresi $Y = \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1-P(X \leq x)}\right)\right]$, $p = b$, $q = -b \ln a$, $X = \ln x$

Distribusi Rayleigh merupakan bentuk lain dari distribusi Weibull dimana nilai parameter $a = 2\sigma$ dan $b = 2$ dengan σ adalah standar deviasi data dari time series, maka dituliskan sebagai berikut :

$$P(X \leq x) = 1 - e^{-\left(\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)} \tag{5}$$

Bentuk distribusi Weibull-tail hampir sama dengan Weibull 2-parameter yang menggunakan semua nilai *block maxima* namun dengan lebih menekankan *fitting* pada bagian tail dari distribusi probabilitasnya. Pada metode ini 2-parameter didapatkan dari rata-rata Weibull 2-parameter untuk

cumulative distribution function pada data block maxima dengan percentile sejumlah N, misal 65%, 70%, ... 95%. Maka nilai-nilai parameter *a* dan *b* didapatkan dari rata-rata masing-masing data percentile [8].

$$a = \frac{1}{N} \sum_i^N a_i \tag{6}$$

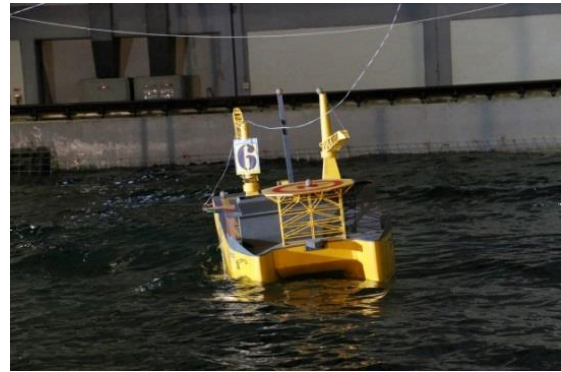
$$b = \frac{1}{N} \sum_i^N b_i \tag{7}$$

Pengujian gerak kapal (*seakeeping*) dilakukan pada model ALPO dengan skala 1:36. Ukuran utama kapal disajikan pada Tabel 1. Kegiatan pengujian dilakukan di fasilitas kolam uji maneuvering ocean basin (MOB) yang berada di Balai Teknologi Hidrodinamika – BPPT, Surabaya. Model ALPO yang sedang dilakukan pengujian di kolam uji seperti terlihat pada Gambar 2.

Perekaman data gerak model kapal dilakukan dengan menggunakan sistem *wireless optical tracking*. Sensor target yang terpasang pada model akan dideteksi oleh peralatan motion tracking yang direkam dalam bentuk data ke dalam sistem akuisisi data. Pengaturan model di kolam saat uji *seakeeping* dilakukan dengan menambat model pada empat titik sistem tambat yang masing-masing titik dilengkapi dengan sistem pegas yang diatur sedemikian rupa sehingga sesuai dengan kekakuan sistem tambat kapal saat beroperasi.

Tabel 1. Ukuran utama

Simbol	Dimensi
Unit	
Lpp (m)	111.00.00
B (m)	108.00.00
D (m)	14.40
T (m)	4.70
Δ (ton)	8646
VCG (m)	15.41
LCG dari AP (m)	50.94



Gambar 2. Model ALPO di kolam uji

Pengujian *seakeeping* dilakukan pada kondisi gelombang ireguler, tinggi gelombang signifikan $H_s = 2.50$ m dengan *peak period* $T_p = 8.50$ sec kondisi ini setara dengan *sea-state* 4, dan $H_s = 6.37$ m dengan *peak period* $T_p = 12.30$ sec. kondisi ini setara dengan *sea-state* 7, dengan tipe spektrum Pierson-Moskowitz, arah gelombang terhadap model (*heading*) 90 deg (*beam seas*), 135 deg (*bow quartering seas*) dan 180 deg (*head seas*).

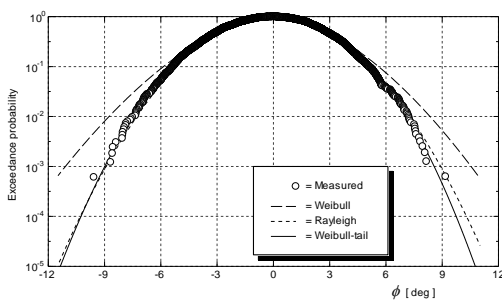
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa data time series dalam penampilan distribusi grafik probabilitas kejadian (*exceedance probability*) hasil pengukuran block maxima roll ϕ lambang o ditampilkan dalam arah positif dan negatif dimana menunjukkan arah gerakan roll ke kanan dan kiri yang dibandingkan dengan permodelan distribusi Weibull digambarkan dengan garis — — , untuk Rayleigh digambarkan dengan — — dan Weibull-tail digambarkan dengan — .

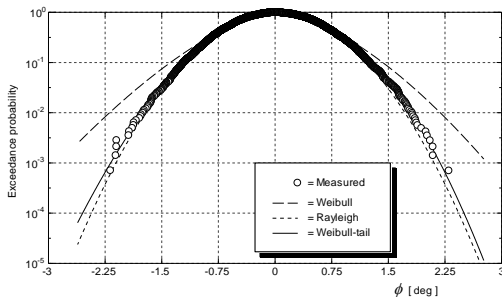
Pengaruh gelombang yang lebih rendah memunculkan respon gerak roll yang lebih rendah (lihat Gambar 3~5), kecenderungan arah gerak roll yang simetris kiri-kanan dan terdistribusi normal nampak mendekati distribusi Rayleigh. Untuk proses linear narrow-band, distribusi Rayleigh adalah pendekatan yang baik untuk estimasi statistik short term. Namun, distribusi Rayleigh kurang memadai untuk representasi proses non linier untuk kondisi long term (lihat Gambar 6~8) dimana kondisi gelombang

tinggi mengakibatkan gerak roll yang non linier dan tidak simetris.

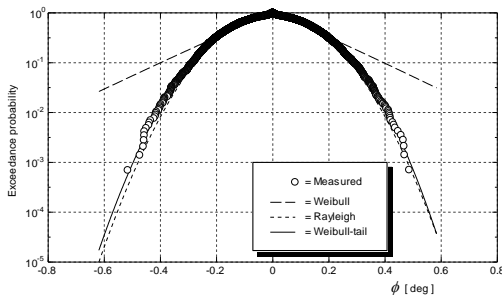
Penggunaan distribusi Weibull yang menggunakan seluruh nilai *block maxima* dari suatu *time series* terlihat kurang akurat (lihat Gambar 3~8). Banyaknya data yang masuk mungkin tidak relevan untuk menggambarkan suatu kejadian ekstrim. Sehingga dengan menggunakan Weibull untuk semua nilai *block maxima*, berisiko tidak mendapatkan nilai yang bagus untuk bagian ekor (tail) dari distribusi *block maxima*, dimana pada posisi



Gambar 3. Probabilitas kejadian pada heading = 90 deg
Hs = 2.50 m, Tp = 8.50 sec



Gambar 4. Probabilitas kejadian pada heading = 135 deg
Hs = 2.50 m, Tp = 8.50 sec



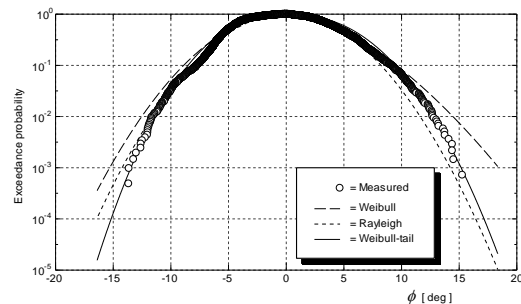
Gambar 5. Probabilitas kejadian pada heading = 180 deg
Hs = 2.50 m, Tp = 8.50 sec

tail ini memiliki pengaruh terbesar pada distribusi ekstrim.

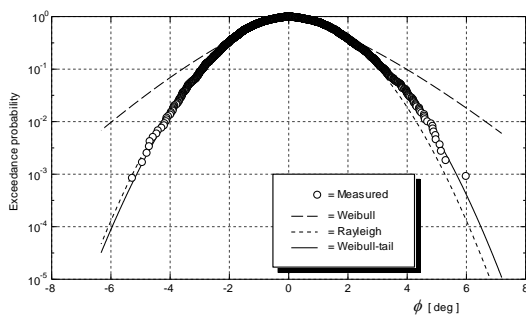
Dalam kaitan memprediksi probabilitas kondisi ekstrim distribusi Weibull-tail dapat memperbaiki pendekatan yang digunakan. Pada simulasi ini digunakan percentile data 95%, 96%, 97% dan 98%. Pada kondisi gelombang ekstrim dan berbagai arah heading kapal terhadap gelombang Weibull-tail tampaknya memiliki keseimbangan yang bagus antara akurasi, varian rendah, dan penggunaan data yang efisien (lihat Gambar 3~8).

Dari hasil analisa probabilitas kejadian diketahui distribusi Weibull-tail memberikan hasil yang baik. Dari analisa data didapatkan nilai parameter untuk Weibull-tail untuk masing-masing kondisi sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

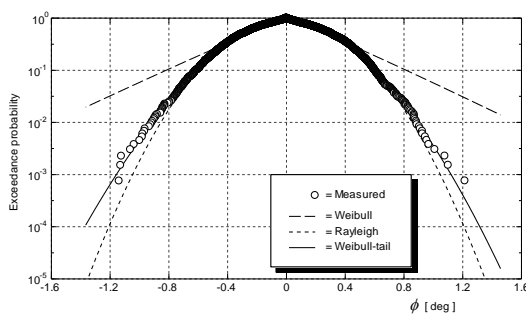
Dari hasil pengujian model *catamaran floating crane* ALPO, gerak roll ekstrim terjadi pada gelombang Hs = 6.37 m, Tp = 12.30 sec dengan arah *heading* gelombang dari samping kapal 90 deg (lihat Gambar 6). Untuk memprediksi nilai roll ekstrim *x* seperti pada persamaan (1) dengan nilai probabilitas dengan nilai probabilitas $P = 10^{-8}$ dapat dihitung dengan pendekatan distribusi Weibull-tail menggunakan dengan nilai-nilai parameter pada Tabel 2. Sehingga didapatkan nilai roll ekstrim untuk *maxima+* : 23.07 deg, untuk *maxima-* : 20.27 deg.



Gambar 6. Probabilitas kejadian pada heading = 90 deg
Hs = 6.37 m, Tp = 12.30 sec



Gambar 7. Probabilitas kejadian pada heading = 135 deg
Hs = 6.37 m, Tp = 12.30 sec



Gambar 8. Probabilitas kejadian pada heading = 180 deg
Hs = 6.37 m, Tp = 12.30 sec

Tabel 2. Parameter Weibull-tail

Hs (m)	Tp (sec)	Heading (deg)	a		b	
			max+	max-	max+	max-
02.50	08.50	90	36.182	37.104	22.147	21.843
		135	6,11319 4444	5,25069 4444	21.258	18.277
		180	1,422916667	1,38125	2.201	21.088
06.37	12.30	90	66.370	60.093	23.387	23.960
		135	22.586	18.724	21.043	19.185
		180	2,64722 2222	2,56111 1111	17.921	16.897

4. KESIMPULAN

Serangkaian pengujian seakeeping pada model catamaran floating crane ALPO dalam short term telah dilakukan dalam rangka memprediksi roll ekstrim yang terjadi pada kondisi long term. Metode distribusi probabilitas Weibull dengan semua nilai block maxima, Rayleigh dan Weibull-tail dtelah digunakan dalam analisa roll ekstrim. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa metode analisis distribusi probabilitas dengan hasil

yang metode tersebut hasilkan harus digunakan dengan hati-hati dan dipahami sesuai kebutuhan lapangan.

Prediksi probabilitas pada kondisi ekstrim menggunakan metode Weibull-tail dapat memperbaiki pendekatan yang digunakan. Pada kondisi gelombang ekstrim dan berbagai arah heading model kapal terhadap gelombang Weibull-tail terlihat memiliki akurasi yang bagus. Nilai roll ekstrim dengan metode ini didapatkan nilai roll ekstrim untuk block maxima+ : 23.07 deg, untuk block maxima- : 20.27 deg pada kondisi Hs = 6.37 m, Tp = 12.30 sec heading 90 deg.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada rekan-rekan Balai Teknologi Hidrodinamika – BPPT Surabaya dalam kontribusi pelaksanaan kegiatan DIPA Maritim 2021. Terimakasih kepada Direktorat PTRIM dalam mendukung desain Wahana Angkut ALPO.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] DNVGL-OS-C102 (2018) Structural Design of Offshore Ship-Shaped Units.
- [2] Hollis, D. and T. Rosen. 2010 United Nations Convention on Law of the Sea (UNCLOS), 1982. The Encyclopedia of Earth, 22.
- [3] Kapsenberg, G.K and de Kat, J.O. (2000). Effect of Freeboard and Bow height on Green Water Loads for a General Purpose Cargo Ship, *Proceeding Osaka Colloquium on Seakeeping Performance of Ship*, Osaka, Japan.
- [4] Katayama, T., Kankaku, M., Maki, A., Sugimoto, K., and Fukumoto, Y. (2019), Study on Short-Term Prediction of Roll in Beam Seas, *Proceedings of the 17th International Ship Stability Workshop*, Helsinki, Finland.
- [5] Lin, W. M., Bergquist, J. R., Collette, M. D., Liut, D., Treacle, T. W., Weems, K. M., Weems, M. H., and Zhang, S. (2008). Large

- Amplitude Motion Program (LAMP) for Ship Motions and Wave Loads Predictions Version 3.2.1, *Science Applications International Corporation*, McLean, VA, Technical Report.
- [6] Mauro, F., Nabergoj, R. (2016), Extreme Values Calculation of Multi-Modal Peak Distributions, *Proceedings of 22nd International Conference of Engineering Mechanics*, Svratka, Czech Republic.
- [7] Mauro, F. and Nabergoj, R. (2017), An Enhanced Model for Extreme Load Analysis, *Journal Teorija i Praksa Brodogradnje i Promorske Tehnike*, Vol. 68 No. 2, pp 79 - 92.
- [8] Michelen, C. and Coe R. (2015), Comparison of Methods for Estimating Short-Term Extreme Response of Wave Energy Converters, *Proceeding of OCEANS Conference*, Washington DC, USA.
- [9] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No 1 tahun 2011 tentang Tentang Pedoman Teknis Pembongkaran Instalasi Lepas pantai Minyak Dan Gas Bumi.
- [10] Rajendran, S., Fonseca, N., and Soares, C.G. (2018) Estimation of Short-and Long-Term Probability Distributions of Wave-Induced Loads Acting on a Cruise Vessel in Extreme Seas, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, April-2018, Vol. 140.
- [11] Simao, M.L., Fideiro, P., Sagrilo, L., and Naes, A. (2020). Comparative Study of Extreme Value Estimation Approaches for Mooring Lines Top Tension Responses, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, July-2020.
- [12] Soares, C.G. and Pascoal R. (2002). Experimental Study of Probability Distributions of Green Water on the Bow of Floating Production Platforms, *Proceeding of 21st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Oslo, Norway.
- [13] Undang-Undang Nomor 17 tahun 2008 tentang Pelayaran.