

## ANALISA PENGARUH KOMPONEN KUADRATIK *DAMPING* PADA *DECAY TEST BUOY TSUNAMI 3.1*

### *Analysis of the Effect of Damping Quadratic Component on the Decay Test Buoy Tsunami 3.1*

Baharuddin Ali<sup>1</sup>, Totok Triputrastyo Murwantono<sup>1</sup>, Sumarsono<sup>1</sup> dan Chandra Permana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balai Teknologi Hidrodinamika - BPPT, Surabaya

Email: baharuddin.ali@bppt.go.id

Diterima: 16 Juli 2020; Direvisi: 28 Agustus 2020; Disetujui: 07 September 2020

#### Abstrak

Koefisien *damping* sangat berperan dalam akurasi prediksi gerak suatu benda apung. Dari pengujian *decay* akan didapatkan komponen koefisien *damping* linear a dan kuadrat b. Koefisien *damping* linear dan kuadrat dapat diperoleh dengan penurunan persamaan gerak sebagai *energy dissipated* pada *motion decay* untuk tiap setengah periode *roll* ( $T/2$ ). Pada studi ini disajikan hasil analisa pengaruh kuadrat b terhadap prediksi gerak *decay* model *Buoy INA TEWS* Generasi 3.1. Hasil *decay* model test didapatkan nilai *roll natural period* 1.726 sec, dengan koefisien *damping* linear  $a = 0.36022$ , koefisien *damping* kuadrat  $b = -0.023672$ , sedangkan *heave natural period* didapatkan 1.707 sec, koefisien *damping* linear  $a = 0.40328$ , koefisien *damping* kuadrat  $b = 0.685230$ . Dengan memasukan komponen kuadrat *damping* selain komponen linear *damping* pada prediksi numerik gerak *decay roll* dan *heave* model *buoy* didapatkan hasil yang lebih baik.

**Kata kunci:** *decay, test, buoy, kuadrat, damping*

#### Abstract

The *damping coefficient* plays important role in the prediction accuracy of the motion of floating body. *Decay test* can determine the linear *damping coefficient* components  $a$  and quadratic  $b$ . Linear and quadratic *damping coefficients* can be obtained by solving the equation of motion as *energy dissipated* in *motion decay* for each half *roll period* ( $T/2$ ). In this study results of the analysis of the effect of quadratic  $b$  on the prediction of the *decay motion* of the *INA TEWS* Generation 3.1 *Buoy* model are presented. The result of *decay model test* is that the *natural roll period* value is 1.726 sec, with linear *damping coefficient*  $a = 0.36022$ , quadratic *damping coefficient*  $b = -0.023672$ , while *heave natural period* is 1,707 sec, linear *damping coefficient*  $a = 0.40328$ , quadratic *damping coefficient*  $b = 0.685230$ . Adding the quadratic component besides linear component *damping* in the numerical prediction of the *decay roll* and *heave motion* the *buoy model* is obtained better results.

**Keywords:** *decay, test, buoy, quadratic, damping*

## PENDAHULUAN

Pengembangan salah satu komponen sistem peringatan dini tsunami Indonesia adalah berupa *surface buoy Indonesia Tsunami Early Warning System* (INA TEWS), yang akan dioperasikan di beberapa lokasi di perairan Indonesia yang rawan tsunami, telah memasuki generasi 3.1. Dalam operasinya, peralatan elektronik yang ditempatkan dalam *buoy* akan mengirimkan sinyal ke satelit untuk disampaikan ke stasiun di darat. Sinyal ini berupa perubahan tekanan air akibat gempa di dasar laut yang berpotensi menimbulkan tsunami.

Untuk menjamin stabilitas gerakan dan keandalan struktur maka frekuensi natural dan prediksi gerakan yang berpengaruh dalam operasional *buoy* adalah sangat penting untuk diketahui. Dalam menjamin stabilitas gerakan *buoy* dalam batas tetap bisa berkomunikasi ke satelit, gerak *roll* dan *pitch* adalah penting untuk dipertimbangkan (karena bentuk dasar *buoy* adalah bundar maka *roll* sama dengan *pitch*). Selain itu, kajian tentang gerak *heave* juga dibutuhkan, dimana gerakan *heave* yang besar dapat merusak sistim tambat *buoy* (Yustiawan & Suastika, 2012). Dalam kondisi resonansi, suatu gerak benda apung akan menghasilkan respon gerak yang besar, dimana hal ini terjadi bila frekuensi natural benda sama dengan frekuensi gelombang. Dengan *decay test* akan didapatkan frekuensi natural dan *damping* benda apung pada mode gerak yang diamati.

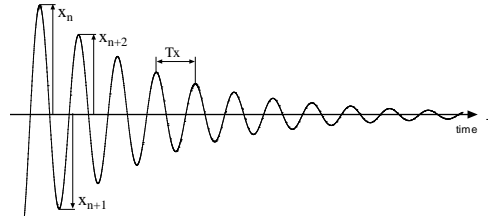
Beberapa penelitian terbaru terkait *buoy* dilakukan oleh Jeong, et al. (2020) pada prediksi gerak beberapa desain *light buoy* dengan menggunakan metode CFD. Dalam prediksi gerak, beberapa penelitian menjelaskan bahwa peranan *damping* sangat penting dalam mempengaruhi gerak benda apung (Ali dkk., 2018; Begovic et al., 2013; Malta et al., 2010). Untuk gerakan dengan amplitudo kecil, prediksi dengan formulasi linier masih akurat, namun apabila respon gerak membesar sifat non-linear dari gerak semakin besar, maka dibutuhkan formulasi non-linier. Kontribusi non-linear ini dapat diakibatkan dari non-linear komponen *restoring* maupun non-linear komponen *damping* (Taylan, 2000). Penelitian terkait non-linear *roll damping* akibat pengaruh muatan cair dilakukan Zhao, et al. (2016), sedangkan Lee, et al. (2018) melakukan studi tentang pengaruh *appendages* terhadap non-linear *roll damping*.

Pada tulisan ini disajikan kajian tentang pengaruh komponen kuadratik *damping* sebagai komponen non-linear *damping* gerak *roll* dan *heave* model *buoy*

INA TEWS generasi 3.1 melalui *decay test*.

## KAJIAN PUSTAKA

Dalam analisa data uji *decay* berupa *time traces* suatu mode gerak didefinisikan seperti contoh pada Gambar 1.



Gambar 1. *Time trace uji decay*

Menurut menurut Froude (1861) dan dijelaskan ulang oleh Lewandowski (2011) penurunan amplitudo gerak pada uji *decay*  $\Delta x$  didefinisikan sebagai fungsi polinomial rata-rata amplitudo  $x_m$  yang dituliskan pada persamaan (1):

$$\Delta x = ax_m + bx_m^2 \quad (1)$$

atau dalam bentuk *Bertin's coefficient*  $N$ , penurunan amplitudo  $\Delta x$  didefinisikan sebagai fungsi kuadrat rata-rata amplitudo  $x_m^2$  seperti persamaan (2):

$$\Delta x = Nx_m^2 \quad (2)$$

maka dari persamaan (1) dan (2) akan diperoleh persamaan (3) berikut ini:

$$N = a/x_m + b \quad (3)$$

dimana nilai  $a$  dan  $b$  dapat diperoleh dengan *least square method*, sehingga dapat digambarkan dalam sebuah plot fungsi  $(x_m, \Delta x)$  *curve of extinction*, dimana  $\Delta x = |x_{n+1} - x_n|$  dan  $x_m = |(x_{n+1} + x_n)/2|$ .

Persamaan gerak paling umum yang digunakan dalam *free decay test* hanya menggunakan *linear damping*  $B_1$ . Suatu mode gerak sebuah benda apung di air tenang diasumsikan dengan persamaan (4) berikut ini:

$$(M + \Delta M) \frac{d^2x}{dt^2} + B_1 \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (4)$$

Pada beberapa referensi menunjukkan bahwa persamaan gerak suatu benda apung dengan memasukkan komponen non-linear *damping*  $B_2$  akan menunjukkan hasil yang lebih baik, maka persamaan gerak *free decay* dapat dituliskan seperti persamaan (5) berikut ini:

$$(M + \Delta M) \frac{d^2x}{dt^2} + B_1 \frac{dx}{dt} + B_2 \frac{dx}{dt} \left| \frac{dx}{dt} \right| + kx = 0 \quad (5)$$

dimana  $(M+\Delta M)$  adalah *mass* dan *added mass* untuk gerak translasi (untuk mode gerak rotasi menjadi  $(I+\Delta I)$  yaitu *inertia moment* dan *added inertia moment*),  $B_1$  dan  $B_2$  adalah masing-masing linear dan kuadratik *motion damping*, dan  $k$  merupakan *restoring moment*.

*Energy dissipated* pada *motion decay* untuk tiap setengah periode roll ( $T/2$ ) seperti dijelaskan oleh Ali, dkk. (2018) merupakan integral dari persamaan (5). Jika diasumsikan:

$$x = A \cos \omega t \tag{6}$$

maka :

$$\int_0^{T/2} \left( (M + \Delta M) \frac{d^2x}{dt^2} \right) \frac{dx}{dt} dt = 0 \tag{7}$$

$$\int_0^{T/2} \left( B_1 \frac{dx}{dt} \right) \frac{dx}{dt} dt = B_1 \frac{\pi^2}{T} x'^2 \tag{8}$$

$$\int_0^{T/2} \left( B_2 \frac{dx}{dt} \left| \frac{dx}{dt} \right| \right) \frac{dx}{dt} dt = B_2 \frac{16\pi^2}{3T^2} x'^3 \tag{9}$$

$$\int_0^{T/2} kx \frac{dx}{dt} dt = -kx' \Delta x \tag{10}$$

Dari persamaan (8) sampai dengan (10) didapat:

$$B_1 \frac{\pi^2}{T} x'^2 + B_2 \frac{16}{3T^2} x'^3 - kx' \Delta x = 0 \tag{11}$$

$$\Delta x = \frac{1}{k} \left( B_1 \frac{\pi^2}{T} \right) x' + \frac{1}{k} \left( B_2 \frac{16\pi^2}{3T^2} \right) x'^2 \tag{12}$$

Persamaan (12) dapat dilinearisasi seperti persamaan (1). Bila  $x' = x_m$  maka didapatkan nilai koefisien  $a$  dan  $b$  pada persamaan *decrement* gerak *decay* pada persamaan (1) masing-masing:

$$a = \frac{1}{k} \left( B_1 \frac{\pi^2}{T} \right) \quad \text{dan} \quad b = \frac{1}{k} \left( B_2 \frac{16\pi^2}{3T^2} \right) \tag{13}$$

bila diketahui  $k = \omega^2.m$ , dimana  $m = (M+\Delta M)$  maka persamaan (13) dapat dituliskan seperti pada persamaan (14):

$$B_1 = \frac{4}{T} a m \quad \text{dan} \quad B_2 = \frac{3}{4} b m \tag{14}$$

Nilai  $a$  dan  $b$  masing-masing menunjukkan besaran koefisien *damping* linear dan kuadratik pada mode gerak tersebut. Dari koefisien-koefisien tersebut akan bisa didapatkan nilai  $B_1$  dan  $B_2$  dari uji *decay*.

Menggunakan hasil pengukuran nilai *maxima-minima* pada *decay test* dibuat *curve of extinction* dari nilai  $\Delta x$  dan  $x_m$ . Dengan menggunakan *least square method* akan didapatkan nilai  $a$  dan  $b$  pada persamaan (1). Penampilan nilai *motion damping* dalam  $N$  *Bertin's Coefficient* dengan menggunakan nilai  $a$  dan  $b$  persamaan (3). Selanjutnya nilai linear

dan kuadratik *damping* ( $B_1$  dan  $B_2$ ) akan didapatkan dari persamaan (14) yang akan digunakan untuk prediksi numerik gerak *decay* seperti pada persamaan (5).

### METODE PENELITIAN

Pengujian *roll* dan *heave decay* dilakukan pada model *Buoy INA TEWS 3.1* dengan ukuran utama model disajikan pada Tabel 1, bentuk badan model seperti terlihat pada Gambar 2. Kegiatan pengujian dilakukan di fasilitas kolam uji *Maneuvering Ocean Basin (MOB)* Balai Teknologi Hidrodinamika – BPPT, Surabaya.

Tabel 1. Ukuran model

Simbol	Dimensi
Unit	
<i>Length</i> (m)	0.399
<i>Diameter</i> (m)	0.240
<i>Draught</i> (m)	0.197
<i>Kxx</i> (m)	0.172
<i>VCG</i> (m)	0.155
$\Delta$ (kg)	2.728
<i>Scale</i>	1:7.5



Gambar 2. Model *Buoy INA TEWS 3.1*

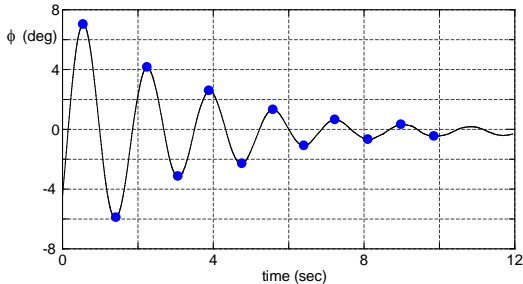
Pada pengujian *decay*, gerakan *roll* model diberikan tekanan dengan pelan pada salah satu sisi model (untuk *heave* dengan menekan ke bawah bagian atas model) secara manual hingga mencapai sudut *roll* yang dikehendaki kemudian dilepaskan, sehingga model mengalami gerak *roll*. Pengujian dilakukan pada kondisi air tenang.

Data gerak model selama pengujian direkam dengan menggunakan sistem *wireless optical tracking motion*, sehingga model dapat bergerak dalam enam

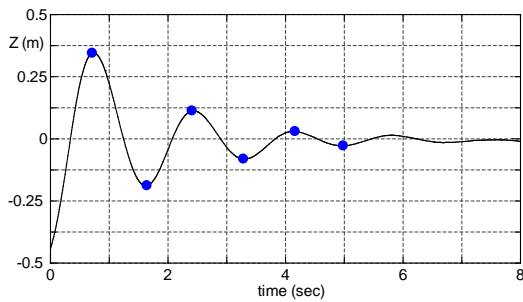
derajat kebebasan. Selama pengujian dilakukan beberapa kali pengulangan untuk memastikan model bergerak pada mode gerak *decay* yang diinginkan dengan meminimalkan mode gerak lain.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil perekaman data *time traces* uji *roll decay* dan *heave decay* masing-masing ditampilkan dalam dimensi prototipe pada Gambar 3 dan Gambar 4, lambang • merupakan nilai *maxima-minima*-nya.



Gambar 3. *Time traces* uji *roll decay* dengan *maxima-minima*



Gambar 4. *Time traces* uji *heave decay* dengan *maxima-minima value*

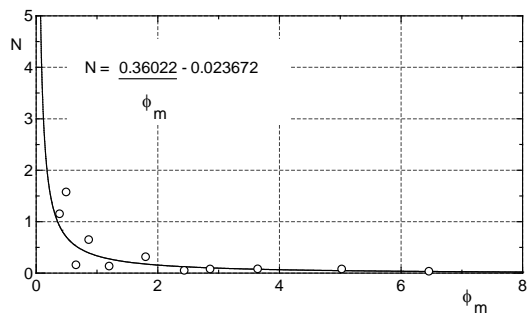
Tabel 2. Hasil uji *decay*

Mode	$T_n$ (sec)	$a$	$b$
Roll	1.726	0.36022	-0.023672
Heave	1.707	0.40328	0.685230

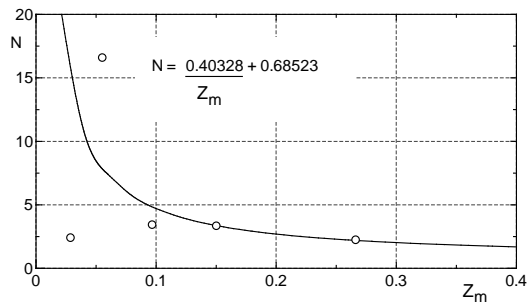
Dari hasil pengujian *decay* didapatkan *natural period*  $T_n$  dan nilai  $a, b$  masing-masing untuk mode gerak *roll* dan *heave* yang ditampilkan pada Tabel 2. Nilai  $a$  dan  $b$  didapatkan dengan *fitting metode least square*. Gambaran nilai *damping* dalam  $N$  coefficient dari nilai *maxima-minima* hasil uji *decay roll* dan *heave* masing-masing ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Pada pengujian tersebut didapatkan nilai *roll natural period* 1.726 sec, dengan koefisien *damping* linear  $a = 0.36022$ , koefisien *damping* kuadratik  $b = -0.023672$ , sedangkan *heave natural period* didapatkan 1.707 sec, koefisien *damping* linear

$a = 0.40328$ , koefisien *damping* kuadratik  $b = 0.685230$ .

Untuk mengetahui pengaruh koefisien *damping* komponen kuadratik maka dilakukan rekonstruksi *decay test* secara numerik dengan dan tanpa koefisien *damping* kuadratik dibandingkan hasil pengujian model. Dalam simulasi numerik ini dilakukan pendekatan Bhattacharyya (1978), nilai *roll added mass* model = 2.237 kg, *heave added mass* model = 1.637 kg. Nilai *damping* linear  $B_1$  dan kuadratik  $B_2$  dapat dihitung menggunakan persamaan (14) dari nilai  $a$  dan  $b$  masing-masing mode gerak.



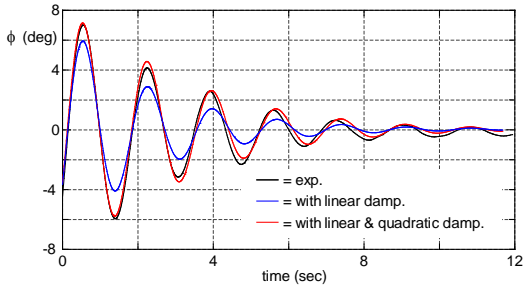
Gambar 5. *Extinction curve* uji *roll decay*



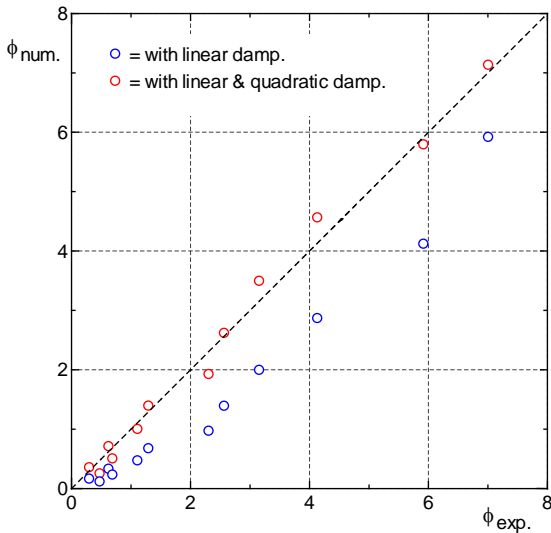
Gambar 6. *Extinction curve* uji *heave decay*

Dari rekonstruksi gerak *roll decay* secara numerik dengan penyelesaian persamaan gerak *decay*, maka didapat hasil seperti pada Gambar 7. Terlihat bahwa gerak *roll* yang hanya menggunakan linear *damping* — lebih kecil dibandingkan hasil uji model —. Perbandingan nilai absolut *maxima-minima* hasil uji model *roll decay* dan simulasi numerik dengan dan tanpa kuadratik *damping* lebih mudah dilihat perbedaan nilai *maxima-minima* dengan kurva perbandingan seperti pada Gambar 8, dimana nilai prediksi yang mendekati garis diagonal artinya mendekati nilai hasil uji model. Pada simulasi ini, koefisien kuadratik  $b$  yang bernilai lebih kecil dari  $a$  menyebabkan *roll damping* akan membesar sehingga

gerak *roll* teredam menjadi lebih kecil. Apabila dalam simulasi numerik digunakan nilai linear dan kuadratik — maka didapatkan hasil prediksi yang lebih mendekati hasil uji model.

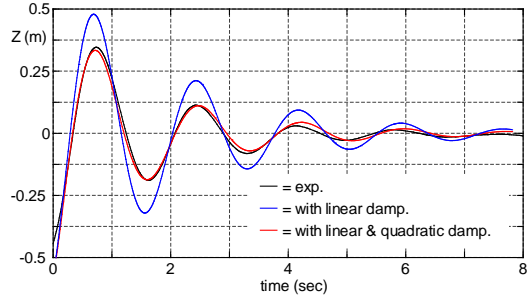


Gambar 7. Perbandingan *time traces* roll decay hasil uji model dan numerik

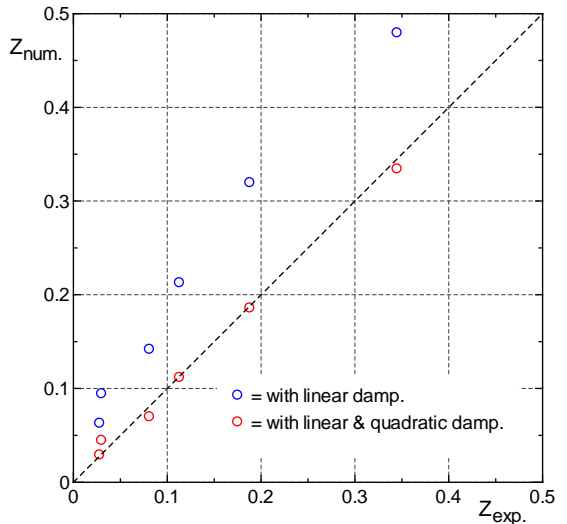


Gambar 8. Perbandingan *maxima-minima* hasil uji model dan numerik roll decay

Perbandingan hasil uji dan simulasi numerik gerak *heave decay* ditampilkan pada Gambar 9. Dengan tidak menggunakan kuadratik *heave damping* didapatkan hasil simulasi yang lebih besar dibandingkan hasil uji model. Dari hasil *decay model test* diketahui nilai koefisien kuadratik *heave damping*  $b$  lebih besar dari nilai koefisien linear *heave damping*  $a$ , sehingga simulasi numerik yang hanya menggunakan koefisien linear *damping* akan memiliki total *damping* yang lebih kecil sehingga menyebabkan gerak *heave* membesar. Perbandingan absolut *maxima-minima* uji *decay* dan simulasi numerik dengan dan tanpa kuadratik *damping* untuk mode gerak *heave* ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 9. Perbandingan *time traces* heave decay hasil uji model dan numerik



Gambar 10. Perbandingan *maxima-minima* hasil uji model dan numerik heave decay

Dari hasil analisa diketahui bahwa komponen koefisien *damping* linear dan kuadratik berpengaruh pada prediksi numerik gerak *buoy*.

### KESIMPULAN

Dari hasil pengujian *decay* model *Buoy* INA TEWS Generasi 3.1 ini didapatkan *natural period*, koefisien *damping* linear dan koefisien *damping* kuadratik dari mode gerak *roll* dan *heave*. Linear *damping*  $B_1$  dan kuadratik *damping*  $B_2$  dapat diperoleh dengan penurunan persamaan gerak sebagai *energy dissipated* pada *motion decay* untuk tiap setengah periode *roll* ( $T/2$ ) dengan hanya menggunakan komponen *damping* linear prediksi *decay* gerak *roll* dan *heave*. Komponen koefisien *damping* kuadratik negatif akan memperbesar respon gerak (kasus pada *decay roll* nilai  $b = -0.023672$ ), sebaliknya bila nilai koefisien *damping* kuadratik

positif akan memperkecil respon gerak (kasus pada *decay heave* nilai  $b = 0.685230$ ). Sehingga pengaruh nilai koefisien *damping* kuadratik dalam prediksi gerak *roll* dan *heave buoy* sangat berpengaruh terhadap akurasi simulasi numerik gerak *buoy*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ali, B., Indriyanto, M., Permana, C., & Widodo. (2018). Analisa Perubahan Panjang Model FPU Barge terhadap Koefisien Linier dan Kuadratik Roll Damping. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan & Teknologi Kelautan*, Vol. 15 (3), 83-87.
- Begovic, E., Bertorello, C., & Orsic, J. P. (2013). Roll Damping Coefficients Assessment and Comparison for Round Bilge and Hard Chine Hullforms. *32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering* (hal. 1-9). Nantes: American Society of Mechanical Engineers.
- Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamics of Marine Vehicles*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Froude, W. (1861). *The Royal Institution of Naval Architects*. Diambil kembali dari On the Rolling of Ship: <https://www.rina.org.uk/res/On%20the%20Rolling%20of%20Ships.pdf>
- Jeong, S. M., Son, B. H., & Lee, C. Y. (2020). Estimation of the Motion Performance of a Light Buoy Adopting Ecofriendly and Lightweight Materials in Waves. *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol. 8 (139), 1-9.
- Lee, J., Kim, Y., Choi, J. E., Kim, C. H., & Lee, Y. B. (2018). Towing-Tank Experiment and Analysis of Nonlinear Roll Damping for a Drillship with Different Appendages. *Ocean Engineering*, Vol. 160 (15), 324-334.
- Lewandowski, E. M. (2011). Comparison of Some Analysis Methods for Ship Roll Decay Data. *Proceedings of the 12th International Ship Stability Workshop* (hal. 325-330). Glasgow: University of Strathclyde.
- Malta, E. B., Goncalves, R. T., Matsumoto, F. T., Pereira, F. R., Fajarra, A. L., & Nishimoto, K. (2010). Damping Coefficient Analysis for Floating Offshore Structures. *29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering* (hal. 1-7). Shanghai: American Society of Mechanical Engineers.
- Taylan, M. (2000). The Effect of Nonlinear Damping and Restoring in Ship Rolling. *Ocean Engineering*, Vol. 27 (9), 921-932.
- Yustiawan, A., & Suastika, K. (2012). Prediksi Umur Kelelahan Struktur Keel Buoy Tsunami dengan Metode Spectral Fatigue Analysis. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 1, G59-G64.
- Zhao, W., Efthymiou, M., McPhail, F., & Wille, S. (2016). Nonlinear Roll Damping of a Barge with and Without Liquid Cargo in Spherical Tanks. *Journal of Ocean Engineering and Science*, Vol. 1 (1), 84-91.