



Pemodelan Respon Struktur Pemecah Gelombang Tipe Terapung dengan Peredam Tambahan (*Heave Plate*)

Muh. Akhsan Samaila¹, Marina Abriani Butudoka²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sorong

Abstrak

Salah satu cara untuk meningkatkan efektifitas sebuah pemecah gelombang terapung adalah dengan memperbesar *hydrodynamic damping* atau *viscous damping*. Redaman hidrodinamik bergantung pada bentuk dan frekuensi gerakan dari struktur. Penelitian ini bertujuan meninjau pengaruh penambahan redaman pada struktur terapung dengan variasi sudut yaitu 90°, 150° dan 180° yang membatasi respon gerak struktur terapung hanya arah vertikal (*heave motion*) dimana sistem pengikat berupa pile untuk menjaga struktur terapung hanya bergerak secara vertikal. Model uji struktur terapung memiliki dimensi panjang 1.1 m, lebar 0.6 m dan tinggi 0.4 m. Gelombang yang digunakan pada model adalah gelombang regular dimana gelombang dicatat menggunakan alat *wave gauge* sedangkan pencatatan respon gerak struktur menggunakan alat *accelerometer*. Gerak translasi arah vertical (*heave motion*) diperoleh dari hasil integrasi numerik data kecepatan hasil pencatatan *accelerometer*. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai rasio redaman yang paling besar (ζ) yaitu redaman tambahan dengan variasi sudut 90° sebesar 0.418 sedangkan redaman tambahan dengan sudut 180° dan 150° masing-masing sebesar 0.344 dan 0.326. Untuk respon gerak struktur terapung (gerak translasi), sistem redaman tambahan yang memiliki sudut 90° paling besar mengurangi simpangan gerak translasi sebesar 0.1 m.

Kata kunci : struktur terapung, *hydrodynamic damping*, *heave motion*, integrasi numerik

1. Pendahuluan

Pemecah gelombang merupakan struktur yang berfungsi untuk melindungi sebuah perairan yang mempunyai fungsi dan aktivitas tertentu didalamnya dari serangan gelombang laut. Pemecah gelombang (PG) yang umum dipakai adalah tipe rubble-mound, yang dibuat dari susunan tumpukan batu, baik batu alam maupun buatan. PG tipe ini umumnya sangat efektif dalam meredam gelombang secara signifikan jika kita meninjau dari parameter yang telah disebutkan sebelumnya. Jika dilakukan peninjauan dari kedalaman perairan, maka PG tipe rubble-mound akan semakin berkurang effisiensinya dengan semakin bertambahnya kedalaman. Selain itu, PG tipe ini juga dapat mengganggu arus di sekitar perairan, yang jika tidak dianalisis dengan baik dapat mengakibatkan bahkan memperburuk proses erosi di perairan sekitarnya. PG tipe ini juga sangat bergantung pada kondisi tanah yang ada dibawahnya. Salah satu solusi yang dapat ditawarkan untuk permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya adalah tipe pemecah gelombang terapung. Penerapan pemecah gelombang terapung sudah banyak dilakukan seperti rumah terapung di vietnam dan kanada, floating bridges di jepang dan sarana publik di Marina Bay, Singapura (C.M. Wang, 2015). Namun penerapan struktur terapung butuh perhatian lebih dalam penerapannya.

Pemecah gelombang terapung tidak secara langsung dapat mereduksi tinggi gelombang secara keseluruhan namun sebagian gelombang ada yang

ditransmisikan, dipantulkan dan terdisipasi. Efektifitas dari pemecah gelombang terapung dilihat dari seberapa besar gelombang datang yang berhasil direduksinya. Gelombang hasil reduksi ini disebut gelombang transmisi. Biasanya, efektifitas ini diwakilkan oleh suatu koefisien yang disebut koefisien transmisi, yang merupakan perbandingan antara gelombang transmisi dan gelombang datang. Salah satu cara untuk meningkatkan efektifitas sebuah pemecah gelombang terapung adalah dengan memperbesar *hydrodynamic damping* atau *viscous damping*. *Hydrodynamic damping* adalah pengurangan amplitudo dari osilasi sebuah struktur pada setiap siklus (Turgut 'Sarp' Sarpkaya, 2010). Definisi lain dari *Hydrodynamic damping* adalah sebuah koefisien yang menjelaskan tentang tahanan yang didapat dari sebuah struktur terapung ketika bergerak secara siklus (Foussert, 2006). Akibat dari redaman hidrodinamik ini, osilasi dari struktur akan menyebabkan disipasi energi. Disipasi energi ini berupa energi yang diradiasikan keluar dari struktur akibat gelombang yang terbentuk dari gerakan struktur. Redaman hidrodinamik ini bergantung pada bentuk dan frekuensi gerakan dari struktur.

Parameter fisik yang berkaitan dengan redaman suatu struktur akibat adanya gaya eksternal yaitu massa, damping dan kekakuan (*stiffness*). Sehingga dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan damping pada struktur terapung.

* Corresponding author. Telp.: 085242721187
E-mail addresses: akhsan.samaila@gmail.com

Pengaruh *damping* pada respon gerak struktur terapung akan ditinjau hanya arah vertikal (*heave motion*). Respon arah gerak struktur terapung terdiri atas enam derajat kebebasan, sehingga untuk mereduksi arah gerak yang lain akan digunakan sistem pengikat berupa pile untuk menjaga struktur terapung hanya bergerak vertikal saja.

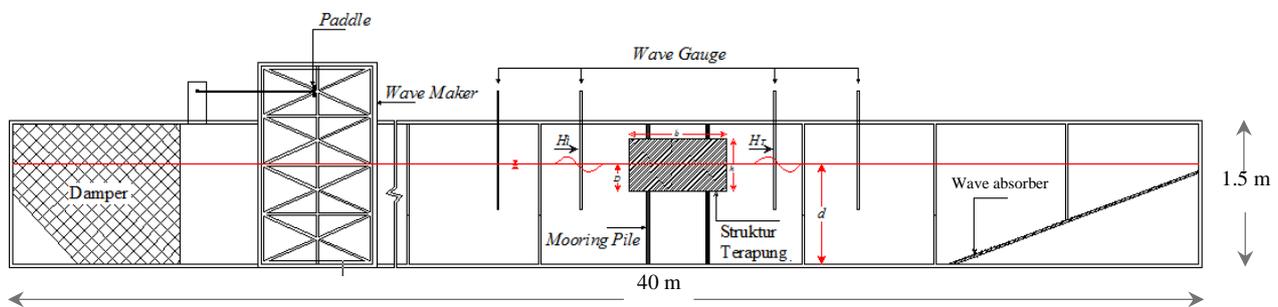
2. Metode Penelitian

2.1. Instrumentasi Pengujian

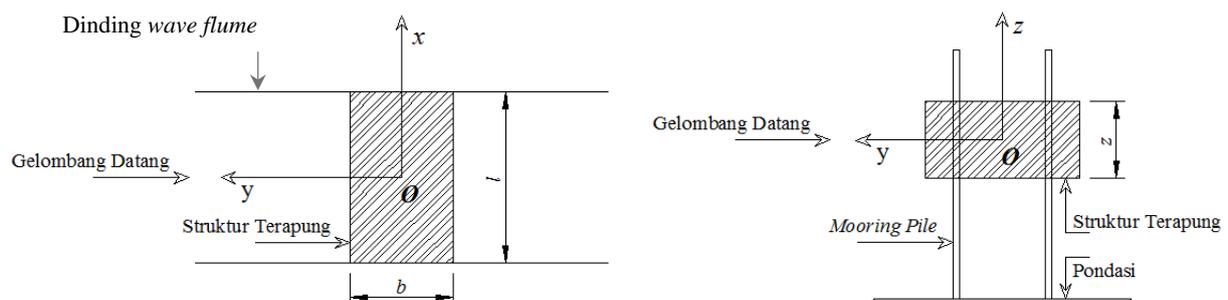
Pengujian model dilakukan di Laboratorium Gelombang Teknik Kelautan Institut Teknologi Bandung. Dimensi saluran gelombang (*wave flume*) memiliki panjang 40 m, lebar 1.2 m dan tinggi 1.5 m (gambar 1). Sedangkan model uji memiliki dimensi panjang 1.1 m, lebar 0.6 m dan tinggi 0,4 m. Gelombang dibangkitkan menggunakan *wave generator* dengan tipe piston yang menghasilkan gelombang regular. Untuk merekam data gelombang terdapat 4 *wave gauge* di sepanjang saluran. Pengujian model dilakukan dalam sistem koordinat YZ. Dimana sumbu Y pada sistem koordinat sejajar dengan muka air diam dan sumbu Z tegak lurus terhadap sumbu Y (gambar 2). Pada proses pengujian model kedalaman perairan (d) 0.8 m dan draft struktur terapung (D) 0.16 m.

Model uji struktur terapung dibuat dari lembaran baja yang dibentuk sesuai model yang telah ditentukan (gambar 3a). Pemodelan fisik memiliki banyak variabel dari parameter fisik yang saling berkaitan sehingga harus disederhanakan menjadi variabel tak berdimensi. Hal ini bertujuan untuk memperoleh hubungan antara beberapa variabel yang dapat menggambarkan karakter fisik yang dimodelkan.

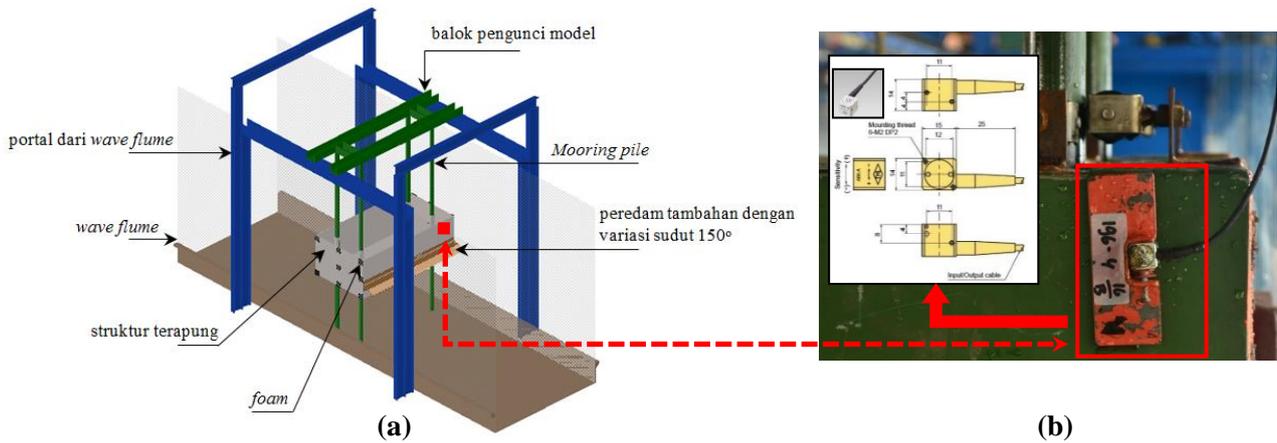
Selama proses pengujian berlangsung, respon gerak vertikal model uji dicatat secara otomatis menggunakan alat *accelerometer* (gambar 3b). Pada penelitian ini tipe *accelerometer* yang digunakan adalah tipe ARK-A dengan kapasitas percepatan maksimum yang bisa dicatat mencapai 1000 m/s². Hasil pencatatan dari alat tersebut adalah berupa data percepatan berbentuk *time series*. Untuk mendapatkan gerak translasi dari model uji, data percepatan dari *accelerometer* akan diintegrasikan dua kali untuk memperoleh perpindahan/translasi. Data perpindahan yang diperoleh akan lebih halus karena frekuensi yang tinggi dari data percepatan disaring dalam proses integrasi ganda (Slifka, 2004). Proses integrasi ganda diselesaikan secara numerik dengan metode trapezoidal menggunakan *cumtrapz* pada Matlab (Modifikasi coding dari Luong, 2015).



Gambar 1. Sketsa *wave flume* dengan model uji struktur terapung



Gambar 2. Sistem koordinat pengujian struktur terapung dengan peredam tambahan



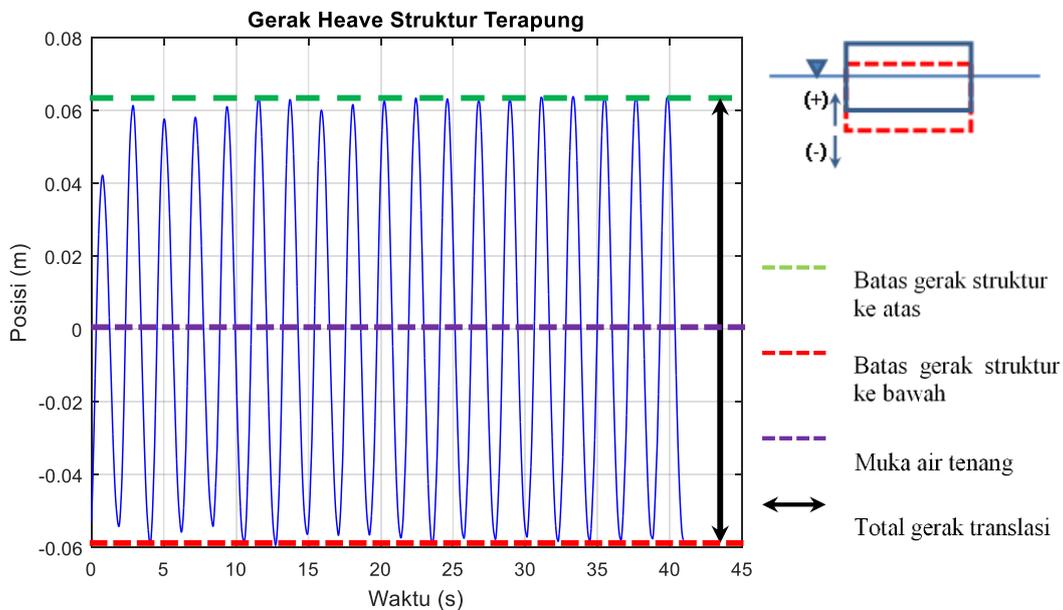
Gambar 3. (a) Sketsa Model struktur terapung dan (b) Sensor pengukur percepatan (*accelerometer*)

2.2. Kalibrasi Data Accelerometer

Data respon gerak translasi struktur terapung diperoleh dari pencatatan alat accelerometer berupa data percepatan dalam bentuk time series. Data ini akan di validasi terhadap pengukuran manual sebagai kalibrasi awal.

Dengan menggunakan integrasi numerik diperoleh grafik translasi dalam rentang periode pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Setelah mendapatkan grafik translasi, akan dibandingkan terhadap hasil pengukuran manual. Gerak translasi struktur terapung nilainya bersifat mutlak. Sehingga total gerak translasi selalu bernilai positif. Pengukuran manual dilakukan dengan 2 cara yaitu pertama diukur langsung total gerak

translasinya dan kedua dengan menggunakan alat perekam secara visual (video). Pengukuran manual hanya mengukur total perpindahan struktur terapung saat beresilasi terhadap beban gelombang (lihat gambar 4). Diambil satu contoh data kalibrasi dimana diperoleh total perpindahan struktur terapung sebesar 0.12 meter untuk tinggi gelombang sebesar 0.138 meter. Sedangkan dari hasil integrasi numerik data percepatan diperoleh total perpindahan sebesar 0.123 meter. Terdapat selisih sebesar 0.003 meter atau sebesar 2.44%. Dengan nilai error yng cukup kecil, dapat disimpulkan bahwa menggunakan metode integrasi numerik untuk menghitung gerak translasi struktur terapung dapat dilakukan.



Gambar 4. Respon gerak translasi struktur terapung

2.3. Prosedur Pengujian Model Uji Struktur Terapung

Untuk mengetahui pengaruh redaman tambahan maka dilakukan pengujian awal untuk memperoleh rasio redaman (*damping ratio*). Pengujian dilakukan

terhadap model uji tanpa beban gelombang. Struktur diberi simpangan awal dan dibiarkan bergerak sehingga berhenti pada durasi tertentu. Respon gerak struktur diukur menggunakan *accelerometer* untuk memperoleh percepatan. Gerak *heave* diperoleh

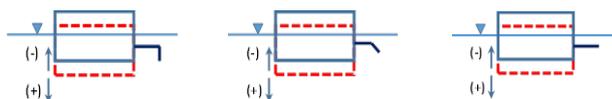
setelah merubah respon percepatan struktur menggunakan integrasi numerik. Dari grafik persamaan gerak tersebut rasio redaman akan dihitung menggunakan teori *logarithmic decrement* (Paz dan Leigh, 2004) menggunakan persamaan (1)

$$\delta = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \quad (1)$$

Untuk nilai rasio redaman yang kecil ($\xi < 0.2$), persamaan *logarithmic decrement* ditunjukkan oleh persamaan (2)

$$\delta = 2\pi\xi \quad (2)$$

Setelah melakukan pengujian awal untuk rasio damping, akan diuji efektifitas dari struktur terapung. Dalam hal ini struktur terapung akan diberi gelombang dan dicatat tinggi gelombang transmisi menggunakan *wave gauge*. Pengujian dilakukan dengan empat variasi untuk semua pengujian struktur tanpa peredam dan pengujian struktur dengan peredam tambahan dengan variasi sudut peredam 90° , 150° dan 180° (gambar 5).



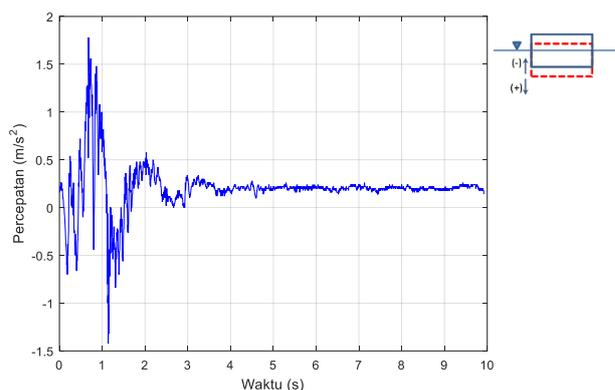
Gambar 5. Sketsa model uji dengan sudut peredam (a) 90° , (b) 150° dan (c) 180°

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian respon struktur untuk memperoleh gerak translasi *heave* juga telah dilakukan di Marina Bay, Singapura, dimana diperoleh grafik percepatan dan gerak translasi dalam satu kali osilasi, yaitu gerak struktur ke bawah dan ke atas masing-masing 1 kali (Koh dan Lim, 2006). Untuk memperoleh nilai *critical damping* terlebih dahulu dilakukan pengujian untuk memperoleh nilai rasio redaman (ξ) seperti yang dilakukan pada penelitian ini.

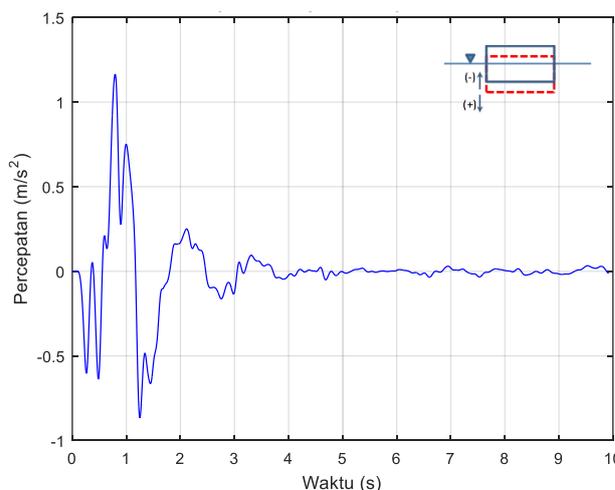
3.1. Analisa Respon Percepatan Struktur Terapung

Pada gambar 6 disajikan data respon percepatan yang merupakan *output* dari pencatatan otomatis *accelerometer*. Dimana nilai positif (+) pada data percepatan menandakan bahwa struktur bergerak ke bawah dan sebaliknya bila bertanda negatif (-) menandakan bahwa struktur bergerak keatas (Wang, M.C., Wang, T.B : *Large floating structures*). Data percepatan yang diperoleh kemudian akan di *filtering* (dapat dilihat pada gambar 7) sebelum dilakukan integrasi numerik untuk memperoleh gerak translasi arah vertikal (*heave*).



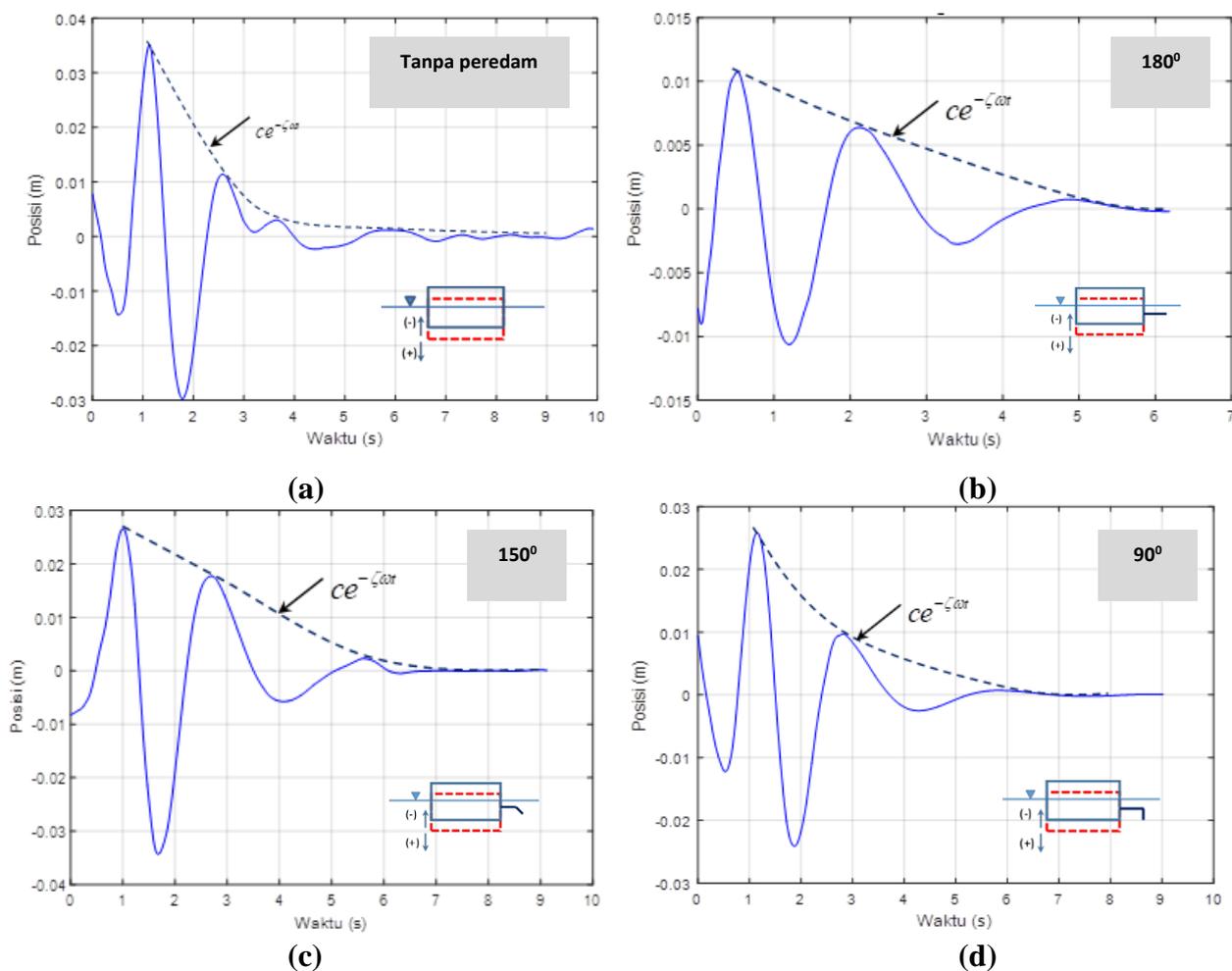
Gambar 6. Data respon percepatan tanpa peredam sebelum *filtering*

Proses *filtering* bertujuan untuk memperoleh signal percepatan yang sebenarnya dari respon gerak struktur. Dimana proses *filtering* itu sendiri berhubungan dengan jumlah pengambilan data (*sampling rate*). Semakin banyak pengambilan data, maka data percepatan struktur dapat diperoleh seperti pada gambar 6. Semakin sedikit *sampling rate*, kemungkinan akan menambah presentase kehilangan data sebenarnya dari struktur yang diuji karena hilang saat proses *filtering*.



Gambar 7. Respon percepatan tanpa peredam setelah *filtering*

Data percepatan setelah *filtering* yang digunakan dalam proses integrasi numerik untuk mendapatkan grafik pelemahan gerak *heave* stuktur terapung yang disajikan pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik pelemahan gerak heave stuktur terapung

Dengan menggunakan metode *logarithmic decrement* untuk suatu sistem gerak satu derajat kebebasan maka diperoleh nilai koefisien redaman (ζ) untuk masing-masing variasi sudut redaman seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai rasio redaman (*damping ratio*)

Jenis Redaman	Logaritma Natural (δ)	Damping Ratio (ζ)
Tanpa Peredam	1.129	0.1796
Redaman dengan sudut 180°	2.159	0.3436
Redaman dengan sudut 150°	2.051	0.3264
Redaman dengan sudut 90°	2.628	0.4182

Hasil pengujian awal untuk model uji struktur terapung menunjukkan peredam tambahan dengan variasi sudut redaman 90° memiliki nilai rasio redaman (ζ) paling besar sebesar 0.418.

3.2. Analisa Respon Gerak Vertikal (Heave Motion) Struktur Terapung

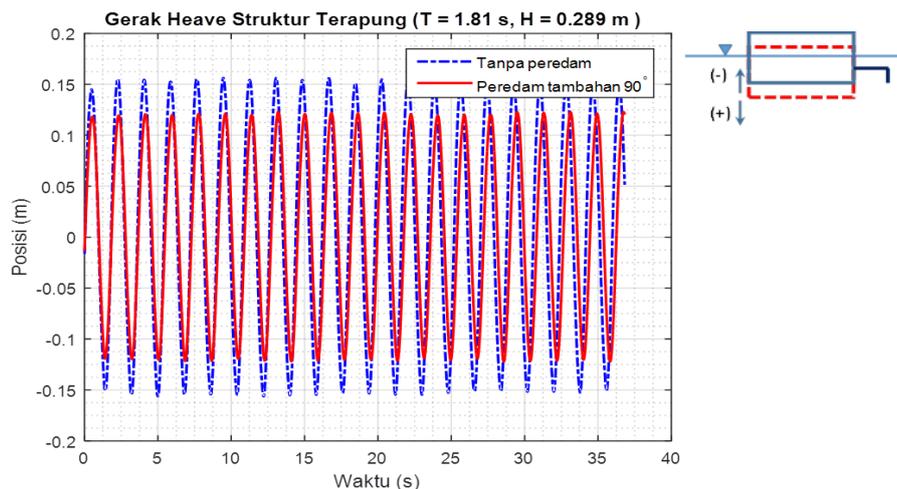
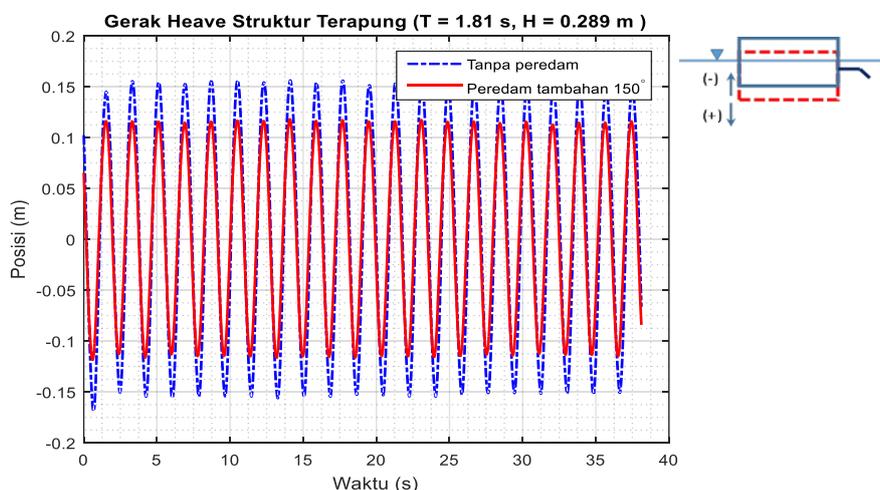
Respon gerak *heave* struktur terapung dilakukan dengan tiga kombinasi beban lingkungan yang terdiri dari periode (T) dan tinggi gelombang (H). Pada Tabel 2 ditunjukkan kombinasi beban lingkungan untuk memperoleh *time series* dari struktur pemecah gelombang tipe terapung yang diberikan redaman tambahan. Jenis gelombang yang diujikan pada struktur terapung memiliki ketinggian dan periode yang berbeda untuk masing-masing kombinasi.

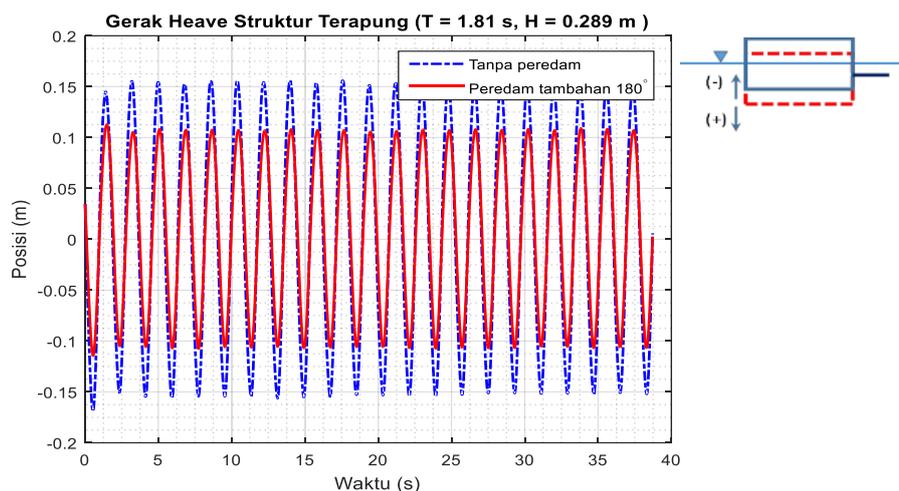
Tabel 2. Kombinasi beban lingkungan pengujian struktur terapung

Jenis Redaman	Kombinasi I	Kombinasi II	Kombinasi III
	(H,T)	(H,T)	(H,T)
Tanpa Peredam	(0.289 m, 1.81 s)	(0.134 m, 2.24 s)	(0.157 m, 2.77 s)
Redaman dengan sudut 180°	(0.289 m, 1.81 s)	(0.134 m, 2.24 s)	(0.157 m, 2.77 s)
Redaman dengan sudut 150°	(0.289 m, 1.81 s)	(0.134 m, 2.24 s)	(0.157 m, 2.77 s)
Redaman dengan sudut 90°	(0.289 m, 1.81 s)	(0.134 m, 2.24 s)	(0.157 m, 2.77 s)

Penambahan sistem redaman dengan *heave plate* memberikan hasil yang cukup baik dalam mengurangi gerak struktur terapung arah vertikal (*heave*). Seperti yang disajikan pada gambar 9-11 menunjukkan pengurangan gerak translasi setelah diberi redaman. Kombinasi pertama rata-rata sistem redaman dapat mengurangi gerak translasi lebih dari 0.05 m. Sistem redaman tambahan yang memiliki sudut 90° paling besar mengurangi simpangan gerak sebesar 0.1 m. Salah satu yang menyebabkan adalah massa dari peredam dengan sudut *heave plate* 90° lebih besar dibanding dengan peredam yang lain

(gambar 9). Untuk kombinasi kedua dengan tinggi gelombang sebesar 0.134 m dan periode 2.24 detik, rata-rata pengurangan gerak translasi dari struktur terapung akibat penambahan redaman sebesar 0.06. Dimana sistem redaman dengan sudut 90° masih memberikan hasil yang lebih baik dibanding yang lain. Dimana total pengurangan gerak translasi sebesar 0.0625 dibandingkan dengan gerak translasi struktur sebelum diberi redaman. Sedangkan pada kombinasi ketiga hasil yang sama dengan kombinasi pertama dan kedua, sistem redaman dengan sudut 90° masih memberikan hasil yang lebih baik.

**Gambar 9.** Overlay gerak *heave* struktur terapung dengan sistem peredam 90° dan tanpa peredam**Gambar 10.** Overlay gerak *heave* struktur terapung dengan sistem peredam 150° dan tanpa peredam



Gambar 11. Overlay gerak *heave* struktur terapung dengan sistem peredam 180° dan tanpa peredam

4. Kesimpulan

a. Dari hasil integrasi numerik data percepatan untuk memperoleh *time series* dari simpangan diperoleh persentase *error* yang cukup kecil yaitu sebesar 2.44%. Sehingga integrasi numerik dengan metode trapezoidal dapat digunakan untuk memperoleh nilai simpangan terhadap data percepatan dari data *accelerometer*.

b. Dari hasil penelitian diperoleh nilai rasio redaman yang paling besar yaitu redaman tambahan dengan sudut 90° sebesar 0.4182. Untuk redaman dengan sudut 180° dan 150° masing-masing sebesar 0.344 dan 0.326.

c. Faktor geometrik dari redaman mempengaruhi nilai dari rasio redaman. Sistem redaman yang ditambahkan pada struktur terapung sangat terlihat. Hal ini ditunjukkan pada hasil respon gerak *heave* struktur. Struktur terapung akan semakin efektif dalam meredam gelombang jika nilai rasio redamannya dapat ditingkatkan.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui skema pembiayaan Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun anggaran 2018.

6. Referensi

Althen, Strain Gauge Accelerometer ARK-A, dikases dari <http://www.altheris.com/p/Strain-gauge-accelerometer-ARK-A/A064-10804-009>,
Fousert, M.W., 2006, Floating Breakwater : Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenuating System, Thesis, Delft University Of Technology, Netherlands.

Koh, H.S., Lim, Y.B., 2015, Floating Performance Stage at the Marina Bay, Large Floating Structure, Springer, Singapore, Vol 3, Hal 37-54.

Luong, J., 2015, Acceleration to Displacement Using Cumtrapz and not Getting The Anticipated Amplitudes, diakses dari <https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/234326-acceleration-to-displacement-using-cumtrapz-and-not-getting-the-anticipated-amplitudes>.

Sarpkaya, T.S., 2010, Wave Forces on Offshore Structures.

Slifka, D.S., 2004, An accelerometer based approach to measuring displacement of a vehicle body, Thesis, University of Michigan, USA.

Paz, M., Leigh, W., 2004, Structural Dynamics : Theory and Computation, Kluwer Academic Publishers, USA, Edisi 5, Hal 37-39.

Wang, M.C., Wang, T.B. (2015) : Large floating structures, Singapore, Springer.