

Efektifitas Redaman Energi Gelombang Akibat Adanya *Breakwater* Terapung Ditinjau dari Model Fisik dan Studi Numerik

RADEN INDRA ANGGUN GEMILANG, YESSI NIRWANA KURNIADI

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
e-mail: radenindra14@gmail.com

ABSTRAK

Gelombang laut memiliki energi yang dapat mengakibatkan ketidakstabilan terhadap kondisi garis pantai di kawasan pesisir. Permasalahan tersebut perlu diatasi dengan dibuat suatu struktur yang mampu mereduksi energi gelombang salah satunya dengan menggunakan pemecah gelombang terapung. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui seberapa efektif redaman energi berdasarkan besarnya koefisien transmisi (K_t) dari struktur pemecah gelombang terapung yang telah didesain sedemikian rupa. Pengujian dilakukan dengan metode uji model fisik dan studi numerik dengan menggunakan software analisis gelombang 2D. Hasil pengujian model fisik diperoleh redaman energi gelombang akibat adanya pemecah gelombang terapung berkisar 11%-30% sedangkan dari pengujian numerik energi yang diredam mencapai 23%-58%. Hasil penelitian menunjukkan struktur pemecah gelombang terapung yang telah didesain mampu untuk mereduksi energi yang diakibatkan oleh gelombang.

Kata kunci: koefisien transmisi, pemecah gelombang terapung, Model Fisik, Studi Numerik

ABSTRACT

Wave have energy that can cause unstability of shoreline around coastal area. floating breakwater are one of structure that can solve the coastal area problem by reduce the wave energy. In this research, it is investigated the effectiveness of floating breakwater to reduce the waves energy based on the value of transmission coefficient (K_t). The test performing by physical and numerical model using waves 2D model analysis Software. Physical model test results obtained a floating breakwater model can reduce the waves energy ranges from 11%-30%, while numerical model test reach from 23%-58%, so that the floating breakwater are capable to reduce the wave enegy.

Keywords: transmission coefficient, floating breakwater, physical model, numerical Model

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan garis pantai terpanjang di dunia. Potensi kekayaan di kawasan pesisir Indonesia tersebut sangat besar untuk dapat dimanfaatkan. Keuntungan yang dimiliki Indonesia tersebut tidak terlepas dari permasalahan yang berkaitan dengan kedaulatan negara yaitu terjadinya kemunduran garis pantai akibat energi gelombang yang merambat dari laut menuju ke daratan yang mengakibatkan berkurangnya zona ekonomi eksklusif (ZEE) negara Indonesia. Rekayasa perlu dilakukan untuk menanggulangi permasalahan di kawasan pesisir yang salah satunya dengan membangun suatu struktur yang dapat meredam energi yang ditimbulkan oleh gelombang sehingga kecil kemungkinan terjadi gerusan di kawasan pesisir pantai yang dapat mengakibatkan mundurnya garis pantai.

Breakwater merupakan salah satu struktur yang berfungsi untuk meredam energi gelombang. banyak tipe dan jenis dari bangunan *breakwater* yang salah satunya tipe *floating breakwater*. Keunggulan dari *floating breakwater* antara lain ekonomis dan mudah untuk proses instalasi di lapangan.

Penelitian ini akan dilakukan studi terhadap dua tipe model fisik *floating breakwater* yang telah didesain. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati efektifitas redaman energi yang dapat dihasilkan terhadap kedua tipe *floating breakwater* ditinjau berdasarkan uji model fisik di laboratorium. Hasil permodelan fisik kemudian akan diolah kedalam numerik yang kemudian akan dibandingkan dengan menggunakan bantuan *software* analisis gelombang 2D.

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar energi yang dapat direduksi oleh *floating breakwater*. Diharapkan manfaat dari penelitian ini menjadikan *floating breakwater* opsi paling efektif, efisien, dan ekonomis untuk digunakan sebagai bangunan pelindung pantai khususnya di kawasan pesisir Indonesia.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang merupakan struktur yang dapat melindungi kawasan pesisir dari terjangan gelombang air laut contohnya untuk melindungi fasilitas pelabuhan dan kawasan pemukiman nelayan. Bangunan pemecah gelombang menjadikan pemisah antara perairan dangkal dengan perairan dalam. Skema pembuatan pemecah gelombang memiliki banyak variabel yang menentukan dampak terhadap garis pantai yang ditentukan berdasarkan lokasi penempatan pemecah gelombang, jenis material yang digunakan, permeabilitas dari struktur, dan kondisi puncak dari struktur pemecah gelombang (Yudha, I., 2011).

2.2 Pemecah Gelombang Terapung (*Floating Breakwater*)

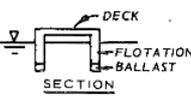
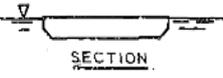
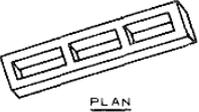
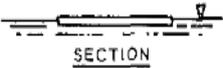
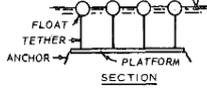
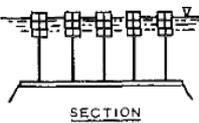
Floating breakwater merupakan salah satu tipe pemecah gelombang yang dipasang dalam kondisi terapung di air dan ditambahkan jangkar sebagai pemberat agar struktur tidak bergeser ketika diterjang gelombang. Studi terdahulu yang dilakukan untuk mengetahui kinerja dari struktur *floating breakwater* telah banyak dilakukan dan menyimpulkan berbagai kelebihan dan kelemahan dari penggunaan *floating breakwater* sebagai struktur pemecah gelombang.

Floating breakwater mampu bekerja efektif ketika tata letak penempatan struktur yang tepat. *Floating breakwater* bisa digunakan untuk melindungi kawasan pesisir pada kondisi tanah yang buruk dan dapat ditempatkan pada kedalaman lebih dari 3,1 m dengan biaya yang lebih murah dibanding *fix breakwater* (Fourset, M. W., 2006).

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Tim Peneliti Balai Pantai (2015) menghasilkan bahwa hasil redaman energi gelombang dari *floating breakwater* yang telah didesain berkisar 8% hingga 35% untuk tipe *floaton HDPE* dan *floating breakwater* yang terbuat dari susunan bambu mencapai 4% hingga 27%.

McCartney (1985) memaparkan beberapa tipe dan bentuk dari pemecah gelombang terapung. Dalam jurnalnya tipe-tipe *floating breakwater* dibagi menjadi empat tipe yaitu tipe *box*, tipe *pontoon*, tipe *mat*, dan tipe *tethered float*. Tipe *floating breakwater* ditampilkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Tipe Floating Breakwater

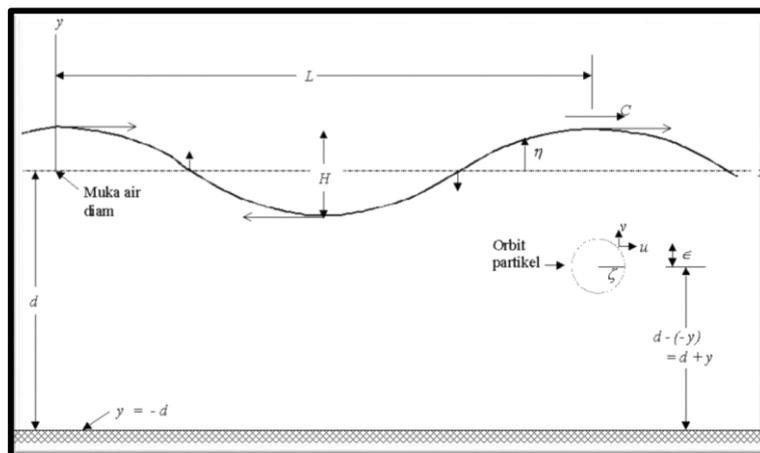
Tipe Box			Tipe Pontoon		
<i>Solid Rectangel</i>		Umumnya terbuat dari beton bertulang	<i>Twin Pontoon</i>		Seperti perahu dengan 2 lambung
<i>Barge</i>		Bangkai kapal tongkang	<i>Open Compartment</i>		Sering disebut juga tipe alaska
Tipe Mat			Tipe Tethered Float		
<i>Tire Mat</i>		Susunan ban bekas yang diikat bersamaan	<i>Sphere</i>		Struktur disusun berjajar
<i>Log Mat</i>		Susunan kayu yang diikat bersamaan	<i>Tire</i>		Sama seperti tipe sphere namun menggunakan drum

(Sumber: McCartney, B. L., 1985)

2.3 Gelombang

Gelombang merupakan salah satu bentuk energi yang dapat membentuk pantai, menimbulkan arus laut, dan transport sedimen pada air dalam arah tegak lurus sepanjang pantai. Gelombang laut dibangkitkan oleh gaya yang bekerja disekitar perairan antara lain akibat gaya angin dan gaya tarik yang ditimbulkan oleh benda-benda di luar angkasa terutama yang di akibatkan oleh bulan dan matahari (Triatmodjo, B., 2014).

Gelombang tidak bergerak maju ke arah horisontal. Hal ini diakibatkan partikel air yang berada di satu orbit tertutup. Skema pembentukan gelombang dapat dilihat pada **Gambar 1** dimana gelombang menjalar pada sumbu x pada sistem koordinat x,y .



Gambar 1. Parameter pembentuk gelombang
(Sumber: Triatmodjo, B., 2014)

Parameter-parameter gelombang yang diperoleh dari **Gambar 1** antara lain sebagai berikut.

- d = jarak antara muka air rerata,
- η = fluktuasi muka air terhadap muka air datum,
- a = amplitude,
- H = tinggi gelombang = $2a$,
- L = panjang gelombang,
- T = periode gelombang, interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya,
- C = kecepatan rambat gelombang = L/T ,
- K = angka gelombang = $2\pi/L$,
- σ = frekuensi gelombang = $2\pi/T$.

2.4 Transmisi Gelombang

Transmisi gelombang diakibatkan oleh adanya suatu struktur yang menghambat laju gelombang sehingga sebagian gelombang dipecahkan dan dipantulkan namun sebagian lagi akan ditransmisikan melawati struktur. Tinggi gelombang yang ditransmisikan akan lebih kecil dari pada gelombang kejadian, begitu pula dengan perioda gelombangnya yang pasti akan berbeda besarnya. Pada saat meninjau sebuah gelombang yang tidak beraturan, koefisien transmisi didefinisikan sebagai rasio atau perbandingan antara tinggi gelombang datang dengan tinggi gelombang yang telah melewati suatu struktur yang diperoleh dari **Persamaan 1**.

$$K_t = \frac{H_i}{H_t} \quad \dots (1)$$

dimana:

- K_t = koefisien transmisi,
- H_i = tinggi gelombang datang,
- H_t = tinggi gelombang setelah melewati struktur.

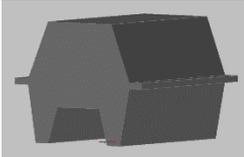
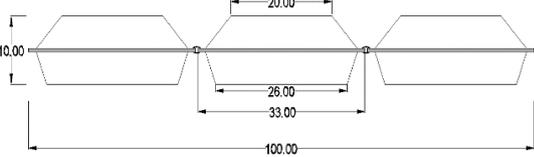
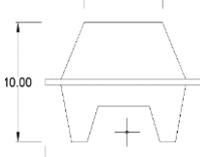
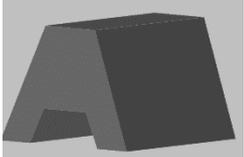
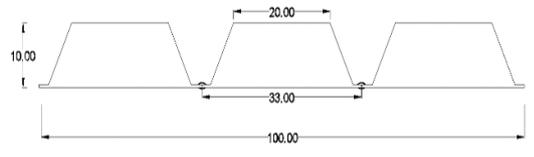
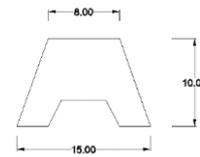
Pada bangunan kedap air (*impermeable*), transmisi gelombang yang diakibatkan oleh hampasan volume air yang melimpas di atas bangunan, sedangkan pada bangunan permeabel transmisi gelombang merupakan gabungan dari konstruksi *overtopping* dan perembesan air melalui bangunan.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan ini meliputi pengadaan peralatan dan bahang yang digunakan pada proses pembuatan model fisik pemecah gelombang berbahan *fiberglass*. Pekerjaan persiapan ini juga termasuk pengisian air kolam dan pemasangan model fisik dan posisi sensor pada kolam uji. Desain pemecah gelombang terapung pada penelitian ini mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan oleh McCartney, B. L. (1985) dengan mengikuti tipe *twin pontoon*. Bentuk dan dimensi model fisik ditampilkan pada **Tabel 2**.

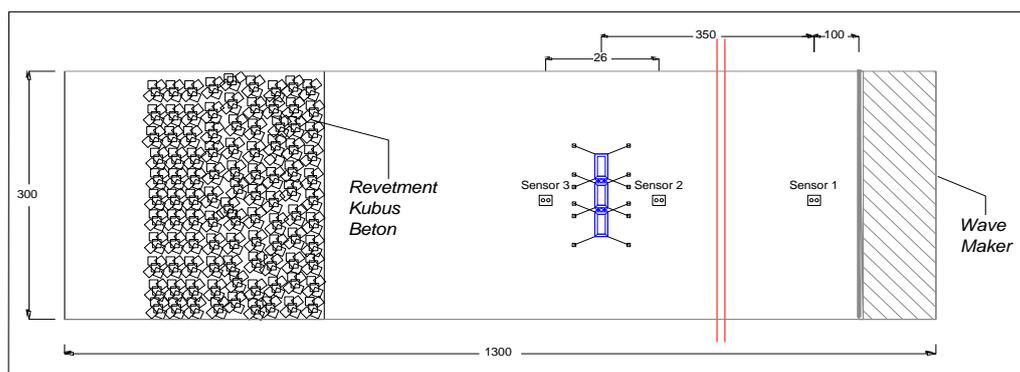
Tabel 2. Bentuk dan Dimensi Model Fisik *Floating Breakwater*

Tipe FB	Tampak 3 Dimensi	Dimensi Breakwater	
		Tampak Depan	Tampak Samping
1			
2			

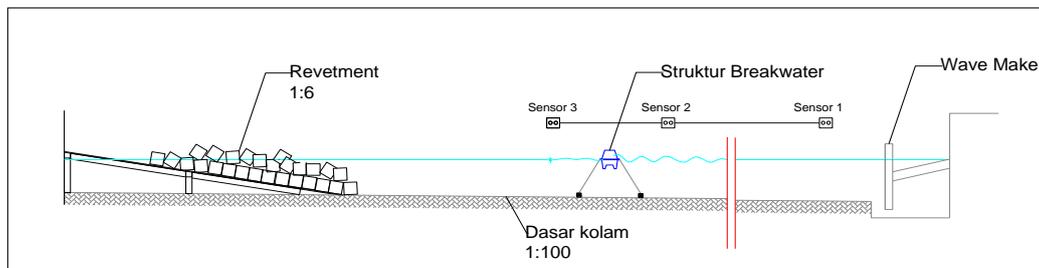
Catatan : satuan dimensi dalam cm

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain, komputer, perangkat pembangkit gelombang, 3 buah sensor pembaca gelombang, mikrohub, dan 2 tipe model fisik pemecah gelombang berbahan *fiberglass*.

Sensor yang digunakan pada pelaksanaan penelitian ini sebanyak 3 buah sensor yang akan ditempatkan sejajar yaitu di depan dan belakang dari model *breakwater* kemudian satu lagi ditempatkan di dekat *wave maker*. Ketiga sensor disambungkan dengan kabel secara seri ke MikroHub dan komputer yang ditempatkan di luar area kolam uji. Skema penempatan alat tampak seperti pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.



Gambar 2. Tampak atas posisi penempatan model fisik pemecah gelombang dan sensor

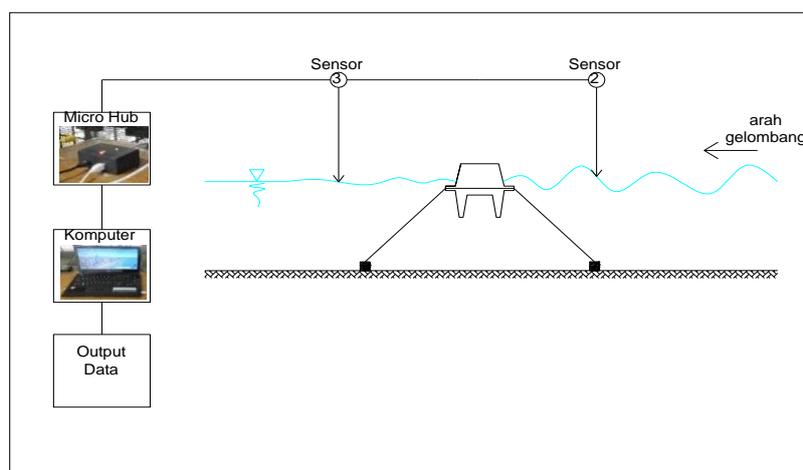


Gambar 3. Tampak samping posisi penempatan model fisik pemecah gelombang dan sensor

3.2 Pelaksanaan Pengukuran Gelombang

Wave maker yang telah terhubung dengan listrik kemudian dioperasikan sehingga kondisi air yang tadinya tenang berubah menjadi membentuk gelombang pada kolam uji. Gelombang yang menjalar akan manabrak struktur *breakwater* dan sensor akan mulai membaca tinggi gelombang dilokasi pada saat gelombang belum berbenturan dengan struktur (Sensor 2 di depan struktur) dan tinggi gelombang setelah berbenturan dengan struktur (Sensor 3 di belakang struktur) kemudian hasil pembacaan kedua sensor tersebut dikirimkan ke perangkat komputer melalui MikroHub sehingga diperoleh *output* bacaan sensor dengan durasi pengambilan data tertentu. Skema Pengujian ditampilkan pada **Gambar 4**.

Seluruh data yang diperoleh dari pembacaan sensor harus dikurangi dengan tinggi sensor ke dasar kolam sehingga diperoleh tinggi muka air model yang sebenarnya. Data tinggi itu lah yang kemudian akan diolah. Pengambilan data dilakukan 2 variasi model kecepatan yaitu dengan model kecepatan 70 dan 120 untuk tiap pengujian tipe model fisik yang dibuat.



Gambar 4. Skema pengukuran data gelombang

3.3 Metode Pengambilan Data

Metode yang digunakan untuk pengukuran adalah metode *Time of Flight*, yaitu dengan menghitung waktu sinyal ultrasonik yang dikirim dan sinyal pantulan kembali. Metode utama yang dilakukan dalam mengolah data adalah membandingkan tinggi gelombang datang sebelum membentur struktur (Sensor 2) dengan tinggi gelombang setelah melewati struktur (Sensor 3) sehingga perbandingan kedua data tersebut diperoleh nilai koefisien transmisi gelombang. Metode tersebut dilakukan terhadap kedua desain model fisik yang telah dibuat

yang kemudian akan dibandingkan antara keduanya yang menghasilkan nilai transmisi gelombang paling efektif. Sensor yang diletakan di dekat pembangkit gelombang digunakan untuk data *input* bangkitan gelombang pada studi numerik.

4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Model Fisik

Setelah dilakukan pengolahan terhadap data sensor pada pengujian model fisik di laboratorium, Maka akan diperoleh tinggi gelombang (H) pada tiap sensor yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui redaman energi gelombang untuk tiap tipe *breakwater* berdasarkan nilai transmisi gelombang yang diperoleh dengan **Persamaan 1**. Rekapitulasi data tinggi gelombang tiap tipe pemecah gelombang untuk masing-masing model kecepatan yang ditampilkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Rekapitulasi Tinggi Gelombang dan Nilai Koefisien Transmisi Model Fisik

Tipe FB	Skala Model Kecepatan	Tinggi Gelombang (H) (cm)		Koef. Transmisi (K_t)	Persentase Reduksi (%)
		Datang	Lewat		
TIPE 1	70	3,047	2,135	1,427	29,93
	120	2,928	2,275	1,287	22,30
TIPE 2	70	1,873	2,195	0,853	-17,19
	120	2,667	2,369	1,126	11,17

Tabel 3 menunjukkan bahwa hampir semua tipe model *floating breakwater* yang telah didesain mampu untuk meredam energi gelombang untuk model kecepatan yang dibangkitkan oleh wave maker terlihat dari nilai koefisien transmisi (K_t) yang lebih besar dari satu. Model *floating breakwater* tipe 2 untuk model kecepatan 70 menunjukkan hasil yang berbeda dimana nilai koefisien transmisi yang diperoleh lebih kecil dari satu ini menunjukkan bahwa tinggi gelombang setelah melewati struktur *floating breakwater* membesar. Kondisi tersebut kemungkinan terjadi karena pergerakan yang berlebihan dari *floating breakwater* yang diakibatkan oleh tidak kuatnya pemberat untuk menahan beban struktur selain itu juga kemungkinan terjadi karena cara pemasangan angkur yang kurang kuat.

4.2 Analisis Model Numerik

Analisis secara numerik juga dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui karakteristik dari gelombang dengan menggunakan *software* analisis gelombang 2D. Hasil dari analisis model numerik yang disajikan dalam **Tabel 4**.

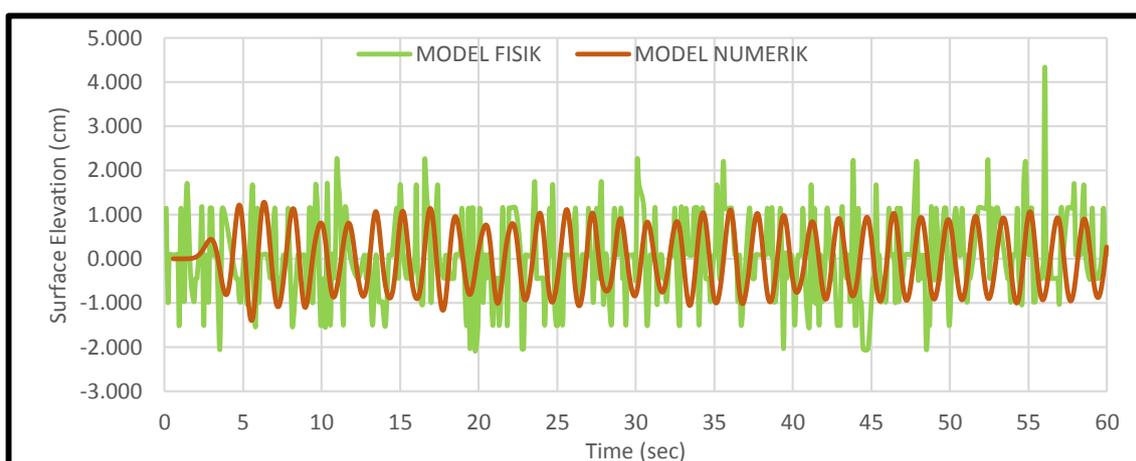
Tabel 4. Rekapitulasi Tinggi Gelombang dan Nilai Koefisien Transmisi Model Numerik

Tipe FB	Skala Model Kecepatan	Tinggi Gelombang (H) (cm)		Koef. Transmisi (K_t)	Persentase Reduksi (%)
		Datang	Lewat		
TIPE 1	70	2,046	1,384	1,478	32,36
	120	4,896	2,061	2,376	57,90
TIPE 2	70	2,165	1,678	1,290	22,49
	120	3,448	1,710	2,016	50,41

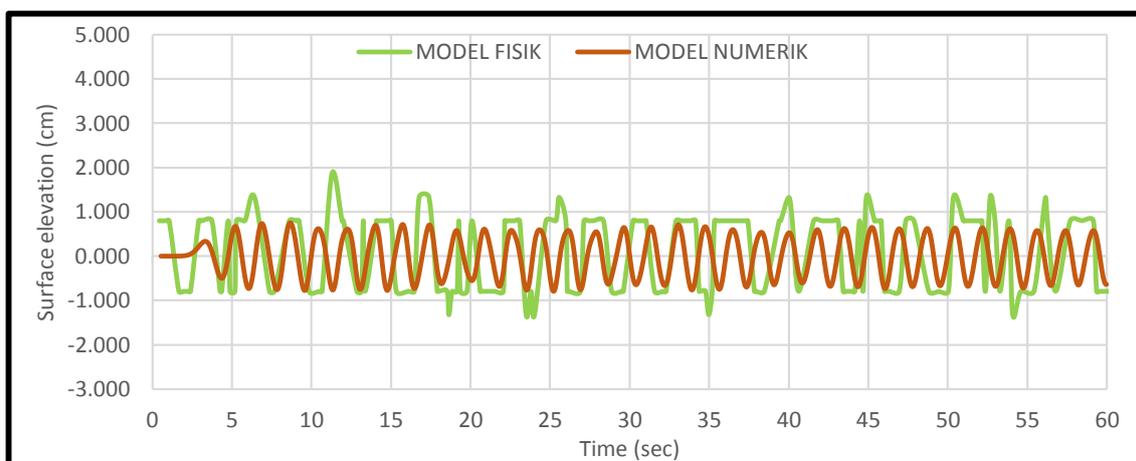
Tabel 4 menunjukkan bahwa koefisien transmisi untuk model *floating breakwater* tipe 1 mampu meredam energi dengan baik yaitu pada model kecepatan 70 diperoleh koefisien transmisi (K_t) sebesar 1,478 dan pada model kecepatan 120 nilai koefisien transmisi sebesar 2,376 maka hasil redaman mencapai 32% hingga 58%. Model *floating breakwater* tipe 2 untuk model kecepatan 70 diperoleh nilai koefisien transmisi sebesar 1,290 dan pada model kecepatan 120 sebesar 2,016 dari hasil tersebut maka persentase redaman pada tipe 2 mencapai 23%-51%.

4.3 Perbandingan Model Fisik dan Numerik

Keakuratan data yang diperoleh dari pengujian perlu diperhatikan maka dilakukan validasi data dengan membandingkan hasil pengujian fisik dengan hasil pengujian numerik. Perbandingan model fisik dan model numerik disajikan pada **Gambar 5 sampai dengan Gambar 12**.



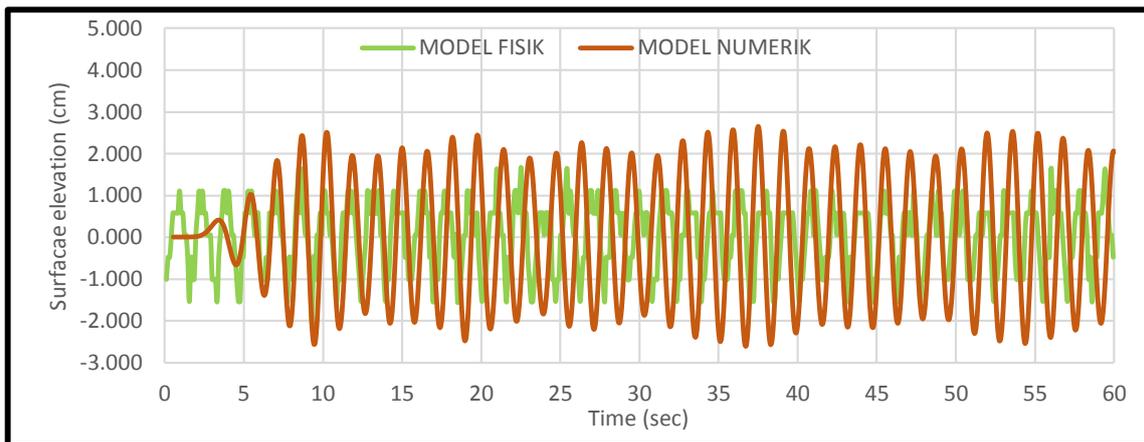
Gambar 5. Grafik perbandingan hasil uji model fisik dan numerik pada *Floating Breakwater* Tipe 1 model kecepatan 70 di titik Sensor 2



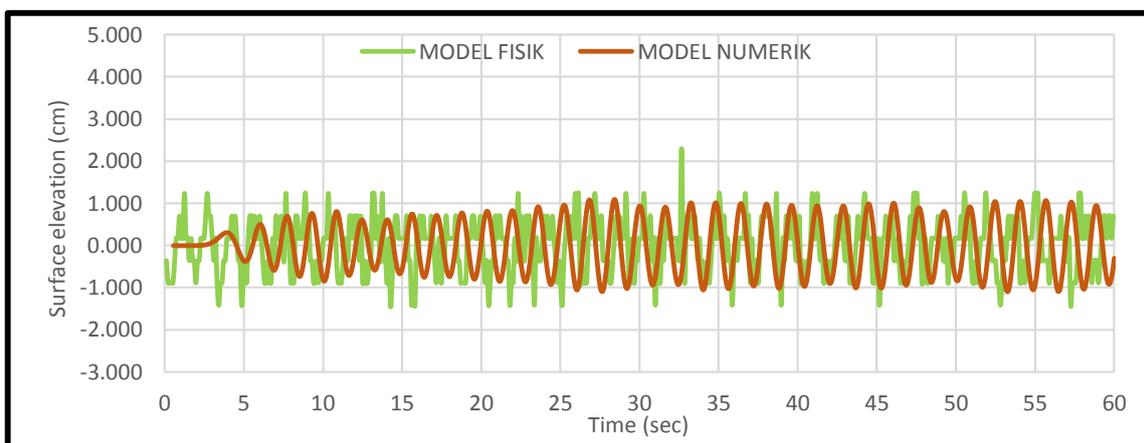
Gambar 6. Grafik perbandingan hasil uji model fisik dan numerik pada *Floating Breakwater* Tipe 1 model kecepatan 70 di titik Sensor 3

Grafik perbandingan pada **Gambar 5** dan **Gambar 6** menunjukkan model *floating breakwater* tipe 1 untuk model kecepatan 70 memiliki range data yang sama antara model fisik dan model numerik.

Efektifitas Redaman Energi Gelombang Akibat Adanya *Breakwater* Terapung Ditinjau dari Model Fisik dan Studi Numerik

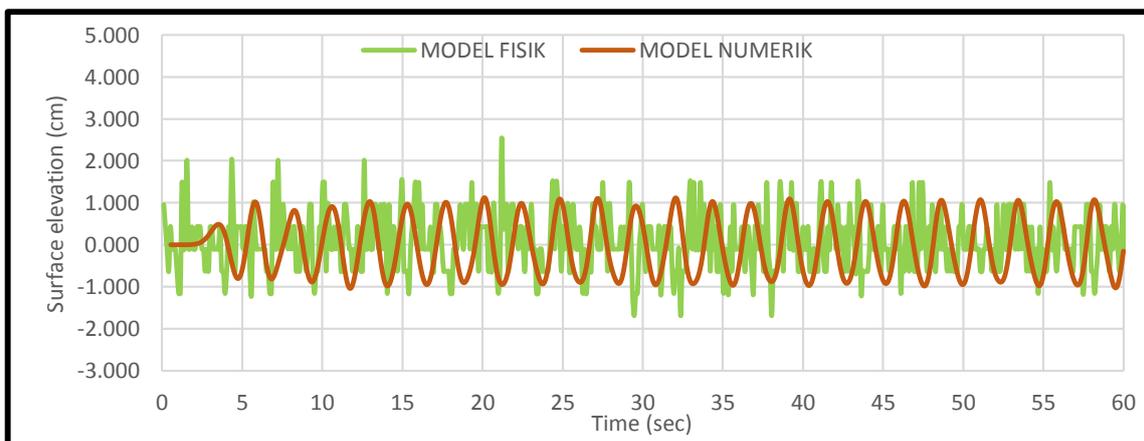


Gambar 7. Grafik perbandingan hasil uji model fisik dan numerik pada *Floating Breakwater* Tipe 1 model kecepatan 120 di titik Sensor 2

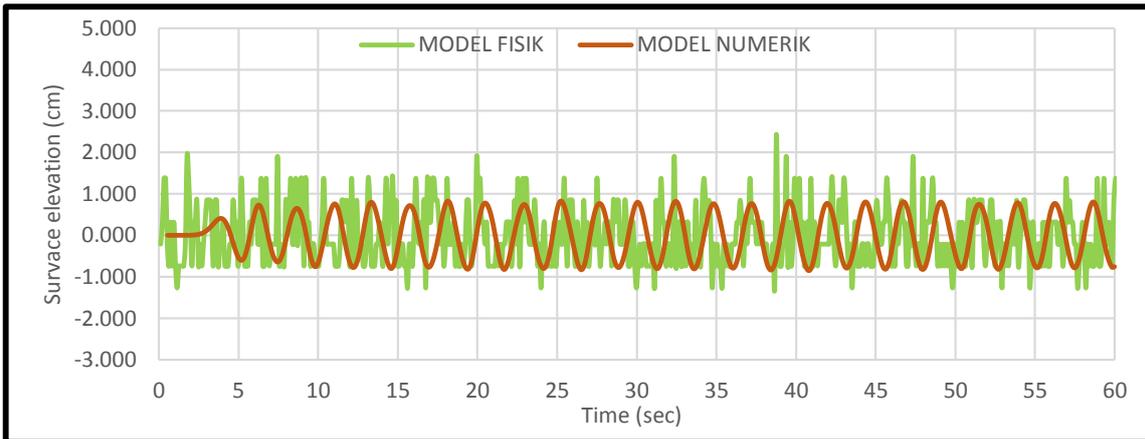


Gambar 8. Grafik perbandingan hasil uji model fisik dan numerik pada *Floating Breakwater* Tipe 1 model kecepatan 120 di titik Sensor 3

Grafik perbandingan pada **Gambar 7** dan **Gambar 8** menunjukkan model *floating breakwater* tipe 1 untuk model kecepatan 120 memiliki range data yang sama antara model fisik dan model numerik meskipun pada Sensor 2 terdapat range tidak terlalu mendekati sama.

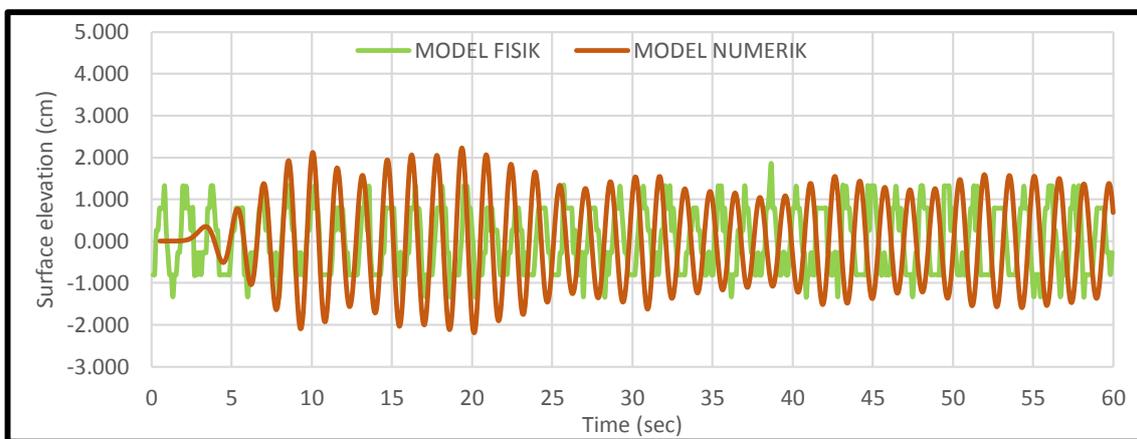


Gambar 9. Grafik perbandingan hasil uji model fisik dan numerik pada *Floating Breakwater* Tipe 2 model kecepatan 70 di titik Sensor 2

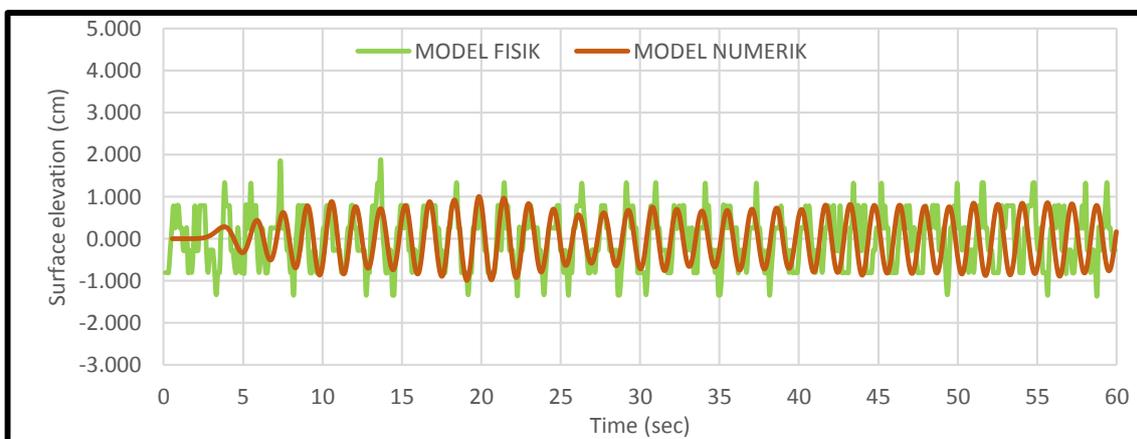


Gambar 10. Grafik perbandingan hasil uji model fisik dan numerik pada *Floating Breakwater* Tipe 2 model kecepatan 70 di titik Sensor 3

Grafik Pada **Gambar 9** dan **Gambar 10** menunjukkan model *floating breakwater* tipe 2 untuk model kecepatan 70 memiliki range data yang sama antara model fisik dan model numerik.



Gambar 11. Grafik perbandingan hasil uji model fisik dan numerik pada *Floating Breakwater* Tipe 2 model kecepatan 120 di titik Sensor 2



Gambar 12. Grafik perbandingan hasil uji model fisik dan numerik pada *Floating Breakwater* Tipe 2 model kecepatan 120 di titik Sensor 3

Grafik pada **Gambar 11** dan **Gambar 12** menunjukkan model *floating breakwater* tipe 2 untuk model kecepatan 120 memiliki range data yang sama antara model fisik dan model numerik meskipun pada Sensor 2 terdapat range tidak terlalu mendekati sama.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengujian model fisik diperoleh hasil redaman energi untuk model pemecah gelombang terapung tipe 1 mencapai 23%-30% dan pemecah gelombang tipe 2 mencapai 11%.
2. Pengujian model numerik diperoleh hasil redaman energi model pemecah gelombang terapung tipe 1 mencapai 32%-58% dan model pemecah gelombang terapung tipe 2 mencapai 23%-51%.
3. Melihat pada hasil pengujian baik fisik maupun numerik menunjukkan bahwa model pemecah gelombang tipe 1 mampu meredam energi gelombang lebih baik dibandingkan tipe 2, maka pemecah gelombang tipe 1 menjadi opsi terpilih yang paling efektif pada penelitian ini.

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Lakukan variasi pemodelan terhadap model kecepatan, draft struktur floating breakwater, dan tipe pemecah gelombang lainnya.
2. Tinjau kestabilan angkur baik dari segi dimensi dan berat angkur.
3. Perlu diperhatikan parameter-parameter penting dalam pemodelan numerik untuk keakuratan dengan data lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Balai LITBANG Teknologi Pantai, PUSLITBANG SDA yang telah bersedia memberikan ijin penggunaan lisensi Mike 21 modul *bousinessq wave* dan memberikan data hasil survei pengamatan tinggi gelombang Pantai Utara Jawa Barat tahun 2015.

DAFTAR RUJUKAN

- Fousert, M. W. (2006). Floating Breakwater Theoretical Study of Dynamic Wave Attenuating System. Final Report of the Master Thesis. Delft: Faculty of Civil Engineering and Geoscience, Delft University of Technology.
- McCartney, B. L. (1985). "Floating Breakwater Design" Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering. Vol. 111. No.2.
- Tim Peneliti Balai Pantai. (2015). Pemecah Gelombang Terapung Sebagai Pelindung Pantai. Laporan Akhir Penelitian. Singaraja: Puslitbang Sumber Daya Air Balai Pantai, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Triatmodjo, B. (2014). Perencanaan Bangunan Pantai. Yogyakarta: Beta Offset.
- Yudha, I. (2011). Pengujian Efektifitas Peredam Gelombang dengan Rancangan Struktur Sederhana Berbentuk Silinder. Tugas Akhir. Depok: Universitas Indonesia.