

SIMULASI PENGARUH *SUBMERGED BREAKWATER* TERHADAP KARAKTERISTIK GELOMBANG

Fajri Almanna¹⁾, Sigit Sutikno²⁾, Rinaldi²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : fajri.almanna@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Waves moved from sea to coast cause erosion on the shore. The purpose of this research is to simulate the effect of submerged breakwater on wave characteristics. The method used in this research was wave simulation with several variations of the wave period, the number of breakwater and the distance between two breakwaters. The simulation used was laboratory simulation and numerical method using CADMAS Surf 2D software. The results showed that the wave height decreased with the addition of breakwater and the addition of the distance between two breakwaters. Furthermore, the wave starts to change when Froude number (fr) = 2,8. Based on the simulation froude value is generated > 1 so it still less effective to preventing abrasion.

Keywords : Submerged Breakwater, CADMAS Surf 2D, Characteristics of Wave

A. PENDAHULUAN

Gelombang laut adalah pergerakan naik turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan laut yang membentuk kurva sinusoidal. Gelombang di laut dapat dibagi berdasarkan pembangkitnya. Selama penjalaran gelombang dari laut menuju pantai, orbital gelombang akan bergesekan dengan dasar laut dan menyebabkan gelombang pecah. Hal ini akan menyebabkan pengikisan pada pantai. Salah satu cara untuk mencegah hal tersebut adalah dengan *breakwater*.

Breakwater merupakan salah satu bangunan pantai yang mampu meredam energi gelombang yang menuju pantai. Sehingga *breakwater* dapat dijadikan salah satu solusi untuk mencegah terjadinya pengikisan pantai yang terjadi akibat gelombang laut. Pemecah gelombang (*breakwater*) terdiri dari dua tipe yaitu *submerged breakwater* dan *non submerged breakwater*. Tipe *submerged breakwater* merupakan *breakwater* yang puncak dari *breakwater* berada dibawah permukaan air. Sementara itu tipe *non submerged* adalah

breakwater dengan puncak berada diatas permukaan air. Untuk mengetahui kemampuan suatu *breakwater* dalam meredam energi diperlukan analisis terhadap koefisien transmisi. Koefisien transmisi merupakan perbandingan antara tinggi gelombang transmisi dengan tinggi gelombang datang. Untuk memperoleh nilai koefisien transmisi diperlukan data karakteristik gelombang seperti tinggi gelombang dan periode.

Pemodelan merupakan salah satu cara untuk memperoleh karakteristik gelombang. Hal tersebut dikarenakan sulitnya untuk melakukan pengamatan secara langsung di lapangan. Selain itu pengamatan secara langsung di lapangan membutuhkan peralatan, waktu dan biaya yang besar.

Simulasi model terbagi dua yaitu model fisik dan numerik. Simulasi model fisik merupakan simulasi yang dilakukan dengan menggunakan prototipe di laboratorium. Sementara itu simulasi numerik merupakan simulasi yang dilakukan dengan menggunakan

persamaan matematika yang diolah dengan menggunakan *software*. Untuk memverifikasi hasil simulasi numerik maka perlu dilakukan simulasi laboratorium. Pada penelitian ini simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan *software CADMAS Surf 2D*.

Berdasarkan hasil simulasi model tersebut diperoleh karakteristik-karakteristik gelombang yang dapat digunakan dalam perencanaan bangunan pantai. Selain itu, pada penelitian ini juga membandingkan nilai koefisien transmisi gelombang antara hasil simulasi laboratorium dan simulasi numerik.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Pantai

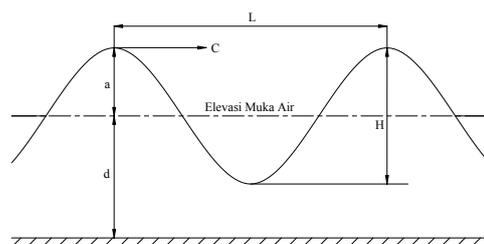
Pantai merupakan wilayah di bagian tepi perairan yang dipengaruhi oleh air surut terendah dan air pasang tertinggi. Daerah daratan adalah daerah yang terletak di atas garis pasang tertinggi sedangkan daerah lautan adalah daerah yang dimulai dari sisi laut pada garis surut terendah, termasuk dasar laut dan bagian bumi di bawahnya (Triatmodjo, 1999).

B.2 Gelombang

Gelombang adalah pergerakan naik turunnya permukaan air laut yang disebabkan oleh beberapa hal yang membentuk kurva sinusoidal. Gelombang di laut dapat timbul akibat adanya pembangkitnya. Gelombang tersebut antara lain adalah gelombang angin yang timbul akibat tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut yang timbul akibat gaya tarik benda-benda langit, gelombang tsunami yang timbul akibat adanya gempa atau letusan gunung api di dasar laut, dan sebagainya.

Gambar 1 menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem dua dimensi koordinat x-y. Gelombang menjalar pada arah sumbu

x.



Gambar 1 Sketsa Definisi Gelombang

Sumber : Triatmodjo, 1999

a : amplitudo, H : tinggi gelombang = 2a, d : kedalaman laut, yaitu jarak antara muka air rerata dan dasar laut, L : panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang atau jarak dua lembah gelombang yang berurutan, T : periode gelombang, yaitu interval waktu yang dibutuhkan oleh partikel air untuk kembali pada posisi yang sama dengan posisi sebelumnya, dan C : kecepatan rambat gelombang, yaitu panjang gelombang per periode gelombang = L/T.

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air d dan panjang gelombang L, (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu:

1. Gelombang laut dangkal, yaitu jika $\frac{d}{L} < \frac{1}{20}$
2. Gelombang laut transisi, yaitu jika $\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$
3. Gelombang laut dalam, yaitu jika $\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$

B.3 Transmisi Gelombang

Pada Teknik Pantai, karakter peredaman gelombang pada struktur pemecah gelombang ditulis dalam bentuk perbandingan antara tinggi gelombang transmisi dan tinggi gelombang datang. Perbandingan kedua tinggi gelombang ini disebut dengan koefisien transmisi gelombang (Fatnanta, 2013), yang dirumuskan dalam persamaan:

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

dengan K_t adalah koefisien transmisi, H_t merupakan tinggi gelombang transmisi dan H_i merupakan tinggi gelombang datang.

Koefisien transmisi menggambarkan kemampuan *breakwater* dalam meredam energi gelombang. Semakin besar nilai koefisien transmisi semakin rendah kemampuan struktur *breakwater* dalam meredam energi berlaku sebaliknya.

B.4 Bilangan Froude

Bilangan Froude merupakan bilangan tak berdimensi yang menunjukkan hubungan antara cepat rambat dan kedalaman aliran. Penentuan tipe aliran dapat dilakukan dengan menggunakan bilangan Froude (Fr) yang mempunyai bentuk sebagai berikut.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gy}} \quad (2)$$

Dengan v dan y adalah kecepatan dan kedalaman aliran.

Berikut merupakan pengklasifikasian jenis aliran berdasarkan bilangan Froude yaitu:

1. Aliran subkritis $Fr < 1$
2. Aliran kritis $Fr = 1$
3. Aliran Superkritis $Fr > 1$

B.5 Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang (*breakwater*) merupakan salah satu bangunan pantai yang mampu meredam energi gelombang yang menuju pantai. Sehingga *breakwater* dapat dijadikan salah satu solusi untuk mencegah terjadinya pengikisan pantai yang terjadi akibat gelombang laut. Pemecah gelombang (*breakwater*) terdiri dari dua tipe yaitu sambung pantai dan lepas pantai. Tipe sambung pantai biasanya digunakan untuk perencanaan pelabuhan sedang kan tipe lepas pantai digunakan untuk mencegah terjadinya pengikisan pantai/erosi. Selain itu, berdasarkan bentuknya *breakwater* dapat dibedakan menjadi *breakwater* sisi miring, tegak dan campuran. *Breakwater* tersebut dapat dibuat dari batu, blok beton dan sebagainya.

Selain tipe-tipe diatas *breakwater* dapat juga di bagi menjadi 2 tipe yaitu:

1. *Submerged* adalah pemecah gelombang dimana gelombang yang telah diredam diperkenankan untuk melimpas diatas konstruksi.
2. *Non Submerged* adalah pemecah gelombang yang secara frontal ditabrak oleh gelombang pada konstruksi sehingga gelombang langsung pecah saat mengenai konstruksi.

Banyak peneliti yang telah melakukan penelitian dengan menggunakan struktur *Submerged Breakwater* seperti (Edy et al., 2012) yang menganalisis perilaku gelombang air setelah melewati *Submerged Breakwater* yang berbentuk tumpukan pipa. Dari penelitian tersebut disimpulkan diantaranya adalah semakin besar jarak muka air ke atas struktur *breakwater* semakin kecil kemampuan peredamannya.

B.6 Pemodelan

Beberapa masalah teknik yang berhubungan dengan aliran fluida terkadang sulit atau tidak bisa diselesaikan secara analitis. Untuk itu diperlukan suatu percobaan atau pengamatan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Pengamatan langsung di lapangan untuk masalah atau pekerjaan yang besar seperti sungai, pelabuhan atau bangunan air pelimpah bendungan akan memakan biaya besar dan waktu yang lama. Untuk menghindari kendala tersebut pengamatan bisa dilakukan dengan membuat bentuk miniatur dari permasalahan yang ada di laboratorium, yang dikenal dengan studi model (Triatmodjo, 2003).

B.7 Simulasi Laboratorium

Permasalahan mengenai fenomena alam dan permasalahan teknik terkadang tidak cukup untuk diselesaikan dengan persamaan matematis. Permasalahan tersebut perlu diteliti dengan menirukan permasalahan yang sebenarnya di

lapangan. Untuk melakukan hal tersebut dilakukan simulasi di laboratorium yang diharapkan dapat mewakili keadaan di lapangan sebenarnya. Simulasi laboratorium dilakukan dengan menggunakan model fisik. Simulasi laboratorium dilakukan dengan pertimbangan bahwa penyelesaian permasalahan di lapangan perlu dilakukan dengan pengamatan secara langsung fenomena-fenomena yang terjadi.

B.8 Simulasi Numerik

CADMAS Surf 2D (Super Roller Flume for Computer aided Design of Maritime structure) merupakan sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi gelombang secara dua dimensi dalam arah horizontal (x) dan vertikal (z). Penelitian ini menggunakan *CADMAS Surf 2D* sebagai simulasi numeriknya. Persamaan dasar yang digunakan dalam perangkat lunak ini adalah persamaan kontinuitas, persamaan *Navier-Stokes* pada arah horizontal (x) dan vertikal (z) untuk mendapatkan elevasi muka air (Usman & Rahim, 2016).

Defarian (2017) telah melakukan sebuah penelitian yang bertujuan untuk penanganan pantai dengan melakukan simulasi gelombang menggunakan perangkat lunak bernama *CADMAS Surf 2D* tepatnya Pantai Utara Bengkulu tepatnya Pantai Selat Baru.

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di laboratorium Hidroteknik Universitas Miyazaki, Jepang. Pada lokasi penelitian dilakukan simulasi laboratorium untuk mensimulasikan pengaruh dari *Breakwater* terhadap karakteristik gelombang. Simulasi ini dilakukan pada kegiatan *Sakura Science* pada tanggal 8 September 2017.

C.2 Peralatan yang Digunakan

Pemodelan simulasi laboratorium dilakukan dengan menggunakan *flume*

dengan dengan panjang 15 meter, lebar 40 cm dan tinggi 60 cm. Pada penelitian ini digunakan model *Breakwater* dengan tinggi 0,34 meter yang terbuat dari pelat baja.

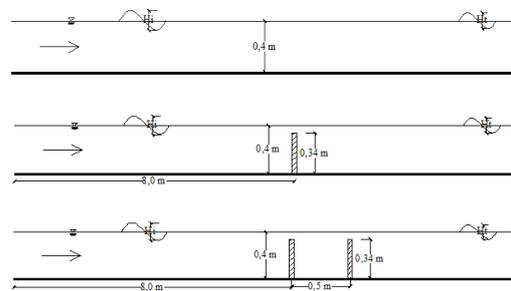
Pemodelan simulasi numerik gelombang dibuat dengan perangkat lunak *CADMAS Surf 2D*. Perangkat lunak ini merupakan keluaran Jepang yang banyak digunakan dalam membuat model simulasi gelombang pantai di Jepang. Perangkat lunak ini merupakan program dua dimensi (2D) yang dapat digunakan sebagai informasi selanjutnya dalam analisis dan perencanaan pemodelan pantai seperti rencana pembangunan pelindung pantai.

C.3 Prosedur Penelitian

C.3.1 Simulasi laboratorium

Simulasi laboratorium dilakukan dengan variasi tanpa, satu dan dengan dua *breakwater*. *Breakwater* yang dimodelkan bersifat impermeable dan dalam kondisi *submerged*. Selain itu variasi juga dilakukan pada periode gelombang. Periode gelombang divariasikan sebanyak 10 variasi yaitu pada periode 0,6;0,8;1,0;1,2;1,4;1,6;1,8;2,0;2,2 dan 2,4 detik. Ketinggian muka air dimodelkan setinggi 40 cm dari dasar. Ketinggian *breakwater* dimodelkan setinggi 34 cm *freeboard* setinggi 6 cm. Jarak antar *Breakwater* dimodelkan sepanjang 50 cm. Posisi *breakwater* dimodelkan pada karakteristik gelombang laut dalam dan transisi dimana gelombang belum pecah.

Gambaran simulasi laboratorium dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



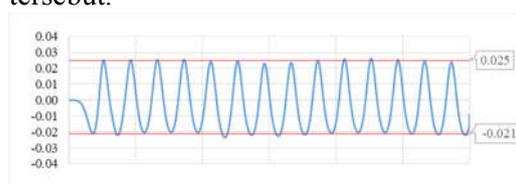
Gambar 2 Simulasi Gelombang Tanpa, dengan Satu dan Dua *Breakwater*

C.3.2 Simulasi numerik

Simulasi numerik dilakukan dua skema. Skema pertama yaitu variasi jumlah breakwater dan periode yang digunakan. Untuk model breakwater dan periode dimodelkan sama dengan simulasi laboratorium. Skema kedua yaitu variasi jarak diantara dua *breakwater*. Jarak antar *breakwater* yaitu $D=0,3H_b$; $D=H_b$; $D=2H_b$; $D=3H_b$ dan $D=4H_b$. H_b merupakan tinggi *breakwater* dan D merupakan jarak antar *breakwater*. Selain jarak, pada skema ini juga di variasikan terhadap periode gelombang yaitu pada periode 0,6;0,8;1,0;1,2;1,4;1,6;1,8;2,0;2,2 dan 2,4 detik. Simulasi model numerik dilakukan dengan menggunakan software *CADMAS Surf 2D*.

C.3.3 Analisis tinggi gelombang

Analisis tinggi gelombang dilakukan dengan mengukur puncak gelombang dan lembah gelombang yang terdapat pada grafik. Puncak gelombang dan lembah gelombang yang menjadi acuan adalah puncak dan lembah gelombang yang telah dalam kondisi stabil. Untuk mendapatkan data puncak dan lembah gelombang digunakan garis bantu seperti pada Gambar 3. Tinggi gelombang yang dihasilkan merupakan penjumlahan antara ordinat dari kedua garis bantu tersebut.



Gambar 3 Tampilan Garis Bantu untuk Mengukur Tinggi Gelombang

C.3.4 Analisis koefisien transmisi

Analisis koefisien transmisi (K_t) dilakukan dengan membandingkan tinggi gelombang transmisi dengan tinggi gelombang datang dengan menggunakan persamaan 1. Analisis koefisien transmisi dilakukan pada simulasi laboratorium dan simulasi numerik. Hasil analisis tersebut kemudian diinput kedalam grafik

hubungan periode terhadap koefisien transmisi. Berdasarkan grafik kemudian dianalisis antara hasil laboratorium dengan hasil simulasi numerik.

C.3.5. Analisis bilangan Froude

Analisis bilangan *froude* dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemasangan *submerged breakwater* terhadap abrasi pantai, selain itu bilangan *froude* juga digunakan sebagai parameter untuk menentukan perubahan bentuk dari gelombang tersebut. Perhitungan bilangan *froude* menggunakan persamaan 2.

D. Hasil dan Pembahasan

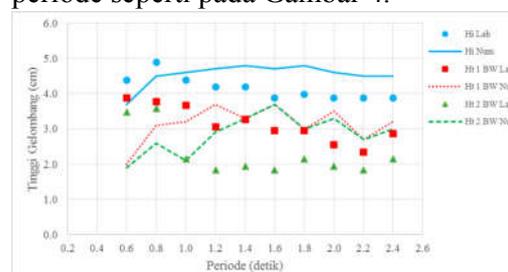
D.1 Analisis Tinggi Gelombang

Tabel 1 merupakan tabel perbandingan hasil pengukuran tinggi gelombang pada simulasi laboratorium dan simulasi numerik.

Tabel 1 Perbandingan Hasil Pengukuran Tinggi Gelombang

Periode (detik)	Data					
	Laboratorium			Data Numerik		
	H_i (cm)	H_t (cm)		H_i (cm)	H_t (cm)	
	1BW	2B W		1B W	2B W	
0,6	4,39	3,88	3,47	3,70	2,00	1,90
0,8	4,90	3,78	3,57	4,50	3,10	2,60
1,0	4,39	3,67	2,14	4,60	3,20	2,10
1,2	4,18	3,06	1,84	4,70	3,70	2,90
1,4	4,18	3,27	1,94	4,80	3,30	3,30
1,6	3,88	2,96	1,84	4,70	3,70	3,70
1,8	3,98	2,96	2,14	4,80	3,00	3,00
2,0	3,88	2,55	1,94	4,60	3,50	3,30
2,2	3,88	2,35	1,84	4,50	2,70	2,70
2,4	3,88	2,86	2,14	4,50	3,20	3,00

Berdasarkan data pengukuran tinggi gelombang tersebut kemudian dibuat grafik dalam bentuk tinggi gelombang vs periode seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Perbandingan Tinggi Gelombang Simulasi Laboratorium dan Simulasi Numerik

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa tinggi gelombang berdasarkan kedua simulasi menunjukkan kecenderungan mengalami penurunan dengan penambahan jumlah *breakwater*.

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat terjadi perbedaan pada tinggi gelombang pada hasil simulasi laboratorium dan simulasi numerik. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh penggunaan Grid Z pada saat input pada *software CADMAS Surf 2D* yang kurang rapat. Semakin rapat ΔZ yang digunakan maka hasil yang dihasilkan semakin akurat namun waktu komputasi yang semakin lama.

Perbedaan tinggi gelombang hasil simulasi laboratorium dan numerik pada penggunaan 1 dan 2 *breakwater* cenderung mengalami perbedaan yang semakin besar. Perbedaan tersebut terjadi selain berdasarkan yang dijelaskan diatas dapat juga terjadi akibat adanya masalah dalam mensimulasikan inklusi udara pada saat gelombang mengenai *breakwater* tersebut (Hanzawa, Matsumoto, & Tanaka, 2012)

D.2 Analisis Koefisien Transmisi

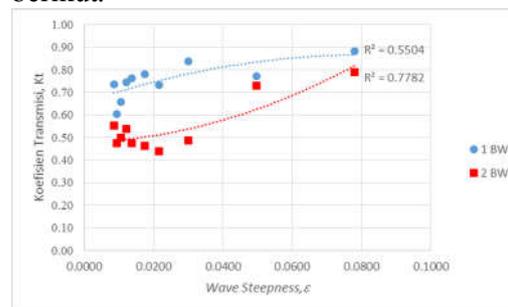
Perhitungan koefisien transmisi menggambarkan seberapa baik *breakwater* tersebut dalam mereduksi tinggi gelombang, semakin kecil nilai koefisien transmisi semakin baik *breakwater* tersebut dalam mereduksi tinggi gelombang. Hasil Perhitungan Koefisien *transmisi* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Perbandingan Nilai Kt dan *Wave Steepness* Simulasi Laboratorium dan Simulasi Numerik

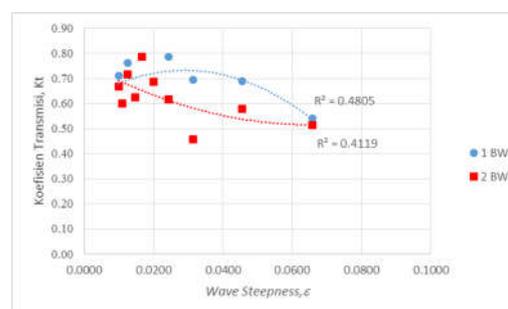
ϵ	Kt Simulasi Laboratorium		ϵ	Kt Simulasi Numerik	
	1 BW	2 BW		1 BW	2 BW
0,078	0,88	0,79	0,066	0,54	0,51
0,050	0,77	0,73	0,046	0,69	0,58
0,030	0,84	0,49	0,031	0,70	0,46
0,022	0,73	0,44	0,024	0,79	0,62
0,018	0,78	0,46	0,020	0,69	0,69
0,014	0,76	0,47	0,017	0,79	0,79
0,012	0,74	0,54	0,015	0,63	0,63
0,011	0,66	0,50	0,012	0,76	0,72
0,009	0,61	0,47	0,011	0,60	0,60
0,009	0,74	0,55	0,010	0,71	0,67

Berdasarkan Tabel 6 kemudian dibuatkan grafik hubungan antara

koefisien transmisi dan *wave steepness* seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6 berikut.



Gambar 5 Perbandingan Hubungan Koefisien Transmisi dan *Wave Steepness* pada Simulasi Laboratorium



Gambar 6 Perbandingan Koefisien Transmisi dan *Wave Steepness* pada Simulasi Numerik

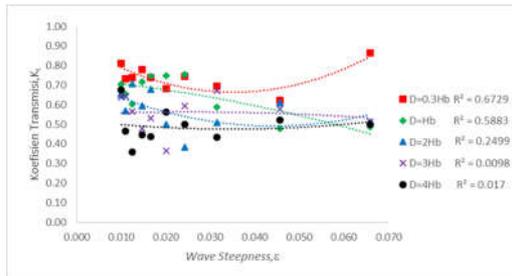
Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa pada simulasi laboratorium koefisien transmisi mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan *wave steepness*. Sementara pada simulasi laboratorium mengalami hasil yang berbanding terbalik. Untuk analisis lebih lanjut, analisis koefisien transmisi juga dilakukan pada simulasi numerik dengan variasi jarak antar *breakwater*. Berikut merupakan hasil perhitungan koefisien transmisi dan *wave steepness* pada simulasi numerik dengan variasi jarak antar *breakwater* seperti pada Tabel 7.

Tabel 7 Nilai Kt dan *Wave Steepness* pada Simulasi Numerik dengan Variasi Jarak antara *Breakwater*

ϵ	Kt				
	D=0,3H _b	D=H _b	D=2H _b	D=3H _b	D=4H _b
0,066	0,86	0,49	0,51	0,51	0,50

0,046	0,62	0,48	0,61	0,58	0,52
0,031	0,70	0,59	0,51	0,67	0,43
0,024	0,74	0,76	0,38	0,60	0,50
0,020	0,68	0,75	0,50	0,36	0,56
0,017	0,74	0,74	0,68	0,53	0,44
0,015	0,78	0,72	0,59	0,48	0,45
0,012	0,74	0,60	0,71	0,57	0,36
0,011	0,73	0,66	0,57	0,64	0,47
0,010	0,81	0,70	0,66	0,64	0,68

Berdasarkan Tabel 7 kemudian dibuatkan grafik hubungan antara koefisien transmisi dan *wave steepness* seperti pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7 Hubungan antara K_t dan *Wave Steepness* pada Simulasi Numerik dengan Variasi Jarak antara *Breakwater*

Berdasarkan Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa semakin panjang jarak antar *breakwater* nilai koefisien transmisi semakin kecil. Hal tersebut menggambarkan bahwa semakin efektif pula *breakwater* yang digunakan. Selain hal tersebut, dari garis regresi yang terbentuk memiliki kecenderungan bahwa nilai koefisien transmisi mengalami penurunan seiring dengan pertambahan *wave steepness*. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi *wave steepness* maka gelombang semakin tidak stabil, ketidakstabilan gelombang menyebabkan gelombang cenderung akan pecah.

D.3 Analisis Bilangan Froude

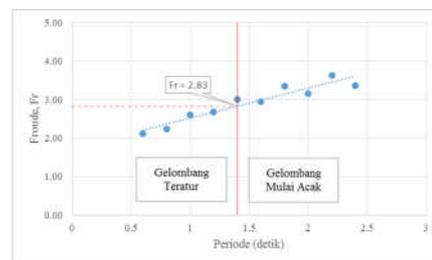
Berdasarkan simulasi numerik tampak bentuk gelombang mengalami perubahan seiring dengan perubahan periode dan penggunaan *breakwater*. Perubahan pada variasi 1 *breakwater* terjadi pada periode 1,4 detik sementara pada variasi 2 *breakwater* terjadi pada periode 1,2 detik. Perubahan bentuk gelombang dapat diakibatkan oleh adanya penghalang yang

mengakibatkan sebagian energi gelombang dipantulkan, diserap dan ditransmisikan. Selain itu, perubahan semakin besar seiring dengan penambahan periode gelombang. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh meningkatnya kecepatan gelombang seiring dengan peningkatan periode. Sehingga dengan peningkatan kecepatan gelombang akan mengakibatkan bilangan *froude* menjadi lebih besar. Semakin besar bilangan *froude* maka profil muka air akan semakin acak. Hasil perhitungan bilangan *froude* dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

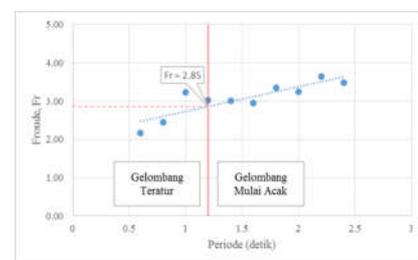
Tabel 8 Nilai Bilangan *Froude* pada Masing-Masing Periode Gelombang

Periode (detik)	Cepat Rambat Gelombang (m/detik)	Ht (m)		Froude		Keterangan
		1 BW	2 BW	1 BW	2 BW	
0,6	0,937	0,020	0,019	2,115	2,170	Superkritis
0,8	1,234	0,031	0,026	2,237	2,443	Superkritis
1,0	1,464	0,032	0,021	2,612	3,225	Superkritis
1,2	1,614	0,037	0,029	2,678	3,025	Superkritis
1,4	1,709	0,033	0,033	3,004	3,004	Superkritis
1,6	1,773	0,037	0,037	2,942	2,942	Superkritis
1,7	1,816	0,030	0,030	3,348	3,348	Superkritis
2,0	1,847	0,035	0,033	3,152	3,246	Superkritis
2,2	1,871	0,027	0,027	3,635	3,635	Superkritis
2,4	1,888	0,032	0,030	3,370	3,481	Superkritis

Berdasarkan Tabel 8 dapat dibuatkan grafik hubungan antara bilangan *froude* dan periode gelombang seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9 berikut.



Gambar 8 Hubungan Bilangan Froude dan Periode Gelombang dengan Penggunaan 1 *Breakwater*



Gambar 9 Hubungan Bilangan Froude dan Periode Gelombang dengan Penggunaan 2 *Breakwater*

Berdasarkan hal tersebut, perubahan bentuk gelombang dari teratur menjadi acak berdasarkan simulasi yang dilakukan selain disebabkan oleh proses difraksi dan refleksi juga dipengaruhi oleh bilangan *froude* dari gelombang tersebut. Gelombang cenderung akan mulai berubah menjadi acak ketika bilangan Froude berkisar pada angka 2,8.

Berdasarkan nilai bilangan *froude* yang diperoleh dapat diketahui tipe aliran merupakan superkritis. Tipe aliran superkritis cenderung mengakibatkan terjadinya pengikisan pada daerah dibelakang *breakwater* yang ditinjau. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa pemodelan *breakwater* dengan karakteristik tersebut masih kurang baik untuk mengatasi abrasi pada pantai.

E. Kesimpulan dan Saran

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada simulasi pengaruh *breakwater* terhadap karakteristik gelombang, secara umum dapat disimpulkan beberapa hal diantaranya sebagai berikut.

1. Tinggi gelombang cenderung mengalami penurunan dengan penggunaan dua *breakwater* dibandingkan dengan satu *breakwater*. Selain itu, semakin panjang jarak antar *breakwater* maka tinggi gelombang cenderung akan lebih kecil.
2. Hasil simulasi laboratorium dan hasil simulasi numerik memiliki perbedaan yang disebabkan oleh kurang rapatnya grid yang digunakan pada saat pemodelan selain itu perbedaan juga disebabkan oleh masalah dalam mensimulasikan inklusi udara saat gelombang mengenai *breakwater*.
3. Nilai koefisien transmisi cenderung mengalami penurunan seiring dengan peningkatan *wave steepnees*.
4. Gelombang cenderung akan mengalami perubahan menjadi acak pada bilangan Froude 2,8.

5. Nilai bilangan froude yang diperoleh masih terlalu tinggi sehingga dianggap masih belum efektif dalam mengatasi abrasi pantai.

E.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk analisis koefisien refleksi.
2. *Breakwater* yang digunakan dapat dilakukan penambahan variasi seperti bentuk, *freeboard* dan lebar puncak dari *breakwater* agar dapat diketahui *breakwater* yang lebih efektif untuk digunakan.
3. Untuk simulasi numerik sebaiknya dilakukan dengan menggunakan grid yang lebih rapat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat.

Daftar Pustaka

- Defarian, A. (2017). *Simulasi Gelombang di Pantai Bengkalis Simulasi Gelombang di Pantai Bengkalis*. Universitas Riau.
- Edy, W. F., Aprizal, & Sadad, I. (2012). Analisa Perilaku Gelombang Air Setelah Melewati Breakwater Tenggelam Yang Berbentuk Tumpukan Pipa. *Jurnal Teknik Sipil UBL*, 3(April 2012), 257–269.
- Fatnanta, F. (2013). Permodelan Koefisien Gelombang Transmisi Pada Pemecah Gelombang Kantong Pasir Tipe Tenggelam. *Teknik Sipil*, 12(3), 210–220.
- Hanzawa, M., Matsumoto, A., & Tanaka, H. (2012). Applicability of CADMAS-SURF to evaluate detached breakwater effects, 955–964.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B. (2003). *HIDRAULIKA II* (3rd ed.). Yogyakarta: Beta Offset.
- Usman, F., & Rahim, S. E. (2017). Investigate the Effectiveness of Construction using CADMAS Surf 2D Seawall. *MATEC Web of Conferences*, 1–8.