

Rancang Bangun Wave Flume Sederhana Menggunakan Wavemaker Tipe Piston

Harmon Prayogi, Azis Rifai, Kunarso*)

***)Program Studi Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas
Diponegoro, Jalan Prof. Soedarto, SH Tembalang Semarang**

prayogiharmon@gmail.com

Abstrak

Fenomena gelombang di laut disebabkan oleh berbagai hal, salah satunya adalah gelombang yang dibangkitkan oleh pengaruh angin dan gaya gravitasi. Di dalam mempelajari fenomena tersebut, pendekatan eksperimen telah banyak dilakukan untuk membuat fenomena gelombang menjadi lebih sederhana untuk keperluan praktis. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat *wave flume* (saluran gelombang) sederhana serta menilai kinerja dari *wavemaker* (pembuat gelombang) tipe piston berdasarkan perbandingan antara hasil eksperimen dan analitik. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen di laboratorium, meliputi tahap merancang, membuat, dan analisa data. *Wave flume* dengan dimensi 300 m x 20 m x 50 m akan menghasilkan gelombang pecah pada panjang *stroke* lebih dari 4,5 cm dan kecepatan putar dinamo lebih dari 82,167 rpm. Hasil menunjukkan perbandingan nilai kedalaman relatif (kh) dan rasio tinggi gelombang dan *stroke* (H/S) antara data eksperimen dan analitik menunjukkan kinerja wavemaker dapat dikatakan baik dengan nilai *Percentage Model Bias*(PB) $\leq 40\%$, meskipun masih terdapat lima dari 24 total perlakuan yang memiliki nilai PB $> 40\%$.

Kata Kunci: Gelombang, *Wave Flume*, *Wavemaker* Tipe Piston.

Abstract

Waves in the ocean is strongly influenced by air-water interaction. It occurs as manifestation of force acting on fluid by wind stress and gravitational force. The experimental approach has been done to simplify it and solves engineering problems. The aim of this research was to design and construct the small and simple wave flume with piston-type wavemaker. Wave flume produced small amplitudes and regular waves. The method of this research was using laboratory experiment, include of designing, making the flume and wavemaker, and data analysis. Wave flume was built 300 cm x 20 cm x 50 cm in length, width, and height, respectively. Breaking wave occurred when the stroke and rotation speed of dynamo more than 4,5 cm and 82,167 rpm, respectively. Experiments and analytical data showed that performance of wavemaker was acceptable, because the value of *Percentage Model Bias*(PB) $\leq 40\%$, although there were out of five from 24 total of treatments still have value of PB $> 40\%$.

Keywords: Water Waves, Wave Flume, Piston-type Wavemaker

PENDAHULUAN

Gelombang laut merupakan fenomena alam yang kompleks, sehingga untuk mempelajarinya diperlukan pendekatan tertentu. Di dalam mempelajari fenomena gelombang tersebut, telah banyak dilakukan pendekatan matematis yang mampu mewakili gelombang di alam. Pendekatan-pendekatan tersebut menghasilkan teori-teori gelombang diantaranya, Teori Gelombang Airy (linier), Teori Gelombang Stokes, Teori Gelombang Soliter, Teori Gelombang Cnoidal dan lain sebagainya. Di antara teori-teori gelombang tersebut, masing-masing memiliki batasan-batasan yang mampu mewakili kondisi di alam (Triatmodjo, 2008).

Pendekatan fenomena alam dilakukan dengan pendekatan model, baik model matematika maupun model fisik terhadap fenomena tersebut. Menurut Chapra dan Canale (2010), model matematika dapat didefinisikan sebagai formulasi atau persamaan yang mewakili proses atau sistem fisik secara mendasar ke dalam persamaan matematika. Model fisik menurut Hughes (1993) adalah kegiatan mereproduksi ulang sistem fisik (biasanya dalam ukuran yang lebih kecil) sehingga gaya-gaya dominan yang bekerja pada sistem tersebut dapat direpresentasikan ke dalam model dengan proporsi yang tepat terhadap sistem fisik yang sebenarnya. Berdasarkan pengertian diatas, kegiatan penelitian ini adalah memproduksi ulang gelombang laut ke dalam ukuran yang lebih kecil (skala laboratorium) menggunakan saluran gelombang (*wave flume*) dengan pembuat gelombang (*wavemaker*) tipe piston.

Gaya pembangkit yang sangat dominan dalam proses pembentukan gelombang adalah gaya gesek dari angin. Di dalam penelitian ini, gaya pembangkit gelombang ini diabaikan. Untuk membangkitkan gelombang di dalam *wave flume* menggunakan *wavemaker* tipe piston, sehingga gelombang terbentuk melalui dorongan maju dan mundur. Kecepatan dorongan serta panjang langkah (*stroke*) piston secara teori memiliki pengaruh terhadap parameter gelombang, baik itu tinggi maupun periode gelombang yang dihasilkan. Selain angin, gesekan terhadap dasar perairan juga diabaikan dan kedalaman dianggap konstan serta air yang digunakan bukan air laut melainkan air tawar. Masalah utama di dalam penelitian ini adalah pengaruh kecepatan dan variasi *stroke* agar dapat menghasilkan gelombang yang sinusoidal dan mendekati sempurna (persamaan analitik). Selain itu, untuk meminimalkan interferensi gelombang akibat pantulan, dilakukan dengan membuat peredam *slope* (kemiringan) pada ujung *wave flume*. Hasil dari parameter gelombang akan menentukan kinerja *wavemaker* berdasarkan nilai *Percentage Model Bias* (PB).

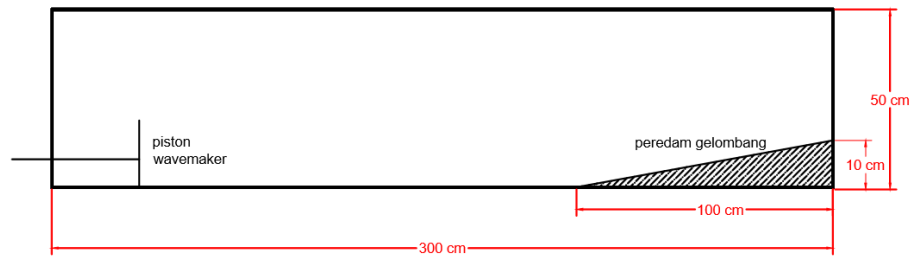
METODE

Materi penelitian pada penelitian ini dikelompokkan menjadi empat bagian, yaitu alat pengukuran, bahan, mekanika dan kelistrikan, serta pengolahan dan analisis data. Alat pengukuran yang digunakan dikelompokkan menjadi empat jenis alat ukur diantaranya, alat ukur panjang, kecepatan rotasi, waktu, dan video. Alat ukur panjang terdiri dari penggaris dan jangka sorong dengan masing-masing ketelitian 1 dan 0,01 mm. Penggunaan penggaris untuk mengukur tinggi gelombang sedangkan jangka sorong untuk mengukur kedalaman dan panjang langkah (*stroke*). Pengukuran kecepatan rotasi dilakukan menggunakan *stopwatch* dengan ketelitian 0,1 detik. Perekaman video dengan kamera dilakukan untuk mengamati elevasi muka air agar lebih presisi.

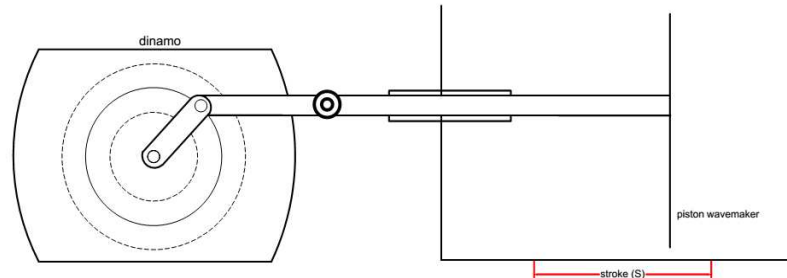
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, papan kayu yang digunakan sebagai peredam gelombang, kaca sebagai batasan penjarangan gelombang (*wave flume*), mika plastik sebagai pendorong massa air dan yang terakhir adalah air tawar yang diasumsikan memiliki densitas 1000 kg/m^3 .

Mekanika terdiri dari motor DC atau alat penggerak (dinamo) dengan berbagai variasi plat besi untuk berbagai panjang *stroke*. Sedangkan kelistrikan terdiri dari sumber listrik, *power supply* untuk merubah arus AC menjadi arus DC, dan potensiometer untuk mengatur arus yang masuk kedalam motor DC.

Dalam penelitian ini perlakuan diberikan terhadap kecepatan putar dinamo, kedalaman air, dan panjang *stroke*. Metode penelitian dibagi menjadi empat bagian, yaitu desain, teknik pengukuran, rancangan percobaan, dan analisis data.



Gambar 1. Penampang Wave Flume Dalam Bidang Dua Dimensi.



Gambar 2. Konfigurasi Dinamo dan Wavemaker.

Percobaan dilakukan dengan memberi perlakuan kepada beberapa variabel seperti panjang langkah (*stroke*), kecepatan putar dinamo dan kedalaman air. Terdapat 4 variasi panjang *stroke* yaitu 1,5 cm, 2,5 cm, 3 cm, dan 4,5 cm dengan pertimbangan konfigurasi yang sesuai dengan komponen dinamo. Kedalaman air menggunakan tiga variasi kedalaman, yaitu 3 cm, 5 cm, dan 7 cm, mengingat kedalaman maksimum *wavemaker* terendam air adalah 7,5 cm. Variasi kecepatan putar dinamo dibagi menjadi dua, yaitu rpm rendah (51 ± 2 rpm) dan rpm tinggi (80 ± 2 rpm). Setiap panjang *stroke* akan diuji coba pada masing-masing kedalaman dengan pengulangan sebanyak 60 kali putaran untuk setiap panjang *stroke*, sehingga akan dihasilkan 30 data tinggi gelombang. Pengukuran panjang gelombang dan rpm dilakukan pengulangan sebanyak 30 kali.

Di dalam analisis data, langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung periode gelombang (T) dalam detik dengan Persamaan 1 yang merupakan konversi dari hubungan periode gelombang dan frekuensi gelombang (f) (Serway dan Jewet, 2004), dimana f merupakan banyaknya putaran tiap menit (putaran tiap 60 detik).

$$T = \frac{60}{rpm} \quad (1)$$

Dari data hasil pengukuran, yaitu tinggi gelombang, panjang gelombang, dan periode gelombang, dihitung rata-rata dari masing-masing data tersebut.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_n}{n} \quad (2)$$

Selanjutnya adalah membandingkan data eksperimen dan perhitungan analitik (Persamaan 3) dengan menggunakan grafik perbandingan antara rasio tinggi gelombang dan panjang *stroke* (H/S) terhadap nilai kh (Dean dan Darlymple, 1984).

$$\frac{H}{S} = \frac{2((\cosh 2kh) - 1)}{(\sinh 2kh) + 2kh} \quad (3)$$

Dari hasil grafik, akan diperoleh nilai akurasi model gelombang eksperimen terhadap persamaan analitik (Gambar 6) berdasarkan nilai *Percentage Model Bias* (PB) (Persamaan 4).

$$PB = \left| \frac{P_{analitik} - P_{eksperimen}}{P_{analitik}} \right| \times 100\% \quad (4)$$

Dalam hal ini:

$PB < 10\%$ = *excellent*

$10\% \leq 20\%$ = *very good*

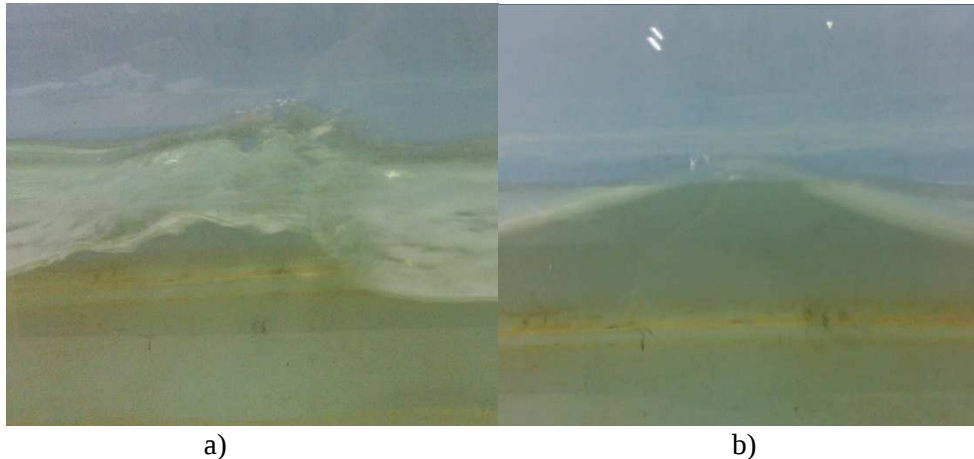
$20\% \leq 40\%$ = *good*

$PB > 40\%$ = *poor*

(Huang *et al.*, 2013)

HASIL PERCOBAAN

Bentuk gelombang yang diamati adalah gelombang yang belum pecah (Gambar 3b). Hal ini dimaksudkan untuk menentukan kecepatan putar dinamo pada masing-masing *stroke* secara konsisten.



Gambar 3. Bentuk Gelombang Yang Dihasilkan, a) Gelombang Pecah dan b) Gelombang Belum Pecah.

Parameter gelombang yang dihasilkan pada setiap kedalaman bervariasi. Dari Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 dapat diketahui bahwa terdapat beberapa variabel yang saling terkait, diantaranya rpm, panjang gelombang dan periode gelombang. Hubungan antara rpm dan panjang gelombang adalah berbanding terbalik, semakin kecil nilai rpm maka semakin besar nilai panjang gelombang pada *stroke* yang sama. Hubungan antara rpm dan periode gelombang juga menunjukkan hubungan yang sama, yaitu berbanding terbalik.

Tabel 1. Parameter Gelombang yang Dihasilkan di Kedalaman 3 cm

S (cm)	rpm	H (cm)	L (cm)	T (detik)
1,5	52,233	0,2	89,627	1,149
1,5	81,867	0,3	59,807	0,733
2,5	52,333	0,3	89,927	1,147
2,5	82,167	0,5	61,433	0,73
3	52,433	0,6	91,893	1,144
3	82	0,8	61,807	0,732
4,5	52,366	0,8	92,633	1,146
4,5	81,867	1	63,38	0,733

Tabel 2. Parameter Gelombang yang Dihasilkan di Kedalaman 5 cm

S (cm)	rpm	H (cm)	L (cm)	T (detik)
1,5	51,533	0,3	85,723	1,164
1,5	80,667	0,4	62,860	0,744
2,5	51,433	0,6	89,123	1,167
2,5	80,7	0,8	66,220	0,744
3	51,467	0,8	90,633	1,166
3	80,933	1,2	69,513	0,741
4,5	51,6	1,4	94,150	1,163
4,5	80,633	1,8	69,607	0,744

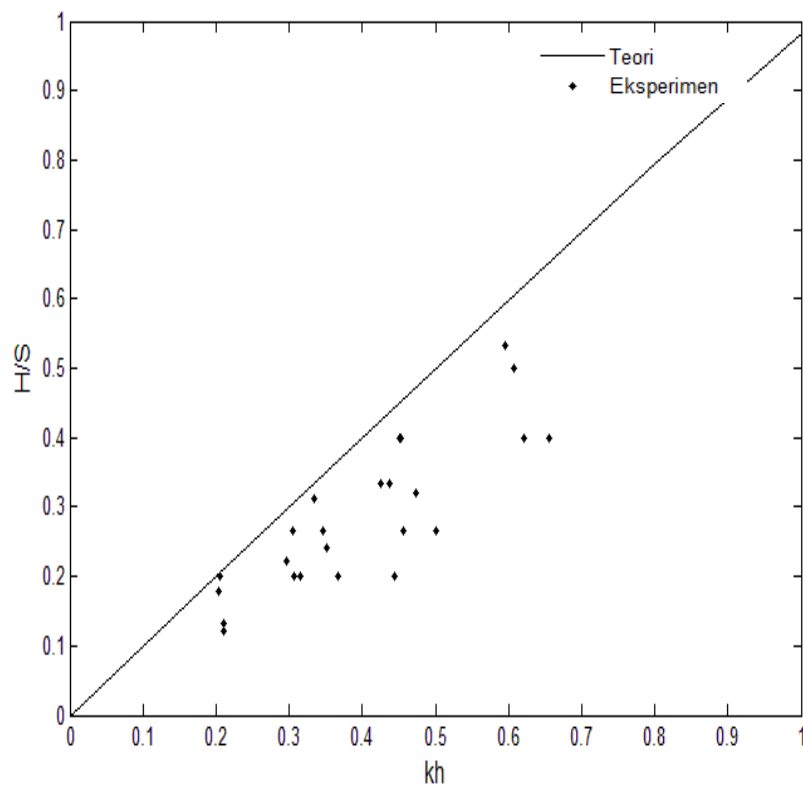
Berdasarkan Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3, nilai tinggi gelombang akan semakin besar dengan bertambahnya kedalaman pada panjang *stroke* dan rpm pada kategori yang sama (rpm rendah dan tinggi). Hubungan antara tinggi gelombang dan rpm pada panjang *stroke* dan

kedalaman yang sama menunjukkan bahwa bertambahnya nilai rpm, demikian halnya dengan tinggi gelombang.

Tabel 3. Parameter Gelombang yang Dihasilkan di Kedalaman 7 cm

S (cm)	rpm	H (cm)	L (cm)	T (detik)
1,5	50,533	0,4	96,45	1,187
1,5	78,767	0,6	67,033	0,761
2,5	50,6	0,5	98,823	1,186
2,5	79,267	1	70,773	0,756
3	50,4	1	100,69	1,191
3	79	1,5	72,333	0,759
4,5	50,5	1,5	103,403	1,188
4,5	78,9	2,4	73,763	0,76

Berdasarkan analisis data, diperoleh hasil grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara kedalaman relatif (kh) dan rasio tinggi gelombang dengan panjang *stroke* (H/S), dimana pada penelitian ini dilakukan pemotongan grafik dengan tujuan agar perbandingan antara hasil eksperimen dan teori dapat terlihat dengan jelas. Grafik garis merupakan grafik teori dari Persamaan 3, sedangkan titik mewakili hasil eksperimen.



Gambar 4. Grafik kh dan H/S Analitik dan Eksperimen

Berdasarkan hasil eksperimen, masih terdapat simpangan yang cukup jauh antara teori dan eksperimen. Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 menunjukkan hasil perbandingan kedalaman relatif (kh) dan rasio tinggi gelombang dengan panjang *stroke* (H/S) secara numeris. Nilai *Percentage Model Bias* (PB) pada tabel tersebut merupakan nilai dari rasio tinggi gelombang dengan panjang *stroke* (H/S) saja, mengingat bahwa hubungan antara kh dan H/S merupakan hubungan yang linier.

Tabel 4. Hasil kh dan H/S Analitik dan Eksperimen serta Nilai *Percentage Model Bias* pada Percobaan dengan Kedalaman 3 cm

S (cm)	rpm	kh	H/S	PB %
1,5	52,233	0,210	0,133	36,567
1,5	81,867	0,315	0,2	36,497
2,5	52,333	0,210	0,120	42,719
2,5	82,167	0,307	0,2	34,771
3	52,433	0,205	0,200	2,445
3	82	0,305	0,267	12,5
4,5	52,366	0,203	0,178	12,586
4,5	81,867	0,297	0,222	25,229

Tabel 5. Hasil kh dan H/S Analitik dan Eksperimen serta Nilai *Percentage Model Bias* pada Percobaan dengan Kedalaman 5 cm

S (cm)	rpm	kh	H/S	PB %
1,5	51,533	0,366	0,2	45,377
1,5	80,667	0,5	0,267	46,545
2,5	51,433	0,352	0,24	31,857
2,5	80,7	0,474	0,32	32,442
3	51,467	0,346	0,267	23,004
3	80,933	0,452	0,4	11,369
4,5	51,6	0,334	0,311	6,691
4,5	80,633	0,451	0,4	11,25

Tabel 6. Hasil kh dan H/S Analitik dan Eksperimen serta Nilai *Percentage Model Bias* pada Percobaan dengan Kedalaman 7 cm

S (cm)	rpm	kh	H/S	PB %
1,5	50,533	0,456	0,266	41,438
1,5	78,767	0,656	0,4	38,773
2,5	50,6	0,445	0,2	55,001
2,5	79,267	0,621	0,4	35,403
3	50,4	0,437	0,333	23,59
3	79	0,608	0,5	17,495
4,5	50,5	0,425	0,333	21,537
4,5	78,9	0,596	0,533	10,273

Nilai *Percentage Model Bias* (PB) dari Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 cukup bervariasi. Jika diperhatikan pada setiap kedalaman, nilai PB terbesar pada panjang *stroke* 1,5 cm dan 2,5 cm. Berdasarkan pada Persamaan 4, nilai PB yang diharapkan adalah kurang dari 40%. Pada Tabel 4, nilai PB lebih dari 40% terjadi pada panjang *stroke* 2,5 dengan rpm rendah. Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai PB lebih dari 40% terjadi pada panjang *stroke* 1,5 dengan rpm rendah dan rpm tinggi. Sedangkan pada Tabel 6 terjadi pada panjang *stroke* 1,5 dengan rpm rendah dan panjang *stroke* 2,5 dengan rpm rendah.

PEMBAHASAN

Pembuatan *wave flume* dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bahan kaca bening. Pemilihan bahan tersebut atas pertimbangan kemudahan dalam mengamati karakteristik dan penjarangan gelombang secara jelas. *Wave flume* memiliki dimensi panjang 300 cm, lebar 20

cm, dan tinggi 50 cm. Penentuan dimensi berdasarkan dua pertimbangan, diantaranya kapasitas kekuatan dinamo dan dimensi peredam gelombang. Di dalam penelitian ini peneliti tidak mengkaji seberapa efisien hubungan antara volume air dengan kekuatan dinamo pendorong, akan tetapi sejauh ini *wave flume* dan *wavemaker* berfungsi dengan baik dan mampu menghasilkan fenomena gelombang sinusoidal. Bagian ujung *wave flume* dipasang peredam gelombang dengan model kemiringan pantai buatan. Kemiringan peredam gelombang sebesar 1:10. Menurut Maguire (2011), untuk memperoleh peredaman gelombang yang optimal diperlukan pantai dengan kemiringan umumnya $\leq 1:10$. Kemiringan 1:10 dipilih berdasarkan variasi kedalaman maksimum sebesar 7 cm yang artinya dengan dimensi kemiringan horisontal 100 cm dan dimensi kemiringan vertikal 10 cm, peredam gelombang tidak terendam air seluruhnya, masih terdapat bagian peredam yang mampu memecah gelombang yang datang.

Pada penelitian ini, gelombang yang diharapkan terjadi adalah gelombang sinusoidal. Berdasarkan analisis peneliti, pada penggunaan *stroke* dengan panjang lebih dari 4,5 cm, gelombang yang dihasilkan tidak membentuk gelombang sinusoidal. Gelombang tidak sinusoidal tersebut terbentuk karena adanya pantulan dari massa air yang terdorong pada sisi belakang *wavemaker*, sehingga gelombang terbentuk sebelum *wavemaker* mendorong massa air. Pada penggunaan *stroke* kurang dari 4,5 cm, pantulan gelombang tersebut dapat diminimalkan sehingga saat *wavemaker* mendorong massa air ke belakang menghasilkan lembah, kemudian saat *wavemaker* mendorong massa air ke depan menghasilkan puncak gelombang.

Gelombang pecah diharapkan tidak terjadi pada daerah pengukuran maupun sebelum daerah pengukuran, akan tetapi gelombang pecah diharapkan terjadi pada daerah peredam gelombang (Gambar 5), hal ini untuk menghindari terjadinya pantulan gelombang. Menurut Dauhan *et al.* (2013), gelombang pecah ini terjadi karena efek perubahan kedalaman laut yang mengakibatkan tinggi gelombang semakin besar ketika memasuki perairan dangkal, kemudian gelombang menjadi tidak stabil dan terbentuk gelombang pecah. Di dalam *wave flume*, perubahan kedalaman terjadi pada daerah peredam gelombang, sehingga gelombang akan pecah pada daerah tersebut.



Gambar 5. Gelombang Pecah pada Daerah Peredam Gelombang

Parameter gelombang yang dihasilkan pada ketiga kedalaman ditunjukkan oleh Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3. Pada panjang *stroke* dan kategori rpm yang sama, nilai tinggi gelombang bertambah seiring bertambahnya kedalaman. Hal ini dikarenakan, semakin banyak massa air yang dipindahkan oleh *wavemaker*, maka semakin tinggi gelombang yang dihasilkan. Secara teori, tinggi gelombang berbanding lurus dengan kedalaman (Hughes, 1993).

Gelombang yang dihasilkan oleh *wavemaker* merupakan gelombang sinusoidal. Pada penelitian ini, peneliti menilai kinerja *wavemaker* berdasarkan perbandingan antara hasil eksperimen dengan teori (Gambar 4). *Wavemaker* dapat dikatakan memiliki kinerja yang baik apabila mampu mendekati grafik teori. Pemotongan grafik dilakukan dengan pertimbangan hasil yang diperoleh peneliti pada penelitian ini cukup kecil karena dimensi *wave flume* yang terlalu kecil. Hal tersebut mengakibatkan grafik persamaan hiperbolik cenderung terlihat seperti garis lurus. Menurut Hughes (1993), pada perairan yang sangat dangkal, grafik hiperbolik tersebut sangat mendekati garis lurus (gambar 4).

Di dalam penelitian ini masih terdapat banyak percobaan yang hasilnya masih jauh dari teori. Berdasarkan nilai PB (Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6), hasil eksperimen dapat dikatakan baik ($PB \leq 40\%$) (Huang *et al.*, 2013). Dari 24 perlakuan terdapat 5 perlakuan yang memiliki nilai PB diatas 40%. Menurut peneliti, masih banyak terdapat kesalahan teknis maupun non teknis, beberapa diantaranya adalah pengukuran parameter gelombang yang masih konvensional serta akurasi dan presisi dalam melakukan rancang bangun *wave flume* dan *wavemaker*. Jika diperhatikan secara keseluruhan dengan perbandingan hasil eksperimen dan analitik serta nilai PB, kinerja *wavemaker* dapat dikatakan baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan, *wave flume* dengan dimensi 300 cm x 20 cm x 50 cm dan *wavemaker* tipe piston mampu menghasilkan gelombang yang regular. Gelombang regular tersebut dihasilkan pada panjang langkah tidak lebih dari 4,5 cm dan kecepatan putar dinamo pada *wavemaker* kurang dari 82,167 rpm. Perbandingan antara hasil perhitungan analitik dan hasil eksperimen menunjukkan kinerja *wavemaker* yang tergolong baik dengan nilai PB rata-rata sebesar 27,3%.

DAFTAR PUSTAKA

- Chapra, S.C. and R.P. Canale. 2010. Numerical Methods for Engineers. McGraw-Hill. New York.
- Dauhan, S. K., H. Tawas, H. Tangkudung, J. D. Mamoto. 2013. Analisis Karakteristik Gelombang Pecah Terhadap Perubahan Garis Pantai di Atep Oki. Jurnal Sipil Statik., 1(12):784-796.
- Dean, R.G. dan R.A. Dalrymple. 1984. Water Wave Mechanics for Engineers and Scientist. World Scientific Publishing. Singapore.
- Huang, J. C., Pan, C., C. Kuang, J. Zeng. 2013. Experimental Hydrodynamic Study of the Qiantang River Tidal Bore. Journal of Hydrodynamic., 25(3):481-490.
- Hughes, S.A. 1993. Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering. World Scientific Publishing. Singapore.
- Maguire, A. E. 2011. Hydrodynamics, Control and Numerical Modelling of Absorbing Wavemakers. [Disertasi]. The University of Edinburgh, Edinburgh, 192 hlm.
- Triatmodjo, B. 2008. Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta.