

PENGUJIAN ALAT KONVERSI ENERGI GELOMBANG JENIS PITCHING CONVERTER

Arief Ahadi Rahman¹ dan Krisnaldi Idris, Ph.D²

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB

email: ariefahadir@gmail.com dan krisnaldi@ocean.itb.ac.id

Kata kunci : model, *pitching*, laboratorium, *wavemaker*, respon

ABSTRAK

Alat PLTGL (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut) jenis *pitching converter* merupakan alat yang bergerak secara *pitching* sebagai respon terhadap gelombang yang bekerja terhadapnya untuk menghasilkan listrik. Pada penelitian ini, dilakukan 135 pengujian menggunakan model fisik berbentuk silinder berskala 1:10 di Laboratorium Gelombang ITB. Model ini menggunakan beberapa pemberat dibagian atas dan satu dibagian bawah untuk memberikan variasi pada frekuensi alamiah modelnya. Pengujian diujikan pada 3 kedalaman yang berbeda yaitu pada 70 cm, 80 cm, dan 90 cm serta berbagai konfigurasi *paddle* dan RPM yang berbeda untuk menghasilkan berbagai gelombang dengan karakteristik tinggi gelombang (H), periode gelombang (T), dan panjang gelombang (L) yang berbeda-beda. Sebelum dilakukan seluruh pengujian, dilakukan pengujian kemampuan *wavemaker* dan pemisahan gelombang menggunakan metode Suzuki-Goda untuk mengetahui gelombang datang untuk setiap konfigurasi pengujian. Dari seluruh pengujian yang dilakukan, dilakukan analisis dan didapat bahwa konfigurasi benda uji dengan 1 pemberat pada kedalaman perairan 80 cm memberikan respon yang paling baik.

PENDAHULUAN

Untuk memenuhi berbagai kebutuhan hidupnya, sebagian besar manusia masih mengandalkan sumber daya alam yang tidak terbarukan (*Non-renewable Energy*). Dengan cadangan yang semakin berkurang, biaya eksplorasi dan

ekstraksi yang tinggi, tingkat konsumerisme manusia yang terus meningkat, serta berbagai isu lingkungan dan sosio-ekonomi, perlu alternatif dalam pemenuhan kebutuhan pasokan energi. Energi Tebarukan (*Renewable Energy*) merupakan terobosan dimana teknologi-teknologi dikembangkan agar berbagai SDA

¹Mahasiswa Sarjana

²Dosen Teknik Kelautan

yang terbarukan (matahari, angin, gelombang laut, dll) dapat memproduksi lebih banyak energi. Gelombang laut sendiri merupakan salah satu potensi energi terbarukan yang terbesar di Indonesia karena wilayah lautnya yang luas. Sehingga, dilakukan penelitian dalam bentuk pengujian model fisik di Laboratorium Gelombang ITB guna mendapatkan model dengan respon yang paling optimal terhadap gelombang yang diujikan.

TEORI DASAR

Metode Pemisahan Gelombang Datang dan Pantul

Metode pemisahan gelombang adalah teknik untuk mengestimasi gelombang insiden dan gelombang pantul yang berbasis pada teori resolusi dari jurnal "Estimation of Incident and Reflected Waves in Random Wave Experiments" oleh Yoshimi Goda dan Yasumasa Suzuki.

$$E_I = \int_{f_{min}}^{f_{max}} S_I(f) df \quad (1)$$

$$E_R = \int_{f_{min}}^{f_{max}} S_R(f) df \quad (2)$$

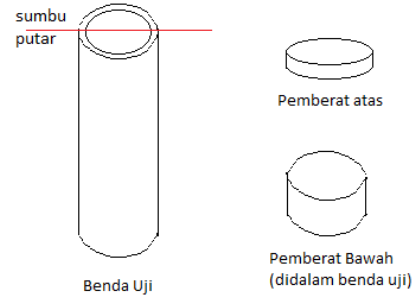
Setelah itu, bisa didapat nilai koefisien refleksinya dan nilai dari masing-masing gelombang datang dan pantul.

$$K_R = \sqrt{E_R/E_I} \quad (3)$$

$$H_I = \frac{1}{\sqrt{1 + K_R^2}} H_s \quad (4)$$

$$H_R = \frac{K_R}{\sqrt{1 + K_R^2}} H_s \quad (5)$$

Teori Benda Uji

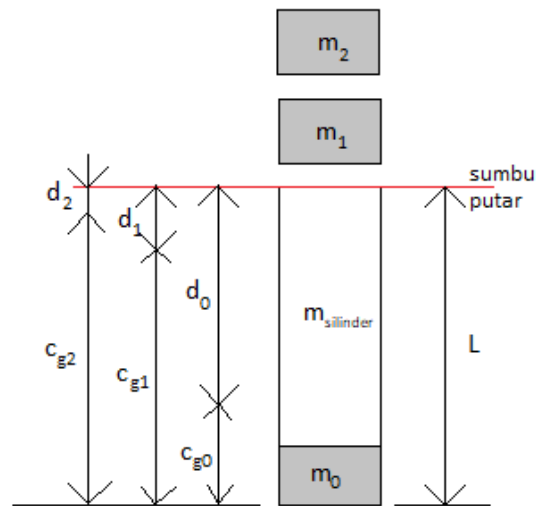


Gambar 1: Sketsa benda uji

Massa pemberat merupakan kriteria penting yang harus terpenuhi agar benda uji tidak dalam kondisi terapung. Dalam penentuannya, gaya apung dari air harus lebih kecil nilainya daripada berat terendam benda uji. Sehingga, ditambah pemberat yang beratnya harus lebih besar dari gaya apung.

$$m_b = \frac{F_B}{g} \quad (6)$$

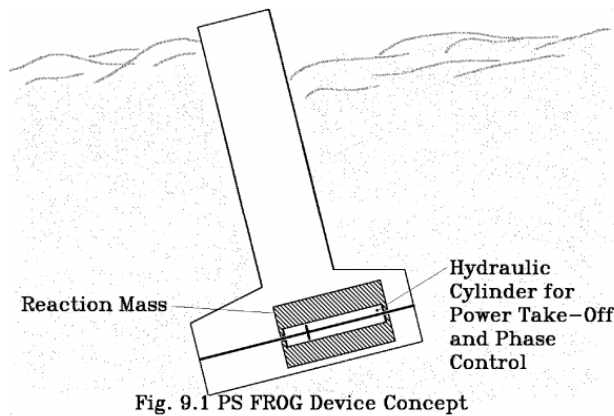
Untuk tiap konfigurasi benda uji, dicari masing-masing titik beratnya untuk mendapatkan nilai frekuensi alamiahnya.



Gambar 2: Letak berbagai titik berat

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{I}{m_{\text{silinder}} \times g \times d}} \quad (7)$$

Metode Power Take-off untuk Energi Gelombang



Gambar 3: Reaction mass sebagai generator

Dalam mengubah energi gelombang menjadi listrik, terdapat beberapa proses yang berjalan. Mula-mula, alat tersebut melakukan gerakan *pitching* akibat gelombang yang datang di laut. Pada bagian diatas sumbu putar alat, terdapat *moving mass* yang bergerak searah dengan arah gerakan *pitching* alat. Dalam proses ini, terjadi konversi energi gelombang laut menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Agar ekstraksi energi optimal, periode alamiah dari alat harus mendekati periode gelombang laut.

METODOLOGI



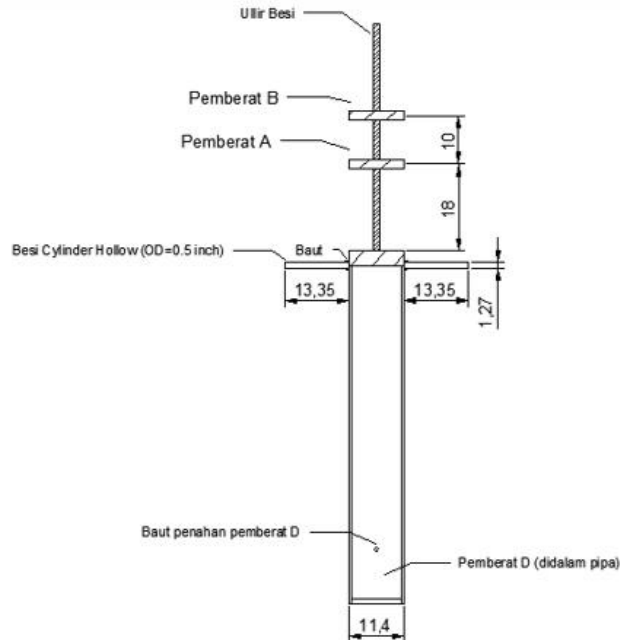
Gambar 4: Wave flume Lab Uji Gelombang

Seluruh rangkaian pengujian dilakukan didalam Laboratorium Gelombang ITB. *Wave paddle*, *RPM generator*, dan *wave gauge* masing-masing digunakan untuk pembentukan tinggi, periode, serta perekaman muka air gelombang yang terjadi dengan interval perekaman 0.05 detik. Sensor ultrasonik digunakan untuk merekam respon simpangan dari benda uji.

Sebelum pengujian, dilakukan perancangan benda uji dengan material berupa pipa PVC 4 inci.

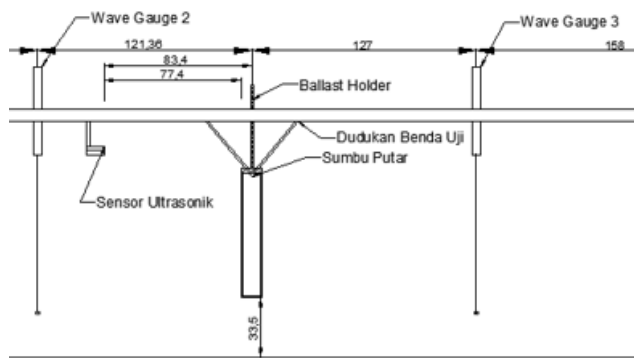
Tabel 1: Dimensi Utama Benda Uji

Massa benda uji (kg)	Panjang benda uji (cm)	Massa pemberat bawah (kg)	Massa pemberat atas (kg)	Diameter benda uji (cm)	Tebal dinding benda uji (cm)
1.96	73	5	2	10.2	0.2



Gambar 5: Tampak depan benda uji

Setelah itu, benda uji kemudian dipasang didalam *wave flume* tepatnya diantara *wave gauge* 2 dan *wave gauge* 3 dengan posisi sensor ultrasonik menghadap ke benda uji.



Gambar 6: Konfigurasi benda uji

Selanjutnya, dilakukan kalibrasi sensor ultrasonik untuk menentukan posisi benda uji yang terekam berdasarkan pantulan ultrasonik yang diterima sensor. *Wave gauge* juga dikalibrasikan untuk mendapatkan hubungan nilai *volt* dengan posisi muka air di setiap kedalaman untuk seluruh *gauge*.

Kemudian, dilakukan pengujian kemampuan *wavemaker* dengan menyalakan *wavemaker* berdasarkan *paddle* dan RPM yang sudah ditentukan, dan direkam oleh *gauge* pada interval 0.05s. Konfigurasi *hXXpYYrpmZZ* digunakan sebagai nama untuk tiap sampel data.

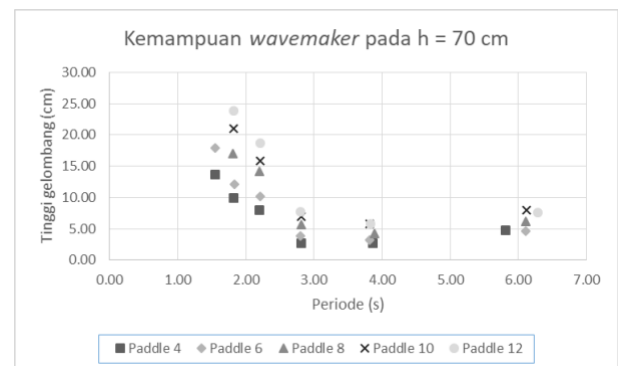
hXX : *XX* menunjukkan kedalaman muka air dalam cm. Yang digunakan 70, 80, atau 90 cm

pYY : *YY* menunjukkan posisi *paddle*. Yang digunakan *paddle* 4, 6, 8, 10, atau 12

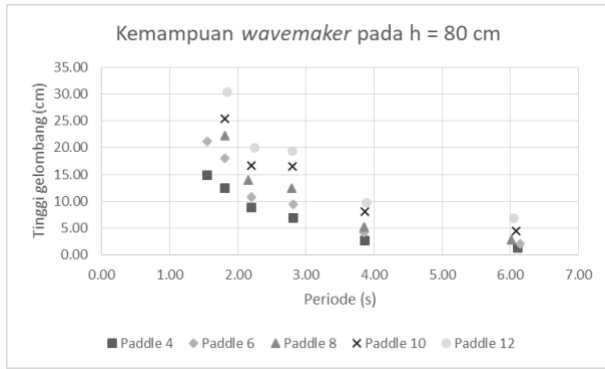
rpmZZ : *ZZ* menunjukkan RPM yang dijalankan. RPM yang digunakan adalah RPM 3, 5, 7, 9, dan 11

Misal kode konfigurasi *h80p06rpm09* menunjukkan konfigurasi pengujian pada kedalaman 80 cm, *paddle* 6, serta RPM 9.

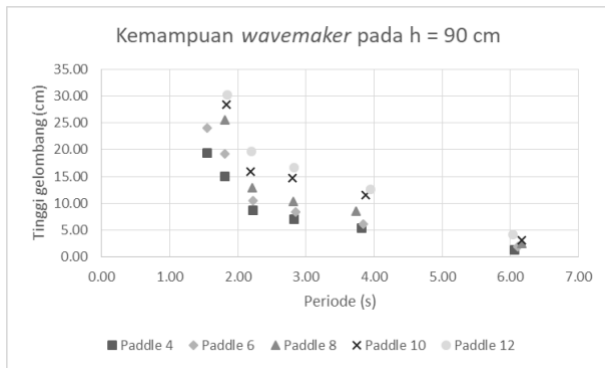
Setelah seluruh pengujian kemampuan dilakukan, didapat data tinggi dan periode gelombang dari *zero-upcrossing timeseries* muka air setiap sampel data di setiap kedalaman.



Gambar 7: Kemampuan *wavemaker* di *h*=70 cm

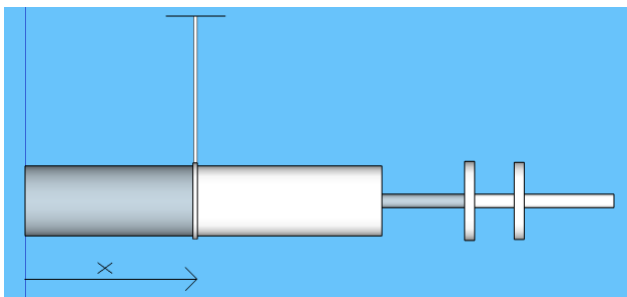


Gambar 8: Kemampuan *wavemaker* di $h=80$ cm



Gambar 9: Kemampuan *wavemaker* di $h=90$ cm

Sebelum pengujian utama dilakukan, ditentukan nilai titik berat ketiga konfigurasi benda uji dengan cara pengukuran.



Gambar 10: Pengukuran titik berat dengan x sebagai nilainya

Nilai titik berat digunakan untuk mendapatkan nilai periode alamiah setiap konfigurasi benda uji.

Tabel 2: Data-data Berdasarkan Pengukuran

Jumlah Pemberat	0	1	2
Titik berat pipa (cm)	42.5	42.5	42.5
Titik berat pemberat bawah (cm)	6	6	6
Titik berat pemberat 1 atas (cm)	-	90	90
Titik berat pemberat 2 atas (cm)	-	-	100
Titik berat baru (cm)	26	41	52
Jarak titik putar ke titik berat (cm)	44	29	18
Periode natural (s)	1.726	2.095	3.018

Setelah itu, dilakukan pengujian utama berdasarkan data-data kemampuan *wavemaker* yang didapat. Konfigurasi pengujian utama ditandai dengan kode **hXXbYpZZrAA**. Secara keseluruhan, terdapat 135 konfigurasi pengujian.

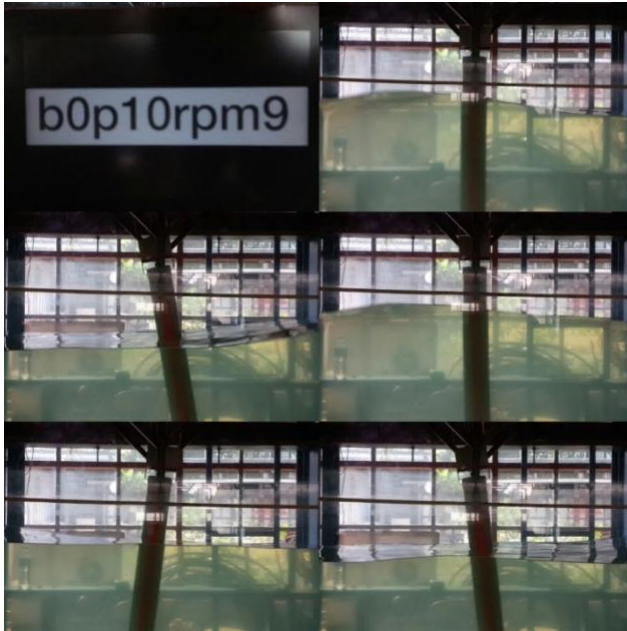
hXX : XX menunjukkan kedalaman muka air dalam cm. Yang digunakan 70, 80, atau 90 cm

bY : Y menunjukkan jumlah pemberat atas. Yang digunakan 0, 1, atau 2 pemberat

pZZ : ZZ menunjukkan posisi *paddle*. *Paddle* yang digunakan 6, 8, dan 10

rAA : AA menunjukkan RPM yang dijalankan. RPM yang digunakan adalah RPM 3, 5, 7, 9, dan 11

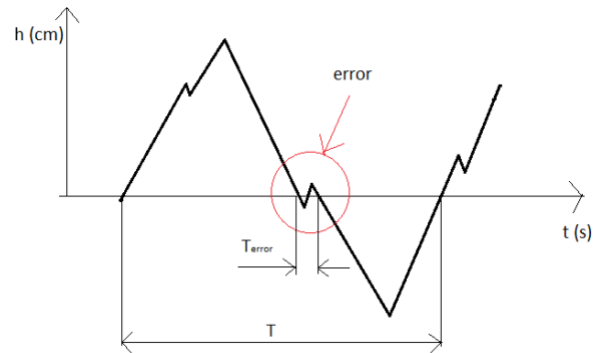
Perekaman dilakukan dengan interval perekaman yang sama antara *wave gauge* dan sensor ultrasonik, yaitu 0.05 detik. Perekaman dimulai setelah konfigurasi pemberat atas pada benda uji telah diset serta konfigurasi *paddle* dan RPM sudah diubah. Perekaman *wave gauge* dimulai 1 menit lebih awal dari sensor ultrasonik dengan total waktu perekaman untuk setiap konfigurasi pada 2 menit. Kamera digunakan untuk merekam video sebagai dokumentasi.



Gambar 11: Rekaman video pengujian

Dalam pengumpulan data, terdapat beberapa kemungkinan kesalahan yang disebabkan oleh faktor berikut,

1. Keterbatasan di Lab
Usia dari *wave flume* yang sudah cukup tua. Pantai buatan di ujung *wave flume* dalam kondisi rusak.
2. Galat dari sensor HC-SR04
Sensor HC-SR04 memiliki galat pengukuran sebesar 3 mm
3. *Human Error*
Ada selisih waktu sepersekian detik setelah 1 menit berjalan dalam perekaman data sensor. Hal ini disebabkan oleh jarak yang jauh antara logger dari sensor benda uji dan logger dari *wave gauge*.
4. Pengolahan *zero-upcrossing*
Data yang didapat oleh *logger* berbentuk rekaman data dari *wave resistant gauge*. Data tersebut bila dibuat grafik tidak sepenuhnya merepresentasikan gelombang yang terjadi. Pada **Gambar 13**, terlihat sketsa rekaman oleh *wave gauge*.

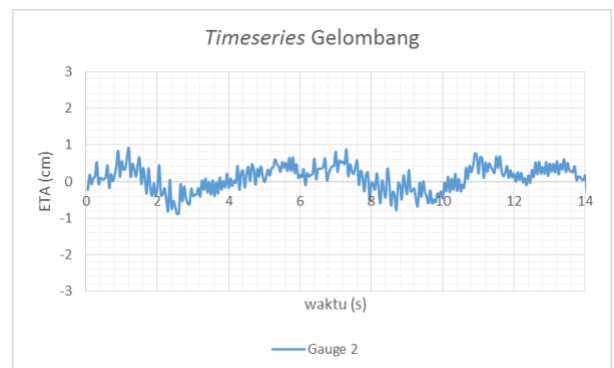


Gambar 12: Noise pada *timeseries* muka air

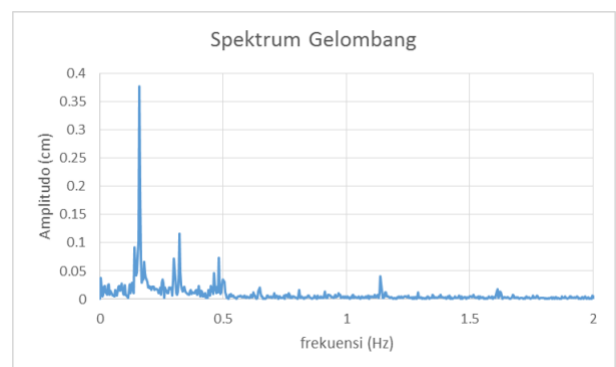
HASIL DAN ANALISA

Analisa Data Gelombang

Analisa spektrum dilakukan dengan mengubah data *timeseries* ke domain spektrum agar frekuensinya bisa diketahui karena nilai periode yang didapat dari metode *zero-upcrossing* rawan keliru akibat *noise* yang terjadi saat perekaman data EMA oleh *wave gauge*.



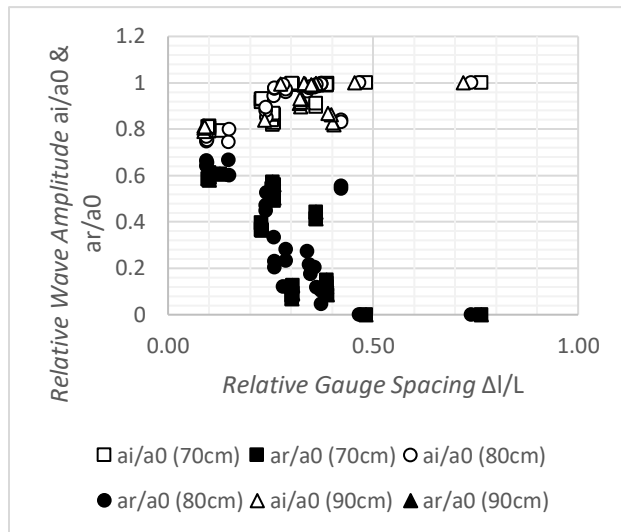
Gambar 13: *Timeseries* gelombang



Gambar 14: Spektrum gelombang

Gambar 13 menunjukkan frekuensi yang jelas dari suatu gelombang daripada **Gambar 14** menunjukkan periode akibat *noise* yang banyak. Nilai periode gelombang selanjutnya akan menggunakan nilai yang didapat dari spektrum.

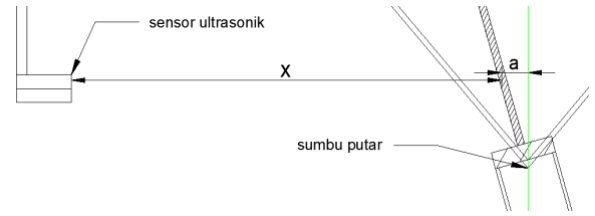
Gelombang yang terjadi didalam *wave flume* kemudian dipisahkan agar didapat nilai K_r . Pemisahan menggunakan data dua buah *gauge* dan jarak keduanya. Menggunakan program FFT, didapat nilai a_i untuk gelombang datang dan a_r untuk gelombang pantul. Keduanya kemudian diintegrasikan untuk mendapatkan nilai E_I dan E_R . Didapat nilai K_r .



Gambar 15: Titik putih menunjukkan gelombang datang sementara hitam gelombang pantul

Nilai gelombang pantul yang terlihat cukup tinggi mengindikasikan *wave flume* yang tidak meredam gelombang cukup baik. *Gauge* yang ada juga memperlihatkan nilai yang berbeda akibat usia alat dan ini mempengaruhi nilai K_r .

Analisa Respon Benda Uji



Gambar 16: Penentuan simpangan benda uji

Simpangan benda uji didapat dari pengurangan nilai jarak yang didapat dari sensor dikurangi dengan jaraknya ketika benda uji dalam posisi diam. Dengan interval perekaman 0.05s, didapat *timeseries* respon benda uji, kemudian dicari nilai simpangan maksimumnya untuk diubah kedalam satuan radian agar didapat kecepatan sudutnya.

$$\omega_r = \frac{\theta_{max}}{T/2} \quad (8)$$

Kemudian, nilai respon benda uji yang didapat (simpangan serta periodenya) dibandingkan dengan gelombang yang diujikannya (tinggi serta periodenya). Mula-mula, dibandingkan antar periode terlebih dahulu untuk masing-masing konfigurasi benda uji tanpa pemberat, 1 pemberat, dan 2 pemberat.



Gambar 17: Perbandingan nilai T pada b0

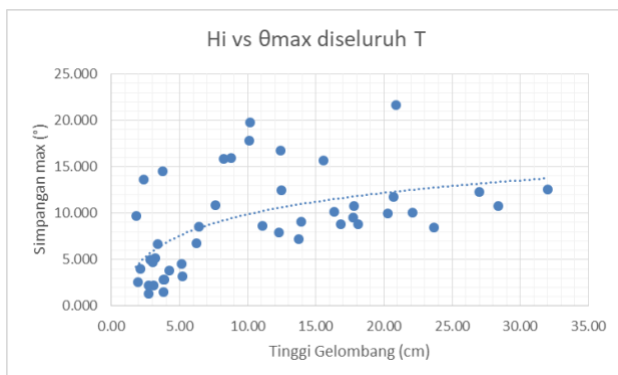


Gambar 18: Perbandingan nilai T pada b1



Gambar 19: Perbandingan nilai T pada b2

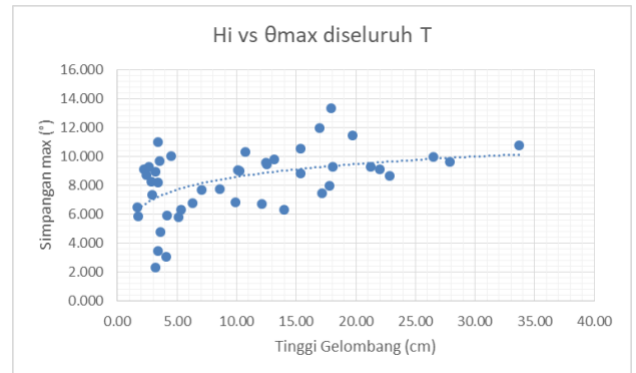
Hampir seluruh pengujian menunjukkan periode respon yang nilainya mendekati dengan periode gelombang. Hal ini menunjukkan adanya resonansi dari respon benda uji. Kemudian, dibandingkan simpangan dengan tinggi gelombangnya.



Gambar 20: Simpangan vs Tinggi gelombang pada b0

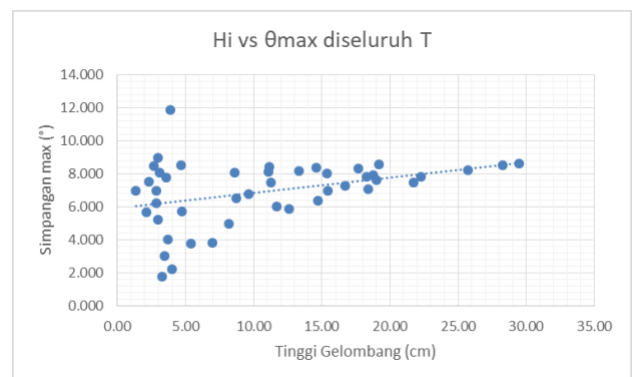
Konfigurasi b0 menunjukkan nilai simpangan dengan sebaran yang cukup jauh. Hal ini karena

benda uji tanpa pemberat hanya memberikan respon yang baik pada periode gelombang 2.8 dan 1.8 detik, dengan responnya yang kecil di periode lain.



Gambar 21: Simpangan vs Tinggi gelombang pada b1

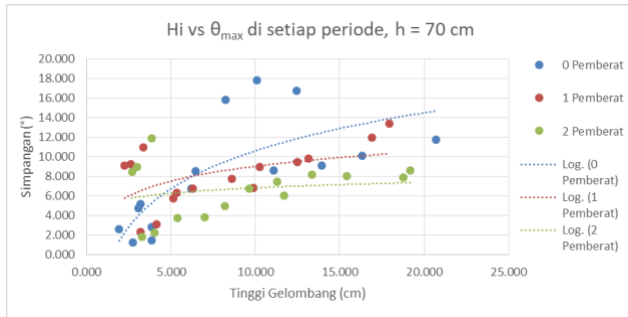
Pada benda uji 1 pemberat, sebarannya terlihat lebih rapat meskipun nilai maksimumnya tidak sebesar nilai maksimum pada benda uji tanpa pemberat. Konfigurasi b1 memberikan respon yang cukup baik secara keseluruhan.



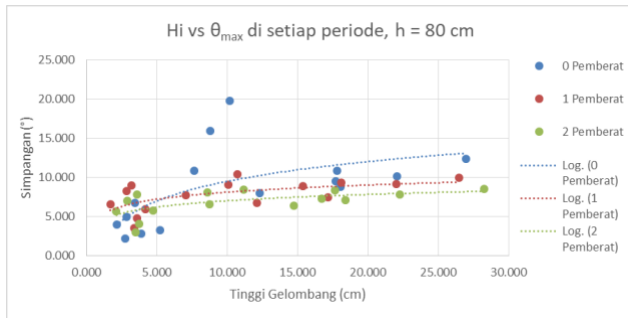
Gambar 22: Simpangan vs Tinggi gelombang pada b2

Pada benda uji 2 pemberat, sebarannya yang paling rapat menunjukkan bahwa konfigurasi b2 bekerja cukup baik diseluruh periode gelombang. Konfigurasi b2 tetapi tidak sebaik b1.

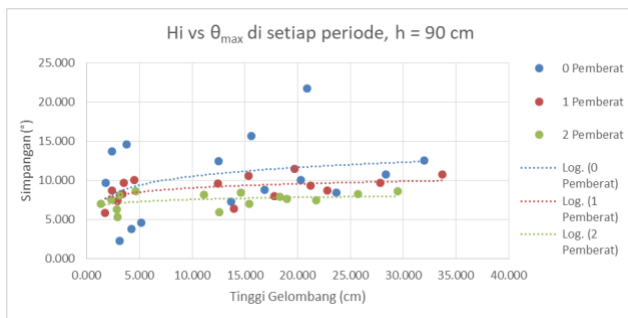
Kemudian, dibandingkan ketiga konfigurasi benda uji pada kedalaman yang berbeda-beda.



Gambar 23: Simpangan vs Tinggi gelombang pada h = 70 cm



Gambar 24: Simpangan vs Tinggi gelombang pada h = 80 cm

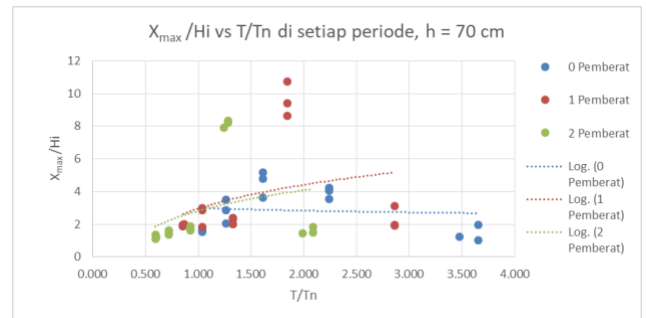


Gambar 25: Simpangan vs Tinggi gelombang pada h = 90 cm

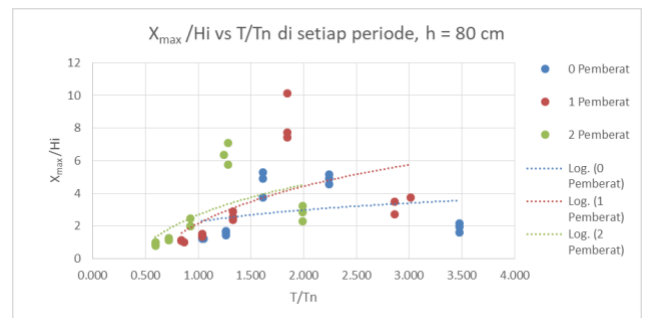
Disini, perbandingan sebaran data lebih terlihat dimana benda uji tanpa pemberat merupakan yang paling tersebar. Benda uji 1 dan 2 pemberat hampir sama rapatnya dengan benda uji 1 pemberat memberikan respon yang lebih baik. Respon pada kedalaman 80 dan 90 cm menunjukkan nilai yang hampir sama baiknya, sehingga dipilih kedalaman 80 cm dengan pertimbangan bahwa pada kedalaman 90 cm, benda uji lebih sering terendam seluruhnya akibat tinggi benda uji yang kecil diatas muka air.

Pemilihan kedalaman ini berpengaruh terhadap besar draft pada prototipe nanti.

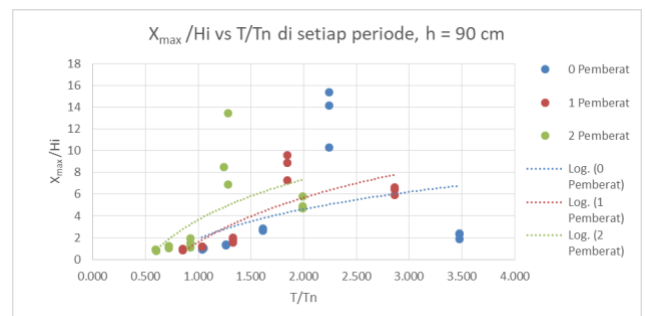
Kemudian, dibandingkan bilangan non dimensional X_{max}/H_i dengan T/T_n . X_{max}/H_i merupakan nilai bagi dari simpangan maksimum benda uji dengan tinggi gelombang datang. Sedangkan T/T_n merupakan nilai bagi dari periode gelombang datang dengan periode alamiah benda uji.



Gambar 26: X/H_i vs T/T_n pada kedalaman 70 cm



Gambar 27: X/H_i vs T/T_n pada kedalaman 80 cm



Gambar 28: X/H_i vs T/T_n pada kedalaman 90 cm

Bila ditinjau dari perbandingan bilangan non-dimensionalnya, benda uji tanpa pemberat

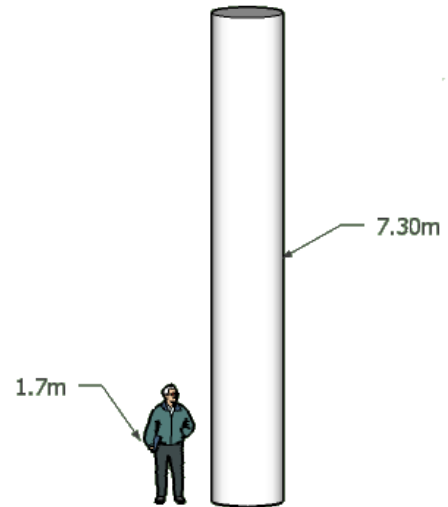
memiliki perbandingan antara simpangan maksimum terhadap gelombang datang paling besar pada kedalaman perairan 90 cm, dengan periode gelombang yang besarnya 2.25 kali lebih besar dari periode alamiahnya. Bila dilihat dari ketiga grafik, seluruh benda uji berespon diluar ekspektasi dimana sebelumnya diperkirakan bahwa nilai simpangan maksimum terjadi pada $T/T_n = 1$. Nilai simpangan maksimum benda uji tanpa pemberat memiliki simpangan maksimum pada $T/T_n = 2.25$, benda uji 1 pemberat pada $T/T_n = 1.8$, dan benda uji 2 pemberat pada $T/T_n = 1.25$. Hal ini mungkin terjadi akibat added mass yang bekerja saat pengujian berlangsung pada benda uji.

Analisa Daya Gelombang pada Prototipe

Dengan PS Frog sebagai acuan dari ukuran prototipe yang berukuran kira-kira setinggi 10 m, skala panjang (N_L) yang digunakan kira-kira sebesar 10, skala waktu (N_T) sebesar 3.162, dan skala massa (N_M) sebesar 1000. Prototipe akan ditempatkan pada laut transisi. Dengan konfigurasi h80b1 yang dipilih, maka dimensi prototipe didapat,

Tinggi prototipe	:	7.3 m
Draft prototipe h80	:	5.72 m
Massa prototipe b1	:	10.46 ton
Frekuensi alamiah b1	:	6.624 s

Perbandingan antara ukuran prototipe ditunjukkan oleh gambar berikut,



Gambar 29: Perbandingan ukuran prototipe dengan manusia

Dalam perhitungan daya yang ditangkap oleh prototipe di laut, digunakan generator berjenis *sliding reaction mass* yang digunakan pada PS Frog. Perhitungan yang akan dilakukan dibuat sesederhana mungkin karena ada beberapa faktor yang digunakan pada PS FROG (seperti *electrical damping*, *variable rate spring*, dsb) pada sistem *Power Take-Off*-nya yang tidak disimulasikan saat pengujian model sehingga diberikan asumsi bahwa prototipe menggunakan sistem PTO yang sama dengan PS FROG.

Berdasarkan data yang didapat dari PS Frog dengan potensi daya tahunan yang dihasilkan sebesar 647 kW per tahun dengan kecepatan sudut 5.56 rad/s, didapat secara kasar konversi kecepatan sudut benda uji ke daya rata-rata tahunan yang dihasilkan sebesar 11.353 kW untuk setiap respon rad/s yang terjadi dengan asumsi bahwa panjang generator yang ditempatkan pada prototipe 10 kali lebih kecil daripada PS Frog.

$$\frac{647 \text{ kW}}{5.56 \text{ rad/s}} \times \frac{1}{10} = \frac{11.353 \text{ kW}}{1 \text{ rad/s}}$$

Pengkonversian ini dilakukan secara kasar tanpa menginput faktor-faktor seperti lintasan *reaction mass* yang dilewati, hubungan massa dari *reaction mass* terhadap daya yang dikumpulkan, dll., sehingga, nilai ini hanya berupa estimasi. Tabel 3 menunjukkan reaksi prototipe h80b1 dengan draft 5.72 m, massa 10.46 ton, dan frekuensi alamiah 6.624 s secara teoritis berdasarkan data lab model sebelumnya dan gelombang laut yang bekerja pada prototipe.

Tabel 3: Potensi Daya yang Dihasilkan Prototipe

Nama Percobaan	Karakteristik Gelombang Laut		Daya per tahun
	H_i (cm)	T (s)	P (kW)
h90b1p06r03	29.278	18.972	1.904
h90b1p06r05	17.338	12.240	2.997
h90b1p06r07	124.346	8.824	4.198
h90b1p06r09	139.434	6.899	5.274
h90b1p06r11	228.014	5.663	6.453
h90b1p08r03	33.627	18.972	1.916
h90b1p08r05	23.972	12.240	3.060
h90b1p08r07	153.659	8.824	4.248
h90b1p08r09	178.096	6.899	5.365
h90b1p08r11	278.466	5.663	6.470
h90b1p10r03	44.983	18.972	1.937
h90b1p10r05	35.228	12.240	3.068
h90b1p10r07	197.151	8.824	4.203
h90b1p10r09	212.387	6.899	5.334
h90b1p10r11	337.156	5.663	6.487

Perairan Indonesia rata-rata memiliki periode gelombang laut antara 6 - 8 detik. Bila dilihat dari respon teoritisnya, bisa disimpulkan bahwa sebuah prototipe mampu menghasilkan daya sebesar 5 – 6 kW, dengan prototipe diletakkan pada perairan transisi di laut Indonesia.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan:

1. Benda uji berukuran panjang 75 cm dengan diameter 10.16 cm dengan massa 8.46 kg pada konfigurasi tanpa pemberat, 10.46 kg pada

konfigurasi 1 pemberat, dan 12.46 pada konfigurasi 2 pemberat.

2. Alat bekerja sesuai ekspektasi dan rencana, dimana terjadi bandul sempurna diseluruh pengujian
3. Keempat *wave gauge* yang digunakan di Laboratorium Gelombang sudah tidak bekerja secara optimal akibat usianya yang sudah tua sehingga data *timeseries* yang menunjukkan elevasi muka air saat pengujian berbeda-beda satu sama lainnya
4. Akibat keterbatasan di laboratorium dimana *wavemaker* hanya dapat bekerja pada *paddle* serta RPM tertentu, pengujian dengan *range paddle* atau RPM yang lebih tinggi tidak memungkinkan. Pantai buatan didalam *wave flume* juga terlihat dalam kondisi yang tidak baik sehingga gelombang yang diciptakan oleh *wavemaker* tidak teredam secara sempurna. Hal ini ditunjukkan oleh koefisien refleksi yang tinggi setelah pemisahan gelombang
5. Seluruh konfigurasi benda uji tidak memberikan respon yang terbaik pada periode gelombang yang sama dengan periode alamiahnya. Hal ini terjadi akibat adanya *added mass* dari gelombang yang bekerja pada benda uji
6. Konfigurasi benda uji 1 pemberat dengan draft 57.2 cm memberikan respon keseluruhan yang paling besar dengan respon simpangan $3.495^\circ - 10.354^\circ$ (9.162 mm – 27.406 mm) dan respon kecepatan sudut 0.537 – 1.889 rad/s
7. Skala model sebesar 1:10 dengan prototipe berukuran panjang 7.5 m dengan diameter 1.016 m, massa 10.46 ton, serta draft 5.72 m dan ditempatkan di laut transisi. Periode alamiah yang didapat sebesar 6.624 s dengan potensi daya yang dihasilkan sebesar 5 – 6.5 kW per unitnya setiap tahun

Saran:

1. Jarak antar *wave gauge* bisa lebih rapat agar memudahkan terpenuhinya syarat Goda-Suzuki dalam penentuan koefisien refleksi didalam *wave flume*
2. Perancangan model fisik bisa dilakukan lebih baik lagi dengan merencanakan juga komponen-komponen kecil pada benda uji seperti baut, mur, dsb. karena berdampak pada perhitungan frekuensi alamiah. Posisinya juga perlu dikondisikan agar benda uji tidak miring saat ditempatkan di air
3. Perekaman data bisa menggunakan sensor ultrasonik yang lebih presisi agar *noise* yang dihasilkan lebih sedikit
4. Akan lebih bagus lagi apabila dilakukan studi terlebih dahulu tentang laut di Indonesia sebelum mendesain modelnya
5. Agar perhitungan potensi daya lebih akurat, hendaknya pengujian di laboratorium mengikutsertakan orang yang paham tentang cara kerja generator terutama jenis *reaction mass/sliding mass*

DAFTAR PUSTAKA

- BP. 2015. "BP Statistical Review of World Energy June 2015", <http://www.bp.com/statisticalreview>, diunduh pada 11 Mei 2016 pukul 11.30
- Bracewell, RH. 1990. "Frog and PS Frog: A Study of Two Reactionless Ocean Wave Energy Converters". PhD Tesis. Universitas Lancaster
- Dean, Robert G. dan Dalrymple, Robert A. 1991. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. Singapura: World Scientific Publishing
- Dewan Energi Nasional Republik Indonesia. 2014. *Outlook Energi Nasional 2014*. Jakarta: Dewan Energi Nasional
- Friigard, P. Dan Andersen, T.L. 2014. "Analysis of Waves: Technical Documentation for WaveLab 3". Aalborg: Department of Civil Engineering, Universitas Aalborg
- Goda, Yashimi dan Suzuki, Yasumasa. 1976. "Estimation of Incident and Reflected Waves in Random Wave Experiments". Proceedings of the 15th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 1, hal 828-845
- Heryana, Rizki Ersi. 2008. "Pengembangan Alat Konversi Energi Gelombang". Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung
- Hughes, Steven A. 1993. *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*. Singapura: World Scientific Publishing
- International Energy Agency. 2015. "Key World Energy Statistics", <http://www.iea.org/>, diunduh pada 11 Mei 2016 pukul 11.42 WIB
- Wikipedia. 2017. "Wave Power" (Online), http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_Power, diakses pada 25 Juli 2016