

# Rancangan Dasar Struktur Pemecah Gelombang Terapung yang Sesuai dengan Kondisi Perairan di Indonesia

Teguh Pairunan Putra

Puslitbang Transportasi Laut, Sungai, Danau dan Penyeberangan, Badan Litbang Perhubungan

Jl. Medan Merdeka Timur No. 5, Jakarta Pusat 10110, Indonesia

E-mail: teguhputra661@yahoo.com

Diterima: 1 April 2019, disetujui: 2 April 2020, diterbitkan *online*: 30 Juni 2020

## Abstrak

Pemecah gelombang (*breakwater*) merupakan struktur pelindung yang mampu mereduksi tinggi gelombang yang menuju daerah tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan rancangan dasar (*basic design*) struktur bangunan pemecah gelombang terapung untuk mengantisipasi kondisi perairan di Indonesia khususnya bagian timur. Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data perairan, seperti tinggi gelombang, kedalaman perairan, tinggi pasang surut, arah dan kecepatan arus; serta data tanah dari hasil pengujian geoteknik di lapangan. Perkiraan dimensi dari struktur tersebut menggunakan parameter koefisien redaman atau koefisien transfer. Hasil analisis diperoleh desain awal bangunan pemecah gelombang tipe terapung yang sesuai untuk perairan Sausapor. Variabel lingkungannya meliputi panjang gelombang ( $L$ ) 13,58 meter; periode gelombang ( $T$ ) 2,95 detik; dan kedalaman deain ( $d$ ) 12 meter. Adapun, rancangan dasar untuk pemecah gelombang terapung, yaitu panjang elemen ( $L_w$ ) 16 meter; lebar struktur ( $B$ ) 7,15 meter; *draft* struktur ( $D$ ) 5 meter; koefisien transmisi ( $C_t$ ) 0,14; tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) 1,1 meter; dan tinggi gelombang transmisi ( $H_t$ ) 0,15 meter. Hasil desain awal tersebut belum memperhitungkan kondisi *mooring* dan pembebanan karena arus. Hal ini memerlukan data yang lebih detail terkait jenis tanah dan arus. Data tanah didapatkan melalui pengujian geoteknik terhadap karakteristik tanah. Adapun, data arus dapat diperoleh dari hasil pengukuran hidro-oseanografi. Kedua data tersebut diperoleh untuk mendapatkan hasil perancangan yang lengkap agar pemecah gelombang terapung dapat ditempatkan di lokasi studi.

**Kata kunci:** Pemecah gelombang terapung, rancangan dasar, gelombang.

## Abstract

**Basic design of suitable floating breakwater structures for the Indonesian seas:** *A breakwater is a structure used to reduce the height of waves coming to areas that require protection. This research was intended to develop the basic design of a floating breakwater structure to anticipate water conditions, especially in Eastern Indonesia. It used secondary data, namely water data (wave height, water depth, tidal height, current direction, and current velocity) and soil data from the results of geotechnical testing in the field. The dimension of the structure was estimated using the damping or transfer coefficient. The analysis results produced an initial design of floating breakwater structures suitable for waters in the research location based on these environmental variables: wavelength ( $L$ )= 13.58 meters, wave period ( $T$ )= 2.95 seconds, and depth ( $d$ )= 12 meters. Meanwhile, the basic floating breakwater design consisted of breakwater length ( $L_w$ )= 16 meters, width ( $B$ )= 7.15 meters, draft ( $D$ )= 5 meters, coefficient of transmission ( $C_t$ )= 0.14, wave height ( $H_i$ )= 1.1 meters, and transmitted wave height ( $H_t$ )= 0.15 meters. The initial design did not take into account the mooring and loading conditions due to sea current. Therefore, it requires more detailed information on soil types and currents, which can be collected by, respectively, geotechnical testing of soil characteristics and hydro-oceanographic measurements. Both data can help produce a complete design suitable for the research location.*

**Keywords :** *Floating breakwater, basic design, wave, hidro-oceanography.*

## 1. Pendahuluan

Pelabuhan mempunyai peran penting dalam pembangunan ekonomi negara. Selain sebagai pintu masuk perpindahan orang dari dan ke setiap pulau, pelabuhan juga merupakan sarana perpindahan barang, baik barang kebutuhan maupun komoditi. Idealnya, suatu pelabuhan terletak di daerah yang terlindung dari gelombang tinggi agar mampu mengakomodasi kapal-kapal yang akan bersandar. Hal ini menimbulkan konsekuensi bahwa gelombang di kolam pelabuhan tidak boleh terlalu

tinggi agar kapal dapat melakukan bongkar muat dengan aman.

Tidak semua wilayah pantai di Indonesia mempunyai karakter gelombang yang tenang dan sesuai untuk kegiatan bongkar muat kapal. Pelabuhan yang perairannya relatif tenang tidak membutuhkan fasilitas tambahan, berbeda halnya dengan pelabuhan laut terbuka yang kondisi tinggi gelombangnya tidak memungkinkan untuk bongkar muat kapal. Biasanya pada pelabuhan laut terbuka, dibangun struktur pemecah gelombang agar kondisi kolam pelabuhan sesuai untuk kapal yang akan

bertambat. Terdapat beberapa tipe struktur pemecah gelombang, yang mampu mereduksi kondisi perairan atau gelombang tinggi pada ketinggian gelombang tertentu. Salah satunya ialah pemecah gelombang tipe terapung. Pembangunan struktur apung di laut, terutama yang berukuran besar, bukan merupakan gagasan baru. Ide ini mulai diperkenalkan oleh Edward R. Armstrong yang juga mengusulkan rancangan seadrome sebagai landasan pacu pesawat di tengah laut pada tahun 1920 [1].

Seperti pemecah gelombang pada umumnya, pemecah gelombang terapung berfungsi untuk mereduksi tinggi gelombang datang di daerah tertentu agar terlindung dari dampak gelombang tinggi. Hal ini karena struktur yang dikembangkan mampu meredam energi dan ketinggian gelombang datang di daerah rencana pelabuhan. pemecah gelombang terapung biasanya dibangun di daerah-daerah laut dalam yang tidak memungkinkan untuk dibangun *conventional breakwater* karena memerlukan pondasi langsung ke tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan rancangan dasar struktur bangunan pemecah gelombang terapung untuk mengantisipasi kondisi perairan di Indonesia, khususnya bagian timur.

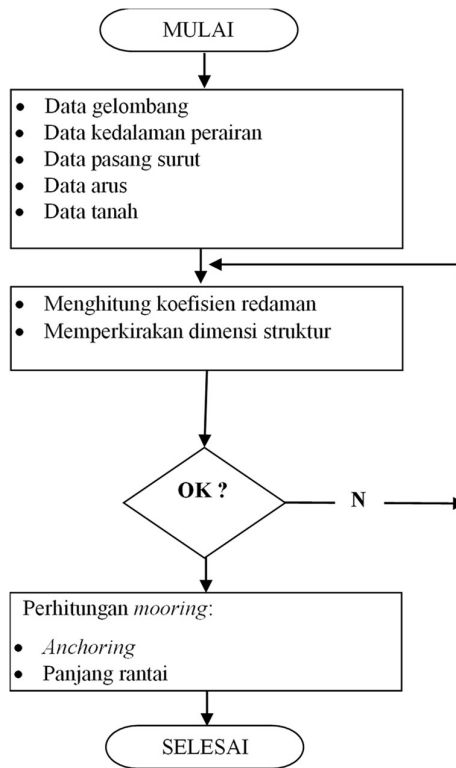
**2. Metodologi**

Metodologi yang diterapkan dalam penelitian ini dimulai dari pengumpulan data, penghitungan, sampai perancangan struktur pemecah gelombang terapung, seperti yang disajikan pada gambar 1.

Penelitian ini membutuhkan data sekunder berupa data perairan, seperti tinggi gelombang, kedalaman perairan, tinggi pasang surut, dan arah dan kecepatan arus, serta data tanah dari hasil pengujian geoteknik di lapangan. Perkiraan dimensi pemecah gelombang terapung menggunakan parameter koefisien redaman atau koefisien transfer. Nilai koefisien ini adalah fungsi dari ketinggian gelombang datang dan ketinggian gelombang teredam atau fungsi dari periode gelombang datang dan periode gelombang teredam.

**2.1. Transmisi Gelombang untuk *Non-Fixed Rigid Structures***

Pemecah gelombang terapung dapat bergerak bebas sehingga digunakan persamaan yang telah dikembangkan oleh Ruol [2]. Dalam hal ini, Ruol mengembangkan faktor modifikasi dari formula Macagno untuk memperkirakan periode *heave floating breakwater* yang tertambat. Persamaannya pada rumus (1).



**Gambar 1.** Metodologi perancangan struktur pemecah gelombang terapung

$$\omega_h = \frac{2\pi}{T_h} \rightarrow Th = \frac{2\pi}{\frac{\sqrt{g}}{D+0.35B}} \tag{1}$$

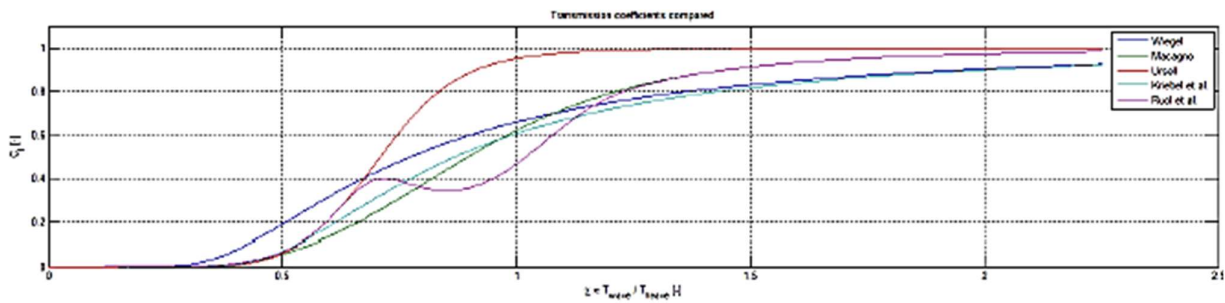
Keterangan:

- Th = Periode *heave floating breakwater*(s)
- g = Percepatan gravitasi(m/s<sup>2</sup>)
- D = *Draft* pemecah gelombang terapung (m)
- B = Lebar pemecah gelombang terapung (m)

Persamaan di atas berlaku untuk relatif *draft* (D/d) antara 0,20-0,60 dan untuk jangka waktu relatif (Tp/Th=x) antara 0,50-1,50. Perbandingan periode puncak gelombang datang (Tp) dengan periode *heave* pemecah gelombang terapung (Th) didefinisikan pada rumus (2).

$$\frac{T_p}{T_h} \approx X = \frac{T_p}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{D+0.35B}} \tag{2}$$

Grafik transmisi gelombang berdasarkan perbandingan panjang gelombang dan periode *heave* serta perbandingan panjang gelombang dan lebar struktur masing-masing disajikan pada Gambar 2 dan 3.



Sumber: [3]

**Gambar 2.** Grafik transmisi gelombang berdasarkan perbandingan periode gelombang ( $T_p$ ) dan periode *heave* ( $T_h$ ).

Teori Ruol *et al.* [4] adalah satu-satunya teori yang memasukkan parameter *draft* ( $D$ ) dan lebar struktur ( $B$ ) pada perhitungan. Gambar 3 menunjukkan pengaruh rasio panjang gelombang ( $L$ ) terhadap lebar struktur ( $B$ ) pada gelombang transmisi. Dari angka tersebut, dapat dilihat bahwa koefisien transmisi meningkat pesat untuk  $0 < L/B < 6,0$  dan peningkatan koefisien transmisi gelombang menjadi lebih lambat untuk  $L/B > 6,0$ .

2.2. Variabel Desain

Perilaku dinamis pemecah gelombang terapung dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor tersebut dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu pengaruh dari lingkungan, pengaruh dari sistem *mooring*, dan pengaruh dari segmen pemecah gelombang yang lain.

2.3. Pengaruh Lingkungan

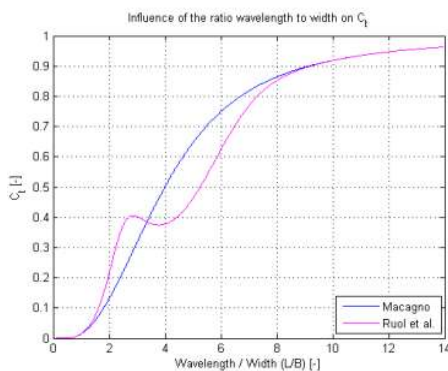
Kondisi gelombang dan angin menciptakan gaya pada pemecah gelombang terapung dalam bentuk gerakan. Semakin dalam bagian pemecah gelombang terapung yang tercelup, maka semakin besar pengaruh gaya gelombang dan arus. Perilaku dinamis pemecah gelombang terapung dipengaruhi oleh massa struktur dan parameter hidrodinamis. Besarnya parameter hidrodinamis tergantung pada frekuensi gerakan dan dimensi struktur pemecah

gelombang terapung. Gerakan *heave* dan *roll* berpengaruh besar terhadap kinerja pemecah gelombang terapung.

2.4. Pengaruh Sistem *Mooring*

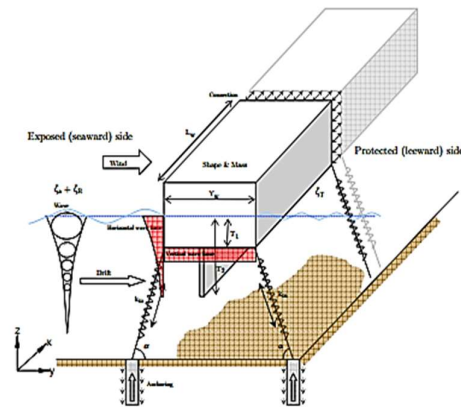
Selain untuk menjaga posisi pemecah gelombang terapung, sistem *mooring* juga merupakan parameter penting untuk mengetahui perilaku dinamis pemecah gelombang terapung.

Gerakan *heave*, *sway*, dan *roll* berpengaruh pada kemampuan pemecah gelombang terapung untuk mereduksi tinggi gelombang. Sistem *mooring* sangat penting untuk memberikan pengaruh positif dalam



Sumber : [3]

**Gambar 3.** Grafik transmisi gelombang berdasarkan perbandingan panjang gelombang ( $L$ ) dan lebar struktur ( $B$ ).



Keterangan:

- km : Kekakuan pegas dari sistem mooring (kg/s)
- Lw : Panjang elemen pemecah gelombang terapung (m)
- T1 (D) : Sarat bagian yang terapung dari pemecah gelombang (m)
- Yw (B) : Lebar bagian terapung dari pemecah gelombang (m)
- c<sub>a</sub> : Amplitudo gelombang datang (m)
- c<sub>R</sub> : Amplitudo gelombang pantul ke arah laut (m)
- c<sub>T</sub> : Amplitudo gelombang transmisi ke arah pelabuhan (m)

Sumber: [5]

**Gambar 4.** Parameter Desain pemecah gelombang terapung

mengendalikan gerakan pemecah gelombang terapung. Adapun, sistem *catenary mooring* yang digunakan memiliki pengaruh yang terbatas pada perilaku dinamis pemecah gelombang terapung dan pengaruh pasang surut.

2.5. Pengaruh Segmen *Pemecah gelombang terapung*

Secara keseluruhan, sistem pemecah gelombang terapung tersusun dari beberapa segmen yang saling terhubung. Sudut gelombang datang memengaruhi gerakan setiap segmennya. Hubungan antarsegmen pemecah gelombang terapung akan berpengaruh pada semua gerak derajat kebebasan. Desain pemecah gelombang terapung dalam penelitian ini mengabaikan interaksi konektivitas antarsegmen .

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan rancangan dasar

Penelitian ini berlokasi di Sausapor, Tambrau, Papua Barat. Berdasarkan data tinggi gelombang dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), ketinggian gelombang datang di daerah tersebut berkisar antara 0,10-1,00 m. Adapun, kecepatan arus dan kedalaman dapat dilihat pada tabel 1.

Berdasarkan data pada tabel 1, daerah tersebut sangat sesuai untuk pemecah gelombang terapung dengan ketinggian gelombang dianggap 1,1 m. Pada penghitungan awal ini diasumsikan bahwa pemecah gelombang terapung akan ditempatkan pada lokasi dengan kedalaman perairan (d) sekitar 12 m dengan memperhitungkan data sekunder berupa kedalaman perairan yang diunduh dari [www.portmaps.com](http://www.portmaps.com) [6].

- Ht = 0,15 m (berdasarkan standar ketenangan perairan untuk kapal kecil)
- Hi = 1,1 m (ketinggian gelombang datang yang menabrak pemecah gelombang)
- Ct = 0,14 (koefisien transmisi)
- Tp = 2 s

Berdasarkan penghitungan dari *Wave Performance Calculation* (gambar 5), didapatkan panjang gelombang (L) 13,58 m. Berdasarkan Gambar 5, nilai L/B antara 1,8-2,0 dapat diperoleh

Tabel 1. Data Sekunder Perencanaan

Lokasi	Tinggi Gelombang	Kecepatan Arus	Kedalaman
Sorong – Sausapor	0,10 – 1,00 m	Barat Daya – Barat Laut, 10-70 cm/s   0,2 – 1,4 knots	12M

Sumber: [7]



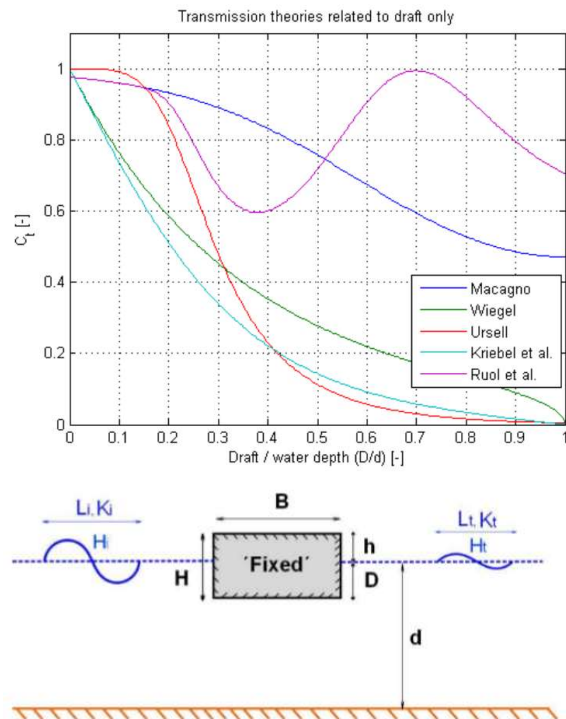
Sumber: [8]

Gambar 5. Karakteristik Gelombang di Perairan Sausapor Berdasarkan Aplikasi *Wave Performance Calculation*

menggunakan nilai koefisien transmisi (Ct) 0,14. Pada penghitungan desain awal, digunakan nilai tengah L/B, yakni 1,9. Kemudian, didapatkan lebar struktur (B) sebesar 7,15 m (diasumsikan menjadi 7 m). Dalam hal ini, besarnya daerah yang akan dilindungi dianggap dua kali lebar Dermaga Sausapor. Saat ini, lebar dermaga tersebut adalah 8 m, sehingga diperkirakan panjang struktur pemecah gelombang terapung sekitar 20 m.

3.2. Hasil Penghitungan Desain Awal

Hasil analisis dimensi pemecah gelombang terapung dapat dilihat pada gambar 6.



Sumber : [2]

Gambar 6. Grafik Transmisi Kedalaman dan rancangan dasar

**Tabel 2.** Hasil Analisis rancangan dasar dari Pemecah gelombang terapung di Perairan Sausapor

Variabel	Nilai	Satuan
Lingkungan		
L (panjang gelombang)	13,58	m
T (periode gelombang)	2,95	sec.
d (kedalaman desain)	12	m
Rancangan Dasar		
Lw (panjang <i>breakwater</i> )	16	m
B (lebar struktur)	7,15	m
D ( <i>draft</i> struktur)	5	m
Ct	0,14	-
Hi	1,1	m
Ht	0,15	m

Sumber: Hasil olahan, 2018

Berdasarkan nilai koefisien transmisi (Ct) 0,14, diperoleh nilai *draft* (D) maksimum sebesar 6 m. Dalam hal ini, didapatkan *draft* sekitar 1 m. Hasil analisis lengkapnya dapat dilihat pada tabel 2.

#### 4. Kesimpulan

Analisis dalam penelitian ini menghasilkan desain awal bangunan pemecah gelombang tipe terapung yang sesuai untuk perairan Sausapor berdasarkan variabel sebagai berikut: panjang gelombang (L) 13,58 meter, periode gelombang (T) 2,95 detik, kedalaman desain (d) 12 meter. Adapun rancangan dasar dari pemecah gelombang terapung adalah panjang pemecah gelombang (Lw) 16 meter, lebar (B) 7,15 meter, *draft* (D) 5 meter, koefisien transmisi (Ct) 0,14, tinggi gelombang data (Hi) 1,1 meter, dan tinggi gelombang transmisi (Ht) 0,15 meter.

Hasil desain awal tersebut belum memperhitungkan kondisi *mooring* dan pembebanan karena arus. Dengan demikian, diperlukan data yang lebih detail terkait jenis tanah dan arus. Data tanah dapat diperoleh melalui pengujian geoteknik terhadap karakteristik tanah, sedangkan data arus dapat diperoleh dari hasil pengukuran hidro-oseanografi. Penggunaan kedua data tersebut dapat menghasilkan rancangan yang lengkap agar pemecah gelombang terapung dapat ditempatkan di lokasi studi.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis T.P. mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Transportasi Laut, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Perhubungan Republik Indonesia yang telah memberikan motivasi dan dukungan secara moril maupun materil.

#### Daftar Pustaka

- [1] "earlyaviators.com," 07 January 2004. [Online]. Available: <http://http://www.earlyaviators.com/earmedwa.htm>. [Accessed 25 09 2019].
- [2] Piero Ruol, Luca Martinelli dan Paolo Pezzutto, "Formula to predict transmission for  $\pi$ -type floating breakwater," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, vol. 139, no. 1, p. 1, 2013.
- [3] Biesheuvel, A.C., Effectiveness of Floating Breakwaters: Wave attenuating floating structures, Netherlands: *Delft University of Technology*, 2013.
- [4] Keh-Han Wan, Wenqi Duan dan Yuqing Sun, "Analytical Model of Wave Loads and Motion Responses for a Floating Breakwater System with Attached Dual Porous Side Walls," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2018, pp. 1-14, 2018.
- [5] Fousert, M.W., J. K. Vrijling, W. F. Molenaar dan J. L. F. van Kessel, Floating Breakwater: Theoretical study of a dynamic wave attenuating system, Netherland: *Delft University of Technology*, 2007.
- [6] "www.portmaps.com," [Online]. Available: <https://www.portmaps.com/eng/map>. [Accessed 10 2018].
- [7] "http://maritim.bmkg.go.id/," BMKG, [Online]. Available: [http://maritim.bmkg.go.id/stasiun\\_maritim/wilayah\\_perairan/?stasiun=vdWKIRrXPcpDiEk136xVeZdxhSs\\_gVifXVvpUN9eyF0](http://maritim.bmkg.go.id/stasiun_maritim/wilayah_perairan/?stasiun=vdWKIRrXPcpDiEk136xVeZdxhSs_gVifXVvpUN9eyF0). [Accessed October 2018].
- [8] "https://planetcalc.com," PlanetCalc, [Online]. Available: <https://planetcalc.com/4422/?license=1>. [Accessed October 2018].
- [9] Huanyu Wang dan Zhaochen Sun, "Experimental study of a porous floating breakwater," *Ocean Engineering*, vol. 37, no. 5-6, pp. 520-527, 2010.
- [10] Zhiwen Yang, Mingxiao Xie, Zhiliang Gao, Ting Xu, Weijun Guo, Xinran Ji dan Chunguang Yuan, "Experimental investigation on hydrodynamic effectiveness of a water ballast type floating breakwater," *Ocean Engineering*, vol. 167, pp. 77-94, 2018.
- [11] Mohamed Ahmed Gesraha, "Analysis of  $\pi$  shaped floating breakwater in oblique waves: I. Impervious rigid wave boards," *Applied Ocean Research*, vol. 28, no. 5, pp. 327-338, 2006.
- [12] Yaoyong Chen, Guoxu Niu dan Yuliang Ma, "Study on Hydrodynamics of a New Comb-type Floating Breakwater Fixed on the Water Surface," *E3S Web of Conferences*, vol. 79, 2019.
- [13] Dezhi NING, Xuanlie Zhao, Malin Götteman dan Haigui Kang, "Hydrodynamic performance of a pile-restrained WEC-type floating breakwater: An experimental study," *Renewable Energy*, vol. 95, pp. 531-541, 2016.
- [14] Bruce L. McCartney, M. ASCE, "Floating breakwater design," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, vol. 111, no. 2, pp. 304-318, 1985.
- [15] Vryhof of Anchors, Anchor Manual 2010 The Guide to Anchoring, The Netherlands, 2010.
- [16] American Petroleum Institute. API American Petrol, Recommended practice for design and analysis of stationkeeping systems for floating structures, N.W., Wash. : *API Publishing*, 1996, 1997.
- [17] Weiliang Qiao, Keh-Han Wang, Wenqi Duan dan Yuqing Su, "Analytical Model of Wave Loads and

- Motion Responses for a Floating Breakwater System with Attached Dual Porous Side Walls," *Mathematical Problems in Engineering*, 2018.
- [18] Jian Dai, C.M. Wang, Tomoaki Utsunomiya dan Wenhui Duan, "Review of recent research and developments on floating breakwaters," *Ocean Engineering*, vol. 158, pp. 132-151, 2018.
- [19] Bing Ren, Ming He, Yabin Li dan Ping Dong, "Application of smoothed particle hydrodynamics for modeling the wave-moored floating breakwater interaction," *Applied Ocean Research*, vol. 67, pp. 277-290, 2017.
- [20] Fang He, Jie Leng dan Xizeng Zhao, "An experimental investigation into the wave power extraction of a floating box-type breakwater with dual pneumatic chambers," *Applied Ocean Research*, vol. 67, pp. 21-30, 2017.
- [21] Farshad Madhi, Ronald W. Yeun dan Meghan E. Sinclair, "U.S. Patent No. 9,416,766," in U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC, U.S. Patent and Trademark Office, 2016.
- [22] Hans W. Gabler, "Draft Manuscript as Material Foundation for Genetic Editing and Genetic Criticism and basic design floating breakwater," *Journals of the European Society*, vol. 12, 2016.