

**ANALISIS STABILITAS *BREAKWATER* TENGGELAM
TIPE BATU PECAH**

(Skripsi)

Oleh

FARHAN RACHMANDA GRAHA CAHYADI



**TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

ABSTRACT

STABILITY ANALYSIS OF SUBMERGED BREAKWATER WITH RUBBLE STONE TYPE

By

FARHAN RACHMANDA GRAHA CAHYADI

To prevent damage or abrasion caused by waves in coastal areas, one of the efforts that can be done is to build a building that is able to reduce wave energy before it reaches the coast, namely by building a breakwater. The sinking breakwater was chosen because the sinking breakwater is more efficient in terms of aesthetics because it does not eliminate the natural impression on the beach and tends to imitate the concept of coral reefs.

In this study, maximum incoming wave height (H_i) value occurs in the model with a peak width of 9.2 cm, height of 8.12 cm, a slope of 1: 1.5 and a unit weight of armor (W) 14.18 grams, with a breakwater depth of 6 cm. The maximum limit for the value of maximum incoming wave height (H_i) is 7.25 cm, with a wavelength (L) of 53cm and a wave period (T) of 0.56 seconds and designed to knowing the characteristics of the waves that occur in the breakwater type as well as evaluating the stability of the protected layer unit on the rubble stone type submerged breakwater.

From the results of observations of waves in the breakwater model, the averagewave incoming wave height (H_i) is 4.53 cm, the average wavelength (L) is 65,08 cm, the average wave speed (C) is 82,51 cm/s, And from the results of the research conducted, it can be concluded that the breakwater used is said to be feasible because it has a percentage of damage of 0% and has a maximum stability coefficient (K_D) value of 1,58 where the value is close to the safe value.

Keywords : *Wave, Breakwater, Submerged Breakwater*

ABSTRAK

ANALISIS STABILITAS *BREAKWATER* TENGGELAM TIPE BATU PECAH

Oleh

FARHAN RACHMANDA GRAHA CAHYADI

Untuk mencegah kerusakan atau abrasi yang disebabkan oleh gelombang pada daerah pantai salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan membuat suatu bangunan yang mampu meredam energi gelombang sebelum sampai ke daerah pantai yaitu dengan membangun *breakwater*. Dipilihnya *Breakwater* tenggelam dikarenakan *breakwater* tenggelam lebih efisien dari segi estetika karena tidak menghilangkan kesan alamiah pada pantai dan cenderung meniru konsep terumbu karang.

Pada penelitian ini tinggi gelombang maksimal (H_i) terjadi pada model dengan dimensi lebar puncak 9,2 cm, tinggi 8,12 cm, kemiringan 1 : 1,5 dan berat unit armor (W) 14,18 gram, dengan kedalaman *breakwater* 6 cm. Batas maksimal tinggi gelombang datang (H_i) adalah 7,25 cm, dengan panjang gelombang (L) 53cm dan periode gelombang (T) 0,56 detik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas unit lapis lindung *breakwater* tenggelam tipe batu pecah serta mengetahui karakteristik gelombang yang terjadi pada *breakwater* tipe batu pecah.

Dari hasil pengamatan gelombang pada model *breakwater* didapatkan tinggi gelombang datang (H_i) rata-rata sebesar 4,53 cm nilai panjang gelombang (L) rata-rata sebesar 65,08 cm, kecepatan (C) rata-rata gelombang sebesar 82,51 cm/s, dan dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa *breakwater* yang digunakan dikatakan layak karena memiliki persentase kerusakan sebesar 0% dan memiliki nilai koefisien stabilitas (K_D) maksimum sebesar 1,58 dimana nilai tersebut mendekati nilai angka aman.

Kata Kunci : Gelombang, Pemecah Gelombang, Pemecah Gelombang Tenggelam

**ANALISIS STABILITAS *BREAKWATER* TENGGELAM
TIPE BATU PECAH**

Oleh

FARHAN RACHMANDA GRAHA CAHYADI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : Analisis Stabilitas Breakwater Tenggelam Tipe Batu Pecah

Nama Mahasiswa : Farhan Rachmanda Graha Cahyadi

Nomor Pokok Mahasiswa : 1515011008

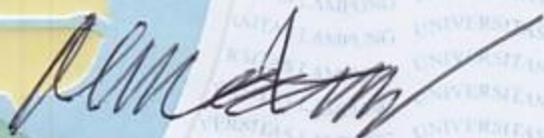
Program Studi : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik



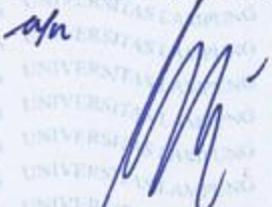
MENYETUJUI
I. Komisi Pembimbing

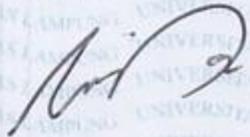

Subah Tugiono, S.T., M.T.
NIP 19730407 200012 1 001


Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.
NIP 19670514 199303 1 002

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil,


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 19893 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Subuh Tugiono, S.T., M.T.

Sekretaris

: Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.

Anggota

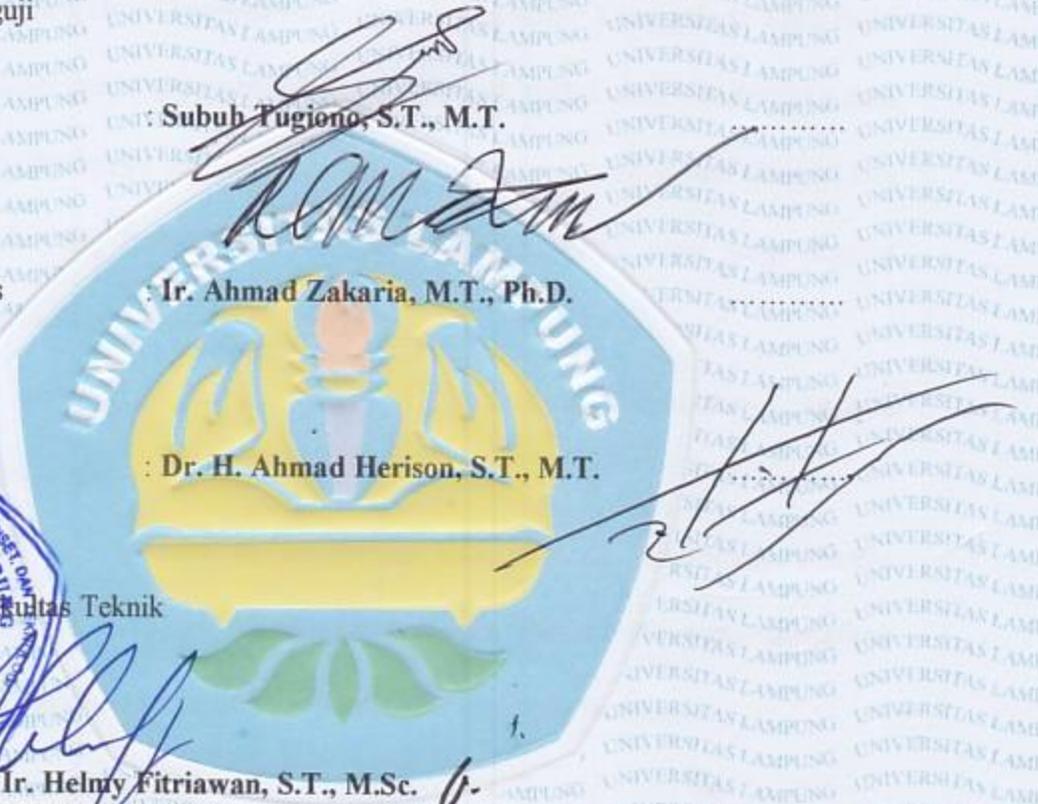
: Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 19 Mei 2022



PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

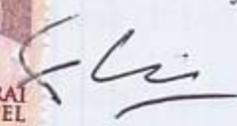
1. Skripsi dengan judul “**Analisis Stabilitas *Breakwater* Tenggelam Tipe Batu Pecah**“ adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut dengan plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 14 April 2022

Pembuat Pernyataan




Farhan Rachmanda

RIWAYAT HIDUP



Farhan Rachmanda, lahir di Tangerang, 16 Juli 1997, yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan dari Bapak Fitra Arda dan Ibu Astinar. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) di TK Keluarga Sakinah (2002-2003), melanjutkan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri Sukasari 4 Tangerang (2003-2007) kemudian SD Negeri 11 Batusangkar (2007-2009), lalu Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Batusangkar (2009-2012), dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di MAN 1 Bandar Lampung (2012-2015). Pada tahun 2015, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur undangan Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS), penulis tercatat sebagai Anggota Departemen Usaha dan Karya (2016/2017) dan Anggota Departemen Hubungan Luar (2017/2018). Penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) tahun 2019 pada periode II di Desa Kebun Dalam, Kecamatan Abung Tinggi, Kabupaten Lampung Utara. Tahun 2020 penulis juga melaksanakan Kerja Praktik (KP) pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Hermina, Bandar Lampung.

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi dengan judul “**Stabilitas *Breakwater* Tenggelam Tipe Batu Pecah**” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil di Universitas Lampung.

Pada penyusunan skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak atas bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan, antara lain kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Subuh Tugiono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I skripsi saya yang telah memberikan masukan perihal judul skripsi dan telah meluangkan

waktu serta memberikan pengarahan kepada saya dalam proses penyelesaian skripsi ini.

5. Bapak Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing II skripsi saya yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada saya demi kesempurnaan skripsi ini.
6. Bapak Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji saya yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan kepada saya demi kesempurnaan skripsi ini.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Lampung.
8. Seluruh teknisi dan karyawan di Fakultas Teknik, yang telah memberikan bantuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
9. Kedua orang tua, adik, keluarga yang amat sangat saya sayangi. Terima kasih sudah selalu hadir untuk memberikan kasih sayang, do'a restu, dan dukungan setiap harinya, sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
10. Teman-teman baik saya sampai saat ini, Rizki Kurniawan, M. Nur Kholiq, Didit Kuswadi, Lodewick dan yang lainnya yang tidak bisa saya sebut satu persatu.
11. Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung terkhusus teman-teman seperjuanganku angkatan 2015, terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan bantuannya selama penulis menjalani perkuliahan.

12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, karena itu saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 14 April 2022

Penulis,

Farhan Rachmanda

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Gambaran Umum Pantai.....	7
2.2. Pemecah Gelombang	8
2.3. Transmisi dan Transformasi Gelombang.....	14
2.4. Gelombang.....	15
2.5. Model Fisik	22
2.6. Pemecah Gelombang Sisi Miring	24
2.7. Kerusakan Lapis Lindung.....	24
2.8. Skala Model	25
2.9. Studi Literatur	28

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pembuatan Model	30
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	31
3.3. Pelaksanaan Pengujian.....	32
3.4. Diagram Alir Penelitian	35

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Refleksi Gelombang.....	36
4.2. Transmisi Gelombang.....	40
4.3. Perhitungan Koefisien Stabilitas Batu Pecah.....	43
4.4. Perbandingan dan Penskalaan Model	44

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	47
5.2. Saran	48

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Klasifikasi bentuk bangunan <i>breakwater</i>	13
Tabel 2. Klasifikasi gelombang berdasarkan periode	22
Tabel 3. Batas kelayakan model lapisindung.....	25
Tabel 4. Data model <i>breakwater</i> tenggelam	30
Tabel 5. Hasil nilai tinggi gelombang datang	37
Tabel 6. Hasil nilai tinggi gelombang refleksi.....	39
Tabel 7. Hasil nilai koefisien refleksi	40
Tabel 8. Data nilai tinggi transmisi.....	41
Tabel 9. Data nilai koefisien transmisi.....	42
Tabel 10. Nilai koefisien stabilitas batu pecah.....	43
Tabel 11. Dimensi lapangan.....	46
Tabel 12. Ukuran protoripe menggunakan penskalaan.....	46

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Sketsa definisi pantai secara teknis	7
Gambar 2. Pemecah gelombang dan garis pantai yang terbentuk	11
Gambar 3. Kondisi pola arus yang terjadi disekitar lokasi pemecah gelombang tenggelam	11
Gambar 4. Karakteristik gelombang	17
Gambar 5. Model <i>breakwater</i>	33
Gambar 6. Diagram alir penelitian.....	35
Gambar 7. Ilustrasi gelombang datang.....	37
Gambar 8. Ilustrasi gelombang refleksi	38
Gambar 9. Sketsa pengujian gelombang menggunakan <i>breakwater</i>	40

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara yang memiliki garis pantai terpanjang urutan kedua di dunia dengan garis pantai yakni lebih dari 50.000 km. Dengan kondisi tersebut, kita memiliki potensi yang besar untuk mengembangkan daerah kawasan pantai baik dari segi sosial maupun ekonomi. Salah satunya adalah dengan melakukan pembangunan infrastruktur yang dibutuhkan, seperti dermaga dan pelabuhan. Kawasan pesisir pantai sendiri merupakan salah satu kawasan yang sering mengalami kerusakan akibat pengelolaan air yang kurang optimal dan sangat dipengaruhi oleh arus gelombang yang berasal dari laut (Kristiyanti, 2016).

Gelombang yang tinggi tidak hanya dapat menyebabkan terjadinya tsunami, namun juga dapat menimbulkan dampak buruk atau kerusakan pada daerah sekitarnya. Beragam kegiatan yang berkembang dikawasan pantai seperti tempat pariwisata, industri, pemukiman, pelabuhan, perikanan/tambak dan sebagainya. Serta dapat menimbulkan kerusakan yang mengakibatkan kerugian untuk lingkungan sekitar pantai dan muara seperti tanah pertanian, dan perikanan yang dapat mengganggu aktivitas nelayan, serta menghambat laju pertumbuhan perekonomian masyarakat (Kristiyanti, 2016).

Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan penguatan di daerah pantai dengan membangun *revetment* yang artinya energi gelombang dihancurkan saat sampai di pantai. Bangunan tersebut merupakan bangunan yang dibangun pada garis pantai atau pada daratan yang fungsinya untuk melindungi pantai dari serangan gelombang serta mengurangi erosi pada pantai yang banyak digunakan untuk aktivitas pariwisata.

Adapun solusi lain untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan cara meredam atau mengurangi energi gelombang sebelum mencapai pantai yaitu dengan cara membangun *breakwater*. *Breakwater* ini merupakan bangunan pelindung yang berperan sebagai pemecah gelombang. Struktur ini berperan penting untuk melindungi pantai dari hantaman gelombang, maka gelombang yang datang tidak menghantam pantai secara langsung melainkan sudah pecah pada suatu tempat yang cukup jauh dari tepian pantai sehingga energi gelombang yang sampai ke pantai cukup kecil.

Bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) dibagi menjadi dua tipe yaitu tenggelam dan tidak tenggelam. Konstruksi *breakwater* tidak tenggelam atau yang puncaknya muncul ke permukaan dari segi estetika tidak terlihat indah, dan membutuhkan biaya dan pelaksanaan konstruksi yang lebih besar serta dinilai kurang ramah lingkungan karena menghilangkan kesan alamiah dari pantai. Sedangkan penggunaan *breakwater* tenggelam dari segi estetika sangat baik dan relatif jauh lebih murah (ekonomis).

Karena *breakwater* berfungsi untuk menghancurkan baik seluruh maupun sebagian energi gelombang datang, maka *breakwater* dapat mengalami

kerusakan (tidak stabil), beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan *breakwater* antara lain yaitu ketinggian air laut, kekuatan gelombang datang, dan pengangkutan sedimen oleh gelombang datang. Maka dari itu, penulis mengambil judul penelitian Analisis Stabilitas *Breakwater* Tenggelam Tipe Batu Pecah.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas dapat disimpulkan bahwa rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

- 1) Mengetahui hasil stabilitas *breakwater* tenggelam dengan uji pemodelan fisik.
- 2) Bagaimana standar kelayakan sebagaimana standar CERC (1984) sehingga stabilitas lapis lindung dapat bekerja dengan baik untuk melindungi *breakwater*.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Mengevaluasi stabilitas unit lapis lindung pada *breakwater* tenggelam dengan menggunakan metode pemodelan fisik.
- 2) Menganalisis stabilitas *breakwater* tenggelam tipe batu pecah dengan menggunakan metode Hudson.
- 3) Mempelajari bagaimana karakteristik gelombang yang terjadi pada model *breakwater*.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dibatasi dengan batasan masalah sebagai berikut.

- 1) Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- 2) Pada penelitian ini perhitungan yang dilakukan hanya menggunakan skala benda uji laboratorium.
- 3) Pengambilan data dilakukan selama 60 menit.
- 4) Bahan untuk melakukan percobaan ini adalah menggunakan batu pecah dengan berat jenis 2,6.
- 5) Peredaman gelombang menggunakan *breakwater* tenggelam trapesium tipe batu.
- 6) Pada penelitian ini, beberapa variabel tidak dapat dimodelkan dari penelitian acuan dikarenakan keterbatasan alat di laboratorium, diantaranya yaitu:
 - a) Kemiringan pantai pada penelitian ini diabaikan.
 - b) Model *breakwater* hanya menggunakan 2 lapis terdiri dari 1 lapis lindung dan 1 lapis dalam (*filter*).

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini, antara lain adalah sebagai berikut:

- 1) Memperoleh kajian mengenai stabilitas pada *breakwater* tenggelam dengan pemodelan fisik.
- 2) Mendapatkan hasil persentase tingkat kerusakan pada *breakwater* tenggelam.
- 3) Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan evaluasi stabilitas *breakwater* tenggelam.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang landasan teori dari berbagai literatur yang mendukung pembahasan mengenai studi kasus yang diambil.

BAB III : METODE PENELITIAN

Berisikan hal-hal yang berkaitan dengan bahan-bahan, metode- metode dan pelaksanaan penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang hasil penelitian dan pembahasan dari data

yang didapatkan setelah dilakukan penelitian.

BAB V : PENUTUP

Terdiri dari hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan berdasarkan data-data yang dihasilkan dari penelitian.

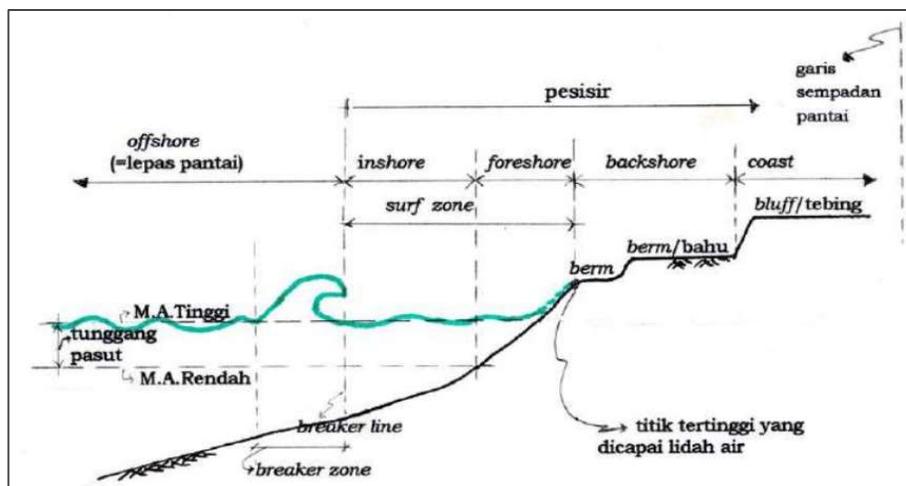
DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi-referensi yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Pantai

Pantai merupakan daerah pertemuan antara laut dan daratan yang diukur pada saat pasang tertinggi dan surut terendah. Daerah pantai adalah suatu daratan beserta perairannya dimana pada daerah tersebut masih saling dipengaruhi baik oleh aktivitas darat maupun laut. Wilayah pesisir adalah daerah peralihan antara ekosistem darat dan laut yang dipengaruhi oleh perubahan di darat dan di laut. Pengamanan pantai adalah upaya untuk melindungi dan mengamankan daerah pantai dan muara sungai dari kerusakan akibat erosi, abrasi, dan akresi (Permen PU No. 07/PRT/M/2015).



Gambar 1. Sketsa definisi pantai secara teknis (Muliati, 2010).

2.2 Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang adalah prasarana yang dibangun untuk memecahkan gelombang atau ombak dengan cara menyerap sebagian energi gelombang. Pemecah gelombang digunakan untuk mengendalikan abrasi yang dapat mengikis garis pantai dan juga untuk menenangkan gelombang di pelabuhan sehingga kapal berlabuh lebih mudah. (Wirawan and Arman, 2018). Sedangkan menurut Triatmodjo (2010), *breakwater* adalah salah satu bangunan pantai yang pekerjaannya dibangun di lepas pantai dan sejajar pantai. *Breakwater* atau pemecah gelombang itu sendiri adalah pemecah gelombang yang dibangun untuk melindungi wilayah perairan dari gangguan gelombang. Pemecah gelombang dibagi menjadi dua bagian, yaitu pemecah gelombang darat dan pemecah gelombang lepas pantai. Tipe pertama yaitu sambungan pantai bertujuan untuk melindungi perairan pelabuhan, sedangkan untuk tipe kedua yaitu lepas pantai yang bertujuan untuk melindungi pantai terhadap erosi (Triatmodjo, 2010).

Menurut CERC (1984) dalam *Shore Protection Manual*, klasifikasi bangunan pemecah gelombang adalah sebagai berikut:

- a. Dari aspek posisinya terhadap garis pantai, *breakwater* dibedakan menjadi *shore connected breakwater* yang salah satunya terhubung dengan garis pantai dan *offshore breakwater* yang tidak terhubung dengan garis pantai.
- b. Dari aspek posisinya terhadap permukaan air laut (SWL) dibedakan dalam *breakwater* tidak tenggelam (*subaerial breakwater*) yaitu

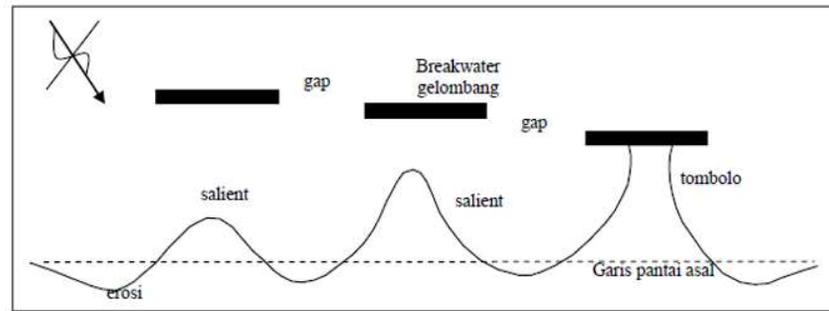
breakwater yang puncaknya berada diatas permukaan air dan *breakwater* tenggelam (*submerged breakwater*) yang permukaannya berada di bawah permukaan air.

- c. Jika ditinjau dari konstruksinya maka dikenal berbagai tipe *breakwater* antara lain *rubble-mound breakwater*, *artificial armor breakwater*, *stone asphalt breakwater*, *cellular-steel sheet-pile breakwater*, *concrete-caisson breakwater* dan lain-lain.
- d. Dari aspek porositas tubuh *breakwater*, *breakwater* dibedakan menjadi *breakwater* pejal (*impermeable breakwater*) dan *breakwater* porous (*permeable breakwater*).

Bentuk dan karakteristik pemecah gelombang dibagi menjadi beberapa jenis sesuai kemampuan untuk meredam gelombang yang dihasilkan. Menurut bentuknya, pemecah gelombang dibedakan menjadi bangunan sisi miring, sisi tegak dan campuran yaitu tipe tenggelam dan tidak tenggelam. Dari pengembangan teknologi struktur pemecah gelombang lepas pantai, telah dihasilkan LCB atau *Low-Crested Breakwaters* yaitu struktur pemecah gelombang lepas pantai tenggelam. Beberapa literatur menyimak mulai berkembang penggunaan LCB di berbagai negara seperti USA, UK, Jepang, dan Itali (Mangor *et al.*, 2008), bahkan di Jepang penggunaan LCB menjadi sangat populer dan lebih banyak digunakan dari pada *breakwaters* konvensional (Pilarczyk, 2003). Adapun keunggulan LCB antara lain adalah pengurangan dampak estetika, biaya yang lebih murah, dapat meningkatkan kualitas air dan produktivitas biologi serta dapat mengurangi dampak hambatan angkutan sedimen (Kularatne *et al.*, 2008).

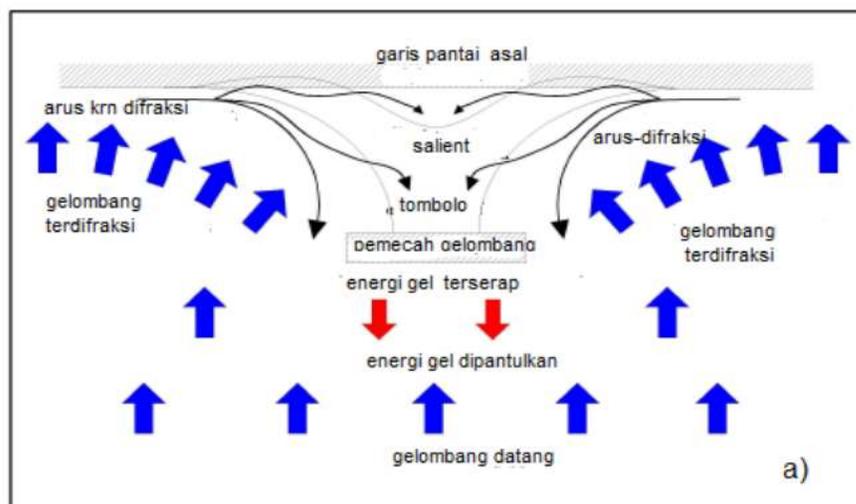
Pengurangan energi gelombang yang datang ke arah pantai dapat dilakukan dengan membangun pemecah gelombang sejajar pantai (*offshore breakwaters*). Pemecah gelombang yang menirukan prinsip perlindungan alami seperti terumbu karang. Gelombang besar yang menghantam pantai akan tertahan dan hancur di depan pantai sehingga mengurangi energi gelombang yang datang. Dengan berkurangnya energi gelombang pada daerah bayangan pemecah gelombang, maka transpor sedimen pada daerah tersebut akan berkurang dan akan terjadi pengendapan.

Pemecah gelombang tenggelam dapat dibedakan dalam 3 kategori yaitu, *dynamically stable reef breakwater*, *statically stable lowcrested breakwater* dan *statically stable submerged breakwater* (Van der Meer and Daemen, 1994) Pemakaian pemecah gelombang tenggelam, termasuk *submerged breakwater* sudah banyak digunakan pada era belakangan ini (Gomez Pina and Fernandez de Alarcon, 1991). *Submerged breakwater* merupakan pemecah gelombang terendam yang ketinggian ambang batas awalnya di bawah permukaan air diam (SWL). Pemecah gelombang ini mungkin tidak berfungsi saat air pasang. Untuk hasil yang efektif, pemecah gelombang harus dipasang pada saat air surut. Fungsi utama dari *submerged breakwater* adalah untuk mereduksi energi gelombang yang diteruskan ke pantai melalui mekanisme pemecah gelombang, disipasi gelombang, gesekan dan refleksi gelombang. Ilustrasi pemecah gelombang dan garis pantai dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pemecah gelombang dan garis pantai yang terbentuk (Durgappa, 2008).

Gelombang transmisi disebabkan oleh gelombang luapan atau *overtopping* dan *run-up* yang melewati struktur. Dalam kasus ini dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain lebar bagian atas struktur, kedalaman air di dasar struktur, kemiringan sisi bangunan, porositas dan diameter nominal dari struktur lapis lindung. Pada struktur pemecah gelombang permeabel, transmisi gelombang disebabkan oleh penetrasi gelombang yang menembus pori-pori dalam struktur. Proses perubahan garis pantai secara teoritis dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3. Kondisi pola arus yang terjadi disekitar lokasi pemecah gelombang tenggelam.

Refleksi gelombang adalah proses perpindahan energi dari satu arah ke arah lain ketika gelombang datang dihalangi oleh suatu rintangan. Sebagian atau energi gelombang datang kemungkinan akan dipantulkan ke arah laut oleh penghalang. Besarnya gelombang yang dipantulkan atau direfleksikan sangat bergantung pada kedalaman air di dasar struktur (Briganti *et al.*, 2004), sedangkan kemiringan di sisi struktur tidak terlalu berpengaruh (Dattatri *et al.*, 1978).

Dari hasil beberapa penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa tinggi muka air dan tinggi gelombang rencana merupakan faktor penentu dalam desain perencanaan pemecah gelombang yang umumnya berkaitan dengan stabilitas struktur terhadap gaya-gaya gelombang. Perencanaan untuk suatu pemecah gelombang meliputi penentuan berat unit lapis lindung yang mampu menahan terhadap gelombang rencana. Kestabilan *breakwater* dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu keadaan lingkungan pantai dan karakteristik fisik struktur. Faktor lingkungan pantai meliputi tinggi gelombang (H_s), periode gelombang (T_s), durasi (jumlah) gelombang, arah datang gelombang, dan kelompok gelombang. Sedangkan untuk faktor fisik strukturnya meliputi diameter nominal unit lapis lindung, bentuk dan kekasaran lapis lindung, kemiringan lereng, lebar bagian atas atau puncak struktur, tinggi struktur dan permeabilitas inti. Faktor lain yang juga mempengaruhi stabilitas struktur tumpukan batu ialah metode penempatan lapis lindung yang akan digunakan.

Tabel 1. Klasifikasi bentuk bangunan *breakwater*

Tipe	Keuntungan	Kerugian
<i>Breakwater Sisi Miring</i>	1) Elevasi puncak bangunan rendah	1) Dibutuhkan jumlah material yang besar
	2) Gelombang refleksi kecil/meredam energi gelombang	2) Pelaksanaan pekerjaan lama
	3) Kerusakan berangsur- angsur	3) Kemungkinan kerusakan pada waktu pelaksanaan besar
	4) Perbaikan mudah	4) Lebar dasar besar
	5) Murah	
<i>Breakwater Sisi Tegak</i>	1) Pelaksanaan pekerjaan cepat	1) Mahal
	2) Kemungkinan kerusakan pada waktu pelaksanaan kecil	2) Elevasi puncak bangunan tinggi
	3) Luas perairan pelabuhan lebih besar	3) Tekanan gelombang besar
	4) Sisi dalamnya dapat digunakan sebagai dermaga atau tempat tambatan	4) Diperlukan tempat pembuatan kaison yang luas
	5) Biaya perawatan kecil	5) Sulit diperbaiki saat rusak
		6) Diperlukan peralatan berat
		7) Erosi kaki fondasi
<i>Breakwater Campuran</i>	1) Pelaksanaan pekerjaan cepat	1) Mahal
	2) Kemungkinan kerusakan pada waktu pelaksanaan kecil	2) Diperlukan peralatan berat
	3) Luas perairan pelabuhan besar	3) Diperlukan tempat pembuatan kaison yang luas
	4) Sisi dalamnya dapat digunakan sebagai dermaga atau tempat tambatan	
	5) Biaya perawatan kecil	

Sumber: Triatmodjo (1999)

2.3 Transmisi dan Transformasi Gelombang

Respon garis pantai terhadap keberadaan pemecah gelombang dikendalikan oleh setidaknya 14 variabel (Hanson and Kraus, 1991) delapan diantaranya merupakan variabel yang sangat penting yaitu (1) jarak dari pantai; (2) panjang struktur; (3) karakteristik transmisi dari struktur; (4) kemiringan dasar pantai; (5) tinggi gelombang; (6) periode gelombang; (7) orientasi sudut dari struktur; dan (8) arah gelombang dominan.

Analisis transformasi gelombang pada *breakwater* dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai variabel non-dimensional dalam bentuk grafik. Transmisi gelombang (K_t), merupakan rasio antara tinggi gelombang transmisi (H_t) dengan tinggi gelombang datang (H_i). Gelombang refleksi didefinisikan sebagai K_r , yang merupakan rasio antara tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i). Koefisien transmisi juga tergantung pada tinggi relatif pemecah gelombang (h_c/H_i) dan kemiringan gelombang. Pengaruh tinggi gelombang datang, kemiringan sisi struktur dan lebar puncak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya transmisi gelombang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur dengan sisi yang lebih curam (sudut yang lebih besar), mentransmisikan gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan sisi yang lebih landai, baik untuk kondisi puncak tenggelam maupun tidak. Secara fisik, perbedaan ini dapat dijelaskan dengan efek gesekan dasar. Energi gelombang yang bmerambat sepanjang slope akan terdisipasi oleh gesekan permukaan. Sisi yang landai memiliki panjang yang

lebih besar dibandingkan dengan sisi yang tegak, sehingga energi gelombang akan terdisipasi lebih besar dan mengurangi transmisi gelombang.

Adapun yang mempengaruhi refleksi adalah tinggi relatif pemecah gelombang (h_c/H_i) dan periode gelombang. Parameter *surf* adalah rasio kemiringan struktur terhadap tinggi dan periode gelombang. Trend data menunjukkan bahwa refleksi gelombang meningkat secara signifikan dengan meningkatnya nilai ζ .

Tingkat kerusakan pemecah gelombang yang terkena berbagai jenis gelombang tergantung pada ketinggian gelombang datang. Kombinasi tekanan, drag dan gaya angkat memiliki kemampuan untuk mengangkat unit lapisindung dari posisi semula dan memindahkannya ke lokasi lain. Selain itu, kedalaman air dan bentuk geometri bangunan juga merupakan parameter yang mempengaruhi stabilitas struktur itu sendiri.

2.4 Gelombang

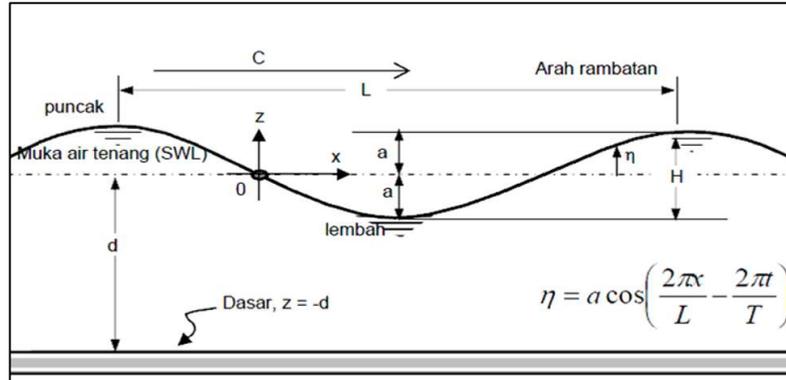
Gelombang adalah salah satu bentuk energi yang dapat membentuk pantai, menimbulkan arus laut, dan menyeret sedimen pada air dalam arah tegak lurus sepanjang pantai. Gelombang laut dibangkitkan oleh gaya yang bekerja di sekitar perairan di antaranya disebabkan oleh gaya angin dan gaya tarik yang disebabkan oleh benda-benda di luar angkasa terutama yang diakibatkan oleh bulan dan matahari (Triatmodjo, 2014).

1. Karakteristik Gelombang

Efek gelombang merupakan faktor terpenting pada teknik pantai. Gelombang merupakan faktor utama pada pembentukan geometri dan komposisi pantai dan mempunyai pengaruh penting pada perencanaan dan perancangan pelabuhan, jalan air (alur pelayaran) usaha perlindungan pantai, struktur pantai dan pekerjaan-pekerjaan lainnya. Gelombang permukaan pada umumnya memperoleh energinya dari angin. Sebagian besar energy gelombang ini akhirnya terdisipasi di daerah dekat pantai dan di pantai (CERC, 1984).

Gelombang yang ada di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitannya. Gelombang tersebut merupakan gelombang angin, gelombang pasang surut, gelombang tsunami dan gelombang yang dihasilkan dari kapal yang bergerak (Triatmodjo, 1999).

Gelombang yang dominan dipakai dalam perencanaan teknik pantai adalah gelombang yang dibangkitkan oleh angin atau dikenal juga dengan gelombang osilasi, biasanya ditentukan dengan tinggi, panjang dan periode seperti pada Gambar 4 tinggi gelombang adalah jarak vertikal dari puncak ke dasar, panjang gelombang adalah horisontal antara puncak berturut-turut. Periode gelombang adalah waktu antara puncak berturut-turut yang melewati suatu titik tertentu.



Gambar 4. Karakteristik gelombang (Triatmodjo, 1999).

Gerak gelombang di permukaan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a) Gerak osilasi, yaitu gerak gelombang yang disebabkan oleh molekul air yang bergerak dalam gerak melingkar. Osilasi biasanya terjadi di laut lepas, yaitu di bagian laut dalam. Gelombang disebabkan oleh kecepatan angin, lamanya angin bertiup, luas daerah yang ditiup angin (*fetch*) dan kedalaman laut. Gelombang ini memiliki tinggi dan lembah gelombang. Puncak gelombang akan pecah di dekat pantai, yang dikenal sebagai *breaker* atau gelora.
- b) Gerak translasi, yaitu gelombang osilasi yang pecah dan mengikuti garis pantai, bergerak searah dengan gerak gelombang tanpa diimbangi oleh gerakan ke belakang. Gelombang ini tidak memiliki puncak dan lembah yang kemudian dikenal dengan istilah *surf*. Gelombang ini biasa digunakan untuk berselancar atau *surfing*.
- c) Gerak *swash* dan *back swash* berbentuk gelombang yang telah menyentuh garis pantai. Munculnya gelombang disebut *swash*, sedangkan ketika kembali disebut *back swash*.

Secara umum gelombang dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu:

a) Gelombang pendek (*wave of short period*)

Yaitu gelombang dengan periode kurang dari 5 menit. Gelombang ini sering dikenal dengan ombak dan dapat diakibatkan oleh angin, gempa dan gerakan kapal. Bentuk gelombang pendek biasanya tidak teratur (*irreguler*).

b) Gelombang panjang (*long waves*)

Yaitu gelombang dengan periode beberapa jam. Gelombang panjang sering dikenal dengan pasang surut yang terjadi akibat gaya tarik menarik antara bumi dan benda – benda ruang angkasa terutama bulan dan matahari.

Gelombang laut terbentuk karena adanya angin yang bertiup diatas permukaan laut. Didalam mempelajari gelombang laut ada 2 istilah yang biasa dipakai:

a) *Sea* (ombak) adalah gelombang yang masih berada di daerah yang masih dipengaruhi angin yang bentuknya sangat tidak teratur.

b) *Swell* (alun) adalah gelombang yang telah ke luar dari daerah pengaruh angin yang bentuknya teratur dan mempunyai panjang gelombang besar.

Berdasarkan teori *Airy*, gerak gelombang dianggap sebagai kurva sinus harmonis (*sinusoidal progressive wave*), gelombang dapat dijelaskan secara geometris (Triatmodjo, 1999) berdasarkan:

- a) Tinggi gelombang (H), yaitu jarak antara puncak dan lembah gelombang dalam satu periode gelombang.
- b) Panjang gelombang (L), jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.
- c) Amplitudo gelombang (A), besarnya diambil dari setengah tinggi gelombang.
- d) Periode gelombang (T), yaitu interval waktu yang dibutuhkan antara 2 puncak gelombang (*wave crest*).
- e) Frekuensi (f), yaitu jumlah puncak gelombang yang melewati titik tetap per-detik. Frekuensi berbanding terbalik dengan periode.

2. Gelombang Pecah

Gelombang pecah adalah sistem yang sangat kompleks. Bahkan dari kejauhan sebelum gelombang pecah, bentuknya tidak lagi sinusoidal. Jika gelombang pecah, energi yang diterima dari angin berkurang. Sebagian energi dikembalikan ke laut, sebagian energi bergantung pada kemiringan pantai, semakin kecil sudut kemiringan pantai, semakin sedikit energi yang dikembalikan. Sebagian besar energi hilang dalam bentuk panas saat mencampur buih dan pasir dalam skala kecil. Gelombang yang merambat dari laut dalam ke pantai mengalami perubahan bentuk karena pengaruh kedalaman laut.

Pengaruh kedalaman laut menjadi jelas pada kedalaman kurang dari setengah panjang gelombang. Di laut lepas, profil gelombang berbentuk sinusoidal, semakin dangkal puncak gelombang maka semakin tajam puncak dan semakin datar lembahnya. Kemudian, kecepatan dan panjang gelombang secara bertahap akan berkurang dan ketinggian gelombang akan meningkat. Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi terhadap panjang gelombang.

Teori gelombang linier menjadi dasar dalam menganalisa distribusi gelombang. Keterangan yang paling mendasar dari gelombang sinusoidal yang menjadi acuan dari teori gelombang ini adalah gelombang panjang (L), tinggi gelombang (H), periode (T) dan kedalaman air (d). Kemudian dilakukan penyelidikan terhadap kondisi gelombang pada kedalaman air direncana lokasi pemecah gelombang untuk mengetahui apakah gelombang pecah atau tidak.

Gelombang merupakan faktor utama dalam penentuan tata letak (*lay out*) pelabuhan, alur pelayaran dan perencanaan bangunan pantai (Triatmodjo, 1999). Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menyebabkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus (*onshore – offshore transport*) dan sepanjang pantai (*longshore transport*), serta menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada struktur pantai. Gelombang memiliki beberapa variasi mulai dari riak setinggi beberapa centimeter hingga gelombang badai setinggi 30 m.

Gelombang dilaut dapat terjadi atau dibangkitkan oleh beberapa hal, seperti gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut), angin (gelombang angin), letusan gunung atau pergeseran lempeng bumi, dan gempa di laut/longsor bawah air yang menimbulkan gelombang yang bersifat merusak (tsunami), dan lain sebagainya. Gelombang dapat menimbulkan energi yang dapat mempengaruhi profil pantai dan transport sedimen searah tegak lurus dan sepanjang pantai, yang dapat menyebabkan gaya-gaya bekerja pada bangunan pantai (Pokaton *et al.*, 2013).

Gelombang dibagi menjadi beberapa bagian, antara lain:

- a) Puncak gelombang, adalah titik tertinggi gelombang.
- b) Lembah gelombang, adalah titik terendah gelombang di antara dua puncak gelombang.
- c) Panjang gelombang, adalah jarak horizontal antara dua puncak gelombang atau antara dua lembah gelombang.
- d) Tinggi gelombang, adalah jarak vertikal antara puncak dan dasar gelombang.
- e) Periode gelombang, adalah waktu yang diperlukan dua puncak berurutan untuk melalui suatu titik.

Tidak ada hubungan yang pasti antara panjang gelombang dan tinggi gelombang, namun semakin jauh jarak puncak gelombang, memungkinkan gelombang yang semakin tinggi (Nontji, 2002).

Tabel 2. Klasifikasi gelombang berdasarkan periode
(Pond and Pickard, 1983)

Periode	Panjang Gelombang	Jenis Gelombang
0 – 0,2 Detik	Beberapa centimeter	Riak (ripples)
0,2 – 9 Detik	mencapai 130 meter	Gelombang angin
9 – 15 Detik	Beberapa ratus meter	Gelombang besar (swell)
15 – 30 Detik	Ribuan meter Ribuan kilometer	Long swell
0,5 menit – 1 jam		Gelombang dengan periode yang Panjang (termasuk tsunami)
5, 12, 25 jam	Beberapa kilometer	Pasang surut

2.5 Model Fisik

Pemodelan fisik adalah eksperimen yang dilakukan dengan membuat model prototipe yang lebih kecil dan identik dengan kemiripan yang cukup memadai. Pemodelan fisik dilakukan jika ada masalah dalam prototipe yang sulit diperoleh karena berbagai keterbatasan. Studi lapangan dapat memberikan data yang akurat, tetapi seringkali memakan biaya lebih dan mengandung variabel alami yang dapat mempersulit interpretasi data. Efek-efek fisik antar elemen fluida merupakan hal yang sangat berpengaruh untuk suatu penelitian mengenai karakter fluida. Dengan model fisik, kita dapat memvisualisasikan dan dapat dijamin keakuratannya. Hasil yang divisualisasikan dapat berupa hal-hal yang secara teoritis atau menggunakan komputasi komputer tidak dapat diselesaikan (Hughes, 1993).

Beberapa kekurangan pemodelan fisik antara lain sebagai berikut:

- a) Efek laboratorium; dapat mempengaruhi simulasi secara keseluruhan jika pendekatan yang tepat tidak diambil tergantung pada prototipe. Efek laboratorium sering muncul dari ketidakmampuan untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realistis karena efek keterbatasan model pada simulasi.
- b) Fungsi gaya dan kondisi batas yang bekerja di alam tidak termasuk dalam model, misalnya gaya geser angin di permukaan.
- c) Efek skala; hal ini terjadi karena model lebih kecil dari prototype. Tidak semua variabel yang relevan dapat dimodelkan dalam hubungan yang sebenarnya satu sama lain, dengan kata lain, efek skala menyederhanakan masalah melalui asumsi dalam numerik.
- d) Biaya dalam melaksanakan pembuatan model fisik lebih mahal daripada model numerik.

Menurut Yuwono (1992) gagasan dasar pemodelan skala model adalah membentuk kembali masalah atau fenomena pada prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi dalam model sebangun (mirip) dengan fenomena prototipe. Analogi tersebut berupa sebangun geometrik, sebangun kinetik. Hubungan antara model dan prototipe disimpulkan dengan skala, karena masing-masing parameter memiliki skala tersendiri dan besaran yang tidak sama. Skala dapat diartikan sebagai rasio antara nilai prototipe dan nilai parameter dalam model.

2.6 Pemecah Gelombang Sisi Miring

Lapis lindung memiliki fungsi sebagai pelindung struktur pemecah gelombang dari serangan gelombang. Karena itu material lapis lindung tersusun dari batu lindung paling besar dan berat yang bertujuan agar stabil terhadap serangan gelombang. Lapisan penyaring merupakan bagian yang penting dan tidak boleh diabaikan dalam perancangan pemecah gelombang. Tergerus atau tercucinya lapisan inti yang berlebihan karena tidak efektifnya filtrasi dan perlindungan akan menyebabkan sedimentasi dan kerusakan struktural.

2.7 Kerusakan Lapis Lindung

Pemecah gelombang dapat mengalami berbagai kerusakan tergantung pada susunan dan konfigurasi strukturnya, kondisi gelombang yang menyerang dan tinggi muka air laut relatif selama terjadi serangan gelombang jenis kerusakan yang diidentifikasi oleh Jensen (1984) antara lain adalah kerusakan lapis lindung. Kerusakan lapis lindung terjadi karena material tergeser dari posisi semula akibat gelombang yang menerjang. Bahan lapisan pelindung berubah karena gaya gelombang yang berlebihan, terutama selama penurunan dan lonjakan (Jensen, 1984). Sementara Bruun (1985) menyatakan bahwa penyebab kerusakan pada pemecah gelombang karena longsohnya lapis lindung. Kerusakan lapis lindung dapat pula disebabkan karena terserang gelombang pecah (*plunging wave*), gelombang berantai (*wave trains*) yang terkonsentrasi, durasi gelombang yang cukup panjang, erosi pada bagian kaki pemecah gelombang, serta ketidaksesuaian material yang digunakan.

Tabel 3. Batas kelayakan model lapis lindung

Pengujian	Batas Kelayakan	Keterangan
Stabilitas Lapis Lindung	Kerusakan $\leq 0,5\%$ pada Hs rencana	Standar PT. Semen Gresik (1991)
	Kerusakan $\leq 5\%$ pada Hs rencana	Standar CERC (1984)
	Kerusakan $\pm 2,5\%$ pada Hs rencana	Standar Van der Meer (1994)

Sumber : PT. Semen Gresik (1997) dan CERC (2006)

2.8 Skala Model

Penentuan besarnya skala model dilakukan dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a) Untuk memproduksi gelombang dengan periode dan tinggi gelombang yang cukup besar, agar secara kualitatif dapat mencerminkan keadaan prototipe secara baik.
- b) Fasilitas dan material yang tersedia untuk uji model.

Model fisik yang digunakan adalah model 3 dimensi tak terdistorsi (*undistorted*), yaitu dengan skala horizontal dan vertikal adalah sama. Terdapat beberapa kriteria kesebangunan yang ditetapkan untuk memenuhi pembuatan sebuah model fisik yaitu, sebangun geometrik, sebangun kinematik, dan sebangun dinamik. Kesebangunan geometrik terpenuhi jika model dan prototipe memiliki bentuk yang sama tetapi dimensinya berbeda dan dengan skala tertentu. Perbandingan ini disebut dengan skala geometrik model (nL). Skala geometrik model ini dapat dituliskan dalam bentuk matematis sebagai berikut:

$$n_L = \frac{L_p}{L_m}$$

Keterangan:

n_L = skala panjang

L_p = ukuran (panjang) prototipe

L_m = mewakili ukuran (panjang) model

Untuk model tanpa distorsi (*undistorted*), skala vertikal sama dengan skala horizontal atau dapat disebut skala tinggi (n_h) sama dengan skala panjang (n_L). Untuk model yang sebangun geometrik sempurna, maka skala luas dan volume dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = \frac{[L_p]^2}{[L_m]^2} = (n_L)^2$$

$$n_V = \frac{V_p}{V_m} = \frac{[L_p]^3}{[L_m]^3} = (n_L)^3$$

Dari persamaan di atas, skala panjang, kedalaman, luas dan volume, telah digambarkan dengan persamaan geometrik suatu model, yaitu skala panjang = skala kedalaman = n_L , skala area = n_L^2 , sedangkan skala volume = n_L^3 .

Kesebangunan kinematik terpenuhi jika model dan prototipe secara geometrik sebangun dan rasio percepatan terhadap kecepatan pada dua titik yang terkait pada model dan prototipe untuk suatu pengaliran adalah sama. Skala kecepatan dan percepatan masing-masing dapat diwakili dengan n_U dan n_a .

$$n_U = \frac{U_p}{U_m} = \frac{n_L}{n_T} = \frac{n_R}{n_T}$$

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{\frac{L_p}{T_p^2}}{\frac{L_m}{T_m^2}} = \frac{n_L}{n_T^2}$$

Kesebangunan dinamik terpenuhi apabila antara model dan prototipe sebangun geometrik dan kinematik, dan gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototipe untuk seluruh pengaliran pada arah yang sama adalah sama besar, sehingga persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n_F = \frac{F_p}{F_m}$$

Pada model aliran air pada saluran terbuka, gaya yang dominan adalah gaya berat, sehingga gaya-gaya lain yang bekerja pada sistem dapat diabaikan. Dengan demikian, model pada studi ini dipelajari berdasarkan angka Froude yang merupakan akar dari perbandingan antara gaya inersia dan gaya berat. Dalam studi model, angka Froude pada model dan prototipe adalah sama.

$$\frac{V}{\sqrt{gD_m}} = \frac{V}{\sqrt{gD_p}}$$

$$\frac{V_p}{V_m} = \left(\frac{g_p}{g_m} \times \frac{D_p}{D_m} \right)^{0,5}$$

$$n_V = n_U = \left(\frac{D_p}{D_m} \right)^{0,5} = n_L^{0,5}$$

Persamaan di atas menghasilkan skala kecepatan dibandingkan dengan skala panjang model, yaitu $n_V = n_L^{0,5}$.

Dengan cara yang sama, dapat diperoleh skala debit sebagai berikut:

$$Q = V \times A$$

$$n_Q = n_V \times n_A$$

$$n_Q = n_L^{0,5} \times n_L^2 = n_L^{2,5}$$

2.9 Studi Literatur

- 1) Acuan penelitian ini berdasarkan Jurnal Rekayasa Vol. 13 No. 1 yang berjudul Gugusan Karang di Pantai Kecamatan Panjang Sebagai *Breakwater* Alami oleh Jokowinarno (2009). Penelitian tersebut mendapatkan hasil desain pengamanan pantai berupa *breakwater* alami dengan gugusan karang yang dimanfaatkan demi memperhatikan aspek konservasi lingkungan berupa dimensi *breakwater*, yaitu puncak *breakwater* memiliki lebar 345 cm dengan lapis keras berupa beton bertulang mutu K225 cukup untuk satu lajur kendaraan bermotor roda empat, khususnya untuk operasi dan pemeliharaan.
- 2) Penelitian yang menjadi referensi pada penelitian ini Jurnal Oseanografi Volume 2 Nomor 1 (J-OCE UNDIP) yang berjudul Studi Model Fisik Stabilitas Desain Breakwater Terhadap Hempasan Gelombang Di Pantai Glagah Yogyakarta oleh Wardhani *et al.* (2013). Penelitian tersebut mengkaji dan mempelajari kegagalan unit lapis lindung pada breakwater di Pelabuhan Adikarta Glagah. Pengujian stabilitas lapis lindung menggunakan model fisik dilaksanakan di Laboratorium Model Fisik BPDP – BPPT Yogyakarta menggunakan metode eksperimental.

- 3) Hasil dalam penelitian tersebut *breakwater* Pelabuhan Tanjung Adikarta Glagah jika dibangun sesuai desainnya yaitu tetrapod dengan berat 7 ton digunakan pada *breakwater* dengan kemiringan 1:2 dengan tinggi gelombang rencana 5 meter dan periode gelombang di lapangan 10 detik dan 12 detik, kerapatan tetrapod terpasang 4.257 buah/Ha, memiliki stabilitas hidraulik cukup baik dan akan memiliki performa baik dimana tingkat kerusakan hanya 0,71%. Sedangkan batas kelayakan sebagaimana standar CERC (1984) adalah 5%, dengan nilai koefisien stabilitas (K_D) sebesar 12,57 maka tetrapod tersebut akan bekerja dengan baik untuk melindungi *breakwater*.

III. METODE PENELITIAN

Untuk penelitian ini dilakukan pemodelan fisik yang diuji di Laboratorium Hidrolika, Fakultas Teknik Universitas Lampung, Bandar Lampung. Adapun bahan yang dipakai untuk penelitian ini adalah model fisik *breakwater* tenggelam, batu dan air. Model fisik *breakwater* tenggelam berbentuk trapesium.

3.1 Pembuatan Model

Pada penelitian ini digunakan model *breakwater* tenggelam tipe batu pecah berbentuk trapesium. Dimensi *breakwater*, kedalaman muka air dan berat lapis dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Data model *breakwater* tenggelam

	Item	Model
Dimensi <i>Breakwater</i>	Lebar Puncak	9,2 cm
	Tinggi <i>Breakwater</i>	8,12 cm
	Lebar Dasar	33,6 cm
Kedalaman Muka Air 1		0 cm
Kedalaman Muka Air 2		2 cm
Kedalaman Muka Air 3		4 cm
Kedalaman Muka Air 4		6 cm
Berat Lapis Luar		14,18 gram
Berat Lapis Dalam		1,418 gram

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Peralatan Penelitian

1) Venturi Flume

Venturi Flume adalah salah satu struktur penting yang dibangun pada saluran terbuka. Biasanya digunakan untuk mengukur kecepatan aliran serta menyelidiki karakteristik aliran. Alat ini dapat mengukur kecepatan aliran perambatan gelombang di dalam *flume*.

2) Kamera

Sebagai alat yang digunakan untuk merekam jalannya aliran gelombang yang terjadi agar dapat mengetahui pergerakan gelombang secara keseluruhan dalam waktu yang berdekatan.

3) Alat pembuat gelombang

Sebagai pembuat gelombang selama percobaan berlangsung dengan variasi kecepatan 0,52 rad/s; 0,90 rad/s; 1,25 rad/s; 1,67 rad/s atau 9,80 cm/s; 16,96 cm/s; 23,56 cm/s; 31,48 cm/s.

3.2.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah bahan dengan jenis yang sama, dengan prototipe yaitu batu pecah dengan berat jenis 2,6 untuk lapis dalam (*filter*) dengan berat 1,4184 gram dan lapis luar (lapis lindung) dengan berat 14,1843 gram.

Batu pecah yang dipakai dikelompokkan untuk memudahkan penelitian yaitu sebagai berikut:

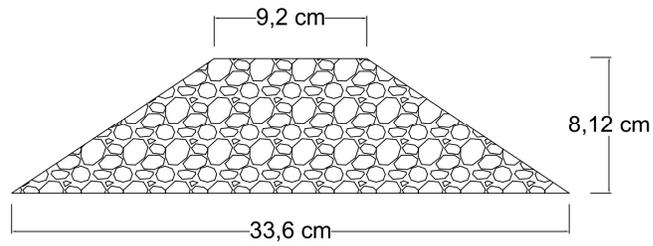
- 1) Batu pecah lapis dalam atau *filter* dengan berat 1,4184 gram dipakai batu lolos saringan dengan diameter 9,5 mm dan tertahan di saringan berdiameter 6,3 mm dengan berat rata-rata 1,138 – 1,4184 gram.
- 2) Batu pecah lapis luar (lapis lindung) dengan berat 14,1843 gram dipakai batu lolos saringan dengan diameter 19 mm dan tertahan di saringan berdiameter 9,5 mm dengan berat rata-rata antara 11,3778 – 14,1843 gram.

3.3 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Lampung. Berikut adalah tahap pelaksanaan pengujian.

1) Pembuatan Model

Model *breakwater* berbentuk trapesium dengan skala 1:30 dan perbandingan kemiringan 1:1,5 terbuat dari tumpukan batu. Dimensi *breakwater* berdasarkan hasil perhitungan skala yaitu berukuran tinggi 8,12 cm, lebar dasar 33,6 cm, serta lebar puncak *breakwater* 9,2 cm.



Gambar 5. Model *breakwater*.

2) Persiapan Pengujian

- a) Melakukan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan untuk melaksanakan penelitian.
- b) Memasang alat pembangkit gelombang pada saluran venturi *flume*.
- c) Membuat model *breakwater* sesuai titik yang telah ditentukan.
- d) Mengisi venturi *flume* dengan air hingga ketinggian mencapai tinggi muka air yang telah ditetapkan dari dasar *breakwater*.

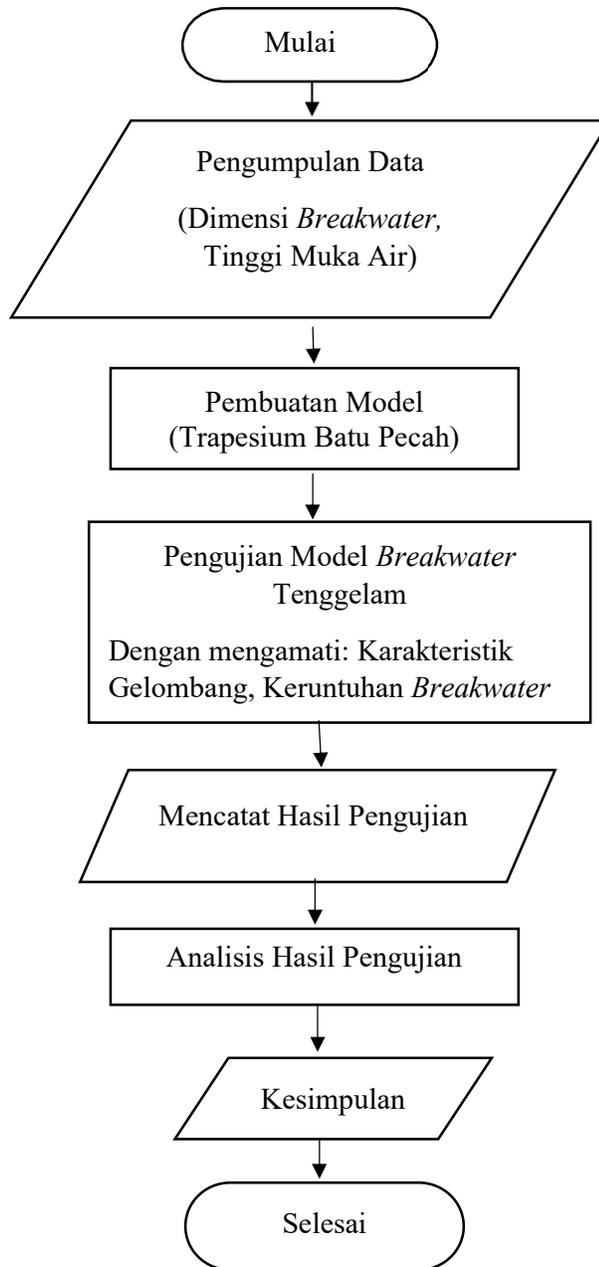
3) Pengujian Keruntuhan *Breakwater*

- a) Menghidupkan alat venturi *flume* dan alat pembuat gelombang. Lalu pengujian dilakukan pada *breakwater* dengan tinggi muka air 2 cm dari puncak *breakwater*.
- b) Membuat gelombang buatan dengan alat pembangkit gelombang secara terus-menerus selama 60 menit dengan variasi kecepatan tertentu, lalu mencari keruntuhan pada model *breakwater* dengan menaikkan tinggi muka air.

- c) Melakukan perekaman setiap 10 menit selama 5 menit terhadap *breakwater* dalam pengamatan pengujian.
 - d) Mengamati kerusakan pada model *breakwater* yang berarti batu pecah mengalami keruntuhan atau berpindah dari tempat semula. Setelah itu, mengambil dan menghitung banyaknya keruntuhan.
- 4) Analisis Hasil
- a) Dari pengujian didapat hasil berupa data refleksi gelombang yang terjadi, persentase kerusakan *breakwater* pada posisi tinggi air 17 cm, 19 cm, 21 cm dan nilai keruntuhan *breakwater* pada tinggi muka air tertentu berdasarkan variasi kecepatan alat.
 - b) Mendapatkan model fisik *breakwater* tipe batu pecah yang mempunyai presentase keruntuhan kecil dan memenuhi standar.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Proses dan hasil dari penelitian yang akan dilakukan akan dijelaskan dengan bagan alir sebagai berikut:



Gambar 6. Diagram alir penelitian.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dalam penelitian ini dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Pada penelitian ini nilai tinggi gelombang datang maksimal (H_i) terjadi pada model dengan dimensi lebar puncak 9,2 cm, tinggi 8,12 cm, kemiringan 1 : 1,5 dan berat unit armor (W) 14,18 gram, dengan kedalaman *breakwater* 6 cm. Batas maksimal tinggi gelombang datang (H_i) adalah 7,25 cm, dengan panjang gelombang (L) 53cm dan periode gelombang (T) 0,56 detik. Model masih dikatakan stabil atau layak, karena pergerakan lapis lindung sebesar 0% jauh dibawah batas maksimum yaitu 5% (CERC, 1984).
- 2) Koefisien stabilitas didapat sebesar 1,58 (Hudson) masih berada di bawah nilai maksimum koefisien stabilitas (K_D) yang diizinkan yaitu 2.
- 3) Berdasarkan hasil pengamatan gelombang pada model *breakwater* didapatkan tinggi gelombang datang (H_i) rata-rata sebesar 4,53 cm, nilai panjang gelombang (L) rata-rata sebesar 65,08 cm, periode gelombang (T) rata-rata sebesar 0,63 detik, kecepatan (C) rata-rata gelombang sebesar 82,51 cm/s, koefisien refleksi (K_r) rata-rata sebesar 0,10 dan koefisien transmisi (K_t) rata-rata sebesar 0,63.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, ada beberapa saran yang dapat diberikan jika nantinya akan diadakan penelitian dengan topik yang sama agar hasil penelitian selanjutnya dapat terus berkembang. Saran yang diberikan antara lain adalah sebagai berikut:

- 1) Dikarenakan variasi dalam penelitian ini hanya ditinjau dari kecepatan alat pembangkit gelombang, diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat membuat variasi yang lain, misalnya jenis material unit lapis lindung yang dipakai.
- 2) Melakukan inovasi berdasarkan penelitian ini dengan tipe *breakwater* yang berbeda.
- 3) Melakukan perhitungan dengan menggunakan skala yang menyesuaikan dengan kemampuan alat.

DAFTAR PUSATAKA

- Briganti, R., van der Meer, J., Buccino, M., and Calabrese, M., 2004. Wave Transmission Behind Low-Crested Structures. *In: Coastal Structures 2003*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 580–592.
- Bruun, P., 1985. *View on ScienceDirect Design and Construction of Mounds for Breakwaters and Coastal Protection*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier. Science Publisher B.V.
- CERC, 1984. Shore Protection Manual US Army. *Coastal Engineering*, 1 (4th ed., 2 Vol), 652.
- Dattatri, J., Raman, H., and Shankar, N.J., 1978. Performance Characteristics of Submerged Breakwaters. *Coastal Engineering Proceedings*, 1 (16), 130.
- Durgappa, R., 2008. Coastal protection works, Seventh International Conference of Coastal and Port Engineering in Developing Countries, (COPEDEC VII), Dubai, UAE.
- Gomez Pina, G. and Fernandez de Alarcon, V.J.M., 1991. Experiments on coastal protection submerged breakwaters. A way to look at the results. *Proceedings of the Coastal Engineering Conference*, 2, 1592–1605.
- Hughes, S.A., 1993. *Physical models and laboratory techniques in coastal engineering*. 7th ed. Singapore: World Scientific.
- Jensen, O.J., 1984. *A monograph on rubble mound breakwaters*. Denmark: Danish Hydraulic Institute (DHI).
- Jokowinarno, D., 2009. Gugusan Karang Di Pantai Kecamatan Panjang Sebagai

- Breakwater Alami. *Jurnal Rekayasa*, (Vol 13, No 1 (2009): Edisi April Tahun 2009), hal. 29--42.
- Kristiyanti, M., 2016. Pemberdayaan masyarakat pesisir pantai melalui pendekatan ICZM (Integrated Coastal Zone Management). *Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu*, (180), 752–760.
- Kularatne, S.R., Kamphuis, J.W., and Dabees, M.A., 2008. Morphodynamics Around Low Crested Breakwaters -a Numerical Study, (COPEDEC VII), Dubai, UAE.
- Kurniawan, R., Tugiono, S., and Wahono, E.P., 2021. Evaluasi Stabilitas Breakwater pada Kecamatan Panjang. *Vol 1*, 1 (1), 1–11.
- Mangor, K., Mocke, G., Giarrusso, C., Smit, F., Bloch, R., Fuchs, J., Lumborg, U., and Niemann, S., 2008. Shoreline Management of the Dubai Coast.
- Van der Meer, J.W. and Daemen, I.F.R., 1994. Stability and Wave Transmission at Low-Crested Rubble-Mound Structures.
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 07 / PRT / M / 2015 tentang Pengamanan Pantai*. Indonesia.
- Muliati, Y., 2020. *Rekayasa pantai*. 1st ed. Bandung: Itenas.
- Nontji, A., 2002. *Laut Nusantara*. 3rd ed. Jakarta: Djambatan.
- Pilarczyk, K.W., 2003. Design of low-crested (submerged) structures – an overview –. *6th Intern. Conf. on Coastal and Port Engineering in Developing Countries*, 1–19.
- Pokaton, K.Y., Tawas, H.J., Jasin, M.I., and Mamoto, J.D., 2013. Perencanaan Jetty Di Muara Sungai Ranoyapo Amurang. *Jurnal Sipil Statik*, 1 (6), 434–443.

- Pond, S. and Pickard, G.L., 1983. *Introductory Dynamical Oceanography*. 2nd ed. Butterworth-Heinemann.
- Surendro, B., Yuwono, N., and Darsono, S., 2014. Transmisi dan Refleksi Gelombang Pada Pemecah Gelomban Ambang Rendah Ganda Tumpukan Batu (Jurnal, 20, 179-187), 20, 187.
- Triatmodjo, B., 1999. *Teknik Pantai*. 2nd ed. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B., 2010. *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B., 2014. *Hidrologi Terapan*. 2nd ed. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wardhani, S.R., Rochaddi, B., Kelautan, J.I., and Diponegoro, U., 2013. Studi Model Fisik Stabilitas Desain Breakwater terhadap Hempasan Gelombang di Pantai Glagah YOGYAKARTA. *Journal of Oceanography*, 2 (1), 57–65.
- Wirawan and Arman, 2018. Uji Model Fisik Pengaruh Pemecah Gelombang 3 Kubus Beton Berlubang dengan Konfigurasi Lurus dan Zig Zag terhadap Koefisien Transmisi Gelombang. Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Yuwono, N., 1992. *Teknik Pantai Volume I*. 1st ed. Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.