

TUGAS AKHIR

***KARAKTERISTIK GELOMBANG MELALUI DINDING
PEMUSAT ENERGI PADA CATCHWATER SHORE
PROTECTION-DUAL SLOPE (CSP-DS) MODEL ZIG-ZAG***

***CHARACTERISTIC OF WAVES THROUGH ENERGY
CONCENTRATE IN THE CATCHWATER SHORE
PROTECTION-DUAL SLOPE (CSP-DS) ZIG-ZAG MODEL***

**SRI WAHYUNI
D011 17 1529**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**KARAKTERISTIK GELOMBANG MELALUI DINDING PEMUSAT ENERGI
PADA CATCHWATER SHORE PROTECTION-DUAL SLOPE (CSP-DS)
MODEL ZIG-ZAG****Disusun dan diajukan oleh:****SRI WAHYUNI****D011 17 1529**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 16 Februari 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan


menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,




Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsvad Thaha, MT
NIP. 196012311986091001



Silman Pongmanda, ST., MT
NIP. 197210102000031001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
Nip. 196805292002121002

PENYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Sri Wahyuni, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “ **Karakteristik Gelombang Melalui Pemusat Energi Pada Catchwater Short Protection Dual-Slop (Csp-Ds) Model Ziz-Zag**”, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 1 November 2021

Yang membuat pernyataan,



Sri Wahyuni

NIM : D011 17 1529

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Allah Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Karakteristik Gelombang Melalui Dinding Pemusat Energi Pada Catchwater Shore Protection Dual-Slope (CSP-DS) Model Zig-Zag**” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Bapak Silman Pongmanda, S.T, M.T.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Ibu Wa Ode Zulia Prihatini, S.T, M.T**, selaku Ketua Tim penelitian yang selalu memberikan motivasi dan dukungan selama proses penelitian.
5. **Bapak Dr. Hasdinar Umar, S.T, M.T.**, selaku Kepala Laboratorium Kepantaraan dan Lingkungan Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
6. **Bapak Muh Hidayat RY**, selaku laboran pada Laboratorium Kepantaraan dan Lingkungan Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah turut membantu selama proses penelitian.
7. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

8. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Darlan Husni** dan ibunda **Andi Hijrawati Sunusi** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan selama ini, baik spiritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. **Kak Anshari**, selaku partner dalam penelitian ini, yang selalu membantu dan memberikan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. **Kiki, Asti, Dayat, Arfan**, selaku teman seperjuangan yang selalu menemani dan membantu selama proses perkuliahan sampai pengerjaan tugas akhir ini.
4. **Nur Hafidzah, Irfandi**, selaku sahabat yang selalu menemani dan memberikan motivasi selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
5. Rekan-rekan di **KKD KEAIRAN**, yang senantiasa membantu selama proses penelitian serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Saudara-saudari **PLASTIS 2018**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2017** yang senantiasa memberikan warna yang begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Allah Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, November 2021

Penulis

ABSTRAK

Indonesia adalah Negara maritim yang memiliki banyak potensi energi dari laut yang cukup tersedia khususnya pada gelombang. Gelombang laut dan pasang surut adalah gerakan air laut yang mengandung potensi energi yang cukup besar yang dapat dimanfaatkan. Selama ini alat yang kita kenal sebagai alat pemecah gelombang adalah breakwater, seawall, jetty dan lain-lain. Ketika ombak datang menerjang alat pemecah gelombang maka ombak tersebut akan terbuang sia-sia dan tidak menghasilkan apa-apa, maka dari itu dibentuk sebuah inovasi yang dapat mengubah paradigma masyarakat agar gelombang tersebut ditangkap dan akan menghasilkan suatu energi terbary yang dapat diterapkan di Indonesia. Maka dari itu, laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin mengembangkan sebuah alat yang nantinya akan dijadikan sebagai sumber energi terbaru dan dapat di implementasikan di indonesia, yaitu CSP-DS (Catchwater Shore Protection Dual-Slope).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami karakteristik penjalaran gelombang melalui bangunan pemusat energi beserta pengaruh dari tinggi freeboard bangunan CSP-DS dengan dinding pemusat energi gelombang terhadap perubahan tinggi dan periode gelombang.

Pada penelitian ini dilakukan 2 metode pengambilan data, yaitu data primer yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di laboratorium dan data sekunder yaitu data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian gelombang. Pengelolaan data penelitian dimulai dari perekaman data fluktuasi muka air kemudian diolah menjadi data tinggi gelombang dan periode gelombang (H_{df} & T).

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa ada 3 macam faktor utama yang mempengaruhi karakteristik penjalaran gelombang di depan model. Yaitu pengaruh pendangkalan gelombang atau koefisien shoaling (K_s), koefisien refleksi (K_r) dan tinggi freeboard (F_b). Faktor lain dari perbedaan tinggi gelombang yang merambat di depan model adalah perbedaan periode (T), kedalaman (d) dan amplitudo (a) serta posisi pada penempatan probe. Tinggi freeboard juga signifikan berpengaruh terhadap koefisien refleksi dan perubahan tinggi gelombang yang merambat di depan model CSP-DS.

Kata kunci : Energi Gelombang, Alat Pemecah Gelombang CSP-DS (Catchwater Shore Protection Dual-Slope)

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------------------------------|
| LEMBAR PENGESAHAN | Error! Bookmark not defined. |
| PENYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH..... | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| ABSTRAK | vi |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR TABEL | x |
| BAB 1. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 LATAR BELAKANG..... | 1 |
| 1.2 RUMUSAN MASALAH PENELITIAN | 3 |
| 1.3 TUJUAN PENELITIAN..... | 3 |
| 1.4 MANFAAT PENELITIAN..... | 3 |
| 1.5 BATASAN MASALAH..... | 4 |
| 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN..... | 5 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 7 |
| 2.1. TEORI GELOMBANG LINIER | 7 |
| 2.2 DEFORMASI GELOMBANG | 10 |
| 2.2.1 Karakteristik Gelombang | 10 |
| 2.2.2. Refraksi dan Wave Shoaling | 12 |
| 2.2.3 Refleksi Gelombang | 15 |
| 2.2.4 Gelombang Pecah..... | 16 |
| 2.2.5 Gelombang Berdiri Parsial | 18 |
| 2.3 KONSERVASI ENERGI GELOMBANG..... | 20 |
| 2.4. BANGUNAN BREAKWATER | 23 |
| 2.4.1 Bangunan Pemecah Gelombang Laut | 23 |
| 2.4.2 Material Penyusun Breakwater..... | 25 |
| 2.5. BANGUNAN CSP-DS..... | 26 |
| BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN..... | 28 |
| 3.1 TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN..... | 28 |

| | |
|---|----|
| 3.2 PRA PENELITIAN | 28 |
| 3.3 JENIS PENELITIAN DAN SUMBER DATA | 30 |
| 3.4 ALAT DAN BAHAN..... | 30 |
| 3.5 PARAMETER YANG DITELITI..... | 32 |
| 3.6 PROSEDUR DAN RANCANGAN PENELITIAN | 32 |
| 3.7 PERANCANGAN MODEL | 33 |
| 3.7.1 Catchwater Shore Protection-Dual Slope (CSP-DS)..... | 33 |
| 3.7.2 Variasi Parameter Model dan Parameter Gelombang..... | 35 |
| 3.7.3 Penentuan Skala, Dimensi Model, dan Rancangan Simulasi... | 36 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 39 |
| 4.1 DATA HASIL PENELITIAN..... | 39 |
| 4.1.1 Fluktuasi muka air | 39 |
| 4.1.2 Tinggi Gelombang..... | 40 |
| 4.2 PEMBAHASAN..... | 42 |
| 4.2.1 Profil deformasi gelombang didepan model | 42 |
| BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN..... | 52 |
| 5.1 KESIMPULAN | 52 |
| 5.2 SARAN | 52 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 53 |
| LAMPIRAN | 54 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. Gerak Partikel Air di Laut Dangkal, Transisi dan Dalam..... | 8 |
| Gambar 2. Sket definisi gelombang | 9 |
| Gambar 3. Pembuatan diagram refraksi dengan metode garis puncak gelombang | 13 |
| Gambar 4. Template untuk membuat diagram refraksi metode ortogonal gelombang | 14 |
| Gambar 5. Penentuan tinggi gelombang pecah | 18 |
| Gambar 6. Penentuan kedalaman gelombang pecah | 18 |
| Gambar 7. Konsep dasar penurunan rumus energi gelombang (Thaha, 2002)..... | 20 |
| Gambar 8. Skema dari proses Overtopping | 27 |
| Gambar 9. <i>Wave Basin</i> yang digunakan untuk uji model | 28 |
| Gambar 10. Pembangkit gelombang..... | 29 |
| Gambar 11. Model yang terbuat dari besi plat dan tripleks | 31 |
| Gambar 12. Ilustrasi breakwater konvensional Overtopping | 34 |
| Gambar 13. Ilustrasi OWEC breakwater | 34 |
| Gambar 14. Sketsa model CSP-DS dengan variasi parameter..... | 35 |
| Gambar 15. Lay out model pada kolam dan posisi probe | 38 |
| Gambar 16. Fluktuasi gelombang | 39 |
| Gambar 17. Pola gelombang yang merambat di depan model | 43 |
| Gambar 18. Grafik hubungan antara nilai kecuraman gelombang (H_i/L) dengan Persentasi kenaikan tinggi gelombang (%) ditinjau dari kedalaman (d) | 45 |
| Gambar 19. Grafik hubungan antara nilai kecuraman gelombang (H_i/L) dengan Persentasi kenaikan tinggi gelombang (%) ditinjau dari Periode (T) | 48 |
| Gambar 20. Grafik hubungan antara nilai kecuraman gelombang (H_i/L) dengan Koefisien Deformasi (Kdf) | 51 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linear | 8 |
| Tabel 2. Koefisien Refleksi | 16 |
| Tabel 3. Variasi parameter model & parameter dasar laut | 35 |
| Tabel 4. Variasi parameter gelombang..... | 36 |
| Tabel 5. Dimensi model..... | 37 |
| Tabel 6. Rancangan simulasi | 38 |
| Tabel 7. Tinggi gelombang pada kedalaman (45 cm) | 41 |
| Tabel 8. Tinggi gelombang pada kedalaman (40 cm) | 41 |
| Tabel 9. Tinggi gelombang pada kedalaman (35 cm) | 41 |

DAFTAR NOTASI

- d : jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)
- $\eta(x,t)$: fluktuasi muka air terhadap muka air diam
- α : amplitude gelombang
- C : kecepatan rambat gelombang = L / T
- K : angka gelombang = $2\pi/L$
- σ : frekuensi gelombang = $2\pi/T$
- L : Panjang Gelombang (meter)
- g : Percepatan Gravitasi (9,81 m/s²)
- L_0 : Panjang Gelombang pada Laut Dalam (meter)
- d : Kedalaman air (meter)
- L_0 : Panjang Gelombang Laut Dalam (meter)
- T : Periode (detik)
- α_0 : sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai.
- C : kecepatan rambat gelombang.
- C_0 : kecepatan rambat gelombang di laut dalam.
- K_s : Koefisien Shoaling (pendangkalan)
- L : Panjang gelombang
- L_0 : Panjang gelombang di laut dalam
- nL : Panjang model
- K_s : koefisien shoaling (pendangkalan).
- K_r : koefisien Refraksi.
- H_0 : tinggi gelombang laut dalam.

- E_k : energi kinetik persatuan lebar panjang gelombang (joule/m)
- E_p : energi potensial persatuan lebar panjang gelombang (joule/m)
- E_t : energi total persatuan lebar panjang gelombang (joule/m)
- E : energi rata-rata gelombang persatuan luas (joule/m²)
- H : tinggi gelombang (m)
- ρ : rapat massa air (kg/m³)
- g : percepatan gravitasi (m/dt²)
- H_{max} : Tinggi gelombang maximum
- H_{min} : Tinggigelombang minimum
- Kdf : Koefisien deformasi
- H_i/L : Kecuraman gelombang

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Indonesia adalah Negara maritim yang memiliki banyak potensi energi dari laut yang cukup tersedia khususnya pada gelombang. Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam gelombang sebagian energinya akan dipantulkan (refleksi), sebagian diteruskan (transisi), dan sebagian dihancurkan (disipasi) melalui pecahnya gelombang bergantung pada karakteristik gelombang datang seperti periode, tinggi gelombang, kedalaman air serta tipe bangunan peredam gelombang (permukaan halus dan kasar, lolos air dan tidak lolos air). Telah banyak penelitian yang mengkonversi energi yang dihasilkan oleh gelombang tersebut menjadi daya listrik namun belum bisa diaplikasikan karena terhambat oleh kelayakan finansial yang tidak terpenuhi.

Gelombang laut dan pasang surut adalah gerakan air laut yang mengandung potensi energi yang cukup besar yang dapat dimanfaatkan, gelombang laut di sisi lain memiliki daya rusak apabila tidak dikendalikan dengan baik. Maka dari itu kami mengupayakan adanya sumber energi terbarukan dari gelombang yang datang dengan cara menangkap sumber gelombang tersebut dengan merubah paradigma masyarakat dari pemecah gelombang menjadi penangkap gelombang.

Selama ini alat yang kita kenal sebagai alat pemecah gelombang adalah breakwater, seawall, jetty dan lain-lain. ketika ombak datang menerjang alat pemecah gelombang maka ombak tersebut akan

terbuang sia-sia dan tidak menghasilkan apa-apa, maka dari itu dibentuk sebuah inovasi yang dapat mengubah paradigma masyarakat agar gelombang tersebut ditangkap dan akan menghasilkan suatu energi terbaru yang dapat diterapkan di Indonesia.

Pemerintah Indonesia juga telah mengalokasikan anggaran yang cukup besar untuk memperbaiki kerusakan pantai dan melindungi kawasan pesisir dari gempuran energi gelombang. Maka dari itu, laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin mengembangkan sebuah alat yang nantinya akan dijadikan sebagai sumber energi terbaru dan dapat di implementasikan di Indonesia, yaitu CSP-DS (Catchwater Shore Protection Dual-Slope). Inovasi ini dicantumkan dengan desain model bangunan pelindung pantai sehingga tidak menimbulkan pembengkakan biaya.

Dari penjelasan tersebut diatas, akan dituangkan dalam bentuk penulisan tugas akhir atau skripsi dengan judul :

**“KARAKTERISTIK GELOMBANG MELALUI PEMUSAT
ENERGI PADA CATCHWATER SHORE PENETRATION DUAL-SLOP
(CSP-DS) MODEL ZIG-ZAG”**

1.2 RUMUSAN MASALAH PENELITIAN

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas, maka dapat diambil rumusan masalah :

1. Bagaimana memahami karakteristik penjalaran gelombang melalui bangunan pemusat energi.
2. Bagaimana pengaruh dimensi pemusat energi gelombang terhadap perubahan tinggi dan periode gelombang.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memahami karakteristik penjalaran gelombang melalui bangunan pemusat energi.
2. Pengaruh tinggi freeboard bangunan CSP-DS dengan dinding pemusat energi gelombang terhadap perubahan tinggi dan periode gelombang.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Hasil penelitian ini secara umum diharapkan dapat memberikan informasi masukan sebagai berikut :

1. Memberikan sumber energi terbaru yang efisien dengan nilai investasi yang bagus dan dapat menghasilkan energi listrik memadai serta memberikan dampak yang baik bagi masyarakat yang tinggal di daerah pesisir dan pulau-pulau kecil.
2. Dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian-

penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan permasalahan tersebut.

1.5 BATASAN MASALAH

Demi tercapainya penelitian ini, maka diperlukan batasan dalam penulisan agar ruang lingkup pembahasannya tidak meluas sehingga tujuan dari penulisan dapat tercapai dan dipahami.

Adapun ruang lingkup pembahasan yang dijadikan batasan dalam penulisan adalah :

1. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang teratur (*reguler wave*).
2. Hanya mengkaji deformasi gelombang berupa *wave shoaling* dan *wave refleksi*.
3. Hanya mengkaji tahap pertama konversi energi.
4. Sudut datang gelombang tegak lurus. Sehingga deformasi gelombang dan difraksi gelombang tidak dikaji.
5. Gaya gelombang terhadap stabilitas model pelindung pantai tidak dikaji.
6. Fluida yang digunakan adalah air tawar, salinitas dan pengaruh mineral air tidak diperhitungkan.
7. Tidak mengkaji turbin.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu : Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran.

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini mengandung uraian tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang penelitian, rumusan masalah, maksud dan tujuan diadakan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi uraian mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai uraian tentang metode, bahan, peralatan, cara penelitian serta uraian pelaksanaan penelitian.

BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

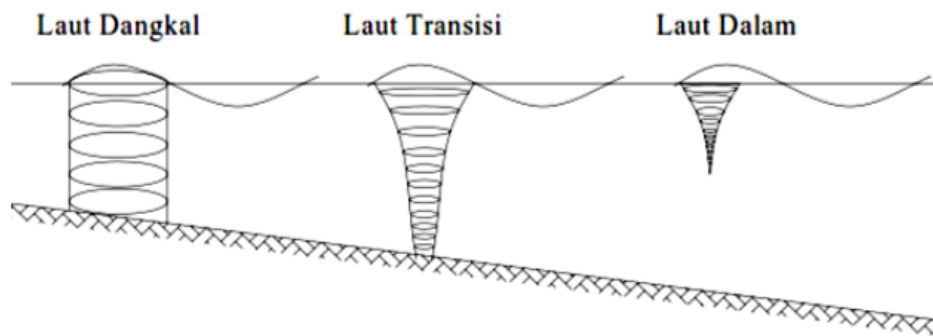
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat uraian tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil-hasil analisis terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan yang disertai dengan saran-saran yang diusulkan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. TEORI GELOMBANG LINIER

Gelombang di laut terbagi menjadi gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak (Triatmodjo, 1999). Pada umumnya gelombang terjadi karena hembusan angin di permukaan air laut. Daerah di mana gelombang itu dibentuk disebut daerah pembangkitan gelombang (wave generating area). Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut sea, sedangkan gelombang yang terbentuk di luar daerah pembangkitan disebut swell. Ketika gelombang menjalar, partikel air di permukaan bergerak dalam suatu lingkaran besar membentuk puncak gelombang pada puncak lingkarannya dan lembah pada lintasan terendah. Di bawah permukaan, air bergerak dalam lingkaran-lingkaran yang makin kecil. Saat gelombang mendekati pantai, bagian bawah gelombang akan mulai bergesekan dengan dasar laut yang menyebabkan pecahnya gelombang dan terjadi putaran pada dasar laut yang dapat membawa material dari dasar pantai serta menyebabkan perubahan profil pantai.



Gambar 1. Gerak Partikel Air di Laut Dangkal, Transisi dan Dalam

Sumber: Triatmodjo (1999)

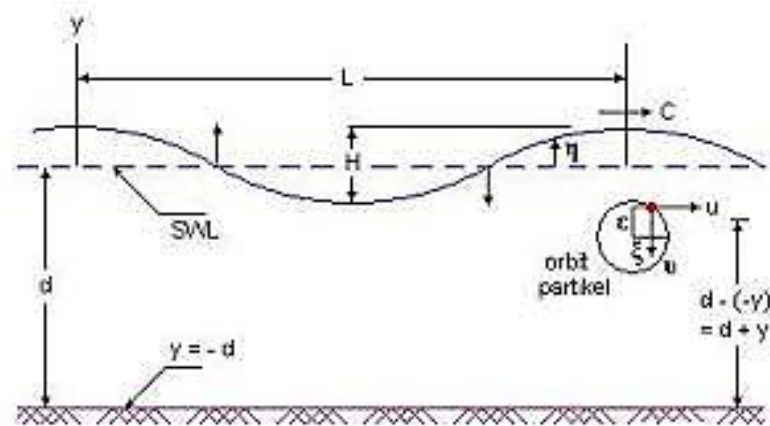
Ada beberapa teori yang menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan dari alam. Teori yang sederhana adalah teori gelombang linier. Menurut teori gelombang linier, gelombang berdasarkan kedalaman relatifnya dibagi menjadi tiga yaitu deep water (gelombang di laut dangkal), transitional water (gelombang laut transisi), shallow water (gelombang di laut dalam) (Nur Yuwono, 1982). Klasifikasi dari gelombang ditunjukkan pada **Tabel 1** sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linear

| Klasifikasi | d/L | $2\pi d/l$ | $\text{Tan } h (2\pi d/L)$ |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| Gelombang Laut Dalam | $> 1/2$ | $> \pi$ | ≈ 1 |
| Gelombang Laut Transisi | $1/25 \text{ s/d } 1/2$ | $1/4 \text{ s/d } \pi$ | $\text{tan } h (2\pi d/l)$ |
| Gelombang Laut Dangkal | $< 1/25$ | $< 1/4$ | $\approx 2\pi d/l$ |

Sumber: Nur Yuwono (1982)

2.1.1 Beberapa Definisi Gelombang



Gambar 2. Sket definisi gelombang

Gambar 2 menunjukkan suatu gelombang yang berada pada system koordinat x-y. Gelombang menjalar pada arah sumbu x. Beberapa notasi yang digunakan adalah :

d : jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)

$\eta(x,t)$: fluktuasi muka air terhadap muka air diam

a : amplitude gelombang

H : tinggi gelombang = $2a$

L : panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.

T : Periode gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukann yang sama dengan kedudukan sebelumnya.

C : kecepatan rambat gelombang = L / T

K : angka gelombang = $2\pi/L$

σ : frekuensi gelombang = $2\pi/T$

2.2 DEFORMASI GELOMBANG

Gelombang merambat dari laut dalam ke laut dangkal. Selama penjaran tersebut, gelombang mengalami perubahan-perubahan atau disebut deformasi gelombang. Deformasi gelombang dapat disebabkan karena variasi kedalaman air laut dan juga karena terdapatnya rintangan (pantai atau bangunan pantai). Apabila suatu gelombang bergerak menuju pantai, gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi, pendangkalan gelombang, difraksi, dan refleksi (Triatmodjo, 1999)

2.2.1 Karakteristik Gelombang

Berdasarkan teori Airy maka gerak gelombang dianggap sebagai kurva sinus harmonis (sinusoidal progressive wave), gelombang dapat dijelaskan secara geometris (Triatmodjo, 2012) berdasarkan :

1. Tinggi gelombang (H), yaitu jarak antara puncak dan lembah gelombang dalam satu periode gelombang.

2. Panjang gelombang (L), jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.

$$L = \frac{gT^2}{2} \tanh = \frac{2\pi d}{L_0} \quad (2.1)$$

Dengan: L : Panjang Gelombang (meter)

g : Percepatan Gravitasi (9,81 m/s²)

L_0 : Panjang Gelombang pada Laut Dalam (meter)

d : Kedalaman air (meter)

Persamaan (1) dapat diselesaikan dengan metode iterasi untuk menentukan Panjang gelombang pada suatu kedalaman dengan memasukkan Panjang gelombang awal (L_0) menggunakan persamaan berikut:

$$L_0 = 1.56 T^2 \quad (2.2)$$

Dengan: L_0 : Panjang Gelombang Laut Dalam (meter)

T : Periode (detik)

3. Jarak antara muka air rata-rata dan dasar laut (d) atau kedalaman laut.

Ketiga parameter tersebut diatas digunakan untuk menentukan parameter gelombang lainnya, seperti:

1) Kemiringan gelombang (*wave steepness*) = H/L

2) Ketinggian relatif (*relative height*) = H/d

3) Kedalaman relatif (*relative depth*) = d/L

Parameter penting lainnya seperti:

- a. Amplitudo gelombang (A), biasanya diambil setengah tinggi gelombang ($\frac{H}{2}$)
 - b. Periode gelombang (T), yaitu interval waktu yang dibutuhkan antara 2 puncak gelombang (*wave crest*).
 - c. Frekuensi (f), yaitu jumlah puncak gelombang yang melewati titik tetap perdetik. Frekuensi berbanding terbalik dengan periode, $f = \frac{1}{T}$
- Satu periode gelombang dapat juga dinyatakan dalam ukuran sudut (Θ) = 2π .

2.2.2. Refraksi dan Wave Shoaling

1. Koefisien Refraksi

Refraksi terjadi dikarenakan gelombang datang membentuk sudut terhadap garis pantai. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah datang gelombang serta distribusi energi gelombang sepanjang pantai, (Triatmodjo B, 1999). Refraksi dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang.

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad (2.3)$$

Dimana pada hukum Snell berlaku apabila ditinjau gelombang di laut dalam dan di suatu titik yang ditinjau yaitu:

$$\sin \alpha = \left(\frac{c}{c_0}\right) \sin \alpha_0 \quad (2.4)$$

Dengan :

K_r = koefisien refraksi.

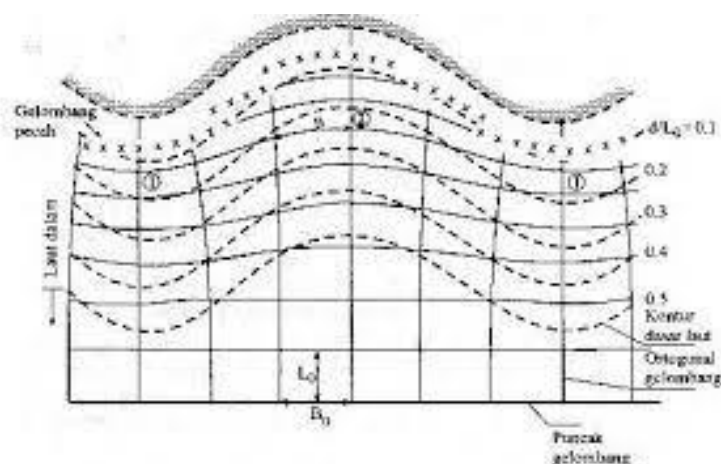
α = sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut di titik yang ditinjau.

α_0 = sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai.

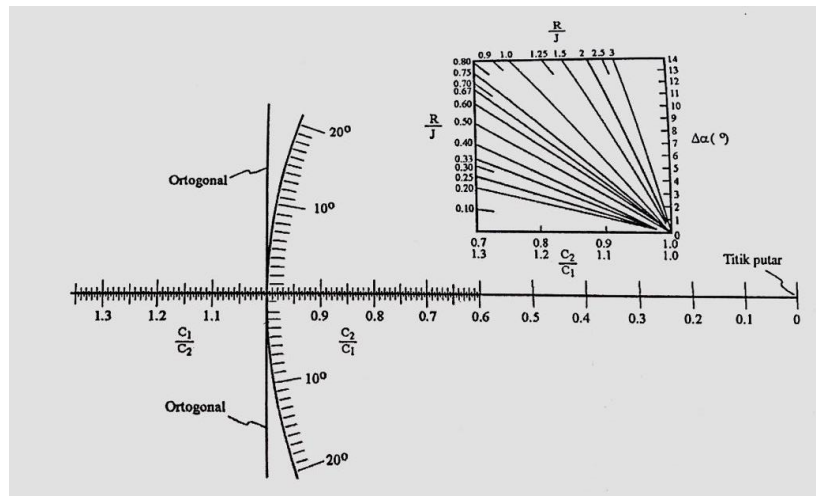
C = kecepatan rambat gelombang.

C_0 = kecepatan rambat gelombang di laut dalam.

Koefisien refraksi dapat ditentukan dengan membuat diagram refraksi. Ada 2 metode yang dapat digunakan untuk membuat diagram refraksi, yaitu metode puncak gelombang dan metode ortogonal gelombang.



Gambar 3. Pembuatan diagram refraksi dengan metode garis puncak gelombang



Gambar 4. Template untuk membuat diagram refraksi metode ortogonal gelombang

2. Wave Shoaling (Pendangkalan Gelombang)

Wave shoaling terjadi dikarenakan adanya pengaruh perubahan kedalaman dasar laut. Wave shoaling mempunyai fungsi yang sama dengan refraksi gelombang yaitu untuk menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang, (Triatmodjo B, 1999).

$$K_s = \sqrt{\frac{noL_o}{nL}} \quad (2.5)$$

Dengan :

K_s = Koefisien Shoaling (pendangkalan)

L = Panjang gelombang

L_o = Panjang gelombang di laut dalam

nL = Panjang model

$n0$ =

3. Tinggi Gelombang Laut Dangkal

Tinggi gelombang di laut dangkal terjadi akibat pengaruh refraksi gelombang dan *wave shoaling* (pendangkalan gelombang), diberikan oleh rumus berikut:

$$H = K_s K_r H_0 \quad (2.6)$$

Dengan :

H = tinggi gelombang laut dangkal.

K_s = koefisien shoaling (pendangkalan).

K_r = koefisien Refraksi.

H_0 = tinggi gelombang laut dalam.

2.2.3 Refleksi Gelombang

Gelombang datang yang mengenai suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Tinjauan refleksi gelombang penting di dalam perencanaan bangunan pantai, terutama pada bangunan pelabuhan. Refleksi gelombang di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidaktenangan di dalam perairan. Untuk mendapatkan ketenangan di dalam perairan, maka bangunan- bangunan yang ada di pantai harus dapat menyerap atau menghancurkan energi gelombang. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari umpukan batu akan bisa menyerap

energi gelombang lebih banyak dibanding dengan bangunan tegak dan masif. Pada bangunan vertikal, halus dan dinding tidak permeabel, gelombang akan dipantulkan seluruhnya.

Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi H_r dan tinggi gelombang datang H_i , (Triatmodjo B, 1999).

$$X = \frac{H_r}{H_i} \quad (2.7)$$

Koefisien refleksi bangunan diestimasi berdasarkan tes model. Koefisien refleksi berbagai tipe bangunan disajikan dalam **Tabel 2** berikut ini :

Tabel 2. Koefisien Refleksi

| Tipe bangunan | X |
|---|------------|
| Dinding vertikal dengan puncak di atas air | 0,7 – 1,0 |
| Dinding vertikal dengan puncak terendam | 0,5 – 0,7 |
| Tumpukan batu sisi miring | 0,3 – 0,6 |
| Tumpukan balok beton | 0,3 – 0,5 |
| Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi lubang) | 0,05 – 0,2 |

(sumber : Bambang Triatmodjo, *Teknik Pantai* 1999, hal 91)

2.2.4 Gelombang Pecah

Gelombang yang merambat dari dasar laut menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Perubahan tersebut ditandai dengan puncak gelombang semakin tajam sampai akhirnya pecah pada kedalaman tertentu.

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringan, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Di laut dalam kemiringan gelombang maksimum dimana gelombang mulai tidak stabil diberikan oleh bentuk persamaan berikut ini (dalam buku Teknik Pantai Bambang Triatmodjo, 1999)

$$\frac{H_o}{L_o} = \frac{1}{7} = 0,142 \quad (2.8)$$

Kedalaman gelombang pecah diberi notasi db dan tinggi gelombang pecah Hb .

$$\frac{Hb}{H_o'} = \frac{1}{3,3 \left(\frac{H_o'}{L_o} \right)^{1/3}} \quad (2.9)$$

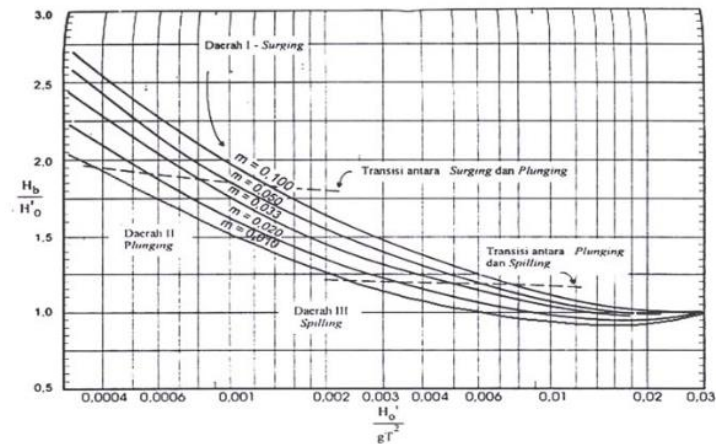
Parameter Hb/H_o' disebut dengan indeks tinggi gelombang pecah. Pada **Gambar 5** menunjukkan hubungan antara Hb/H_o' dan H_o'/gT^2 untuk berbagai kemiringan dasar laut. Sedangkan **Gambar 6** menunjukkan hubungan antara db/Hb dan Hb/gT^2 untuk berbagai kemiringan dasar. Grafik dari **Gambar 6** dapat ditulis dalam bentuk rumus sebagai berikut (Triatmodjo B, 1999) :

$$\frac{db}{hb} = \frac{1}{b - \left(\frac{aHb}{gT^2} \right)} \quad (2.10)$$

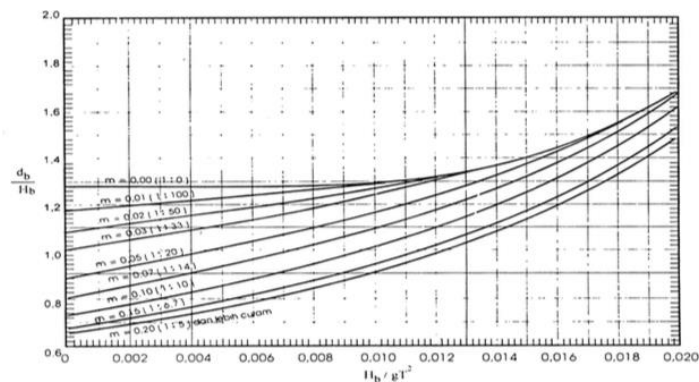
Dimana a dan b merupakan fungsi kemiringan pantai m dan diberikan oleh persamaan berikut (Triatmodjo B, 1999)

$$a = 43,75(1 - e^{-19m})$$

$$b = \frac{1,56}{(1+e^{-19,5m})} \quad (2.11)$$



Gambar 5. Penentuan tinggi gelombang pecah



Gambar 6. Penentuan kedalaman gelombang pecah

2.2.5 Gelombang Berdiri Parsial

Apabila gelombang yang merambat melewati suatu penghalang, maka gelombang tersebut akan dipantulkan kembali oleh penghalang tersebut. Apabila pemantulannya sempurna atau gelombang datang dipantulkan seluruhnya, maka tinggi gelombang di depan penghalang menjadi dua kali tinggi gelombang datang dan disebut gelombang berdiri (*standing wave*). Akan tetapi jika penghalang memiliki porositas atau tidak

dapat memantulkan secara sempurna, maka tinggi gelombang di depan penghalang akan kurang dari dua kali tinggi gelombang datang dan pada kondisi ini disebut gelombang berdiri parsial (sebagian). Contoh kejadian gelombang parsial adalah gelombang yang membentur pantai atau pemecah gelombang (*breakwater*) mengalami pemantulan energi yang tidak sempurna.

Untuk memisahkan tinggi gelombang datang dan tinggi gelombang yang direfleksikan, maka persamaan (2.12) ditulis dalam bentuk lain seperti berikut:

$$H_r = \frac{H_t}{2} \cos(k_x \cos \sigma t + \sin k_x \sin \sigma t) + \frac{H_t}{2} (\cos(k_x + \mathcal{E}) \cos \sigma t - \sin k_x / \mathcal{E} \sin \sigma t) \quad (2.12)$$

$$h = \left(\frac{H_i}{2} \cos k_x + \frac{H_r}{2} \right) \cos k_x + \mathcal{E} \cos \sigma t + \left(\frac{H_i}{2} \sin k_x - \frac{H_r}{2} \sin(k_x + \mathcal{E}) \right) \quad (2.13)$$

Dengan menguraikan persamaan (2.12) dan (2.13) diperoleh elevasi muka air maksimum dan minimum untuk gelombang berdiri sebagian seperti berikut (Paotonan.C, 2006) :

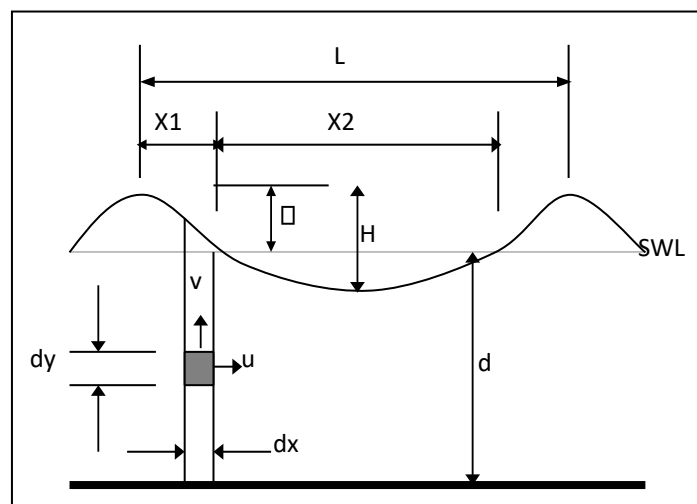
$$H_i = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} \quad (2.14)$$

$$H_r = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2} \quad (2.15)$$

Jika gelombang datang menghantam penghalang sebagian ditransmisikan, maka gelombang yang lewatpun akan mengalami hal yang sama seperti ketika membentur penghalang.

2.3 KONSERVASI ENERGI GELOMBANG

Gelombang yang bergerak dapat menimbulkan pergerakan partikel dan memberikan energi gelombang. Energi gelombang terdiri dari dua jenis, yaitu energi kinetik dan energi potensial gelombang. Energi kinetik terjadi karena adanya kecepatan partikel akibat gerak gelombang. Sedangkan energi potensial terjadi karena adanya perpindahan muka air akibat gerakan gelombang. Untuk teori gelombang amplitudo kecil, jika energi gelombang ditetapkan relatif terhadap muka air diam, dan semua gelombang menjalar dalam arah yang sama, maka akan didapat komponen energi potensial dan energi kinetik adalah sama. Untuk mendapatkan persamaan energi gelombang, diasumsikan suatu elemen berukuran dx , dy dan l seperti terlihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Konsep dasar penurunan rumus energi gelombang (Thaha, 2002)

Dari gambar diatas, besar energi kinetik dijelaskan dalam persamaan (2.16)-(2.22), (Thaha,2002).

$$\begin{aligned} dE_k &= \frac{1}{2} dmV^2 \\ &= \frac{1}{2} \rho dx dy (u^2 + V^2) \\ E_k &= \iint_{-d}^0 \frac{1}{2} \rho (u^2 + V^2) dy dx \end{aligned} \quad (2.16)$$

Energi potensial diberikan oleh :

$$E_p = \int \rho g (d + \eta) \frac{(d+\eta)}{2} dx - \rho g L d \left(\frac{1}{2}\right) \quad (2.17)$$

$$E = E_k + E_p \quad (2.18)$$

Untuk teori gelombang Airy, penyelesaian persamaan (2.16) (2.17) (2.18) masing-masing menghasilkan energi gelombang :

$$E_k = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (2.19)$$

$$E_p = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (2.20)$$

Dengan dmikian energi total dalam satu panjang gelombang persatuan lebar gelombang adalah :

$$E_t = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (2.21)$$

Sedangkan energi rata-rata persatuan luas sebesar :

$$E = \frac{E_t}{L} = \frac{\rho g H^2}{16} \quad (2.22)$$

dengan :

E_k : energi kinetik persatuan lebar panjang gelombang (joule/m)

E_p : energi potensial persatuan lebar panjang gelombang (joule/m)

E_t : energi total persatuan lebar panjang gelombang (joule/m)

E : energi rata-rata gelombang persatuan luas (joule/m²)

H : tinggi gelombang (m)

ρ : rapat massa air (kg/m³)

g : percepatan gravitasi (m/dt²)

Daya gelombang (P) merupakan energi gelombang persatuan waktu pada arah [enjalaran gelombang, seperti pada persamaan berikut, (Triatmodjo B, 1999).

$$P = \frac{nE}{T} \quad (2.23)$$

Dimana n merupakan faktor energi gelombang yang bernilai :

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (2.24)$$

2.4. BANGUNAN BREAKWATER

2.4.1 Bangunan Pemecah Gelombang Laut

Pemecah gelombang (breakwater) adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang. Bangunan ini memisahkan daerah perairan dari laut lepas, sehingga perairan pelabuhan tidak banyak dipengaruhi oleh gelombang besar di laut. Daerah perairan dihubungkan dengan laut oleh mulut pelabuhan dengan lebar tertentu dimana kapal keluar masuk melalui celah tersebut.

Breakwater atau dalam hal ini pemecah gelombang lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Pemecah gelombang dibangun sebagai salah satu bentuk perlindungan pantai terhadap erosi dengan menghancurkan energi gelombang sebelum sampai ke pantai, sehingga terjadi endapan dibelakang bangunan. Endapan ini dapat menghalangi transport sedimen sepanjang pantai. Bentuk/tipe pemecah gelombang berdasarkan tipe bangunannya dapat dibedakan menjadi tiga yaitu Breakwater Sisi Miring, Breakwater Sisi Tegak, Breakwater Gabungan.

1. *Breakwater Sisi Miring*

Pada umumnya pemecah gelombang sisi miring dibuat dari tumpukan batuan alam yang dilindungi oleh lapis pelindung berupa batu besar ataupun beton dengan bentuk tertentu. Pemecah gelombang ini lebih cocok digunakan pada kondisi tanah yang lunak dan tidak terlalu dalam.

Breakwater sisi miring bersifat fleksibel karena jika serangan gelombang kerusakan yang terjadi tidak secara tiba-tiba, meskipun beberapa butiran longsor. Biasanya butir batu pemecah gelombang sisi miring disusun dalam beberapa lapis, dengan lapis terluar terdiri dari batu dengan ukuran besar dan semakin ke dalam ukurannya semakin kecil. Bentuk butiran akan berpengaruh terhadap kaitan antara butir batu yang ditumpuk. Butir batu dengan sisi tajam akan mengait satu sama lain dengan lebih baik sehingga stabil.

2. *Breakwater* Sisi Tegak

Breakwater tipe ini biasanya ditempatkan di laut dengan kedalaman lebih dalam dengan tanah dasar keras. Karena dinding *breakwater* tegak, maka akan terjadi gelombang diam atau *klapotis* yaitu superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul.

3. *Breakwater* Gabungan

Pada pemecah gelombang gabungan konstruksi dikombinasikan antara pemecah gelombang sisi Tegak yang dibuat di atas pemecah gelombang sisi miring. *Breakwater* campuran dibuat apabila kedalaman air sangat besar dan tanah dasar tidak mampu menahan beban dari pemecah gelombang sisi tegak. Pada waktu air surut bangunan berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi miring, sedang pada waktu air pasang berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi tegak.

2.4.2 Material Penyusun Breakwater

1. Blok beton

Dibuat dari blok-blok beton massa yang disusun secara vertikal. Masing-masing blok dikunci dengan beton bertulang yang dicor di tempat setelah blok-blok tersebut disusun. Puncak pemecah gelombang dibuat dinding beton yang dicor ditempat. Fondasi terbuat dari tumpukan batu yang diberi lapis pelindung dari blok beton.

2. Kaison (*caisson*)

Pemecah gelombang ini dibuat di daratan dan kemudian dibawa ke lokasi yang telah ditentukan dengan ditarik oleh kapal. Pengangkutan ke lokasi dilakukan pada waktu air tenang. Setelah sampai ke lokasi kaison tersebut ditenggelamkan ke dasar laut dengan mengisikan air ke dalamnya dan kemudian diisi dengan pasir. Bagian atasnya kemudian dibuat lantai dan dinding beton. Kaison dibuat seperti kotak dengan sisi bawah tertutup dan dengan dinding-dinding diafragma yang membagi kotak.

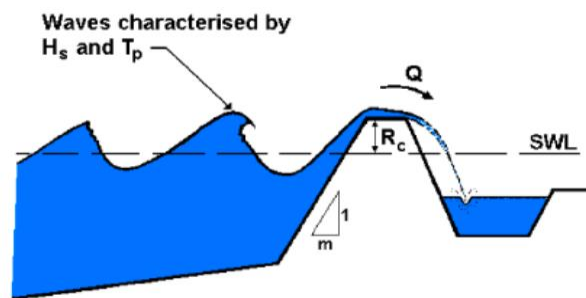
3. Sel papan pancang (*sheet pile cells*)

Pemecah gelombang ini terdiri dari turap beton dan tiang beton yang dipancang melalui tanah lunak sampai mencapai tanah keras. Bagian atas dari turap dan tiang tersebut dibuat blok beton. Pemecah gelombang ini dibuat apabila dasar laut terdiri dari tanah lunak yang sangat tebal, sehingga penggantian tanah lunak dengan pasir menjadi mahal.

2.5. BANGUNAN CSP-DS

Bangunan CSP dalam penelitian ini sama dengan OWEC (*overtopping wave energy converter*) *breakwater* adalah pelindung pantai yang sekaligus berkonsep konverter energi gelombang. CSP-DS atau CSP-Dual Slope adalah OWEC *breakwater* dengan kemiringan dinding ganda. Model pelindung pantai ini dilengkapi dengan reservoir pada bagian atas yang berfungsi untuk mengumpulkan air yang melimpas dari puncak bangunan melalui mekanisme *overtopping* gelombang. Besarnya debit *overtopping* dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah karakteristik gelombang, termasuk karakteristik gelombang pecah pada permukaan bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik gelombang pecah (*breaker parameter*) pada OWEC *breakwater* dan pengaruhnya terhadap debit *overtopping* yang dihasilkan. Penelitian ini berupa uji eksperimental model fisik pada saluran gelombang di laboratorium. Gelombang yang dibangkitkan pada saluran gelombang adalah gelombang regular. Model OWEC *breakwater* akan disimulasi dengan beberapa variasi pada parameter gelombang dan parameter model. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah didapatkan analisa pengaruh *breaker parameter* terhadap debit *overtopping* yang dihasilkan, yang selanjutnya dapat diketahui jenis *breaker parameter* yang dapat memberikan debit *overtopping* paling besar pada model OWEC *breakwater*. *Overtopping* gelombang merupakan suatu kondisi dimana ketika gelombang menghantam suatu bangunan, gelombang tersebut terlebih

dahulu akan naik (run-up) pada permukaan bangunan, dan kemudian akan melimpas melewati puncak bangunan tersebut yang disebut dengan overtopping.



Gambar 8. Skema dari proses Overtopping