

Thesis

**TRANSMISI GELOMBANG LEWAT TANGGUL
BAWAH PERMUKAAN AIR
(WAVES TRANSMISSION OVER SUBMERGED BREAKWATER)**



Oleh

MUTMAINNAH

H 032 181 009

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2020

**TRANSMISI GELOMBANG LEWAT TANGGUL
BAWAH PERMUKAAN AIR
(WAVES TRANSMISSION OVER SUBMERGED BREAKWATER)**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Fisika

Disusun dan diajukan Oleh

MUTMAINNAH

kepada

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2020

PAGE OF THESIS AUTHORIZATION

Compiled and submitted by

MUTMAINNAH

Base Number: H032181009

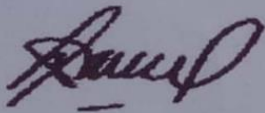
It has defended in front of the Thesis Examination Committee

On August 7th, 2020

And declared eligible

To approve

Advisory Commission



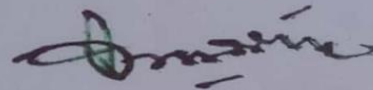
Prof. Dr. Dadang A. Suriamiharja Tahir, M.Sc

Chairman

Chair of Physics Masters Study Program



Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc



Prof. Dr. Tasrief Surungan, M.Sc

Member

Dean of Mathematics and Natural
Science Faculty, Hasanuddin University



Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Mutmainnah
Nomor mahasiswa : H032181009
Program studi : Fisika

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 16 Agustus 2020

Yang menyatakan



Mutmainnah

PRAKATA

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan berkah-Nya, saya dapat menyelesaikan penulisan tesis program Magister ini dengan judul: “Transmisi Gelombang Lewat Tanggul Bawah Permukaan Air (Waves Transmission Over Submerged Breakwater)” dan shalawat serta salam atas Nabi Muhammad shallallahu ‘alaihi wasallam.

Selama dalam perjalanan studi dan proses penyelesaian tesis ini, saya telah banyak dibantu oleh beberapa pihak, baik bantuan moril maupun material, pencerahan ilmu, penguatan hati dan mental, doa dan perhatian serta berbagai kemudahan fasilitas terkait dengan penyelesaian studi.

Rasa hormat dan terimakasih sedalam-dalamnya saya sampaikan kepada para komisi penasehat tesis: Bapak Prof. Dr. Dadang Ahmad Suriamihardja, M.Eng. selaku ketua komisi penasehat, Bapak Prof. Dr. Tasrief Surungan, M.Sc selaku anggota komisi penasehat dengan dedikasi dan kesabarannya dalam mencurahkan segala pemikiran dan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan bobot akademis dalam tesis ini.

Ucapan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya saya sampaikan kepada tim penguji Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Sc., Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc., dan Prof. Dr. Wira Bahari Nurdin, M.Sc. yang telah menyediakan waktu dan pikirannya untuk memberikan banyak masukan

serta arahan dalam menyempurnakan tesis ini sehingga memiliki makna yang makin berarti.

Ucapan terimakasih sedalam-dalamnya juga saya sampaikan kepada Bapak Dr. Sakka, M.Si., Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng., dan Dr. Erfan, M.Si. selaku dosen program studi Geofisika Universitas Hasanuddin yang telah meluangkan waktu serta memberikan kesempatan untuk saya dalam mengikuti mata kuliah dinamika pantai dan maritim di jurusan Geofisika Unhas. Rasa hormat dan terimakasih yang tak terhingga saya dedikasikan kepada orang tua saya ayahanda Abu Umar dan ibunda Salma atas dorongan, didikan, dan doa yang senantiasa mengiringi perjalanan penulis. Ucapan terimakasih teristimewa untuk teman dekat saya Zulqifli, S.Kep., Ns atas segala dukungan serta pengorbanan yang luar biasa selama saya melaksanakan pendidikan di Unhas. Terima kasih juga diucapkan kepada keempat saudara saya Ishaq Abu, Ibnu Abu, Ismail Abu, dan Abd. Ilham Nur Wahid yang senantiasa memberikan dorongan dan semangat dalam setiap kesulitan yang saya hadapi, kepada teman seperjuangan saya Fatma Jamil, Besse Tenri Pada, Indriasri Raming, Yenni Islamiati Binta, Nur Azmi Ridha, dan seluruh teman angkatan 2018 (ganjil) yang tak jenuh selalu memberikan semangat dan bantuan yang tidak ternilai harganya. Tak lupa pula penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak-pihak yang namanya tidak tercantum tetapi turut membantu penelitian ini secara langsung maupun tidak

langsung. Semoga Allah SWT senantiasa membalas tiap kebaikan yang telah diberikan.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam tulisan ini banyak terdapat kekurangan, olehnya itu kepada para pembaca kiranya dapat mengoreksi dan memberikan masukan guna kesempurnaan dari penelitian ini dan penelitian-penelitian selanjutnya. Akhir kata, penulis berharap bahwa tesis saya ini bisa memberikan rangsangan akademik untuk melaksanakan penelitian lebih lanjut.

Makassar, 16 Agustus 2019

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'Mutmainnah', written in a cursive style.

Mutmainnah

ABSTRAK

MUTMAINNAH. Transmisi Gelombang Lewat Tanggul Bawah Permukaan Air.

Pemecah gelombang tenggelam dengan panjang tanggul (ℓ) pada dasar pantai rata untuk mereduksi tinggi gelombang transmisi. Fluks massa dan fluks energi digunakan sebagai syarat batas kontinuitas gelombang saat gelombang masuk mencapai pemecah gelombang dan gelombang yang ditransmisikan. Sebuah studi analitik dilakukan untuk mengetahui tinggi gelombang yang ditransmisikan setelah melewati pemecah gelombang terendam persegi panjang. Kedalaman kolom air di depan bangunan adalah h_1 dan di atas struktur adalah h_2 . Berdasarkan geometri ini, dapat dibuat hipotesis bahwa tinggi gelombang yang ditransmisikan akan bergantung pada panjang ℓ dan rasio h_2/h_1 akibat disipasi energi gelombang. Perpanjangan ℓ dan h_2/h_1 yang lebih kecil, semakin besar disipasi energi gelombang, dan semakin kecil tinggi gelombang yang ditransmisikan. Membandingkan studi analitik dan pekerjaan simulasi menggunakan SWASH memberikan kesesuaian. Ketinggian gelombang yang ditransmisikan juga akan dibahas dalam hal kemiringan gelombang (H / L).

Kata Kunci: Pemecah gelombang Tenggelam, SWASH, Kelancipan Gelombang

ABSTRACT

MUTMAINNAH. Waves Transmission Over Submerged Breakwater.

A rectangular submerged breakwater of length ℓ is placed on a flat beach to reduce transmitted wave height. Fluxes of mass and energy are used as continuity conditions at the boundaries when the incoming waves reach the breakwater and the outgoing waves transmitted. An analytical study is carried out to find the transmitted wave height after passing the rectangular submerged breakwater. The depth of the water column in front of the structure is h_1 and that of over the structure is h_2 . Based on this geometry, a hypothesis can be constructed that the transmitted wave height will depend on the length ℓ and the ratio of h_2/h_1 due to dissipation in wave energy. The lengthen ℓ and the smaller h_2/h_1 , the bigger the wave energy dissipation, and the smaller the transmitted wave height will be. Comparing the analytical study and simulation work using SWASH gives a good agreement. The transmitted wave height also will be discussed in terms of wave steepness (H/L).

Keywords: Submerged breakwater, SWASH, Wave steepness

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iv
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Kerangka Pikir	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Teori Gelombang Linear	5
2.2 Syarat kontinuitas.....	7
2.3 Parameter Gelombang.....	7
2.4 Detail perambatan gelombang.....	8
2.4.1 Syarat Batas yang Berlaku.....	10
2.4.2 Disipasi Energi gelombang.....	11
2.5 Model SWASH	12
BAB III	13
METODE PENELITIAN.....	13

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	13
3.2 Alat dan Bahan	13
3.2.1 <i>Alat</i>	13
3.2.2 <i>Bahan</i>	14
3.3 Prosedur Penelitian.....	15
3.3.1 <i>Studi Literatur</i>	15
3.3.2 <i>Pengolahan Data</i>	15
3.4 Diagram Alir Penelitian	17
BAB IV	18
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1 Solusi Analitik.....	18
4.2 Pengaruh kedalaman Relatif terhadap koefisien Transmisi	19
4.3 Pengaruh kelancipan gelombang terhadap koefisien Transmisi	20
4.4 Pengaruh kelancipan gelombang terhadap koefisien Transmisi pada setiap lebar tanggul.....	22
BAB V	24
PENUTUP.....	24
5.1 Kesimpulan	24
5.2 Saran.....	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	25

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gelombang merupakan penjaralan energi yang dibangkitkan oleh banyak faktor seperti hembusan angin, dinamika meteorologi, gerak benda astronomis, maupun gerak lempeng tektonik. Penjaralan gelombang menuju tepi pantai akan mengalami tranformasi berupa refraksi, difraksi, refleksi, kerusakan bentuk, dan terkadang superposisi gelombang datang dan pantul. Selama menjalar menuju tepi pantai, karena pengaruh gesekan dasar pantai, bahkan karena penghalang alami atau buatan, gelombang akan mengalami pelepasan energi (*dissipation*).

Penghalang alami atau buatan yang berada di muka tepi pantai dapat berupa struktur tanggul sebagai pemecah gelombang. Efektifitas dari suatu struktur pemecah gelombang dapat dilihat dari seberapa besar energi gelombang yang dapat diredam oleh struktur tersebut. Struktur bawah permukaan air merupakan salah satu bentuk pemecah gelombang yang dibuat dengan puncak struktur berada di bawah permukaan air (Paotonan, *et al.*, 2011). Mintakat sekitar pemecah gelombang dibagi atas tiga area, yaitu area-1 kedatangan gelombang sebelum melewati struktur, area-2 di atas struktur, dan area-3 setelah gelombang melewati struktur.

Beberapa model struktur tanggul telah disajikan oleh Dalrymple, *et al.*, (1991); Dingemans (1994) dan Massel, *et al.*, (2000). Representasi gelombang pada tiga area tersebut dinyatakan oleh potensial kecepatan $\phi(x, t)$. Efektivitas struktur tanggul pemecah gelombang dinyatakan oleh rasio antara tinggi gelombang transmisi terhadap tinggi gelombang datang $K_T = H_T/H_I$. Chang, *et al.*, (2004) menyajikan nilai K_T dengan perbedaan kedalaman pada area-1 dan area-3. Selain model tanggul, terdapat model undakan yang terbagi atas dua area saja. Pengembangan disipasi energi gelombang yang melewati undakan dikaji oleh Sulaiman, *et al.*, (1995) menggunakan persamaan lereng landai (PLL), atau

biasa dikenal sebagai MSE (*mild slope equation*). Pada penelitian ini, model undakan kemudian dikembangkan menjadi model tanggul, sehingga dapat lebih efektif dalam meredam energi gelombang berturut-turut pada undakan naik (batas antara area-1 dan area-2), sepanjang undakan, dan pada undakan turun (batas antara area-2 dan area-3).

Analisis nilai K_T dengan struktur model tanggul yang bervariasi juga ditunjukkan oleh Mondal, *et al.*, (2018) dengan menggunakan metode ekspansi fungsi eigen. Berdasarkan metode tersebut, dengan memberlakukan syarat kontinuitas, nilai K_T yang dihasilkan bergantung pada struktur model. Pemecah gelombang yang paling sederhana untuk melihat pengaruh kedalaman dalam melesap energi gelombang datang adalah model tanggul.

Penelitian ini akan mengkaji formula untuk nilai K_T dengan sketsa model tanggul yang menggunakan syarat kontinuitas berupa fluks massa terkait pada posisi ketika terjadi perubahan kedalaman. Dalrymple, *et al.*, (1984) menyajikan PLL dengan efek lesapannya. Pengaruh lesapan akan diperhitungkankan pada formulasi untuk nilai K_T yang akan dihasilkan. Sehingga diperoleh dua formula K_T , yaitu tanpa lesapan dan dengan lesapan.

Hasil eksperimen memberikan nilai K_T yang mengecil seiring bertambah tingginya tanggul terhadap kedalaman (Armono, *et al.*, 2003), begitu pula dengan lebar tanggul, semakin lebar model maka nilai K_T semakin kecil (Hajivalie, 2017). Perbedaan lebar tanggul juga diamati oleh Kerpen, *et al.*, (2015) namun dengan variasi dasar miring dan dasar bertangga, hasilnya menunjukkan bahwa dasar bertangga lebih bagus karena memiliki nilai K_T yang kecil dibandingkan dasar miring. Selain formulasi matematik dan eksperimen, formulasi nilai K_T dapat juga dilakukan berdasarkan model simulasi numerik. Liang, *et al.*, (2015) mengkaji hasil simulasi program SWASH dengan hasil eksperimen untuk menguji efektifitas program SWASH. Dalam menganalisis gelombang transmisi, program SWASH mampu memperkirakan gelombang transmisi dengan baik dalam uji efektifitas program SWASH terhadap hasil eksperimen. Program SWASH

merupakan salah satu program analisis gelombang dengan simulasi model sketsa. Dalam penelitian ini, program SWASH akan digunakan untuk melihat simulasi numerik model tanggul sebagai pembandingan terhadap formula K_T yang dihasilkan secara analitik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan pokok permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana sajian analitik formula koefisien transmisi K_T tanpa lesapan dan dengan lesapan pada pemecah gelombang model tanggul bawah permukaan air?
2. Bagaimana hubungan antara hasil simulasi program SWASH dengan formula K_T secara analitik?
3. Bagaimana pengaruh kedalaman (h) dan lebar tanggul (ℓ) terhadap nilai K_T hasil simulasi program SWASH?

1.3 Ruang Lingkup

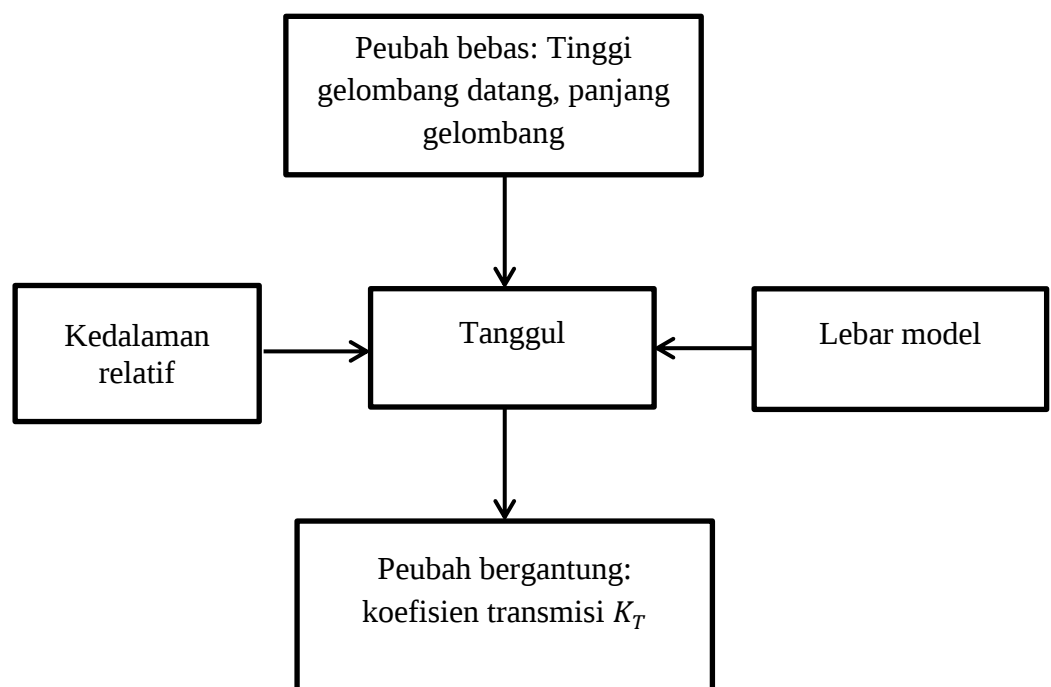
Penelitian ini dibatasi pada penurunan formulasi untuk koefisien transmisi K_T yang melewati pemecah gelombang model tanggul bawah permukaan air. Jenis gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang monokromatik (regular), permasalahan ditinjau sebagai permasalahan satu dimensi, dasar pantai adalah datar, kemudian diselesaikan dengan syarat kontinuitas. Simulasi program SWASH meninjau perbedaan kedalaman h karena keberadaan tanggul, menentukan lebar tanggul ℓ , dan variasi tinggi gelombang datang H_I dan periode gelombang T .

1.4 Tujuan Penelitian

Sebagaimana rumusan masalah yang disebutkan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghitung koefisien transmisi K_T tanpa disipasi dan koefisien transmisi K_T dengan faktor lesapan.
2. Membandingkan hubungan antara hasil simulasi program swash dengan solusi persamaan K_T secara analitik.
3. Menganalisis pengaruh kedalaman (h) dan lebar tanggul (ℓ) terhadap nilai K_T hasil simulasi program SWASH.

1.5 Kerangka Pikir



1.6 Hipotesis

Semakin kecil kedalaman relatif maka semakin lancip bentuk gelombang, maka koefisien transmisi semakin kecil.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Gelombang Linear

Gelombang di alam memiliki bentuk yang sangat kompleks dan sulit didekati secara matematis karena masalah-masalah non-linieritas, berdimensi-3, dan mempunyai bentuk yang random. Teori gelombang air paling sederhana adalah teori gelombang linier (*Airy Wave Theory*) merupakan teori gelombang amplitudo kecil yang tinjauannya didekati sebagai gelombang monokromatik yaitu gelombang yang mempunyai amplitudo, panjang gelombang dan cepat rambat yang konstan selama penjalarannya. Teori gelombang Airy diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran irrotational dengan kondisi batas pada permukaan air dan dasar perairan (Dean & Dalrymple, 1991; Triatmodjo, 2009).

Gerakan fluida dengan kerapatan massa ρ dan vector kecepatan $\vec{u} = (u, v, w)$, masing-masing u , v dan w adalah komponen kecepatan dalam arah x , y dan z . Perkalian kerapatan massa ρ dengan vektor kecepatan $\vec{u}$ menjadi debit persatuan penampang lintang. Dalam pembahasan selajutnya fluida dianggap tidak termampatkan ($\vec{\nabla} \cdot \vec{u} = 0$), dan vektor kecepatan irrotasional ($\vec{\nabla} \times \vec{u} = 0$). Secara matematik vektor kecepatan $\vec{u}$ dinyatakan sebagai berikut (Sorensen, 2006):

$$\vec{u} = \hat{i}u + \hat{j}v + \hat{k}w \quad (2.1)$$

Sedangkan operator $\vec{\nabla}$

$$\vec{\nabla} = \hat{i} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{j} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{k} \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.2)$$

Karena kecepatan $\vec{u}$ bersifat irrotasional ($\vec{\nabla} \times \vec{u} = 0$), maka vektor kecepatan $\vec{u}$ dapat dinyatakan oleh gradien potensial kecepatan dan Sifat ketak-termampatkan (*incompressible*) dapat dinyatakan seperti berikut:

$$\vec{u} = \hat{i} \frac{\partial \phi}{\partial x} + \hat{j} \frac{\partial \phi}{\partial y} + \hat{k} \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (2.3)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{u} = \nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) disebut sebagai persamaan Laplace, dan potensial kecepatan ϕ merupakan fungsi dari x, y, z, t . Sifat irrotasional menghendaki pernyataan seperti berikut:

$$\vec{\nabla} \times \vec{u} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ u & v & w \end{vmatrix} = \hat{i} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \hat{j} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \hat{k} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) = 0 \quad (2.5)$$

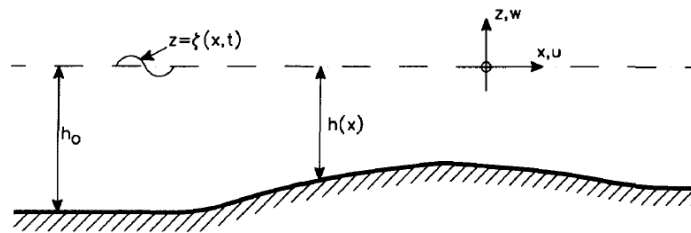
Berdasar pada persamaan di atas, maka setiap komponen bernilai 0, sehingga berlaku:

$$\frac{\partial w}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial z}; \quad \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial x}; \quad \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.6)$$

Untuk gerak fluida dua dimensi (x, z) seperti dimuat pada **Gambar 2.1**, u adalah kecepatan arah horizontal x , dan w adalah kecepatan arah vertikal z . Fungsi simpangan dari muka air rata-rata $z = \zeta(x, t)$, dan h adalah kedalaman fluida. Persamaan kekekalan momentum (Hukum Newton) bagi persamaan gerak dua dimensi adalah:

$$\text{Dalam arah rambat: } \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.7)$$

$$\text{Dalam arah vertikal: } \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (2.8)$$



Gambar 2.1 Definisi Sketsa (Dingemans, 1994)

Dari **Gambar 2.1** tampak bahwa diperlukan kondisi batas di dasar dan di permukaan. Kondisi batas di permukaan dan di dasar yang tidak melibatkan sumber gaya disebut batas kinematik, dan batas di permukaan yang melibatkan sumber gaya disebut batas dinamik.

$$\text{Batas kinematik di permukaan: } \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad \text{untuk } z = \zeta(x, t) \quad (2.9a)$$

$$\text{Batas kinematik di dasar: } w = 0 = \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{untuk } z = -h(x) \quad (2.9b)$$

$$\text{Batas dinamik di permukaan: } \frac{\partial \phi}{\partial t} + g\eta = 0 \quad \text{untuk } z = \zeta(x, t) \quad (2.9c)$$

2.2 Syarat kontinuitas

Dalam matematik, syarat kontinuitas suatu fungsi pada suatu posisi paling tidak harus memenuhi dua syarat bahwa: (1) limit kiri dan limit kanan pada titik itu harus sama, atau $\lim_{x \rightarrow c^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow c^+} f(x)$ dan (2) kemiringan fungsi dari kiri dan kanan harus sama $\lim_{x \rightarrow c^-} \frac{df(x)}{dx} = \lim_{x \rightarrow c^+} \frac{df(x)}{dx}$ (*differentiable*). Secara visual suatu fungsi dikatakan kontinu pada suatu poisisi apabila nilai dari kedua sisinya harus bernilai sama, dan memiliki kemiringan garis singgung yang sama.

2.3 Parameter Gelombang

Berdasarkan teroti gelombang *Airy*, gerak gelombang dianggap kurva mengikuti sinusoidal harmonis, beberapa karakteristik gelombang dapat dijelaskan secara geometris berdasarkan (Triatmodjo, 2009):

- Tinggi gelombang (H), yaitu jarak antara puncak dan lembah gelombang dalam satu periode.
- Panjang gelombang (L), jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.

$$L = \sqrt{gh} T \quad (\text{Laut Dangkal})$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L_0} \quad (\text{Laut Transisi})$$

$$L_0 = 1,56T^2 \quad (\text{Laut Dalam})$$

- Jarak antara muka air rata-rata (MSL) dan dasar laut disebut kedalaman laut (h).
- Kelancipan gelombang (*wave steepness*) (H/L).

- e. Ketinggian relative (*relative height*)(H/h).
- f. Kedalaman relative (*relative depth*)(h/L).
- g. Amplitudo gelombang (A) yakni setengah tinggi gelombang ($H/2$).
- h. Periode gelombang (T) yaitu interval waktu yang dibutuhkan antara 2 puncak gelombang (wave crest).
- i. Frekuensi (f), yaitu jumlah puncak gelombang yang melewati titik tetap per-detik ($f=1/T$).

2.4 Detail perambatan gelombang

Secara umum gelombang merambat dari tempat terbangkitnya dinamakan gelombang datang. Ketika gelombang datang merambat pada kedalaman konstan tanpa penghalang, Maka penjalarannya memelihara karakteristik gelombang tersebut tidak berubah yang secara matematik dinyatakan sebagai berikut (Hamdani, *et al.*, 2015):

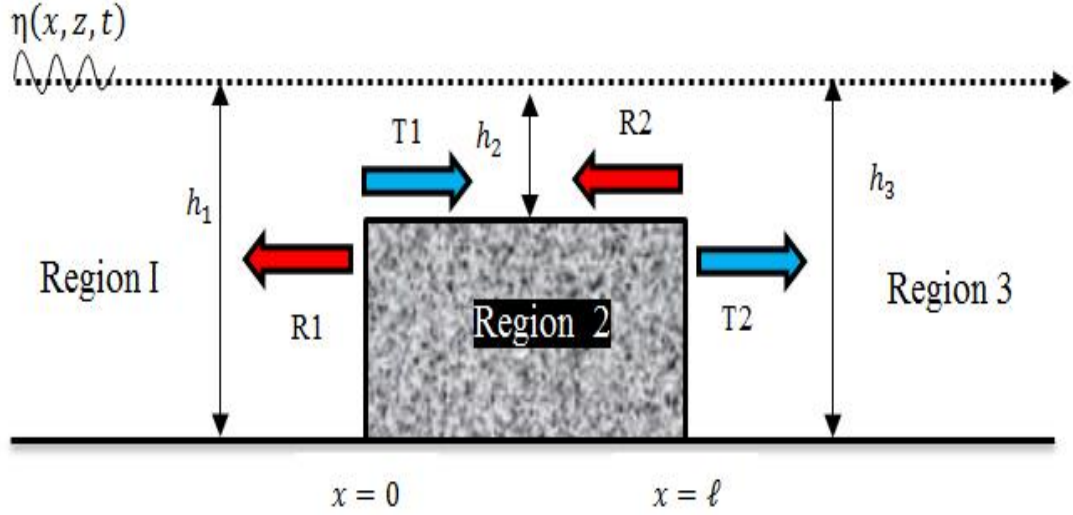
$$\eta_i(x, t) = A_i e^{-i(kx - \omega t)} \quad (2.10)$$

Dimana η = elevasi permukaan, A = amplitudo gelombang, k = bilangan gelombang ($\frac{2\pi}{L}$), $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (frekuensi gelombang)

Dalam kondisi penjalaran gelombang yang melewati pemecah gelombang berupa tanggul seperti pada **Gambar 2.2**, maka akan terbentuk gelombang refleksi dan gelombang transmisi. Terlihat bahwa batas $x = 0$ memecah gelombang datang akibat undakan menjadi gelombang refleksi dan gelombang transmisi (R_1 dan T_1). Gelombang transmisi (T_1) merambat dan kemudian terpecah kembali ketika terjadi perubahan kedalaman pada batas $x = \ell$ yang menghasilkan gelombang refleksi dan transmisi (R_2 dan T_2), sehingga total gelombang transmisi (T_2) merupakan hasil dari perambatan gelombang yang melewati pemecah gelombang. Secara matematik bentuk perambatan gelombang refleksi dan transmisi sebagai berikut (Dean, 1991).

$$\eta_R(x, t) = A_r e^{i(kx + \omega t)} \quad (2.11)$$

$$\eta_T(x, t) = A_T e^{-i(kx - \omega t)} \quad (2.12)$$



Gambar 2.2 Sketsa perambatan gelombang melewati tanggul

Secara keseluruhan, bentuk perambatan gelombang permukaan air diamati pada setiap area (η_1 , η_2 dan η_3) dapat dinyatakan sebagai berikut (Dean Robert, 1991).

$$\text{Pada area-1: } \eta_1(x, t) = \eta_i + \eta_{R1} \quad (2.13)$$

$$\text{Pada area-2: } \eta_2(x, t) = \eta_{T1} + \eta_{R2} \quad (2.14)$$

$$\text{Pada area-3: } \eta_3(x, t) = \eta_{T2} \quad (2.15)$$

Koefisien transmisi K_T merupakan total perambatan gelombang yang diteruskan setelah melewati pemecah gelombang. Dalam hal ini yang merupakan koefisien transmisi adalah T_2 pada persamaan (2.6). Parameter koefisien transmisi K_T dinyatakan sebagai perbandingan antara tinggi gelombang yang ditransmisikan (H_T) dengan tinggi gelombang datang (H_I) (Triatmodjo, 2009; Hamdani, 2015).

$$K_T = \frac{H_T}{H_I} \quad (2.16)$$

$$H_T = \frac{H_{max} - H_{min}}{2} \quad (2.17)$$

2.4.1 Syarat Batas yang Berlaku

Kondisi batas digunakan untuk menemukan solusi dari persamaan potensial kecepatan φ . kondisi batas sebagai berikut (Massel, S. R. 1989; Mondal, et al., 2018). Untuk posisi $x = 0$, berlaku:

$$\varphi_1 = \varphi_2 \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial x} = \frac{\partial \varphi_2}{\partial x} \quad (2.19)$$

Potensial kecepatan φ dan turunannya $\frac{\partial \varphi}{\partial x}$ tidak berubah pada saat gelombang menjalar pada posisi $x = 0$ dari area-1 ke area-2 maupun dari area-2 ke area-3.

Pada posisi $x = \ell$

$$\varphi_2 = \varphi_3 \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial \varphi_2}{\partial x} = \frac{\partial \varphi_3}{\partial x} \quad (2.21)$$

Dalam makalah Wiryanto (2011) pada kasus yang sama menggunakan syarat batas fungsi limit untuk kecepatan dan fluks massa (Q) dalam indentifikasi hubungan antara perambatan gelombang dan angka gelombang (k).

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} Q_1 = \lim_{x \rightarrow 0^+} Q_2 \quad (2.22)$$

$$(-1 + a_r)k_1 = (-b_t + b_r)k_2 \quad (2.23)$$

$$\lim_{x \rightarrow \ell^-} Q_2 = \lim_{x \rightarrow \ell^+} Q_3 \quad (2.24)$$

$$(b_t e^{-ik_2 \ell} - b_r e^{ik_2 \ell})k_2 = c e^{-ik_3 \ell} k_3 \quad (2.25)$$

Gelombang yang merambat dengan Fluks massa (Q) dinyatakan sebagai Hukum kekekalan massa bahwa $Q_1 = Q_2$ untuk batas $x = 0$ dan $Q_2 = Q_3$ untuk batas $x = \ell$. Perbedaan kedalaman (h) dikaji oleh Dingemans (1994) dalam indentifikasi fluks massa (Q) merupakan perkalian antara kecepatan (η) dengan kedalaman (h).

$$h_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial x} = h_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial x} \quad \text{untuk } x = 0 \quad (2.26)$$

$$h_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial x} = h_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial x} \quad \text{untuk } x = \ell \quad (2.27)$$

Dengan cara yang sama berlaku juga untuk fluks energi bahwa energi yang merambat pada setiap wilayah adalah sama atau disebut juga sebagai hukum konservasi energi. untuk posisi $x = 0$ berlaku $F_1 = F_2$ dan $F_2 = F_3$ untuk posisi $x = \ell$.

$$F = \frac{1}{2} \rho g A^2 c \quad (2.28)$$

Dimana $c = \sqrt{gh}$ (kecepatan fasa), Berdasarkan dari kondisi batas tersebut maka dapat ditemukan solusi kecepatan (φ) yaitu hasil perambatan gelombang berupa koefisien transmisi K_T yang melewati tanggul.

2.4.2 Disipasi Energi gelombang

Lesapan (*dissipation*) energi gelombang merupakan kejadian dimana terlepasnya energi gelombang yang merambat dari laut lepas yang ditandai dengan berkurangnya tinggi gelombang akibat berbagai faktor di antaranya tanggul pemecah gelombang. Faktor lesapan (D) untuk fluks energi berlaku pada posisi $x = 0$: $F_1 = F_2 + D$, dan $F_2 = F_3 + D$ pada posisi $x = \ell$. Berdasarkan syarat batas yang berlaku untuk tinjauan model tanggul dengan mengkaji penambahan faktor lesapan untuk koefisien transmisi. Secara umum besarnya lesapan energi gelombang (ε) yaitu energi gelombang datang (E_I) dikurangi energi gelombang refleksi (E_R) dan gelombang transmisi (E_t) (Horikawa, 1978; Dean and Dalrymple, 1992).

$$\varepsilon = E_I - E_R - E_T \quad (2.29)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{8} \rho g (H_I)^2 - \frac{1}{8} \rho g (H_R)^2 - \frac{1}{8} \rho g (H_T)^2 \quad (2.30)$$

$$K_D = 1 - \left(\frac{H_r}{H_I} \right)^2 - \left(\frac{H_t}{H_I} \right)^2 \quad (2.31)$$

$$K_D = 1 - K_R^2 - K_T^2 \quad (2.32)$$

Persamaan (2.32) banyak digunakan dalam percobaan laboratorium maupun simulasi numerik untuk tinjauan koefisien disipasi K_D .

2.5 Model SWASH

SWASH merupakan model gelombang non-hidrostatik open source untuk mensimulasi aliran rotasional, permukaan bebas, dan non hidrostatik. Persamaan yang mengatur didasarkan pada persamaan air dangkal dengan menambahkan suku tekanan non-hidrostatik, berasal dari persamaan Navier-Stokes. Persamaan air dangkal tersebut terdiri atas persamaan kontinuitas dan persamaan momentum serta syarat batas yang telah disederhanakan dalam satu dimensi (Zijlema et al., 2011).