

***AKURASI PENGUKURAN GELOMBANG DI TANGKI
GELOMBANG***

SKRIPSI

*Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih Gelar Sarjana
Di Program Studi Stara Satu Teknik Kelautan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin*



OLEH:

NOVRIAN YOSUA TIMANG

D081171309

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
Jalan Poros Malino Km. 6 Gowa, 92171, Sulawesi Selatan
TELEPON (0411) 586015
<http://teknikkelautan.unhas.ac.id> E-mail: teknikkelautan@eng.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Judul : Akurasu Pengukuran Gelombang di Tangki
Gelombang

Disusun Oleh:

Nama : Novrian Yosua Timang
NIM : D081171309

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 14 Juli 2022

Dosen Pembimbing I,

(Sabaruddin Rahman, ST., MT., Ph.D)

NIP. 19760719 200112 1 001

Dosen Pembimbing II,

(Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT.)

NIP. 19730709 200003 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

(Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.)

NIP. 19750605 200212 1 003

LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI

Judul Skripsi

“AKURASI PENGUKURAN GELOMBANG DI TANGKI GELOMBANG”

OLEH
NOVRIAN YOSUA TIMANG
D081 17 1309

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:
Tanggal : 14 Juli 2022
Di : Gowa

Dengan panel ujian skripsi

1. Ketua : Sabaruddin Rahman, ST., MT., Ph.D.
2. Sekretaris : Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT.
3. Anggota 1 : Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.
4. Anggota 2 : Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.

Mengetahui.
Ketua Departemen Teknik Kelautan


Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., M.T.
NIP. 19750605 200212 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Novrian Yosua Timang

NIM : D081 17 1309

Departemen : Teknik Kelautan

“AKURASI PENGUKURAN GELOMBANG DI TANGKI GELOMBANG”

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi tugas akhir yang saya tulis ini benar-benar hasil dan karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari saya terbukti atau tidak dapat dibuktikan bahwa atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 14 Juli 2022

Yang menyatakan,



Novrian Yosua Timang

ABSTRAK

Novrian Yosua Timang, D081171309 “Akurasi Pengukuran Gelombang di Tangki Gelombang”. Di bawah bimbingan **Sabaruddin Rahman** dan **Achmad Yasir Baeda**

Gelombang laut merupakan pergerakan dari air laut di permukaan dengan gerakan naik ataupun turun yang berbentuk sama seperti garis sinusoidal, yang dapat timbul diakibatkan oleh gaya pembangkit pada permukaan laut dengan macam pembangkit gelombang laut oleh angin, gaya tarik menarik antara bumi, bulan dan matahari, gempa dan terakhir oleh gerakan kapal. Gelombang reguler diuji dalam flume gelombang dengan panjang 25 m, lebar 1 m dan kedalaman 1,2 m yang dilengkapi dengan generator gelombang tipe flap. Penyerap gelombang di ujung lainnya dibangun dari gundukan batu. Delapan titik pengukur gelombang (HR Wallingford 8 saluran) ditempatkan bersama dengan panjang gelombang. Probe gelombang 1-5 diatur pada jarak $0,1L$ sedangkan 5-8 diatur pada $0,2L$. Pembangkit gelombang kemudian menghasilkan fluktuasi muka air yang meningkat hingga mencapai ketinggian gelombang yang diinginkan. Setelah beberapa gelombang datang, gelombang pantul kemudian menurunkan fluktuasi muka air hingga mencapai kondisi gelombang stabil (yang bentuk dan tinggi puncaknya relative sama) yang menunjukkan bahwa gelombang yang dihasilkan adalah gelombang linear. Metode R^2 digunakan untuk mengevaluasi akurasi pengukuran gelombang, bahwa metode dua titik dengan jarak pengukur gelombang $0,2L$ adalah metode terbaik untuk mengukur tinggi gelombang. Kedua metode tersebut dibandingkan dengan metode umum untuk mendapatkan yang sesuai untuk setiap kasus. Gelombang yang dibangkitkan cenderung nonlinier dengan bertambahnya tinggi gelombang. Keakuratan berkurang karena nonlinier gelombang yang dihasilkan. Kinerja pembangkit gelombang dapat ditingkatkan dengan mengurangi refleksi gelombang. Ada pengaruh jarak pengukur gelombang terhadap akurasi pengukuran tinggi gelombang. Akurasi yang baik dapat dicapai pada jarak probe gelombang $0,2L$ untuk metode dua titik dan tiga titik.

Kata Kunci: Gelombang, Pengukuran, HR Wallingford

ABSTRACT

Novrian Yosua Timang, D081171309 “Accuracy of Wave Measurement in Wave Tank”. Under the guidance of **Sabaruddin Rahman and Achmad Yasir Baeda**

Ocean waves are the movement of sea water on the surface with an up or down movement that is shaped like a sinusoidal line, which can arise due to the generating force on the sea surface with a kind of ocean wave generator by wind, attractive forces between the earth, moon and sun, earthquakes and finally by the movement of the ship. Regular waves were tested in a wave flume with a length of 25 m, a width of 1 m and a depth of 1.2 m equipped with a flap type wave generator. The wave absorber at the other end is constructed from a mound of rock. Eight wave gauge points (HR Wallingford 8 channels) are placed together with the wavelength. The 1-5 wave probes are set at $0.1L$ while the 5-8 are set at $0.2L$. The wave generator then produces an increasing water level fluctuation until it reaches the desired wave height. After several waves come, the reflected wave then lowers the fluctuation of the water level until it reaches a stable wave condition (which has the same shape and peak height) which indicates that the resulting wave is a linear wave. The R2 method is used to evaluate the wave measurement accuracy, that the two-point method with $0.2L$ waveform measuring distance is the best method for measuring wave height. The two methods are compared with the general method to get the appropriate one for each case. The generated waves tend to be nonlinear with increasing wave height. Accuracy is reduced due to the nonlinearity of the resulting waveform. The performance of the wave generator can be improved by reducing wave reflection. There is an effect of wave measuring distance on wave height measurement accuracy. Good accuracy can be achieved at a wave probe distance of $0.2L$ for the two-point and three-point methods.

Keywords: *Waves, Measurement, HR Wallingford*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan penyertaanNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi S1 pada Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian yang berjudul “Akurasi Pengukuran Gelombang di Tangki Gelombang”

Selama melaksanakan penelitian dan menyelesaikan Tugas Akhir Ini, penulis banyak mendapatkan pengalaman, bantuan, dukungan serta bimbingan baik dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kepada orang tua tercinta, **Ayah (Yunus Timang)** dan **Ibu (Elysabeth)** serta seluruh keluarga atas dukungan dan doa yang tak henti – hentinya selalu diberikan kepada penulis sehingga menyelesaikan pendidikan sarjana.
2. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT**, selaku Kepala Departemen Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin Makassar dan sebagai dosen penguji yang telah memberikan masukan dan arahan kepada penulis.
3. Bapak **Sabaruddin Rahman, ST., MT., Ph.D**, selaku Pembimbing I dan dosen Pembimbing Akademik, atas segala kesabaran dan waktu yang telah diluangkannya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesainya penulisan ini
4. Bapak **Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT**, selaku Pembimbing II atas segala kesabaran dan waktu yang telah diluangkannya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesainya penulisan ini
5. Ibu **Dr. Hasdinar Umar, ST., MT**, selaku dosen penguji yang telah memberi masukan dan arahan kepada penulis.

6. Seluruh Dosen Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu pengetahuan, dan bimbingan selama penulis melakukan studi.
7. Seluruh Tenaga Pendidikan Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin terkhusus (**Ibu Marwah, Pak Rio serta Pak Isran**) yang telah membantu dan pelayanan selama penulis melakukan studi
8. **Teman - teman Angkatan 2017 Teknik Kelautan** yang senantiasa memberi semangat, dorongan serta masukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. **Teman - teman grup The X People, teman-teman KMKO Perkapalan dan KMKO TEKNIK (Rediscover You)** yang sudah memberi semangat, saran dan pendapat serta selalu setia menemani mabar dan berkegiatan dikala pengerjaan Tugas Akhir.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang selalu memberikan doa, dukungan dan semangat.

Akhir kata, terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Tuhan Yesus atas berkat serta hikmat yang diberikan selama ini, semoga Tuhan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Gowa, Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Gelombang	4
2.2. Klasifikasi Macam – macam Gelombang Laut.....	5
2.3. Teori Gelombang	6
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1. Lokasi Penelitian.....	13
3.2. Jenis Data	13
3.3. Metode Pengambilan Data	13
3.4. Alur Pelaksanaan Simulasi.....	15
3.5. Alur Penelitian	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1. Pelaksanaan Pengujian	18

4.2. Nilai Tertinggi, Nilai Terendah dan H Metode referensi.....	21
4.3. Konfigurasi Metode Pengukur Gelombang (Probe)	24
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
5.1. Kesimpulan	39
5.2. Saran.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa definisi parameter gelombang (Yumono, 1982).....	7
Gambar 2.2 Gelombang knoidal.....	10
Gambar 2.3 Persamaan R-squared.....	12
Gambar 3.1 Lokasi penelitian.....	13
Gambar 3.2 Pengaturan pengukur gelombang.....	14
Gambar 3.3 Diagram alur pelaksanaan simulasi.....	16
Gambar 3.4 Diagram alur penelitian.....	17
Gambar 4.1 Tampilan jendela Calibration pada kondisi awal.....	19
Gambar 4.2 Probe mengukur perambatan gelombang.....	19
Gambar 4.3 Grafik perbandingan nilai H 6 Probe dengan nilai H 3 Probe.....	30
Gambar 4.4 Grafik perbandingan nilai H 6 Probe dengan nilai H 2 Probe.....	30
Gambar 4.5 Nilai R-squared dengan jarak Probe gelombang.....	37
Gambar 4.6 Nilai Error Relatif dengan jarak Probe gelombang.....	38

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Tabel konfigurasi probe pengukur gelombang.....	20
Tabel 4.2 Tabel data uji coba gelombang.....	20
Tabel 4.3 Tabel data $d = 0,7$ m, $A = 0,058$ m.....	21
Tabel 4.4 Tabel Nilai Tertinggi, Nilai Terendah dan Nilai H Metode 6 Probe.....	23
Tabel 4.5 Tabel hasil nilai H Metode 2 probe.....	25
Tabel 4.6 Tabel hasil nilai H Metode 3 probe.....	27
Tabel 4.7 Tabel hasil nilai R-square.....	36
Tabel 4.8 Tabel nilai rata – rata R-square dan error relatif metode 2 probe.....	38
Tabel 4.9 Tabel nilai rata - rata R-square dan error relatif metode 3 probe.....	38
Tabel 1 Nilai R-squared metode 2 probe $d = 0,7$ m.....	43
Tabel 2 Nilai R-squared metode 3 probe $d = 0,7$ m.....	44
Tabel 3 Data $d = 0,6$ m, $A = 0.125$	45
Tabel 4 Nilai Tertinggi, Nilai Terendah dan Nilai H.....	47
Tabel 5 Hasil Metode 2 probe $d = 0,6$ m, $A = 0.125$	49
Tabel 6 Hasil Metode 3 probe $d = 0,6$ m, $A = 0.125$	51
Tabel 7 Nilai R-squared metode 2 probe $d = 0,6$ m	53
Tabel 8 Nilai R-squared metode 3 probe $d = 0,6$ m.....	54
Tabel 9 Data $d = 0,5$ m, $A = 0.086$	55
Tabel 10 Nilai Tertinggi, Nilai Terendah dan Nilai H.....	57
Tabel 11 Hasil Metode 2 probe $d = 0,5$ m, $A = 0,086$	59
Tabel 12 Hasil Metode 3 probe $d = 0,5$ m, $A = 0,086$	60
Tabel 13 Nilai R-squared metode 2 probe $d = 0,5$ m.....	62
Tabel 14 Nilai R-squared metode 3 probe $d = 0,5$ m.....	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim yang berada dalam kawasan teritorial laut yang luas, memiliki banyak pulau, dikelilingi oleh wilayah laut dan perairan; yang sebagian besar penduduknya menetap di wilayah perairan. Gelombang laut suatu fenomena alam yang sering terjadi di laut, gelombang laut dapat terbentuk karena dengan adanya transfer energi yang bergerak melintasi permukaan laut (Jasin dan Yosua, 2015). Gelombang tinggi dapat mengganggu aktivitas dan berdampak pada kehidupan masyarakat di darat. Gelombang tinggi dapat dicegah ataupun dikurangi bila ada informasi karakteristik gelombang pada semua wilayah yang dapat dipahami dengan baik agar dapat menunjang perencanaan kegiatan kelautan (Kurniawan et al. 2012).

Gelombang laut merupakan pergerakan dari air laut di permukaan dengan gerakan naik ataupun turun yang berbentuk sama seperti garis sinusoidal, yang dapat timbul diakibatkan oleh gaya pembangkit pada permukaan laut dengan macam pembangkit gelombang laut oleh angin, gaya tarik menarik antara bumi, bulan dan matahari, gempa dan terakhir oleh gerakan kapal (Ayunarita, 2017). Menurut Triatmodjo (1999) dalam Megawati et al. (2015), dengan pergerakan udara yang dapat mengubah suhu dari atmosfer dan juga angin dapat memengaruhi tinggi rendahnya gelombang laut dengan siklus makin kuat angin gelombang laut akan besar. Gelombang air dangkal adalah gelombang yang terjadi pada permukaan air dangkal di mana panjang gelombangnya cukup besar dibandingkan kedalamannya. Secara matematika gelombang air dangkal dapat dimodelkan dalam persamaan diferensial parsial.

Erosi pantai menjadi salah satu masalah yang membahayakan properti pesisir, menyebabkan degradasi tanah dan sumber daya alam yang berharga. Ini juga dapat mengganggu industri perikanan, perkapalan dan pariwisata. Pemecah gelombang terendam digunakan untuk melindungi daerah pantai dari aksi gelombang dengan cara meredam gelombang yang datang. Struktur ini

menyebabkan gelombang pecah dan menghilangkan sebagian energi gelombang, karena dipantulkan dan sebagian juga ditransmisikan ke pantai.

Interaksi gelombang dengan struktur pantai merupakan fenomena yang banyak dipelajari di laboratorium, kajian dilakukan untuk mengetahui kinerjanya dalam panjang gelombang, fasilitas untuk melakukan pengujian gelombang reguler diuji dalam tangki gelombang yang dilengkapi dengan generator gelombang tipe flap, probe yang digunakan untuk mengukur gelombang. Salah satu faktor penting dalam pengujian bangunan pantai di laboratorium menggunakan gelombang adalah sesuai dengan gelombang di lapangan dengan yang dibangkitkan di laboratorium baik tinggi maupun periode gelombang. Pembangkit gelombang pada tangki gelombang memiliki kemampuan dan keterbatasan dalam membangkitkan gelombang. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain dimensi tangki gelombang, alat pembangkit gelombang, sistem frekuensi gelombang dan metode pengukuran tinggi gelombang yang digunakan. Selain itu, gelombang refleksi yang dihasilkan oleh model juga dapat memberikan pengaruh yang signifikan. Oleh karena itu, akurasi pengukuran tinggi merupakan faktor utama dalam menentukan ketidakpastian pengujian.

Maka dilakukanlah penelitian pengukuran gelombang yang dilakukan pada tangki gelombang yang kemudian akan dituangkan dalam bentuk penulisan tugas akhir atau skripsi dengan judul **Akurasi Pengukuran Gelombang di Tangki Gelombang**.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, melalui penelitian ini akan dilakukan pengujian untuk membandingkan akurasi pengukuran tinggi gelombang pada tangki gelombang

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui uji kerja pembangkit gelombang di tangki percobaan
2. Mengetahui akurasi pengukuran gelombang
3. Mengetahui metode pengukuran tinggi gelombang yang terbaik

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian tidak terlalu luas dan masih dalam kategori yang dapat dilakukan serta karena keterbatasan - keterbatasan yang ada, maka penelitian ini dibatasi pada beberapa hal seperti berikut:

1. Pengaruh kekakuan daya dan dinding tangki percobaan di abaikan.
2. Dasar tangki gelombang di anggap datar.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini dapat memberikan informasi tentang akurasi dalam mengukur gelombang di dalam tangki gelombang.

1.6. Sistematika Penulisan

Agar penulisan ini menjadi terarah dan sistematis, pokok-pokok uraian masalah penelitian setiap bab diuraikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB V PENUTUP

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelombang

Gelombang laut terbentuk pada daerah yang perairan lepas atau di tengah laut, gelombang dapat terjadi karena adanya pengaruh dari angin yang menyentuh permukaan laut, gesekan pada angin akan membentuk gerakan seperti mengombak dan sirkulasi (Sutedjo dan Pradana, 2018). Gelombang merupakan salah satu parameter laut terhadap laju mundurnya garis pantai yang posisinya dapat berubah karena pasang surut maupun juga erosi yang terjadi di Indonesia (Wakkary et al. 2017). Menurut Kurniawan et al. (2012) Beberapa jenis pembangkit gelombang, gelombang yang dibangkitkan oleh angin yang paling dominan terjadi di permukaan air laut yang terlihat dari frekuensi kejadiannya ataupun juga energinya.

Gelombang yang sehari-hari terjadi dan diperhitungkan dalam bidang teknik pantai adalah gelombang angin dan pasang surut (pasut). Gelombang dapat membentuk dan merusak pantai dan berpengaruh pada bangunan - bangunan pantai. Energi gelombang akan membangkitkan arus dan memengaruhi pergerakan sedimen dalam arah tegak lurus pantai (cross-shore) dan sejajar pantai (longshore). Pada perencanaan teknis bidang teknik pantai, gelombang merupakan faktor utama yang diperhitungkan karena akan menyebabkan gaya - gaya yang bekerja pada bangunan pantai.

Gelombang dipengaruhi oleh banyak faktor:

- a. Angin (Kecepatan angin, Panjang atau jarak hembusan angin, Waktu (lamanya) hembusan angin)
- b. Geometri laut (topografi atau profil laut dan bentuk pantai)
- c. Gempa (apabila terjadi tsunami) – sangat kecil atau minor

Ada pun manfaat gelombang laut antara lain :

- a. Menjaga kestabilan suhu dan iklim dunia
- b. Melalui permukaan ombak terjadi pertukaran gas
- c. Meningkatkan kemampuan adaptasi dan keanekaragaman makhluk hidup membantu terbentuk dan terjaganya pantai.

Refleksi gelombang terjadi ketika gelombang datang mengenai atau membentur suatu rintangan sehingga kemudian dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Gelombang datang yang tidak tegak lurus terhadap garis pantai akan dipantulkan kembali dengan sudut datang dan sudut kembali yang sama terhadap garis normal (tegak lurus) pantai. Tinjauan refleksi gelombang ini menjadi sangat penting di dalam perencanaan bangunan pantai. Pada kasus khusus seperti pelabuhan, gelombang yang ada di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidaktenangan muka air. Fluktuasi dari muka air ini menimbulkan gerakan pada kapal-kapal yang ditambat, dan membuat terbentuknya tegangan yang besar terhadap tali tambat.

2.2. Klasifikasi Macam – Macam Gelombang Laut

Gelombang mempunyai beberapa jenis yang berbeda dapat diklasifikasikan dari jenis macamnya seperti dari terpecahnya suatu gelombang lalu adanya pembangkit dari gelombang, kedalaman yang relatif dan yang terakhir dari sifat gelombang (Dhanista, 2017).

1. Berdasarkan sifatnya, ada dua macam gelombang laut, yaitu gelombang laut pembangun atau pembentuk pantai (constructive wave), merupakan gelombang yang ketinggiannya kecil kecepatannya rendah, dan saat gelombang tersebut pecah di pantai akan mengangkut sedimen (material pantai). Gelombang laut perusak pantai (destructive wave), merupakan gelombang laut dengan ketinggian dan kecepatan rambat yang besar, dan ketika gelombang ini menghantam pantai akan ada banyak volume air yang terkumpul dan mengangkut material pantai ke tengah laut.

2. Berdasarkan ukuran dan penyebabnya gelombang kapiler (capillary wave), gelombang kapiler ini adalah gelombang yang biasa kita sebut dengan riak, gelombang kapiler memiliki panjang gelombang sekitar 1,7 meter, periode kurang dari 0,2 detik dan disebabkan karena tegangan permukaan dan tiupan angin yang tidak terlalu kuat. Gelombang angin (seas/wind wave), merupakan gelombang dengan panjang gelombang mencapai 130 meter, periode 0,2 - 0,9 detik, dan disebabkan oleh :
 - a. Angin kencang.
 - b. Gelombang alun (swell wave), merupakan gelombang yang panjang gelombangnya dapat mencapai ratusan meter, periodenya sekitar 0,9 – 15 detik, dan disebabkan oleh angin yang bertiup lama.
 - c. Gelombang pasang surut (tidal wave), merupakan gelombang yang panjang gelombangnya dapat mencapai beberapa kilometer, periodenya antara 5 – 25 jam, dan disebabkan oleh fluktuasi gaya gravitasi matahari dan bulan.

2.3. Teori Gelombang

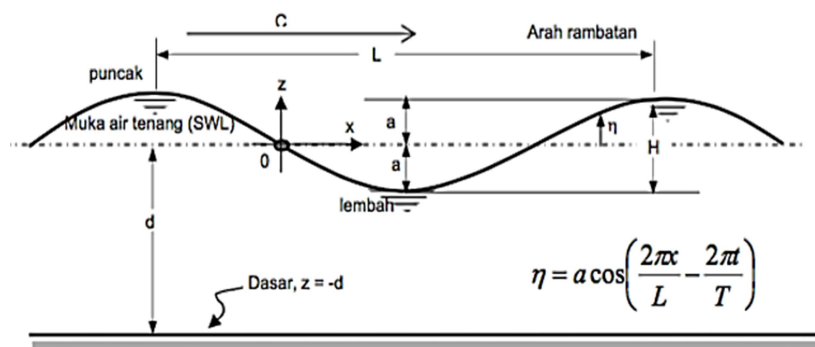
Ada beberapa dengan berbagai derajat kerumitan dan ketelitian untuk menggambarkan gelombang di alam, diantaranya adalah teori Airy, Stokes, dan Cnoidal. Masing-masing teori tersebut mempunyai batasan keberlakuan yang berbeda, seperti yang dijelaskan di bawah ini;

2.3.1. Teori Gelombang Airy

Teori gelombang Airy (teori amplitudo kecil) diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tidak berotasi (irrotational flow) dengan kondisi batas di dasar laut dan di permukaan air. Terdapat beberapa anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut:

1. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa adalah konstan.
2. Tegangan permukaan diabaikan.

3. Gaya coriolis (akibat perputaran bumi diabaikan).
4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
5. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak berotasi.
6. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan kompres sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.
7. Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
8. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.



Gambar 2. 1 Sketsa definisi parameter gelombang (Sumber : Yuwono, 1982)

Gambar 2.1 menunjukkan menunjukkan profil gelombang yang berada pada sistem koordinat x-y. Gelombang menjalar pada sumbu x. Beberapa notasi yang digunakan di dalam perhitungan Gelombang Airy adalah:

- H : Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)
- $\eta(x,t)$: Fluktuasi muka air terhadap muka air diam = $\eta = a \cos (kx-\sigma t)$
- a : Amplitudo gelombang
- H : Tinggi gelombang = 2 a
- L : Panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan
- T : Periode gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali
- C : Kecepatan rambat gelombang = L/T
- K : Angka gelombang = $2 \pi / L$

Σ : Frekuensi gelombang = $2\pi / T$

g : Gravitasi = $9,81 \text{ m/s}^2$

2.3.2. Teori Gelombang Stokes

Dalam teori gelombang linear fluktuasi muka air hanya diberikan untuk orde pertama. Untuk gelombang amplitudo berhingga harus diperhitungkan besaran-besaran yang berorde lebih tinggi, yang mempunyai bentuk umum. Stokes mengembangkan teori orde kedua untuk gelombang yang mempunyai tinggi gelombang kecil tetapi berhingga. Beberapa karakteristik gelombang Stokes diberikan berikut ini;

1. Panjang dan kecepatan rambat gelombang

Hubungan cepat rambat gelombang dengan panjang gelombang dan kedalaman adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad (2.1)$$

Dan hubungan panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman adalah:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad (2.2)$$

2. Fluktuasi muka air

Persamaan fluktuasi muka air untuk teori orde kedua diberikan oleh bentuk berikut;

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) + \frac{\pi H^2}{8L} \frac{\cosh \cosh kd}{\sinh^3 kd} (2 + \cosh 2kd) \cos 2(kx - \sigma t) \quad (2.3)$$

Untuk laut dalam, ($d/L > 0.5$) persamaan di atas menjadi;

$$\eta = \frac{H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{L_0}x - \frac{2\pi t}{T}\right) + \frac{\pi H_0^2}{4L_0} \cos\left(\frac{4\pi x}{L_0} - \frac{4\pi t}{T}\right) \quad (2.4)$$

3. Kecepatan partikel

Komponen kecepatan partikel dalam arah x dan y mempunyai bentuk berikut;

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh \cosh k(d+y)}{\sin kd} \cos(kx - \sigma t) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 c \frac{\cosh \cosh 2k(d+y)}{\sin^4 kd} \sin 2(kx - \sigma t) \quad (2.5)$$

$$v = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh \cosh k(d+y)}{\sin kd} \sin(kx - \sigma t) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 c \frac{\cosh \cosh 2k(d+y)}{\sin^4 kd} \cos 2(kx - \sigma t) \quad (2.6)$$

2.3.3. Teori Gelombang Cnoidal

Teori gelombang amplitudo berhingga dari stokes berlaku apabila perbandingan antara kedalaman dan panjang gelombang d/L adalah lebih besar dari sekitar $1/8 - 1/10$. Untuk gelombang panjang dengan amplitudo berhingga di laut dangkal lebih sesuai apabila digunakan teori gelombang Cnoidal. Gelombang Cnoidal adalah gelombang periodik yang biasanya mempunyai puncak tajam yang dipisahkan oleh lembah yang cukup panjang. Teori ini berlaku apabila $d/L < 1/8$ dan parameter Ursell $Ur > 26$. Parameter Ursell didefinisikan sebagai $Ur = HL^2/d^3$.

Gambar 2.2 menunjukkan beberapa parameter gelombang knoidal. Karakteristik gelombang dinyatakan dalam bentuk parameter yang merupakan fungsi dari k . Parameter k tidak mempunyai arti fisik, dan hanya digunakan untuk menyatakan hubungan antara berbagai parameter gelombang. Ordinat dari permukaan air y_s diukur terhadap dasar diberikan oleh;

$$Y_s = y_t + H \operatorname{cn}^2 \left\{ 2K(k) \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right), k \right\} \quad (2.7)$$

Dengan;

Y_t : Jarak dari dasar ke lembah gelombang

cn : Fungsi cosinus elips

$K(k)$: Integral ellipse

K : Modulus dari integral ellipse

Nilai k berkisar antara 0 dan 1. Apabila $k = 0$, profil muka air menjadi sinusoidal seperti pada teori gelombang Airy, sedangkan jika $k = 1$ profil gelombang menjadi profil gelombang tunggal.

Jarak dari dasar ke lembah gelombang yt , adalah;

$$\frac{yt}{d} = \frac{yc}{d} - \frac{H}{d} = \frac{16d^2}{3L^2} K(k) [K(k) - E(k)] + 1 - \frac{H}{d} \quad (2.8)$$

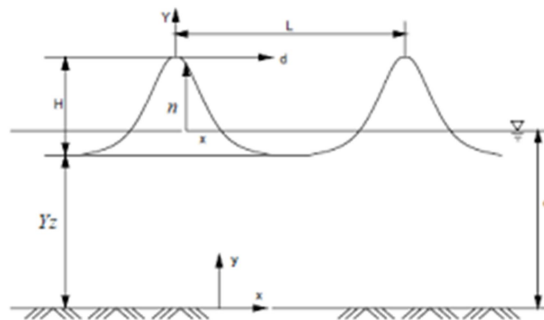
Dengan yc adalah jarak dari dasar ke puncak gelombang.

Panjang gelombang diberikan oleh:

$$L = \sqrt{\frac{16d^3}{3H}} k K(k) \quad (2.9)$$

Periode gelombang:

$$T = \sqrt{\frac{g}{d}} = L = \sqrt{\frac{16yt}{3H}} \frac{d}{yt} \left[\frac{kK(k)}{1 + \frac{H}{ytK^2} \left(\frac{1}{2} - \frac{E(k)}{K(k)} \right)} \right] \quad (2.10)$$



Gambar 2. 2 gelombang knoida (Sumber: Triatmodjo, 2012)

Ada beberapa metode yang tersedia untuk mengukur tinggi gelombang menggunakan pengukur gelombang. Metode dua dan tiga poin adalah metode yang paling umum digunakan oleh para peneliti. Metode dua titik dikembangkan oleh Goda dan Suzuki. Metode ini telah digunakan oleh beberapa peneliti untuk mengukur transmisi dan refleksi gelombang simulasi akibat pemecah gelombang terendam. Dua pengukur gelombang ditempatkan baik di depan dan di belakang struktur. Mahmoudi

mengatur jarak antara dua probe gelombang dalam kisaran 0,05 hingga 0,45 L di mana L adalah panjang gelombang. Selanjutnya, dua pengukur gelombang pada jarak 0,1L digunakan untuk mengukur gelombang datang dan gelombang pantul. Empat pengukur gelombang telah digunakan untuk mengukur tinggi gelombang di dua tempat berbeda dalam tangki gelombang. Namun, ada beberapa keterbatasan metode pengukur gelombang dua titik ini. Mereka mengembangkan metode tiga titik untuk memisahkan gelombang datang dan gelombang refleksi. Metode ini telah digunakan untuk mengukur refleksi dan transmisi gelombang yang melewati *floating breakwater*.

Alih-alih metode dua dan tiga titik yang dijelaskan sebelumnya, metode umum lainnya adalah dengan menggunakan probe gelombang yang dilalui sepanjang arah perambatan gelombang. Tinggi gelombang maksimum dan minimum dihitung untuk mendapatkan tinggi gelombang datang dan refleksi H dari rumus:

$$H_i = \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (2.11)$$

$$H_r = \frac{H_{max} - H_{min}}{2} \quad (2.12)$$

Ket :

H_i : Gelombang datang

H_r : Gelombang refleksi

H_{max} : Tinggi gelombang maksimum

H_{min} : Tinggi gelombang minimum

Nilai akurasi menunjukkan kedekatan hasil terhadap nilai sebenarnya yang telah ditentukan oleh metode standar. Akurasi metode yang lebih baik adalah yang memberikan nilai R yang mendekati 100%. Kesalahan yang berhubungan dengan akurasi yaitu kesalahan sistematik. Kesalahan sistematik dapat disebabkan oleh standar, kalibrasi, atau instrument yang tidak baik.

Nilai presisi menunjukkan seberapa dekat suatu hasil pemeriksaan bila dilakukan berulang dengan sampel yang sama. Kesalahan yang berhubungan dengan nilai presisi adalah kesalahan Acak (Random error) Kesalahan acak mungkin disebabkan ketidakstabilan. Suatu metode yang baik adalah yang memiliki presisi dan akurasi yang baik.

R-square merupakan suatu nilai yang memperlihatkan seberapa besar variabel independen (eksogen) memengaruhi variabel dependen (endogen). R-squared merupakan angka yang berkisar antara 0 sampai 1 yang mengindikasikan besarnya kombinasi variabel independen secara bersama – sama memengaruhi nilai variabel dependen. Nilai R-squared (R²) digunakan untuk menilai seberapa besar pengaruh variabel laten independen tertentu terhadap variabel laten dependen. Terdapat tiga kategori pengelompokan pada nilai R square yaitu kategori kuat, kategori moderat, dan kategori lemah (Hair et al., 2011). Hair et al menyatakan bahwa nilai R square 0,75 termasuk ke dalam kategori kuat, nilai R square 0,50 termasuk kategori moderat dan nilai R square 0,25 termasuk kategori lemah (Hair et al., 2011). R squared tidak hanya bisa digunakan pada regresi saja, melainkan dapat menggunakan rumus R squared di semua model untuk menentukan baik atau tidaknya model. (Ghozali, I. 2016)

$$y = bx + a + \varepsilon$$

Dimana:

- x adalah variabel independen.
- y adalah variabel dependen.
- a adalah *perpotongan Y*, yang merupakan nilai rata-rata yang diharapkan dari y jika semua variabel x sama dengan 0. Pada grafik regresi, ini adalah titik di mana garis melintasi sumbu Y .
- b adalah *kemiringan* garis regresi, yang merupakan laju perubahan y saat x berubah.
- ε adalah istilah kesalahan acak, yaitu perbedaan antara nilai aktual variabel dependen dan nilai prediksi.

Gambar 2.3 Persamaan R-squared (Sumber: www.pengalaman-edukasi.com)