



Media Pembangkit Gelombang Skala Laboratorium

Ahmad Su'udi¹, Jamiatul Akmal^{2*}, Yoki Surya Grahita³, Asnawi Lubis⁴, Novri Tanti⁵, Zuhendri Hasymi⁶
¹²³⁴⁵⁶Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung
^{2*}jamiatul.akmal@eng.unila.ac.id

Abstract

In the design of offshore building structures, calculations are required by looking at the factors that occur in the ocean. A big factor that occurs is the disturbance force of waves which can disrupt the strength of the building structure to be created. For this reason, this research makes a wave generating media device on a laboratory scale. With this tool, efforts are also made to resemble the original wave, where the deeper it is, the smaller the strength of the wave formed. This effort is an implementation of the wave forms that occur in the open sea. The results of the design of a wave generating media device measuring 3690x830x940 mm. From wave observations and calculations, it was found that the wavelength was 0.5m and the amplitude was 0.01m. It was concluded that the type of wave characteristic produced by this tool was categorized as an airy wave.

Keywords: Design, Wave Generation Media, Wave Characterization, Airy's Theory.

Abstrak

Pada perancangan struktur bangunan lepas pantai diperlukan perhitungan dengan melihat faktor-faktor yang terjadi di lautan tersebut. Faktor yang besar terjadi adalah gaya gangguan gelombang ombak yang dapat mengganggu kekuatan struktur bangunan yang akan dibuat. Untuk itu penelitian kali ini membuat alat media pembangkit gelombang dalam skala laboratorium. Dengan adanya alat ini juga diupayakan agar dapat menyerupai gelombang aslinya dimana semakin dalam maka kekuatan gelombang yang terbentuk semakin kecil. Upaya ini merupakan implementasi dari bentuk gelombang yang terjadi di lautan lepas. Hasil dari rancangan alat media pembangkit gelombang berukuran 3690x830x940 mm. Dari pengamatan dan perhitungan gelombang didapatkan panjang gelombang 0,5m dan amplitudo 0,01m. Disimpulkan bahwa jenis karakterisasi gelombang yang dihasilkan pada alat tersebut dikategorikan sebagai gelombang airy.

Kata kunci: Rancang Bangun, Media Pembangkit Gelombang, Karakterisasi Gelombang, Teori Airy.

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara maritim dengan wilayah laut yang luas serta potensi-potensi alamnya yang besar. Laut yang luas memiliki potensi dalam bidang teknologi struktur untuk menopang aktifitas eksplorasi sumber daya kelautan. Pada perancangan struktur bangunan lepas pantai diperlukan perhitungan dengan melihat faktor-faktor yang terjadi di lautan tersebut. Faktor dominan yang terjadi adalah gaya gangguan gelombang ombak yang dapat mengganggu kekuatan struktur bangunan, misalnya gangguan ombak terhadap kabel bawah laut [1], [2], *Tension Leg Platform* [3], [4], [5] and *Submerged Floating Tunnel* [6].

Artikel ini memuat proses perancangan alat media pembangkit gelombang dalam skala laboratorium untuk menunjang penelitian dan praktikum mahasiswa tentang teknologi struktur kelautan. Jenis gelombang

ombak yang dihasilkan diketahui secara spesifik setelah dilakukannya pengamatan ketika kolam pengombak telah beroperasi. Dengan pengamatan secara langsung dan dilihat serta diukur maka dapat diketahui jenis gelombang ombak apa yang didapatkan dengan mengacu pada teori-teori gelombang yang ada.

Gelombang adalah fenomena gerakan osilasi permukaan, yang amplitudonya lebih besar di permukaan dan semakin berkurang menuju dasar laut. Gerakan naik turunnya air yang tegak lurus permukaan laut membentuk kurva sinusoidal. Gelombang laut biasanya disebabkan oleh angin yang mentransfer energinya ke air, menyebabkan riak dan menjadi gelombang [7].

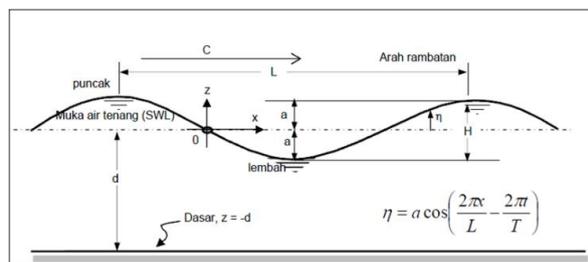
Untuk mengembangkan spesifikasi rancangan dilakukan investigasi atas permasalahan-permasalahan yang ingin diselesaikan. Selanjutnya perancangan

dilakukan dengan tahapan-tahapan yang dikenal sebagai fase-fase perancangan [8]. Fase-fase perancangan dimulai dari identifikasi rancangan, konseptual rancangan, embodiment rancangan, sampai detil rancangan. Embodimen rancangan disketsa menggunakan aplikasi *Autocad Inventor*. Perancangannya disesuaikan dengan ketersediaan bahan yang mudah dijumpai dipasaran.

Hasil rancangan selanjutnya difabrikasi dan dilakukan pengujian kinerja untuk melihat efektifitas rancangan. Selanjutnya ombak yang dihasilkan diamati untuk dikarakterisasi berdasarkan teori-teori gelombang yang ada, diantaranya Teori Gelombang Airy, Stokes, Cnoidal dan Solitary [9].

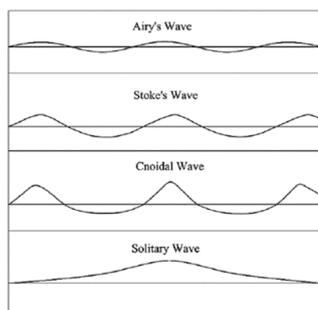
Karakterisasi Gelombang Air

Karakterisasi gelombang air merupakan gambaran umum atau kegiatan untuk mengetahui sifat dan karakter sebuah gelombang air. Teori gelombang amplitudo rendah diteliti lebih lanjut oleh Airy atau juga dipertimbangkan oleh teori Stokes orde pertama yang umumnya diterapkan pada semua d/L (rasio kedalaman air terhadap panjang gelombang). Gambar 1 memperlihatkan parameter ombak.



Gambar 1. Profil dan Parameter ombak [10].

Teori jenis-jenis gelombang ditunjukkan pada Gambar 2. Teori gelombang amplitudo rendah didasarkan pada asumsi bahwa gerakan cukup kecil untuk memungkinkan kondisi batas permukaan bebas dilinearakan, yaitu istilah yang terkait dengan amplitudo gelombang kedua dan di atas dapat diabaikan. Jika amplitudo gelombang besar, penting untuk mempertahankan suku orde tinggi untuk mendapatkan representasi yang akurat dari gerakan gelombang. Teori gelombang amplitudo hingga atau teori orde tinggi Stokes mirip dengan konsep bahwa suku orde tinggi tambahan diabaikan dalam Teori Udara.



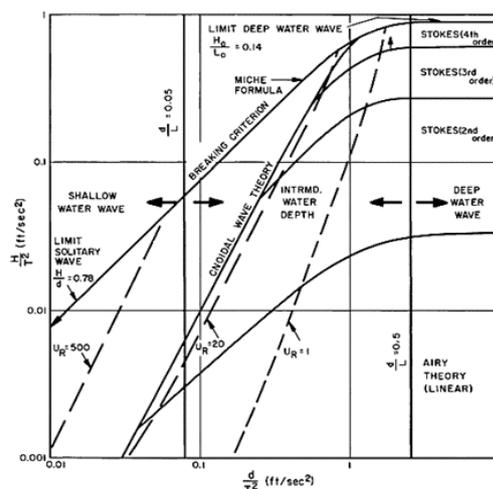
Gambar 2. Profil Permukaan dan karakterisasi Ombak

Pemilihan teori gelombang harus didasarkan pada parameter gelombang, yaitu periode, tinggi dan kedalaman. Setiap teori gelombang berlaku hanya dalam kondisi tertentu. Untuk mempresentasikan kondisi ombak yang lebih mendekati kondisi nyata, dapat digunakan teori Stokes pada orde tinggi. Teori stokes mengasumsikan kecepatan potensial sebagai deret kuadrat dari parameter gangguan dan solusi diperoleh jika kondisi ombak tidak terlalu curam dan kedalaman laut tidak terlalu rendah. Pada kondisi laut yang dangkal, dapat digunakan teori Cnoidal. Teori ini dapat mempresentasikan ombak yang curam dengan puncak ombak yang lancip dan lembah ombak yang datar. Keterbatasan teori Cnoidal adalah tidak valid terhadap kondisi panjang ombak yang sangat panjang atau tidak terhingga [11]. Pada kondisi ini teori Solitary dapat digunakan. Setiap teori ombak hanya valid untuk diterapkan pada kondisi tertentu, dimana klasifikasinya ditunjukkan pada Gambar 3 [12]. Pembagian wilayah penerapan teori ombak berdasarkan periode (Persamaan 1).

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh[k(d+z)]}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) \quad (1)$$

Untuk merepresentasikan kondisi ombak yang lebih mendekati kondisi nyata, dapat digunakan teori Stokes orde tinggi. Teori Stokes mengasumsikan kecepatan potensial sebagai deret kuadrat dari parameter gangguan dan solusi diperoleh jika kondisi ombak tidak terlalu curam dan kedalaman laut tidak terlalu rendah Persamaan perhitungan teori stokes terdapat pada Persamaan (2) [9].

$$u = \frac{Hgt}{T} \frac{\cosh[k(d+z)]}{\cosh} \cos(kx - \sigma t) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 C \frac{\cosh[2k(z+d)]}{\sinh^4 kd} \dots(2)$$



Gambar 3 . Klasifikasi penerapan teori ombak [12].

2. Metode Penelitian

Beberapa komponen yang digunakan pada alat ini adalah rangka dudukan penggerak pengombak untuk

menopang komponen-komponen yang terdiri dari motor, gearbox, pasangan sabuk puli dan rotor eksentrisitas. Gambar 4 merupakan rancangan rangka dudukan penggerak dengan ukuran tinggi 1150 mm dan lebar 740 mm. Gambar 5 memperlihatkan foto penggerak pengombak yang sudah terpasang.



Gambar 4. Rancangan Rangka Media Pengombak.



Gambar 5. Rangka media pembangkit gelombang

Sebagai sumber daya digunakan motor listrik AC dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 1. Pemilihan motor didasarkan kepada kebutuhan torsi untuk memutar rotor eksentris beserta semua komponen-komponen transmisinya. Perkiraan awal kebutuhan torsi dihirung dari beratnya pengombak (sekitar 4 kg) dikalikan dengan eksentrisitas maksimum 5 mm. Dengan demikian kebutuhan torsi adalah sekitar 20 kg.cm ($T=2.N.m$). Pengadaan motor disesuaikan dengan yang ada dipasaran, sebesar 1,5

Hp yang bias menghasilkan torsi sebesar 3,81 Nm, sebagaimana yang diperlihatkan pada Persamaan (3).

$$T = P \div \omega$$

$$T = \frac{P \times 60}{2\pi n}$$

$$T = \frac{1,5 \times 745,7 \times 60}{2 \times 3,14 \times 2800} = 3,81 Nm \quad (3)$$

Tabel 1. Spesifikasi motor listrik

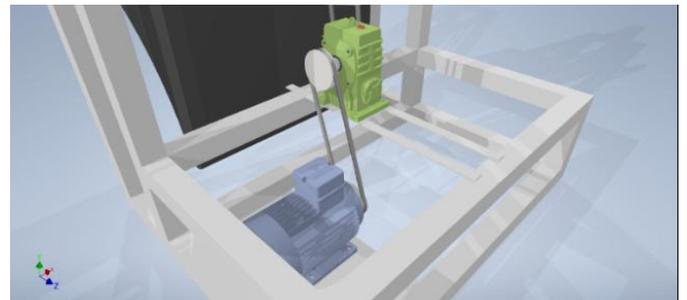
Daya	P	1,5 Hp
Putaran	N_1	2800 rpm
Puli pada motor listrik	d_1	6 cm
Puli pada Gearbox	d_2	7 cm



Gambar 6. Motor listrik dengan puli-sabuk

Dari daya motor yang diketahui dihitung torsi yang dihasilkan motor adalah seperti yang terlihat pada Persamaan (3).

Motor selanjutnya terhubung dengan sepasang puli dan sabuk (Gambar 6). *Pulley* yang digunakan pada motor listrik berdiameter 6 cm dan *pulley* yang digunakan pada input *gearbox* berdiameter 7 cm. Gambar 7 memperlihatkan rancangan motor listrik terhubung ke *gearbox* melalui sepasang puli sabuk.



Gambar 7. Rancangan Motor Listrik dan Gearbox

Reduksi putaran dari motor ke *gearbox* dapat dihitung dengan Persamaan (4)

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2}$$

$$\frac{N_2}{2800} = \frac{6}{7}$$

$$N_2 = \frac{6}{7} \times 2800 = 2400 \text{ rpm} \quad (4)$$

Gearbox yang dipakai memiliki rasio reduksi sebesar 1:10 serta memiliki sistem kerja dengan menggunakan roda gigi cacing (*worm gears*), sebagaimana yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. *Gearbox*

Dari rasio yang dimiliki pada *gearbox* maka putaran output yang terjadi pada *gearbox* adalah seperti yang terlihat pada Persamaan (5).

$$N_3 = 2400 \div 10 = 240 \text{ rpm} \quad (5)$$

Kemudian komponen selanjutnya kembali menggunakan sistem sabuk puli ke poros engkol. Puli *output gearbox* ini menggunakan ukuran 6 cm dan menyalurkan putaran ke puli rotor eksentris dengan ukuran 15 cm. Kecepatan rotor eksentris dapat dihitung dengan Persamaan (6).

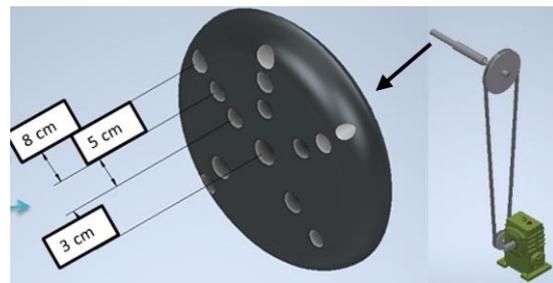
$$\frac{N_4}{N_3} = \frac{d_3}{d_4}$$

$$\frac{N_4}{240} = \frac{6}{15}$$

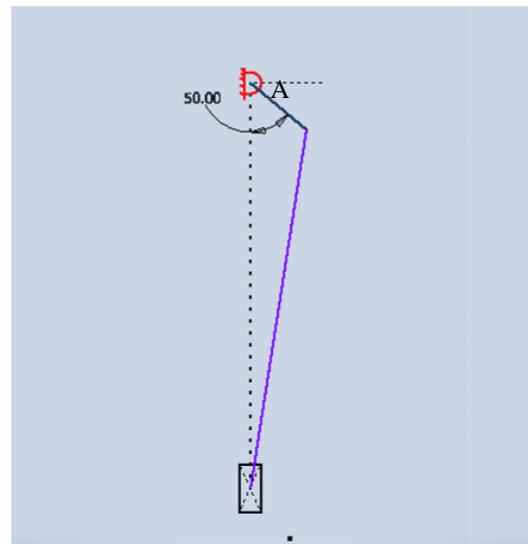
$$N_4 = \frac{6}{15} \times 240 = 96 \text{ rpm} \quad (6)$$

Rotor eksentris memiliki eksentrisitas 3 cm, 5 cm dan 8 cm sebagaimana yang terlihat pada Gambar 9. Selanjutnya putaran poros eksentrisitas diteruskan ke papan pengombak dengan sebuah batang penghubung sebagaimana yang terlihat pada Gambar 10, dan analisisnya dianggap sebagai mekanisme engkol peluncur. Kecepatan rotasi poros eksentris setara dengan Persamaan (7).

$$\omega = \frac{96 \times 2\pi}{60} = 10,04 \text{ rad/s} \quad (7)$$

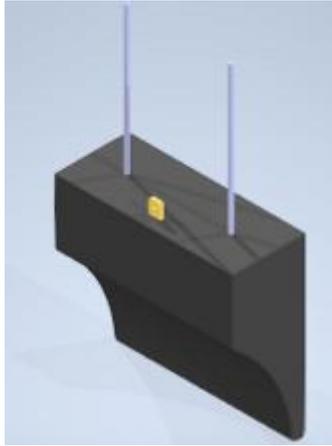


Gambar 9. Output putaran *gearbox* ke *pulley* poros engkol.



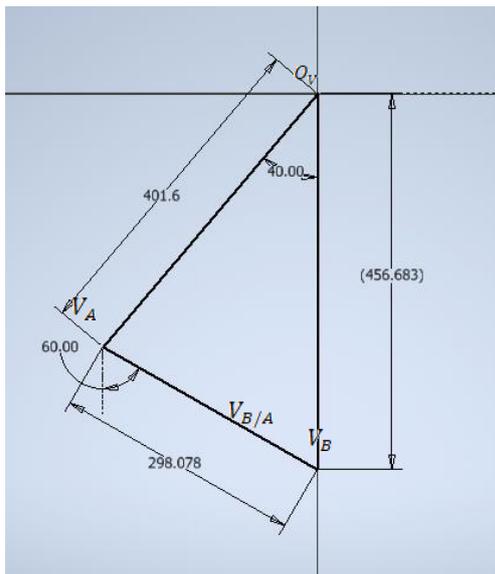
Gambar 10. Mekanisme Engkol Peluncur

Putaran tersebut diteruskan untuk menggerakkan media pembangkit gelombang, alat tersebut memiliki bentuk seperti pada Gambar 11.



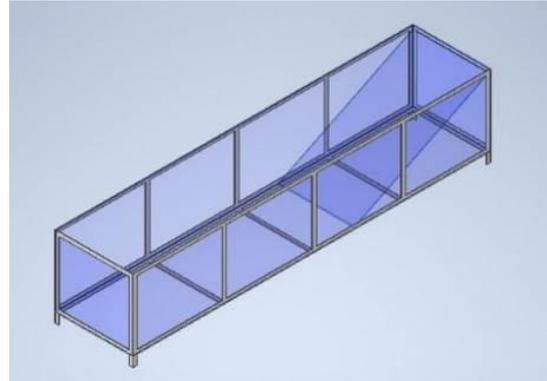
Gambar 11. Media Pembangkit Gelombang

Media pembangkit gelombang memiliki dimensi tinggi 700 mm dan lebar yang sama dengan tinggi. Alat ini juga memiliki radius 494 pada bagian bawahnya yang diasumsikan agar menghasilkan gelombang yang sama dengan gelombang lautan. Dari persamaan kinematika gerak lurus didapatkan poligon kecepatan sesaat yang terjadi pada media pembangkit gelombang dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Poligon kecepatan gerak media pembangkit gelombang

Media gelombang berupa kolam air yang terbuat dari kaca dan diperkuat dengan bingkai frame baja, yang rancangannya dapat dilihat pada Gambar 13. Dibuat dari kaca agar memudahkan mengamati gelombang yang terjadi.



Gambar 13. Desain Kolam Media Pembangkit Gelombang

3. Hasil dan Pembahasan

Kolam kaca yang telah dibuat memiliki ukuran panjang 3680 mm, tinggi 800 mm dan lebar 800 mm, serta ketebalan kaca 10 mm, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 14. Pada kolam kaca diberikan rangka besi siku yang menyesuaikan bentuk kolam kaca dengan sambungan las. Ketinggian permukaan air dari dasar kolam kaca sebesar 600 mm.



Gambar 14. Kolam Kaca

Spesifikasi Gelombang

Gelombang yang dihasilkan dari alat tersebut memiliki karakteristik yang sesuai dengan teori gelombang Airy. Adapun bentuk gelombang yang telah dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 15 dengan ketinggian permukaan air 600 mm. Panjang gelombang yang dihasilkan sebesar 550 mm, tinggi 20 mm. Dengan demikian amplitudo yang dihasilkan adalah sebesar 10 mm.



Gambar 15. Bentuk Gelombang

Karakteristik Jenis Gelombang

Dari data pengamatan di atas, parameter-parameter gelombang dapat dibandingkan dengan teori gelombang yang telah ada, diperiksa dengan rumus gelombang Airy dengan Persamaan (8) dan Persamaan (9), dimana parameter yang digunakan merujuk kepada Gambar 1.

$$\frac{\eta}{H} < 0.505 = \frac{1}{2} = 0.5 \quad (8)$$

Selanjutnya parameter-parameter gelombang diperiksa dengan rumus kedua dan diperoleh hasil sebagai berikut.

$$\eta \frac{L^2}{d^3} < 1 = 0.5 \times \frac{55^2}{52^3} = 0,01 \quad (9)$$

Dari Persamaan (8) diperoleh hasil 0.5 yang mana hasil tersebut merupakan syarat pertama dalam memenuhi data hasil gelombang Airy. Selanjutnya dari Persamaan (9) diperoleh nilai sebesar 0,01 yang merupakan syarat kedua dipenuhinya persamaan gelombang airy, dimana nilai harus kurang dari 1. Secara visual gelombang yang terjadi berbentuk sinusoidal, dan ini sesuai dengan teori gelombang Airy yang berbentuk gelombang regular.

4. Kesimpulan

Media gelombang yang telah dirancang dan dibuat dapat berfungsi dengan baik. Gelombang yang terjadi memiliki panjang 550 mm, tinggi 20 mm dan Amplitudo 10 mm. Karakterisasi gelombang ini didasarkan kepada Persamaan (8) dan Persamaan (9), dimana rasio amplitude terhadap tinggi gelombang bernilai 0,5. Dengan demikian gelombang berbentuk sinusoidal dan dapat dikategorikan sebagai Gelombang Airy.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Laboratorium Mekanika Struktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, atas sarana dan fasilitas yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. X. Cheng, Y. Wang, and G. Wang, 2012, Hydrodynamic Forces on a Large Pipeline and a Small Pipeline in Piggyback Configuration under Wave Action, *Journal Waterway Port Coastal Ocean Engineering*, Vol.138, No.5, pp.394-405.
2. X. Zan and Z. Lin., 2020, "On the Applicability of Morison Equation to Force Estimation Induced by Internal Solitary Wave on Circular Cylinder", *Ocean Engineering*, vol. 198, pp.106966
3. M. Lou, C. Yu, and P. Chen, 2015, Dynamic response of a riser under excitation of internal waves, *Journal Ocean University China*, vol. 14, no.6, pp.982-988
4. S. Chandrasekaran and K. Yuvraj, 2013, Dynamic analysis of a tension leg platform under extreme waves, *JournalNaval Architecture Marine Engineering*, vol.10, no.1, pp.59-68.
5. Akmal, J., Tanti, N., Lubis, A., Intan, D. F. K., 2022, Respon Dinamis Tension Leg Platform (TLP): Studi Komparasi Antara Penggunaan Ponton Telapak Lingkaran dengan Ponton Telapak Bujur Sangkar, *Machine; Jurnal Teknik Mesin Vol. 8 No. 1 A*.
6. Akmal, J., Lubis, A., Su'udi, A., Tanti, N., Nugraha, N., Fahrain, Z. A., & Hakim, P. F., 2017, *Hydrodynamic Forces on Submerged Floating Tube: The Effect Of Curvature Radius And Depth Level Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, Vol. 19 No. 1 pp.1-8.
7. Nadia Friska Marelsa1, Yosyea Oktaviandra, 2019, Analisis Karakteristik Gelombang Laut Menggunakan Software Windwave-12 (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai), *Oseana*, Vol. 44, No. 2 pp. 10 - 24
8. Pahl.G, W.Beitz, J. Feldhusen. K.-H Grote. 2007, *Engineering design A Systematic Approach Third Edition..* London Springer.
9. Sundar, V. 2016. *Ocean Wave Mechanics: Applications in Marine Structures*. John Wiley & Sons Ltd.
10. Akmal, J., Magnolia, A., Suudi, A., Tanti, N., Lubis, A., 2010, Identifikasi Kinematika Partikel Air dan Karakterisasi Gelombang Ombak Dengan Metode Video Tracker, *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, Vo.18, No.1, pp 24-28.
11. Sarpkaya, T. 2010. *Wave forces on offshore structures*. Cambridge university press.
12. Le Méhauté, B., 1976. *An Introduction to Hydrodynamics and Water Waves (Springer Study Edition)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.