

Identifikasi kinematika partikel air dan karakterisasi gelombang ombak dengan metode *video tracker*

Jamiatul Akmal, An Nisa Magnolia, Ahmad Suudi, Novri Tanti, Asnawi Lubis

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brodjonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145
Email korespondensi: jamiatul.akmal@eng.unila.ac.id

Abstrak

Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki potensi sumber daya laut yang besar. Potensi tersebut harus didukung dengan kajian teoritis sebagai dasar untuk pengembangan teknologi kelautan. Untuk itu pada kajian ini dibuat media gelombang skala laboratorium sebagai media pengamatan kinematika partikel air dan pendefinisian persamaan gerak gelombang. Partikel air diwakili oleh bola pelampung yang dipasang pada berbagai tingkat kedalaman. Pergerakan pelampung direkam dengan perekam video, kemudian diubah menjadi grafik perpindahan dengan aplikasi video tracker. Seperangkat pembangkit gelombang dirancang untuk mendapatkan berbagai ukuran dan jenis gelombang, yang bergerak bolak-balik dan terhubung ke rotor eksentrik dengan mekanisme engkol peluncur. Eksentrisitas rotor dapat divariasikan, pada kajian ini ditentukan $e_1 = 3$ cm, $e_2 = 5$ cm, dan $e_3 = 8$ cm. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa untuk e_1 jenis gelombang yang terjadi sesuai dengan Persamaan Airy, sedangkan untuk e_2 dan e_3 diperoleh gelombang yang sesuai dengan Persamaan Stokes. Selain itu, diketahui pula perpindahan pergerakan partikel air yang terjadi maksimal di permukaan dan berkurang di level yang lebih dalam.

Kata kunci: gelombang, kinematik, bola-bola apung, video tracker.

Abstract

As an archipelagic country, Indonesia has great potential for marine resources. This potential must be supported by theoretical studies as the basis for the development of marine technology. For this reason, in this study a laboratory scale wave medium was created as a medium for observing the kinematics of water particles and defining the equations of wave motion. Water particles are represented by buoy balls that are installed at various depth levels. The motion of the buoys is recorded with a video recorder and then converted into a displacement graph with a video tracker application. The wave generator is designed to get a variety of wave sizes and types. The wave generator moves back and forth and is connected to an eccentric rotor by a sliding crank mechanism. The eccentricity of the rotor can be varied, in this study it was determined that $e_1=3$ cm, $e_2=5$ cm and $e_3=8$ cm. From the test results it can be concluded that for e_1 the type of wave that occurs is in accordance with the Airy Equation, while for e_2 and e_3 the waves are obtained in accordance with the Stokes Equation. In addition, it is also known that the displacement of water particle movement is maximum on the surface and decreases at deeper levels.

Keywords: waves, kinematics, buoy balls, video tracker.

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara maritim, maka dibutuhkan penguasaan ilmu dan teknologi di bidang ini. Contoh penerapan teknologi maritim adalah struktur anjungan pengeboran minyak lepas pantai, *Tension Leg Platform/TLP* [1-3], sistem perpipaan bawah laut dan kabel jaringan listrik/telekomunikasi bawah laut [4,5]. Bahkan akhir-akhir ini telah berkembang pula kajian tentang penggunaan struktur silinder raksasa untuk terowongan transportasi melintasi selat/danau, yang dikenal dengan istilah *Submerged Floating Tunnel Bridge/SFTB* [6-7]. SFTB adalah terowongan berbentuk struktur tabung terapung yang ditempatkan di bawah permukaan air dan posisinya dipertahankan oleh tali tambat, dibandingkan dengan jembatan konvensional, SFTB memiliki banyak keuntungan, diantaranya biaya konstruksi yang

rendah, waktu konstruksi yang cepat, ramah lingkungan, dapat dipindahkan dan digunakan kembali [8].

Salah satu persoalan penting yang perlu diketahui dalam menganalisis perilaku dinamik struktur kemaritiman adalah gaya hidrodinamik. Gaya hidrodinamik terjadi akibat interaksi antara gerakan fluida dan struktur. Persamaan gaya hidrodinamik dibangun dan dikembangkan dari persamaan kinematika partikel air pada gelombang ombak [9]. Dalam analisis gaya hidrodinamik, telah dikembangkan teori-teori pendekatan untuk mendefinisikan bermacam-macam jenis gelombang.

Terdapat beberapa teori gelombang ombak yang menjelaskan tentang kinematika partikel dan profil ombak. Teori ombak yang banyak digunakan adalah

teori ombak linier atau dikenal sebagai teori Airy. Teori ini banyak digunakan karena asumsinya dibangun dari bentuk gelombang sederhana berupa sinusoidal. Selain teori Airy, terdapat beberapa teori lain, seperti teori gelombang Stokes, Cnoidal dan Solitary.

Teori Airy merupakan teori Stokes orde pertama. Dengan mengabaikan orde yang lebih tinggi dari persamaan yang digunakan pada teori Stokes, maka teori Airy valid untuk ketinggian ombak yang relatif kecil dibandingkan panjang ombak. 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 [10].

Pada kondisi laut yang dangkal, dapat digunakan teori Cnoidal. Teori ini dapat merepresentasikan ombak yang curam dengan puncak ombak yang lancip dan lembah ombak yang datar. Keterbatasan teori Cnoidal adalah tidak valid pada kondisi panjang ombak yang sangat panjang atau tidak terhingga. Pada kondisi ini teori Solitary dapat digunakan.

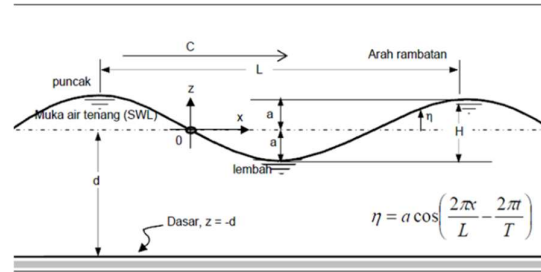
Untuk mengkarakterisasi jenis gelombang ombak terhadap teori-teori gelombang yang ada, pada kajian ini dilakukan eksperimen tentang bermacam-macam jenis gelombang ombak. Eksperimen dilakukan pada sebuah media air dan gelombang dibangkitkan dengan sebuah papan profil segitiga yang terhubung ke poros eksentris sebagaimana mekanisme engkol peluncur. Variasi amplitude gelombang dapat diperoleh dari pengaturan jarak eksentrisitas, sedangkan variasi frekuensi dapat diperoleh dari pengaturan kecepatan rotor.

Kajian dilakukan untuk mendeteksi gerakan kinematis partikel air pada gelombang ombak. Partikel air direpresentasikan oleh bola-bola pelampung yang berukuran kecil, yang dipasang pada level kedalaman yang berbeda-beda. Selanjutnya bola-bola pelampung diidentifikasi melalui rekaman video, untuk selanjutnya dikonversi menjadi grafik perpindahan dengan menggunakan aplikasi *Video Tracker*. Hasil pembacaan *Video Tracker* selanjutnya dibandingkan dengan grafik perpindahan partikel berdasarkan teori gelombang yang ada. Dengan demikian dapat diketahui jenis gelombang yang terbentuk dan persamaan yang cocok untuk analisis.

2. Metode

Model dan Analisis

Gelombang ombak dan parameter-parameternya dalam koordinat kartesius diperlihatkan pada Gambar 1, di mana H adalah jarak antara puncak dan lembah, η adalah amplitude gelombang dan d adalah kedalaman air.



Gambar 1. Gelombang ombak dan parameter-parameternya dalam kordinat kartesius.

Persamaan kinematika partikel air pada gelombang ombak diturunkan dari kecepatan potensial yang memenuhi persamaan Laplace sebagaimana yang diperlihatkan pada Persamaan (1). Dengan metode pemisah variabel, solusinya dapat dilihat pada Persamaan (2) [11].

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \tag{1}$$

$$\phi = \frac{\pi H}{kT} \frac{\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) \tag{2}$$

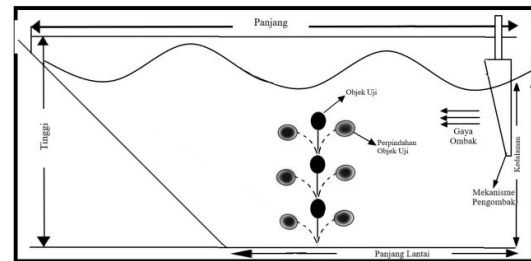
Kecepatan dan percepatan partikel air dalam arah horizontal untuk berbagai variasi level kedalaman diperoleh dengan menurunkan Persamaan (2) terhadap sumbu-x dan dapat dinyatakan dengan Persamaan (3) dan Persamaan (4).

$$v_x = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) \tag{3}$$

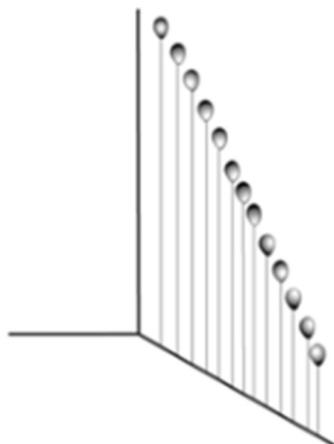
$$\dot{v}_x = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) \tag{4}$$

Studi Eksperimental

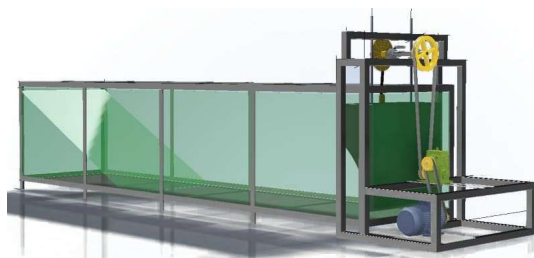
Eksperimen dilakukan pada sebuah media gelombang ombak dengan rancangan konsep seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. Bola-bola pelampung sebagai objek uji dipasang pada berbagai variasi level kedalaman, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Secara keseluruhan peralatan pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2. Rancangan konsep objek uji menggunakan bola-bola pelampung.

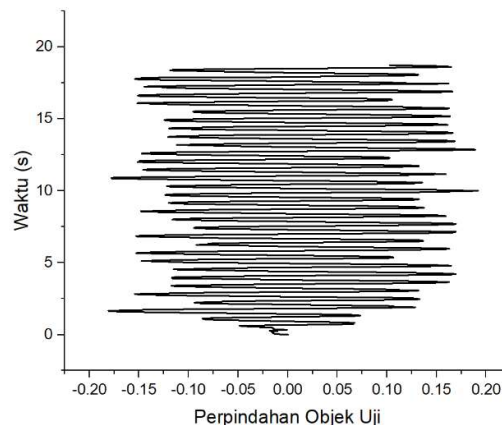


Gambar 3. Pemasangan bola-bola pelampung pada berbagai level kedalaman.

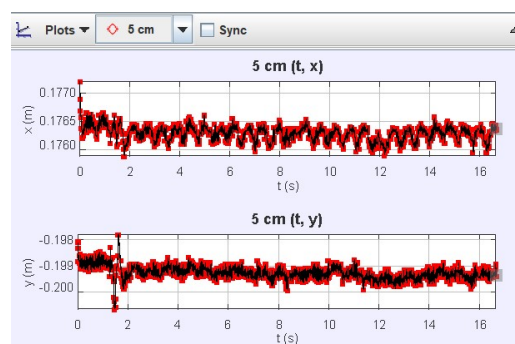


Gambar 4. Media gelombang dengan seperangkat alat pembangkit gelombang.

Eksperimen dilakukan dengan mengukur data perpindahan objek uji yang terekam dalam video. Grafik perpindahannya diperoleh dengan mengolah data menggunakan aplikasi *video tracker*. Gambar 5 menunjukkan contoh perpindahan objek uji pada suatu titik kedalaman. Sedangkan Gambar 6 memperlihatkan tampilan perpindahan pada aplikasi *video tracker*.



Gambar 5. Perpindahan objek uji secara eksperimen.



Gambar 6. Konversi menjadi grafik dengan aplikasi video tracker.

3. Hasil dan Pembahasan

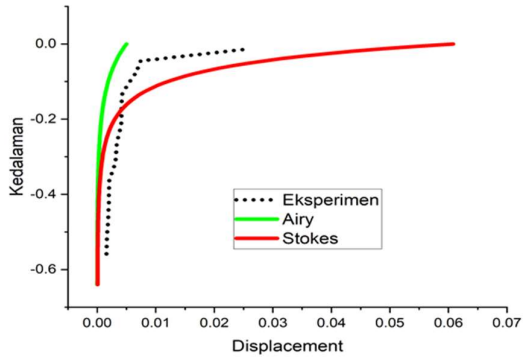
Pengujian dilakukan pada tiga variasi eksentrisitas rotor, masing-masing didapatkan parameter-parameter gelombang sebagaimana yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter gelombang ombak.

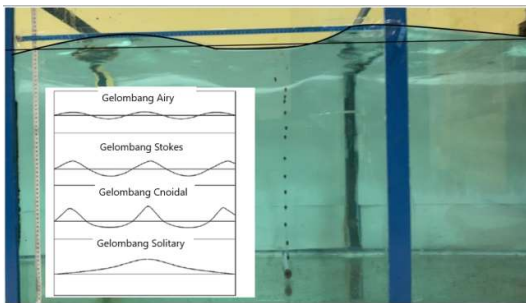
No.	Variasi Eksentrisitas	Jarak	Tinggi Gelombang	Panjang Gelombang	Periode gelombang
1.	e_1	3 cm	1 cm	64 cm	0.55
2.	e_2	5 cm	6 cm	66 cm	0.52
3.	e_3	8 cm	8 cm	71 cm	0.50

Profil Displacement pada Eksentrisitas e_1

Gambar 7 menunjukkan perbandingan perpindahan eksperimen dengan perpindahan teoritis pada eksentrisitas e_1 . Perpindahan objek uji bergantung pada tingkat kedalaman dengan perbandingan yang selaras. Semakin dekat dengan permukaan air, maka perpindahan objek uji akan menjadi lebih besar. Pada eksentrisitas e_1 dapat dilihat bahwa perpindahan objek uji lebih menyerupai teori Airy. Gambar 8 merupakan tampilan eksperimen pada eksentrisitas e_1 yang lebih menyerupai gelombang Airy.



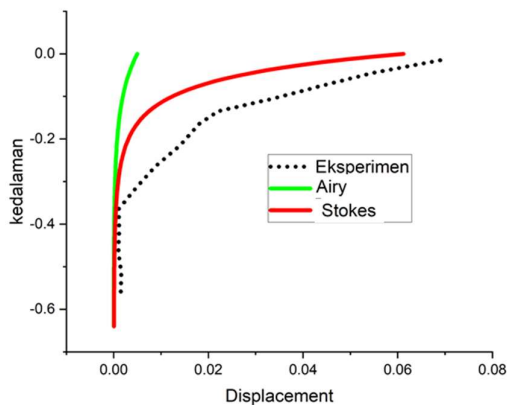
Gambar 7. Profil perpindahan pada eksentrisitas e_1 .



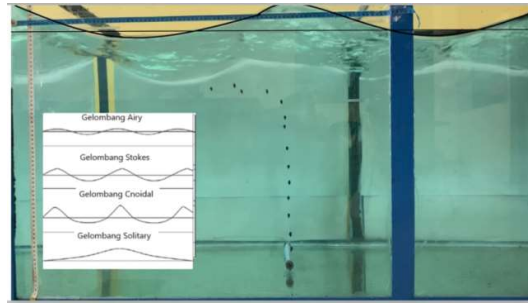
Gambar 8. Profil ombak pada eksentrisitas e_1 .

Profil Displacement pada Eksentrisitas e_2

Gambar 9 memperlihatkan perpindahan partikel air, perbandingan antara eksperimen dan teoritis untuk eksentrisitas e_2 . Secara grafis terlihat bahwa gelombang ombak yang terjadi lebih dekat kepada teori Stokes. Bentuk visualisasi gelombangnya diperlihatkan pada Gambar 10. Bentuk gelombang yang terbentuk lebih menguatkan bahwa jenis gelombang ini lebih dekat ke teori Stokes. Terlihat juga bahwa puncak gelombang lebih lancip dan tajam pada bagian atas dan tumpul pada lembahnya.



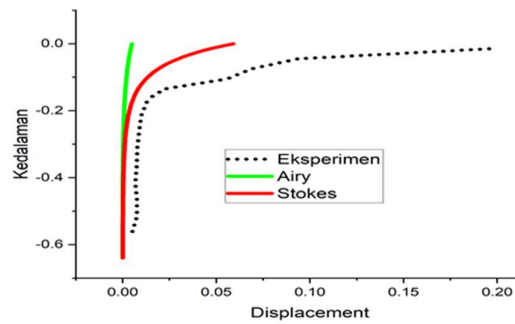
Gambar 9. Profil displacement pada pengujian e_2 .



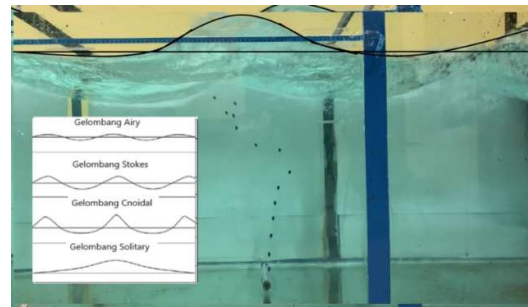
Gambar 10. Profil ombak pada eksentrisitas e_2 .

Profil Displacement pada Eksentrisitas e_3

Gambar 11 memperlihatkan data-data perpindahan partikel air untuk eksentrisitas e_3 . Terlihat bahwa jenis gelombang yang terbentuk lebih dekat ke gelombang Cnoidal. Gambar 12 memperlihatkan bentuk visualisasi gelombang, di mana bagian atasnya lebih lancip. Hal ini lebih menguatkan argumen bahwa jenis gelombang yang terbentuk adalah gelombang Cnoidal.



Gambar 11. Profil displacement pada pengujian e_3 .



Gambar 12. Profil ombak pada eksentrisitas e_3 .

4. Kesimpulan

Pada kajian ini telah dibuat sebuah media untuk mendapatkan beberapa variasi gelombang ombak. Setelah dilakukan identifikasi, didapatkan beberapa kesimpulan yakni ombak dengan eksentrisitas penggerak e_1 memiliki karakteristik yang sesuai dengan teori Airy. Sedangkan ombak dengan eksentrisitas penggerak e_2 dan e_3 memiliki karakteristik yang sesuai dengan teori Stokes. Perpindahan partikel air berbanding terbalik dengan

kedalaman, semakin dalam posisi objek uji semakin kecil perpindahannya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Fakultas Teknik, Universitas Lampung dan LPPM UNILA, atas pembiayaan melalui skema penelitian DIPA FT Tahun 2022.

Daftar Pustaka

- [1]. Y.-M.Choi,B.W. Nam, S.Y.Hong, D.W.Jung, and H.J.Kim, "Coupled motion analysis of a tension leg platform with a tender semi-submersible system" ,Ocean Engineering, vol. 156, pp. 224 239, 2018. doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.01.031
- [2]. S. Chandrasekaran and K.Yuvraj, "Dynamic analysis of a tension leg platform under extreme waves", Journal Naval Architecture Marine Engineering, vol.10, no.1, pp.59 68, Jun. 2013, doi:10.3329/jname.v10i1.14518.
- [3]. J. Akmal, A. Lubis, N. Tanti, N. Nuryanto, and A. W . Murti, The TLP2-DOF as an Alternative Model for Extreme Wave Application, Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan, vol. 18, no. 2, pp. 80 87, 2021. doi: 10.14710/kapal.v18i2.37187
- [4]. X. Cheng, Y. Wang, and G. Wang, 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, 2012. doi:10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000144
- [5]. N. J.Shankar, H.-F. Cheong, and K.Subbiah, Wave Force Coefficients for Submarine Pipelines, Journal Waterway Port Coastal Ocean Engineering, vol.114, no.4, pp.472 486, 1988. doi:10.1061/(ASCE)0733-950X(1988)114:4(472)
- [6]. M. Sharma, R. B. Kaligatla,and T.Sahoo, "Wave Interaction with a Submerged Floating Tunnel in the Presence of a Bottom Mounted Submerged Porous Breakwater, Applied Ocean Research, vol.96,p.102069,2020. doi:10.1016/j.apor.2020.102069
- [7]. H. Kunisu, Evaluation of Wave Force Acting on Submerged Floating Tunnels, Procedia Engineering, vol.4, pp.99 105,2010. doi:10.1016/j.proeng.2010.08.012
- [8]. Budiman, E. (2017). "Construction challenge of submerged floating tunnel in Indonesia. Jurnal Teknologi Sipil, Vol 1. No.2, 1–7. 2017.
- [9]. Drost, L. (2019). The Submerged Floating Tunnel: An experimental study on the hydrodynamics and kinematics of a submerged rectangular cylinder in a wave-current environment [Delft University of Technology]. Dapat diakses pada: <http://resolver.tudelft.nl/uuid>
- [10]. Sarpkaya, T. (2010). Wave forces on offshore structures. Cambridge university press.
- [11]. Sundar, Vallam. (2017). Ocean wave mechanics: Applications in marine structures. John Wiley & Sons.