

## RESPON DINAMIS TENSION LEG PLATFORM (TLP): STUDI KOMPARASI ANTARA PENGGUNAAN PONTON TELAPAK LINGKARAN DENGAN PONTON TELAPAK BUJUR SANGKAR

Jamiatul Akmal<sup>1\*</sup>, Novri Tanti<sup>1</sup>, Asnawi Lubis<sup>1</sup>, dan Dwi Fajri Kemala Intan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Jl. Sumantri Brodjonegoro No.1 Gedong Meneng, Bandar Lampung

<sup>\*</sup>Email corresponding Author : [jamiatul.akmal@eng.unila.ac.id](mailto:jamiatul.akmal@eng.unila.ac.id)

### Abstrak

Tension Leg Platform (TLP) adalah anjungan lepas pantai yang biasanya digunakan untuk kegiatan eksplorasi migas di laut dalam. Salah satu permasalahan yang sering terjadi adalah guncangan TLP sebagai respon terhadap gelombang laut. Pada kondisi tertentu, terutama di laut dalam samudra, guncangan ini dapat mengakibatkan berbagai gangguan, bahkan berpotensi merusak struktur. Pada artikel ini diusulkan penggunaan ponton bertelapak silinder untuk mendapatkan respon dinamis yang lebih stabil, yang selanjutnya dilakukan kaji perbandingan dengan ponton bertelapak bujur sangkar yang biasa dipakai selama ini. Respon dinamik kedua model direkam dengan sensor *ultrasonic* dan *video tracker*. Hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk non dimensional, yang biasa dikenal sebagai *Response Amplitude Operator* (RAO), yaitu rasio antara displacement TLP terhadap panjang gelombang. Dari penelitian ini didapatkan bahwa TLP dengan menggunakan ponton bertelapak silinder memiliki respon dinamik yang relative stabil jika dibandingkan dengan TLP berponton telapak bujur sangkar.

**Kata kunci :** TLP, Respon dinamis, Ponton, Telapak bujur sangkar, Telapak lingkaran

### Abstract

*Tension Leg Platform (TLP) is an offshore platform that is usually used for oil and gas exploration activities in the deep sea. One of the problems is the extra shaking of the TLP in response to extreme ocean waves. Under certain conditions, especially in the deep seas of the ocean, these shocks can cause various disturbances, and even have the potential to damage structures. In this article, it is proposed to use a cylindrical pontoon to obtain a more stable dynamic response, which will then be compared with a pontoon with a square section which is commonly used so far. The dynamic response of both models was recorded by ultrasonic sensor and video tracker. The measurement results are displayed in a non-dimensional form, which is commonly known as the Response Amplitude Operator (RAO), which is the ratio between the displacement of the TLP to the wavelength. From this research, it was found that TLP with cylindrical pontoon section has a relatively stable response when compared to TLP with square pontoon section.*

**Key words :** TLP, Dynamic response, Pontoon, Square section, Circle section

### PENDAHULUAN

Tension Leg Platform (TLP) adalah salah satu jenis *compliant structure* yang ditambatkan ke dasar lautan. TLP biasanya dipakai untuk eksplorasi migas di laut dalam. Struktur TLP memiliki ciri-ciri bagian *deck* mengapung sedangkan bagian ponton tenggelam di dalam air laut. Komponen utama dari struktur TLP terdiri dari *deck*, ponton, *mooring system*, dan pondasi. Gaya apung yang melebihi berat struktur TLP dan tambatan *mooring system* akan

mempertahankan TLP secara vertikal tetap stabil dan mengendalikan gerakan *heave*. Gambar 1 memperlihatkan contoh bangunan Tension Leg Platform (TLP).



**Gambar 1** Contoh Tension Leg Platform  
[https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight\\_id=305](https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=305) , 28 Maret 2022

Karakteristik dari TLP adalah respon keseluruhan struktur TLP yang ikut bergerak bersama gelombang atau sifatnya tidak menahan gelombang [1]. Salah satu persoalan yang terjadi pada TLP adalah respon dinamik (guncangan) yang diakibatkan oleh gelombang laut. Guncangan ini pada taraf tertentu berpotensi merusak struktur dan peralatan pengeboran minyak [2]. Bentuk kerusakan terutama terjadi akibat kelelahan (*fatigue*), baik pada komponen struktur utama maupun struktur sekunder dan tersier [3].

Di laut dalam terkadang munculnya gelombang ekstrim, misalnya di Laut Cina Selatan yang disebut sebagai gelombang internal [4]. Gelombang internal adalah gelombang apung yang disebabkan oleh variasi kepadatan, merambat di antarmuka antara lapisan air hangat dan lapisan air dingin di bawahnya. Ini dapat merambat dalam beberapa cara, termasuk gelombang reguler pendek, gelombang cnoidal dan soliter, serta gelombang pasang surut internal [5].

Akhir-akhir ini, fenomena gelombang ekstrim banyak mendapat perhatian karena berpotensi membahayakan struktur. Sebagai contoh, dalam periode tahun 2004-2005, gelombang ekstrim di Teluk Meksiko menghancurkan 126 struktur lepas pantai dan parah merusak 183 struktur lainnya [6]. Berbagai penelitipun telah berusaha memahami hubungan antara gelombang dan respon dinamik pada sebuah struktur. Rudman and Cleary (2013) telah melakukan simulasi dan analisis gelombang ekstrim dan pengaruhnya terhadap sudut dan tegangan tali [7].

Interaksi antara gelombang ekstrim dan TLP mengakibatkan dinamika yang kompleks, berdampak pada gaya apung, tegangan tali dan gerakan rotasi. Chandrasekaran (2013) juga melakukan analisis dinamik TLP dibawah gelombang ekstrim [8]. Terlihat dari studi analitik bahwa respons dinamis TLP sensitif terhadap gelombang semacam itu pada derajat kebebasan tinggi dan frekuensi

operasi yang lebih dekat dengan frekuensi gelombang.

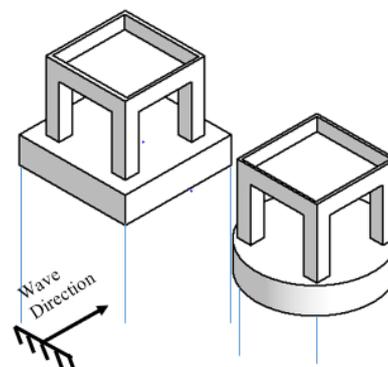
Beberapa peneliti lain juga telah melakukan kajian untuk tujuan berinovasi dalam mendapatkan rancangan TLP yang lebih stabil. Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi respon dinamis diantaranya bentuk telapak ponton [1], [9], konfigurasi mooring system [10], dan ada pula yang mengusulkan menambahkan massa ponton tambahan sebagai peredam dinamik [11]. Pada artikel kami terdahulu, telah diusulkan pula rancangan TLP 2 DOF yang bekerja seperti *system* peredam dinamik untuk meredam guncangan pada *deck* [12].

Pada artikel ini diusulkan rancangan alternatif dengan menggunakan ponton bertelapak lingkaran. Sebagai hipotesa, rancangan ini dapat meminimalkan gaya gangguan gelombang jika dibandingkan dengan ponton bertelapak segi empat yang biasa digunakan. Selain itu, penggunaan ponton bertelapak lingkaran tidak terpengaruh oleh sudut datang gelombang, yang dengan demikian dapat mereduksi gerakan rotasional (*yaw*).

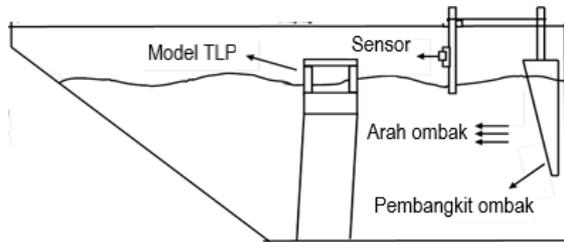
## METODE PENELITIAN

### Model dan Asumsi

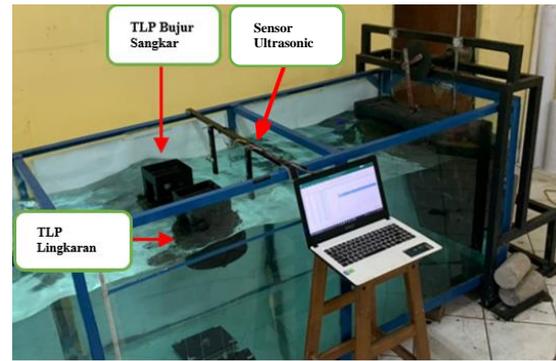
Model TLP, kordinat dan arah geraknya dapat dilihat pada Gambar 2. Pada penelitian ini arah gerak yang ditinjau hanyalah gerak searah ombak (*surge*) dan gerak torsional (*yaw*). Pada penelitian ini dianalisa dua jenis model TLP; (1) TLP dengan ponton bertelapak bujur sangkar dan (2) TLP dengan ponton bertelapak lingkaran. Kedua model diuji pada sebuah media pengombang, yang merupakan modifikasi dari pengujian kami terdahulu [12], sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3. Spesifikasi media pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.



**Gambar 2** Model dan arah kordinat. (kiri) TLP berponton telapak bujur sangkar dan (kanan) TLP berponton telapak lingkaran.



Gambar 3 Media pengujian [12]



Gambar 4 Setting pengujian

Tabel 2 Spesifikasi media pengujian

Deskripsi	simbol	satuan	nilai
Tinggi ombak	H	m	0,030
Amplitude ombak	a	m	0,015
Periode ombak	T	s	0,575
Panjang ombak	$\lambda$	m	0,620
Kedalaman air	d	m	0,600
Frekuensi ombak	$\omega$	rad/s	10,922
Bilangan ombak	k		10,129

Solusi analitik untuk persamaan gerak

Nilai frekuensi ombak dan bilangan ombak dapat dilihat pada Persamaan (1) dan Persamaan (2).

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2 \times 3,14}{0,575} = 10,9217 \frac{rad}{s} \dots\dots\dots (1)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2 \times 3,14}{0,62} = 10,129 \dots\dots\dots (2)$$

Gaya ombak terhadap ponton adalah sebagaimana yang diperlihatkan pada Persamaan (3), yang dikenal sebagai Persamaan Morison [13]. Di sini,  $u$  dan  $\dot{u}$ , masing-masing dapat dilihat pada Pers. (4) dan Pers. (5).

$$F = \rho C_I A \dot{u} + \frac{1}{2} \rho C_D D u |u| \dots\dots\dots (3)$$

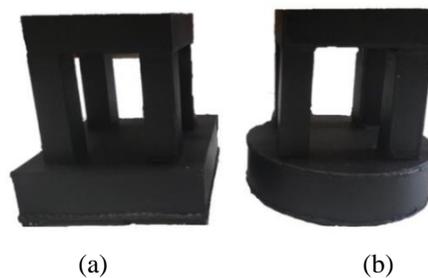
$$u = \frac{\pi 0,6 m}{0,575 s} \times \frac{\cosh(k \times 0,6)}{\sinh(k \times 0,6)} \times \cos \omega \dots\dots\dots (4)$$

$$\dot{u} = \frac{2 \pi^2 0,6 m}{0,575^2 s^2} \times \frac{\cosh(k \times 0,6)}{\sinh(k \times 0,6)} \times \sin(-\omega) \dots\dots (5)$$

**Eksperimental**

Proses pengambilan data secara eksperimen dilakukan dengan pengujian langsung terhadap kedua model, dengan setting pengujian sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4. Gambar 5 memperlihatkan model TLP yang spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 2. Pengambilan data dilakukan dengan dua metode yaitu menggunakan sensor *ultrasonic* dan menggunakan *video tracker*.

Sensor Ultrasonic HC-SR04 adalah modul yang dapat mengukur jarak dengan rentang dari mulai 2 cm sampai dengan 400 cm (4 meter). Pada bagiannya terdapat ultrasonik transmitter, receiver, dan control circuit. Sensor ultrasonic membaca jarak spesimen pada sensor tiap detiknya dan mengirimkan datanya ke dalam aplikasi Arduino. Adapun metode video tracker adalah proses membaca titik objek yang bergerak dari waktu ke waktu yang diambil dengan camera video.



Gambar 5 (a) TLP dengan ponton bertelapak bujur sangkar (b) TLP dengan ponton bertelapak lingkaran

Tabel 3 Spesifikasi TLP

Deskripsi	Satuan	NILAI	
		Ponton bujur sangkar	Ponton lingkaran
Radius Kolom	(mm)	80	80
Tinggi Total TLP	(mm)	220	220
Berat Total TLP	(N)	9,66	9,66
Dimensi Luar Ponton	(mm)	220	225
Total ketegangan tendon pra-	(N)	11,84	11,84
Panjang tendon	(mm)	450	450
Frekuensi Alami	rad/s	1,65	1,65

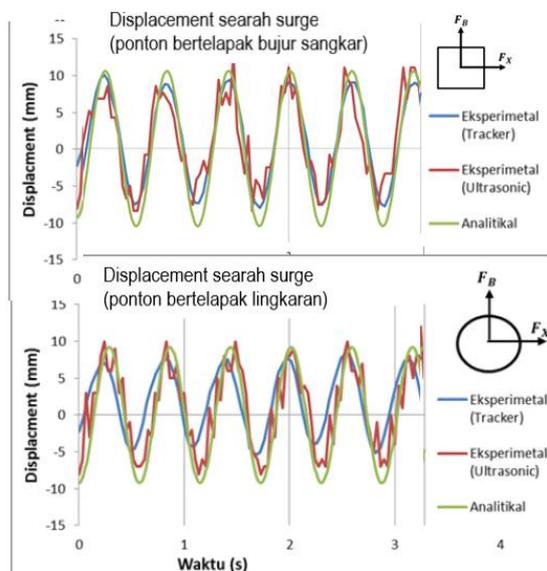
Deskripsi	Satuan	NILAI	
		Ponton bujur sangkar	Ponton lingkaran
Kekakuan Tendon	setiap (N/m)	99,01	99,01

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan bacaan alat ukur.

Gerakan searah *surge* ditampilkan pada Gambar 6, sekaligus memperlihatkan perbandingan hasil pengukuran (baik dengan sensor *ultrasonic* maupun *video tracker*), yang relatif sama jika dibandingkan dengan teoritik. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa hasil pengukuran pada penelitian ini sudah akurat.

Grafik gerakan (*displacement*) secara teoritik memenuhi persamaan sinusoidal, sebagaimana yang ditunjukkan pada Persamaan (4). Berbeda halnya dengan hasil pengukuran dimana grafiknya tidak mulus karena adanya *noise* pada sinyal alat ukur.

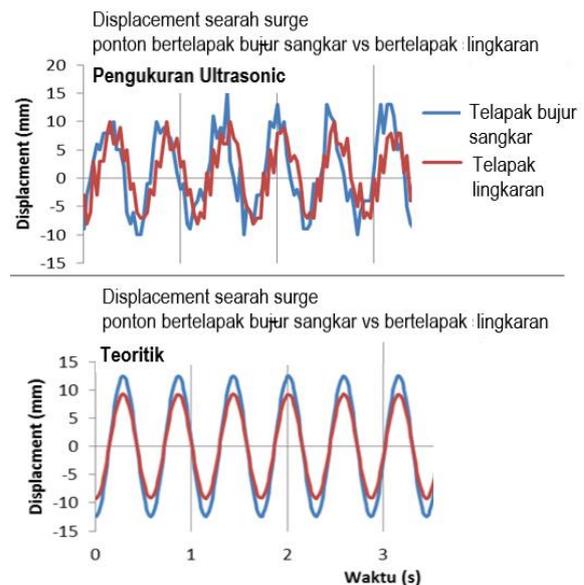


**Gambar 6** Perbandingan bacaan alat ukur untuk *displacement* ada arah gelombang (*surge*). Ponton telapak bujur sangkar (atas) dan ponton bertelapak lingkaran (bawah).

Gerakan searah gelombang (*surge*)

Gambar 7 memperlihatkan perbandingan *displacement* TLP berponton telapak bujur sangkar vs TLP berponton telapak lingkaran. Dari hasil pengukuran secara *ultrasonic*, *displacement* TLP

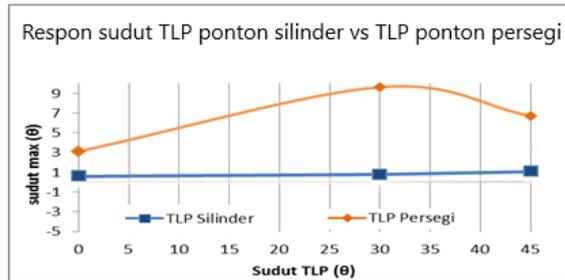
berponton telapak bujur sangkar relatif lebih besar jika dibandingkan dengan *displacement* TLP berponton telapak lingkaran. Perbedaan ini sudah sesuai dengan teorinya bahwa pada ponton penampang bujur sangkar terjadi gaya hidrodinamik yang lebih besar, salah satu faktornya adalah koefisien drag ( $C_D$ ) yang besar sebagaimana yang terlihat pada Persamaan (3). Hasil ini juga sudah sesuai dengan hipotesa awal bahwa bentuk ponton bertelapak lingkaran memiliki sifat aerodinamis yang relatif lebih baik.



**Gambar 7** *Displacement* TLP berponton telapak bujur sangkar Vs TLP berponton telapak lingkaran

Gerakan rotasional (*yaw*)

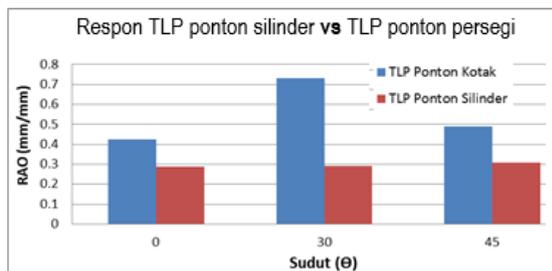
Pada gambar 8 ditampilkan perbandingan gerakan rotasional antara TLP berponton penampang lingkaran (silinder) vs TLP berponton penampang bujur sangkar (persegi). Untuk TLP dengan ponton berpenampang bujur sangkar gerakan sudutnya dipengaruhi oleh sudut datang gelombang. Gerakan sudut menjadi maksimum pada sudut gelombang datang sekitar  $30^{\circ}$ – $35^{\circ}$ . Berbeda halnya, TLP berponton penampang lingkaran relatif tidak dipengaruhi oleh arah gelombang datang. Hal ini sesuai dengan hipotesa awal dan dapat disimpulkan bahwa TLP berponton penampang lingkaran lebih stabil dalam merespon gelombang dalam berbagai arah.



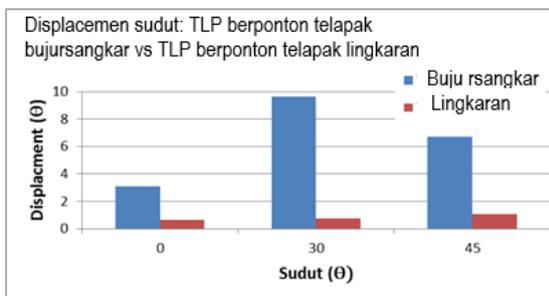
**Gambar 8 Grafik Perbandingan Besar Perpindahan Sudut Pada TLP Kotak dengan TLP Silinder**

### Response Amplitude Operator (RAO)

Perbandingan respon kedua model TLP ditampilkan dalam bentuk non dimensional, yang dikenal dengan istilah *Response Amplitude Operator* (RAO). Gambar 9 memperlihatkan perbandingan RAO dalam arah gelombang (*surge*), sedangkan gambar 10 memperlihatkan perbandingan RAO dalam arah rotasional (*yaw*). Dari kedua gambar dapat disimpulkan bahwa TLP dengan ponton berpenampang lingkaran relatif lebih stabil, baik dalam arah *surge* maupun dalam arah *yaw*.



**Gambar 9 RAO TLP berponton telapak bujur sangkar (kotak) vs TLP berponton telapak lingkaran (Silinder) dalam arah gelombang (Surge)**



**Gambar 10 RAO TLP berponton telapak bujur sangkar (kotak) vs TLP berponton telapak lingkaran (Silinder) dalam arah gerakan rotasional (yaw)**

### KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa TLP dengan ponton bertelapak lingkaran relatif lebih stabil dalam merespon gangguan gelombang. Keunggulan maksimal terjadi pada gerakan rotasional, dimana TLP dengan ponton bertelapak lingkaran tidak terpengaruh oleh sudut datang gelombang.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Universitas Lampung, atas pendanaan penelitian ini melalui skema Penelitian Unggulan BLU 2019.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cendrawani, E.B., Djatmiko dan Sutomo J., 2012, Studi Komparasi Perilaku Dinamik Tension Leg Platform Kolom Tunggal Bertelapak Kaki Bintang Tiga dan Bintang Empat dengan Pendekatan Pembebanan Berdasar Teori Morison dan Difraksi. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1, hal. G155-G160.
- [2] Djatmiko, E.B., Murdjito dan Sad'yah, M.H.D., 2012, Analisis Fatigue Top Side Support Structure Silindris Seastar Tension Leg Platform (TLP) Akibat Beban Lingkungan North Sea. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1, hal.G207-G211
- [3] Sa'dyah, M. D., Murdjito and Eko B. Djatmiko, (2012) , Analisis Fatigue Top Side Support Structure Silindris Seastar Tension Leg Platform (TLP) Akibat Beban Lingkungan North Sea, JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1, (Sept. 2012) ISSN: 2301-9271 pp G207-G212
- [4] M. Rudman and P. W. Cleary, "Rogue wave impact on a tension leg platform: The effect of wave incidence angle and mooring line tension," Ocean Eng., vol. 61, pp. 123–138, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.oceaneng.2013.01.006.
- [5] M. Lou, C. Yu, and P. Chen, "Dynamic response of a riser under excitation of internal waves," J. Ocean Univ. China, vol. 14, no. 6, pp. 982–988, Dec. 2015, doi: 10.1007/s11802-015-2701-2.
- [6] N. Abdussamie, Y. Drobyshevski, R. Ojeda, G. Thomas, and W. Amin, "Experimental investigation of wave-in-deck impact events on a TLP model," Ocean Eng., vol. 142, pp. 541–562, 2017.
- [7] M. Rudman and P. W. Cleary, "Rogue wave impact on a tension leg platform: The effect of wave incidence angle and mooring line tension,"

- Ocean Eng., vol. 61, pp. 123–138, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.oceaneng.2013.01.006.
- [8] S. Chandrasekaran and K. Yuvraj, “Dynamic analysis of a tension leg platform under extreme waves,” *J. Nav. Archit. Mar. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 59–68, Jun. 2013, doi: 10.3329/jname.v10i1.14518.
- [9] S. Chandrasekaran and A. K. Jain, “Triangular configuration tension leg platform behaviour under random sea wave loads,” *Ocean Eng.*, vol. 29, no. 15, pp. 1895–1928, 2002.
- [10] D. Qiao, B. Li, and J. Ou, “Use of different mooring models on global response analysis of an innovative deep draft platform,” *J. Ocean Univ. China*, vol. 13, no. 2, pp. 215–222, 2014.
- [11] S. Chandrasekaran, D. Kumar, and R. Ramanathan, “Dynamic response of tension leg platform with tuned mass dampers,” *J. Nav. Archit. Mar. Eng.*, vol. 10, no. 2, pp. 149–156, 2013.
- [12] J. Akmal, A. Lubis, N. Tanti, N. Nuryanto, and A. W. Murti, “The TLP 2-DOF as an Alternative Model for Extreme Wave Application,” *Kapal J. Ilmu Pengetah. Dan Teknol. Kelaut.*, vol. 18, no. 2, pp. 80–87, 2021
- [13] V. Sundar, *Ocean Wave Mechanics: Applications in Marine Structures*. John Wiley & Sons, 2017.