

SOLUSI ANALITIK RESPON GERAKAN SURGE OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION BERBENTUK TENSIONED LEG PLATFORM (OTEC-TLP)

Yuni A. Wibowo*¹, Raditya D. Riyanto², Lulut Alfaris¹
dan Arif Baswantara¹

¹Politeknik Kelautan dan Perikanan, Pangandaran

²Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Teregistrasi I tanggal: 26 September 2022; Diterima setelah perbaikan tanggal: 6 Oktober 2022;

Disetujui terbit tanggal: 6 Oktober 2022

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi dunia relatif mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari tahun ke tahun. Kebutuhan akan Energi Baru Terbarukan (EBT) juga meningkat seiring dengan menurunnya cadangan energi fosil. *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC) menjadi salah satu alternatif sumber EBT yang pengembangan teknologinya berkembang dalam beberapa dekade terakhir. Umumnya OTEC menggunakan barge sebagai struktur apung penyangganya, namun dengan bertambahnya kedalaman perairan barge menjadi tidak lagi ekonomis. Tipe struktur apung *Tensioned Leg Platform* (TLP) menjadi solusi pada daerah perairan dalam (>1000m). Struktur OTEC-TLP terdiri dari ponton dan kolom yang ditambatkan secara taut dengan memanfaatkan daya apung. Daya apung dari struktur ini dipengaruhi oleh perbedaan sarat air saat kondisi *free floating* dengan sarat air tertambat (DT). Perubahan DT akan mempengaruhi parameter hidrodinamika yang terdiri dari massa tambah, kekakuan, periode alami, gaya dan respon struktur. Studi ini dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh DT terhadap sensitivitas parameter hidrodinamika dengan pendekatan analitik. Persamaan Morison digunakan dalam studi analitik ini untuk menyelesaikan respon gerakan surge. Berdasarkan studi yang dilakukan, semakin besar DT, menyebabkan kenaikan pada massa tambah, kekakuan, gaya dan respon struktur pada gerakan surge. Periode alami OTEC-TLP pada saat DT rendah memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan DT yang lebih besar, namun keduanya memiliki periode alami yang relatif lebih besar jika dibandingkan dengan periode gelombang dominan (2 - 30s). Kondisi ini menjadikan OTEC-TLP memiliki kondisi *stationkeeping* yang baik karena tidak berada pada area periode gelombang dominan.

Kata Kunci : OTEC; TLP; Respon gerak; Solusi analitik

ABSTRACT

Increasing demand of energy worldwide is increasing significantly year on year. The need for New and Renewable Energy (NRE) also increases along with the decline in fossil energy reserves. *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC) is a viable alternative sources of NRE which has been in the development process in the last few decades. In general, OTEC uses barge as its floater, however in accordance with increasing water depth, the barge becomes no longer economical. *Tensioned Leg Platform* (TLP) is a solution in deep water areas (>1000m). OTEC-TLP structure consists of pontoons and columns which are tethered by means of buoyancy. The buoyancy of floater is formed by the difference of drafts (DT) between tethered and free floating condition. Changes in DT will induce the hydrodynamic parameters consisting of added mass, stiffness, natural period, force and structural response. This study was conducted to identify the effect of DT on the sensitivity of hydrodynamic parameters with an

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/marlin.V3.I2.2022.103-112>

Korespondensi penulis:
e-mail: yuni@pkpp.ac.id



analytical approach. Morison's equation is used in this study to solve the surge motion response. Based on this study, the greater DT induce the higher added mass, stiffness, force and response of the structure in surge motion. The natural period of OTEC-TLP at low DT has a larger natural period than the higher DT . However both of them have relatively larger natural periods when compared to the wave period (2 - 30s), this condition creates OTEC-TLP having a good stationkeeping responses.

Keywords : OTEC; TLP; Motion responses; Analitical solution

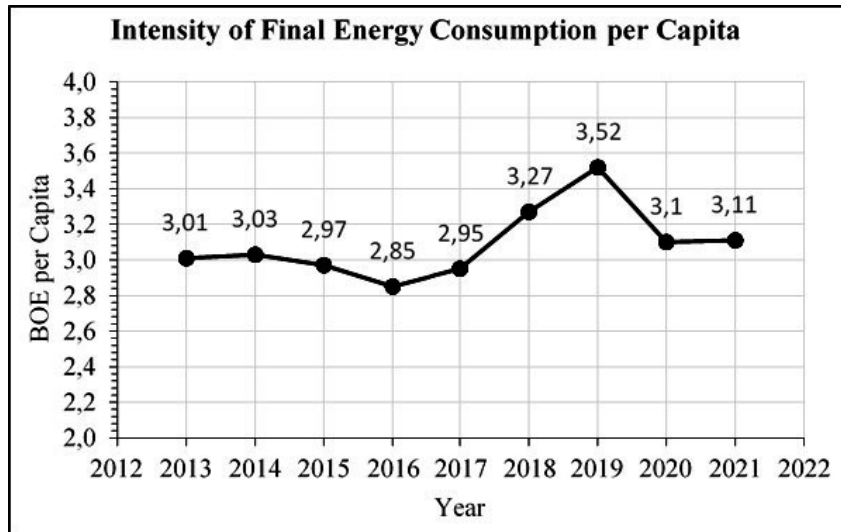
PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi dunia relatif mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Menurut data statistik yang diterbitkan oleh Kementerian ESDM Republik Indonesia, intensitas konsumsi energi secara keseluruhan mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari 2.85 *Barrel Oil Equivalent* (BOE) per capita di tahun 2016 menjadi 3.52 BOE per capita di tahun 2019 (Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia, 2021). Kebutuhan pemenuhan energi dari sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) juga mengalami peningkatan mengingat cadangan energi fosil semakin berkurang seiring berjalannya waktu. *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC) menjadi salah satu alternatif dalam pemenuhan EBT yang memanfaatkan perbedaan temperatur air laut akibat kedalaman perairan. Indonesia yang wilayahnya didominasi oleh kawasan perairan memiliki potensi OTEC yang signifikan di beberapa perairan dalam seperti Perairan Siberut-Sumatera barat, Sulawesi Utara, Papua Barat, Morotai dan Maluku Selatan (Koto, et.al., 2017). Perbedaan temperatur air laut di permukaan dan di dasar laut yang disyaratkan untuk menghasilkan energi yang efisien adalah diatas 20 derajat. Tabel 1 menunjukkan selisih temperatur air laut dari kawasan perairan Indonesia yang memiliki potensi OTEC.

Pada umumnya OTEC diterapkan dengan menggunakan struktur apung berbentuk barge yang ditambatkan dengan konfigurasi *catenary mooring* (Srinivasan, 2019). Namun dengan

bertambahnya kedalaman perairan konfigurasi *catenary mooring* menjadi kurang ekonomis karena membutuhkan sistem mooring yang cukup panjang. Alternatif platform yang dapat digunakan pada kedalaman perairan >1000 m adalah *Tensioned Leg Platform* (TLP). Karakteristik dari struktur TLP cocok untuk dioperasikan pada kondisi perairan dalam, baik dari segi teknis maupun dari segi ekonomisnya. TLP merupakan salah satu jenis struktur lepas pantai yang dapat dikelompokkan ke dalam golongan *compliant structures*. (*Compliant*) yang berarti lentur, menunjukkan karakteristik utama TLP yang cukup lentur terhadap gaya-gaya luarnya, terutama di respon *sway* dan *surge*, sementara pada respon *heave*, *pitch* dan *roll* cenderung lebih kecil akibat sistem tether yang terpasang (Srinivasan, 2015).

Respon dinamis TLP ditentukan oleh parameter-parameter hidrodinamika seperti massa, massa tambah, redaman, kekakuan dan gaya eksitasi gelombang. Signifikansi dari perubahan masing-masing parameter menjadi pertimbangan dalam mendesain sebuah TLP dengan respon yang baik dan optimal untuk dapat beroperasi. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi OTEC dengan struktur apung TLP (OTEC-TLP) dengan variasi sarat air dari struktur TLP terhadap respon gerakannya, terutama di gerakan *surge*. Beberapa parameter yang akan diuji sensitivitasnya adalah massa tambah, kekakuan, gaya eksitasi dan respon dari gerakan *surge* pada gelombang reguler.



Gambar 1. Intensitas konsumsi energi keseluruhan per capita di Indonesia dari tahun 2013 s.d. 2021 (Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia, 2021).

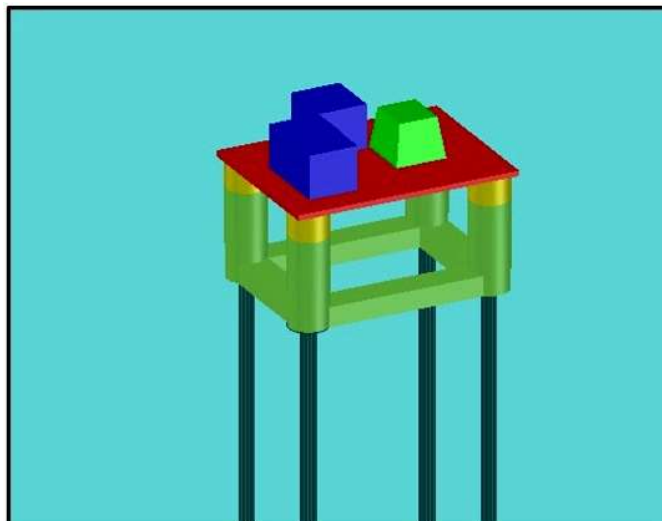
Tabel 1. Selisih temperatur air laut permukaan dan dasar laut (pada kedalaman 700m) pada kawasan perairan di Indonesia (Koto, et.al., 2017)

Location	Temp _{Max} (°C)	Temp _{Min} (°C)	ΔTemp (°C)	Efficiency (η)
Siberut, Sumatera Barat	29	8	21	6.9%
Sulawesi Utara	29	6	23	7.6%
Papua Barat	29	6	23	7.6%
Morotai	29	6	23	7.6%
Maluku Selatan	29	7	22	7.3%

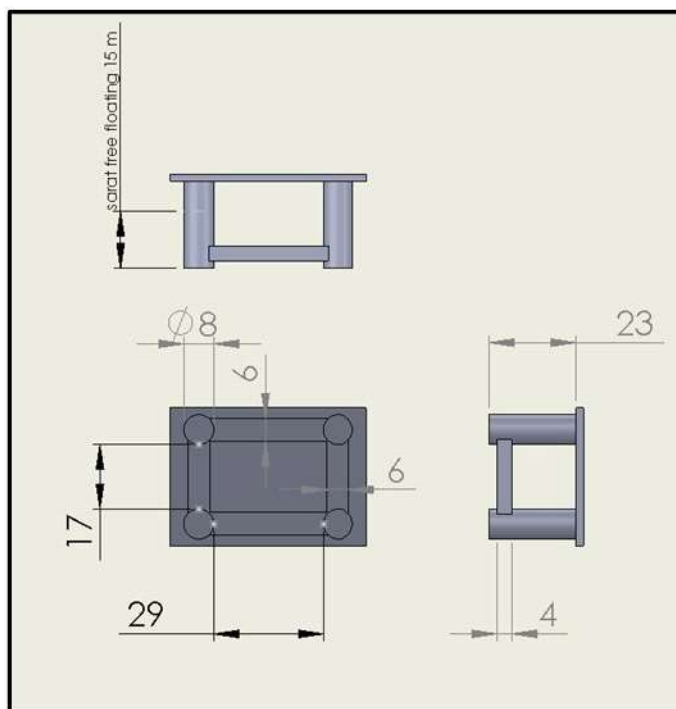
METODOLOGI PENELITIAN
Pemodelan

Model OTEC-TLP didesain menggunakan struktur apung berbentuk *Tensioned Leg Platform* (TLP) yang memiliki 4 ponton dan 4 kolom yang menopang dek dimana pada masing-masing kolomnya ditambatkan dengan tendon baja secara *taut* (Gambar 2). Ponton dan kolom tersebut berfungsi memberikan daya apung yang cukup untuk menjaga dek agar selalu berada di atas

permukaan air bagaimanapun kondisi lautnya. Daya apung hidrostatis inilah yang memberikan gaya tarik (*tension*) pada tendon. Besarnya daya apung ditentukan perubahan sarat air (DT) dari sarat mula-mula struktur saat *free floating* dan sarat air akhir saat ditarik/ ditambatkan pada tendon. Penelitian ini mengidentifikasi variasi DT yang terdiri dari 1, 3, 5 dan 7 meter terhadap respon dinamis OTEC-TLP.



Gambar 2. Ilustrasi model OTEC-TLP yang terdiri dari 4 ponton dan 4 kolom.



Gambar 3. Ilustrasi ukuran utama model OTEC-TLP.

Tabel 2. Ukuran utama model OTEC-TLP

Parameter	Value	Unit
Pontoon Dimension X-axis		
Length (L_x)	29.00	meter (m)
Beam (B_x)	6.00	meter (m)
Depth (D_x)	4.00	meter (m)
Pontoon Dimension Y-axis		
Length (L_y)	17.00	meter (m)
Beam (B_y)	6.00	meter (m)
Depth (D_y)	4.00	meter (m)
Column Dimension		
Diameter (OD_c)	8.00	meter (m)
Depth (D_c)	23.00	meter (m)
Draft (free floating) (T_c)	15.00	meter (m)

Tabel 3. Distribusi massa OTEC-TLP

Parameter	Value	Unit
OTEC-TLP Loadings		
Deck load (equipment)	1,389	ton
Desk structure load	792	ton
Pontoon and Column structure load	1,480	ton
Pontoon and DWT structure load	2311	ton
Total	5,972	ton

Konfigurasi Tali Tambat

Konfigurasi tali tambat menggunakan tendon baja yang menghubungkan kolom

dengan dasar perairan yang dikonfigurasi secara taut. Properti tali tambat ditunjukkan pada Tabel 4.

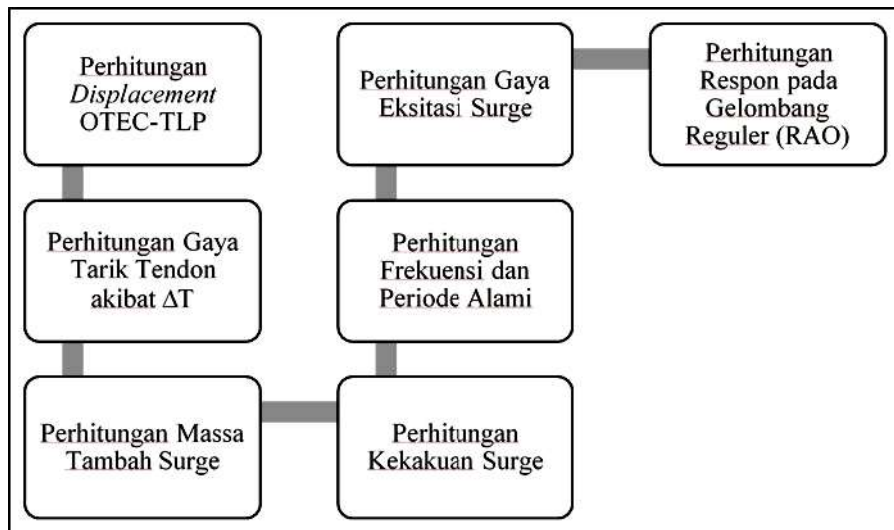
Tabel 4. Properti tali tambat (mooring/ tendon) OTEC-TLP

Parameter	Value	Unit
Length of Tendon (L_T)	400	meter (m)
Outer Diameter of Tendon (OD_T)	600	milimeter (mm)
Tendon Thickness (t_T)	75	milimeter (mm)
Inner Diameter of Tendon (ID_{Tendon})	450	milimeter (mm)
Cross Section Area of Tendon (1 tendon)	124,000	milimeter square (mm ²)
Cross Section Area of Tendon (16 tendons)	1,979,000	milimeter square (mm ²)
Modulus Elasticity (E)	210,000	Mega Pascal (M Pa)
Allowable Stress (T_F)	50	Mega Pascal (M Pa)

Solusi Pendekatan Analitik

Penyelesaian permasalahan respon dinamis OTEC-TLP pada studi ini dilakukan dengan solusi pendekatan analitik. Tahapan penyelesaian respon dinamis dimulai dengan perhitungan

displacement struktur, perhitungan massa tambah surge, perhitungan gaya tarik tendon akibat ΔT , perhitungan kekakuan surge, perhitungan frekuensi dan periode alami, perhitungan gaya eksitasi surge dan perhitungan respon pada gelombang reguler (Gambar 4).



Gambar 4. Flowchart solusi pendekatan analitik respon dinamis OTEC-TLP.

Displacement struktur

Penentuan displacement OTEC-TLP didapatkan dengan menjumlahkan

displacement bagian-bagian yang tercelup air dengan Persamaan (1):

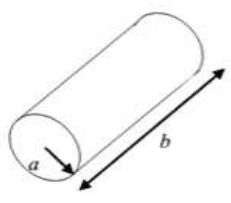
$$\Delta_{total} = \rho \left\{ 2(L_x B_x D_x) + 2(L_y B_y D_y) + 2 \left(\pi \left(\frac{OD_c}{2} \right)^2 (T_c + \Delta L) \right) \right\} \cdot (1)$$

Gaya pada tendon akibat Massa tambah surge displacement

Gaya tarik pada tendon OTEC-TLP diakibatkan oleh perubahan displacement volum pada kolom dengan ΔT (perubahan sarat air) adalah perbedaan jarak sarat air free floating dengan sarat air setelah tendon dipasang yang dinyatakan dengan Persamaan (2):

$$F_{tension} = 4\rho \frac{\pi}{4} \times OD_C^2 \Delta T g \dots\dots\dots (2)$$

Tabel 5. Koefisien massa tambah secara analitis untuk obyek 3D di fluida tak terbatas. Massa tambah A_{ij} dapat dihitung berdasarkan persamaan $A_{ij} = \rho C_A V_R$ [kg] dimana V_R [m3] adalah reference volume

Body shape	Direction of motion	C_A		V_R
		$b/2a$	C_A	
Right circular cylinder 	Vertical	1.2	0.62	$\pi a^2 b$
		2.5	0.78	
		5.0	0.90	
		9.0	0.96	
		∞	1.00	

Massa tambah pada ponton dapat dinyatakan sebagaimana Persamaan (4):

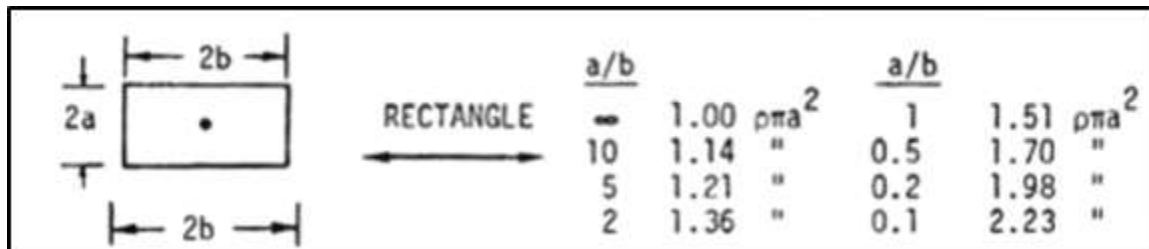
$$M_{axp} = 2 K_1 \rho \pi a^2 \dots\dots\dots (4)$$

Massa tambah struktur pada gerakan surge pada kolom dihitung dengan Persamaan (3):

$$m_{Axc} = 4C_A Col \rho V_{Col} (tercelup) \dots\dots (3)$$

dengan koefisien massa tambah (C_A) yang didapatkan dari Tabel 5 (DNV, 2011).

Nilai C_A didapatkan dari perbandingan sisi-sisi persegi panjang/ rectangle pada Gambar 5 (Wendel, 1950).



Gambar 5. Koefisien massa tambah bentuk rectangle (Wendel, 1950)

Kekakuan surge

Kekakuan surge OTEC-TLP didapatkan hanya dari kekakuan tendon:

$$k_x = \left(\frac{T_F}{L_T} \right) \dots\dots\dots (5)$$

$$T_{nz} = 2\pi \sqrt{\frac{m + m_{Ax}}{k_x}} \dots\dots\dots (6)$$

$$\omega_n = \frac{2\pi}{T_n} \dots\dots\dots (7)$$

Frekuensi dan periode alami surge

Untuk menghitung nilai periode dan frekuensi alami dari gerakan surge struktur OTEC-TLP dapat menggunakan persamaan (6) dan (7).

Gaya eksitasi surge

Gaya-gaya yang bekerja pada OTEC-TLP dihitung dengan Persamaan Morison yang merupakan gabungan antara gaya inersia dan gaya hambatan. Pada arah surge gaya

yang dipertimbangkan adalah gaya inersia yang melewati bagian kolom OTEC-TLP. Gaya inersia berkorelasi dengan gaya percepatan yang memiliki komponen massa. Perhitungan gaya percepatan pada ponton dan kolom dilakukan dengan persamaan (8) dan (9).

Untuk ponton:

$$F_A^{Pon} = -m_{ay}^{pon} \zeta_0 \omega^2 \cos(ky - \omega t) \frac{1}{k} [e^{kz_1} - e^{kz_2}] \dots (8)$$

Untuk kolom:

$$F_A^{col} = -m_{ay}^{col} \zeta_0 \omega^2 \cos(ky - \omega t) \frac{1}{k} [e^{kz_1} - e^{kz_2}] \dots (9)$$

Respon OTEC-TLP pada gelombang reguler

Respon gerakan OTEC-TLP pada gelombang reguler dapat dinyatakan sebagai Response Amplitude Operator (RAO) yang terdiri dari enam derajat kebebasan. RAO disajikan dalam domain frekuensi, dimana di dalam penelitian

ini disajikan dari frekuensi 0.1 - 2.3 rad/s, dengan nilai increment 0.1 rad/s. Persamaan RAO Surge dapat dinyatakan pada persamaan (10) (Djatkiko, 2012).

$$\zeta_x = \frac{F_{0x}/K_x}{\sqrt{\left\{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right\}^2 + \left\{2bf \frac{\omega}{\omega_n}\right\}^2}} \dots (10)$$

HASIL DAN BAHASAN

Hasil

Massa Tambah OTEC-TLP Gerakan Surge

Massa tambah pada saat bergerak surge didapatkan berdasarkan Persamaan (3). Besaran massa tambah meningkat seiring dengan bertambahnya perbedaan sarat air (?T), karena semakin besar bagian yang tercelup air (Tabel 6). Total massa tambah didapatkan dari penjumlahan semua massa tambah bagian kolom dan ponton.

Tabel 6. Massa tambah OTEC-TLP berdasarkan variasi pertambahan sarat air (DT)

ΔT (meter)	$m_a \text{ column } x$ (ton)	$m_a \text{ pontoon } x$ (ton)	$m_a \text{ total}$ (ton)
1	2,395.1	6,951.4	9,346.5
3	2,798.6	6,951.4	9,750.0
5	3,215.0	6,951.4	10,166.4
7	3,637.5	6,951.4	10,588.9

Kekakuan OTEC-TLP Gerakan Surge

Kekakuan gerakan surge pada struktur OTEC-TLP yang ditambatkan pada tendon dihitung berdasarkan hasil pembagian dari selisih displacement pada saat sarat air tertentu dengan sarat air kondisi mengapung bebas dengan panjang tendon, dalam hal ini dapat diasumsikan sebagai kedalaman perairan/ seabed. Jika dituliskan secara matematis akan menjadi persamaan (11).

$$K_T = \frac{\Delta F \text{ disp}}{L_T} \dots \dots \dots (11)$$

Kekakuan sistem tendon untuk masing-masing kenaikan sarat air ditunjukkan pada Tabel 7. Berdasarkan Tabel 7 kenaikan ketinggian sarat air sebesar 2 meter akan menyebabkan kenaikan pada kekakuan tendon secara linear sebesar 10.1 kN/m, sehingga dapat dikatakan bahwa setiap kenaikan 1 meter akan mengakibatkan kenaikan pada kekakuan surge sebesar 5.05 kN/m. Kekakuan juga terlihat semakin besar seiring dengan bertambahnya ΔT , hal ini disebabkan dengan bertambahnya ?T maka gaya tarik yang dibutuhkan untuk menarik tendon semakin besar.

Tabel 7. Kekakuan sistem tendon dengan variasi ΔT

ΔT (meter)	$\Delta F \text{ disp}$ (kN)	L_T (meter)	K_{Surge} (kN/m)	Stress pada Tendon (MPa) @tendon *
1	2,021.7	400	5.1	1.0
3	6,065.2	400	15.2	3.1
5	10,108.6	400	25.3	5.1
7	14,152.1	400	35.4	7.2

Keterangan : * = Perhitungan stress pada tendon berdasarkan ukuran tendon dengan diameter 0.6 meter dan ketebalan mencapai 0.075 meter (jenis : hollow tendon).

Frekuensi dan Periode Alami OTEC-TLP Gerakan Surge

Berdasarkan persamaan (6) dan (7) didapatkan frekuensi dan periode alami dari OTEC-TLP dengan variasi kenaikan tinggi sarat air sebagaimana disajikan pada Tabel 8. Berdasarkan Tabel 8 terlihat bahwa kenaikan sarat air sebesar 2 meter akan mengakibatkan kenaikan harga frekuensi alami gerakan surge secara linear sebesar 0.015 rad/s, atau 0.007 rad/m setiap meternya. Pada tabel tersebut terlihat periode

Tabel 8. Frekuensi and Periode Alami gerakan surge

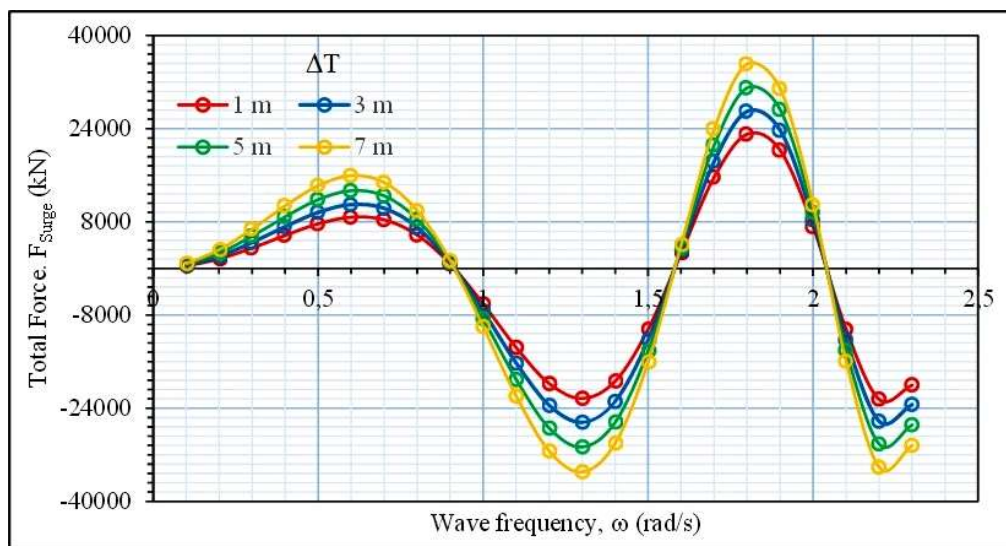
ΔT (meter)	ω_n Surge (rad/s)	T_n Surge (s)
1	0.018	341.23
3	0.031	202.33
5	0.039	160.80
7	0.045	139.29

Gaya Surge yang Bekerja pada OTEC-TLP

Gaya percepatan yang bekerja pada OTEC-TLP saat bergerak surge merupakan hasil penjumlahan antara gaya percepatan kolom dan ponton (Persamaan 8 dan 9). Total dari gaya surge yang bekerja dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan gambar tersebut terlihat gaya yang bekerja pada

alami OTEC-TLP gerakan surge jika dibandingkan dengan rentang periode gelombang yang sering terjadi (3 s.d. 20 s) relatif lebih panjang sehingga gerakan surge struktur OTEC-TLP cenderung lebih terjaga. Merujuk pada Tabel 8 semakin rendah T_n maka tarikan tendon menjadi berkurang sehingga pergerakannya menjadi lebih bebas pada kondisi gelombang dengan panjang gelombang atau periode gelombang yang lebih panjang. Struktur akan cenderung bergerak mengikuti gelombang panjang.

OTEC-TLP beresiliasi sepanjang frekuensi gelombang. Pada frekuensi 0,6 rad/s harga masing-masing gaya yang bekerja pada OTEC-TLP untuk beberapa variasi ketinggian sarat air berturut-turut adalah 8,808.71; 10,968.51; 13,357.44 dan 15,936.29 kN setiap kenaikan ketinggian sarat air sebesar 2 meter, gaya yang bekerja pada OTEC-TLP meningkat mencapai 22%.



Gambar 6. Total gaya surge OTEC-TLP pada variasi ΔT

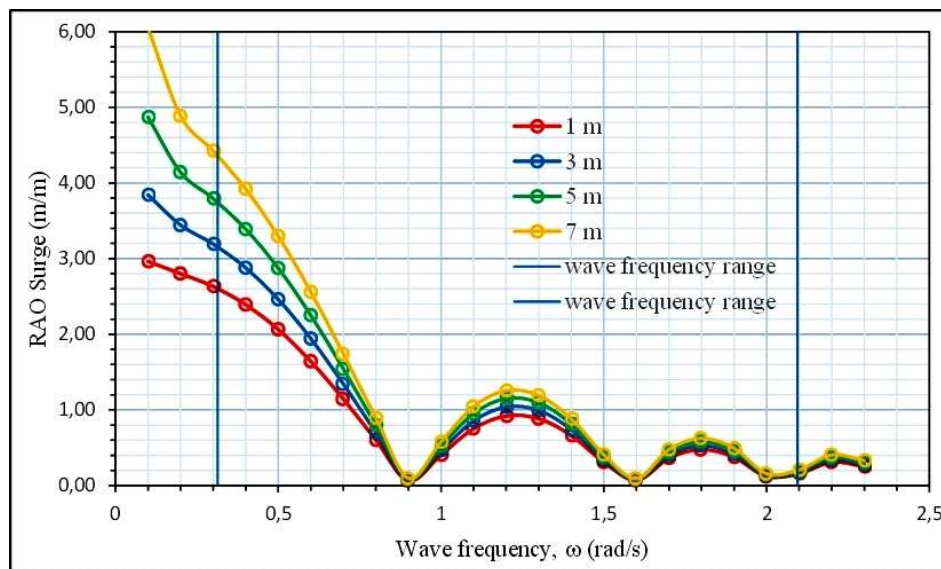
Analisis Gerakan Surge OTEC-TLP pada Gelombang Reguler

Respon gerakan surge pada gelombang reguler dapat ditinjau melalui Response

Amplitude Operator-nya (RAO). RAO gerakan surge merupakan rasio perbandingan amplitudo gerakan surge terhadap amplitudo gelombang sebagaimana yang dituliskan pada

persamaan (10). Grafik RAO gerakan surge dari struktur OTEC-TLP pada gelombang reguler ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan gambar tersebut ditunjukkan bahwa karakteristik gerakan surge pada OTEC-TLP memiliki harga RAO tinggi pada daerah frekuensi rendah, jika ditinjau pada daerah frekuensi gelombang yang sering terjadi (ditunjukkan dengan area blok berwarna biru, rentang 0.314 s.d. 2.094 rad/s atau pada saat periode gelombang 3 s.d. 20 s) harga RAO tertinggi pada daerah tersebut untuk $\Delta T = 1, 3, 5$ dan 7 meter memiliki RAO secara berturut turut sebesar 2.63; 3.19; 3.80 dan 4.43 m/m pada saat frekuensi sekitar 0.3 rad/s. Kenaikan harga RAO pada frekuensi 0.3 rad/s

mencapai sekitar 20%. Karakteristik kurva RAO kemudian menurun hingga mencapai frekuensi 0.9 rad/s, lalu terjadi resonansi sekunder pada frekuensi gelombang sekitar 1.2 rad/s yaitu harga RAO mencapai 1.00 m/m. Setelah meninggalkan frekuensi 1.2 rad/s, kurva RAO menurun dan mengalami resonansi tersier saat frekuensi 1.8 rad/s dengan harga RAO yang lebih rendah dibandingkan dengan resonansi-resonansi yang terjadi sebelumnya. Merujuk pada Gambar 7 respon surge OTEC-TLP dengan ΔT yang semakin besar menghasilkan respon yang semakin besar saat jangkauan frekuensi gelombang 0.1 - 1.6 rad/s, selebihnya respon akan bernilai sama.



Gambar 7. RAO OTEC-TLP gerakan surge pada variasi ΔT

KESIMPULAN

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) menjadi salah satu alternatif energi baru terbarukan yang berasal dari laut. Proses ekstraksi energi tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan struktur apung berbentuk Tensioned Leg Platform (TLP). TLP memanfaatkan gaya tekan hidrostatis akibat perubahan sarat air (ΔT). Studi ini mengkaji pengaruh variasi perbedaan sarat (ΔT) air saat free floating dan sarat saat tertambat terhadap respon dari OTEC-TLP. Penelitian ini menggunakan studi analitik sebagai penyelesaiannya dengan menerapkan Persamaan Morison yang sesuai

dengan bidang langsing. Tahapan penyelesaian respon dinamis dimulai dengan perhitungan displacement struktur, perhitungan massa tambah surge, perhitungan gaya tarik tendon akibat ΔT , perhitungan kekakuan surge, perhitungan frekuensi dan periode alami, perhitungan gaya eksitasi surge dan perhitungan respon pada gelombang reguler.

Berdasarkan hasil studi didapatkan hasil berikut: parameter massa tambah meningkat seiring dengan bertambahnya perbedaan sarat air (ΔT), hal ini disebabkan karena semakin besar bagian yang tercelup air. Parameter kekakuan

OTEC-TLP dari arah surge (horizontal) didapatkan dari kekakuan sistem tambatnya. Setiap kenaikan ΔT sebesar 1 meter akan mengakibatkan kenaikan pada kekakuan surge sebesar 5.05 kN/m. Kekakuan juga terlihat semakin besar seiring dengan bertambahnya ΔT , hal ini disebabkan dengan bertambahnya ΔT maka gaya tarik yang dibutuhkan untuk menarik tendon semakin besar. Periode alami OTEC-TLP gerakan surge relatif lebih panjang dibandingkan dengan frekuensi gelombang dominan (2 - 30s), sehingga gerakan surge struktur OTEC-TLP cenderung lebih terjaga. Semakin rendah ΔT maka tarikan tendon menjadi berkurang sehingga pergerakannya menjadi lebih bebas pada kondisi gelombang dengan panjang gelombang atau periode gelombang yang lebih panjang. Struktur akan cenderung bergerak mengikuti gelombang panjang. Karakteristik gaya percepatan surge beresilasi sepanjang frekuensi gelombang. Setiap kenaikan ΔT sebesar 2 meter menghasilkan peningkatan besaran gaya surge hingga 22%. Respon OTEC-TLP pada gelombang reguler dinyatakan dengan Response Amplitude Operator (RAO). Karakteristik gerakan surge pada OTEC-TLP memiliki harga RAO tinggi pada daerah frekuensi rendah, kemudian menurun hingga mencapai frekuensi 0.9 rad/s, lalu terjadi resonansi sekunder pada frekuensi gelombang sekitar 1.2 rad/s yaitu harga RAO mencapai 1.00 m/m. Setelah meninggalkan frekuensi 1.2 rad/s, kurva RAO menurun dan mengalami resonansi tersier saat frekuensi 1.8 rad/s dengan harga RAO yang lebih rendah dibandingkan dengan resonansi-resonansi yang terjadi sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Djarmiko, E. B. (2012). Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak: ITS Press, Surabaya
- DNV. (2011). DNV-RP-H103 Modelling and Analysis of Marine Operations. Det Norske Veritas AS.
- Koto, J., Negara, B.R. (2017). Application of OTEC Overcoming Electricity-Fresh Water Crisis in Remote-Outer Islands, Indonesia. International Journal of Environmental Research & Clean Energy. Vol.6, No.1.
- Lee, Chung-pan. Lee, Jaw-Fang. (1993). Wave-induced surge motion of a tension leg structure. Ocean Engineering 20, 171-186.
- Lee, Chung-pan. (1994). Dragged Surge Motion of a Tension Leg Structure. Ocean Engineering 21, 311-328.
- Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia. (2021). Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia.
- Srinivasan, N. (2009). A New Improved Ocean Thermal Energy Conversion System with Suitable Floating Vessel Design. Proceedings of the ASME 2009 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering.
- Srinivasan, C. (2015). Advanced Marine structures, CRC Press, Florida (USA), ISBN 9781498739689.
- Wendel, K. (1950). Hydrodynamic Masses and Hydrodynamic Moments of Inertia. Jahrb. d. STG, vol. 44.