

Pontoon TLP for Relatively Stable Dynamic Response

Jamiatul Akmal¹, Novri Tanti, Asnawi Lubis, Fajar Fitra Bimantara, dan Rio Fachmy Putra
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung, Bandar Lampung

jamiatul.akmal@eng.unila.ac.id

ABSTRACT

Lately, oil and gas exploration activities have been carried out in deep seas due to the decreasing availability of oil and gas resources on land. This exploration activity was carried out on a moored floating platform called TLP (Tension Leg Platform). For safety and comfort in operations, a TLP with a relatively more stable response to sea waves is needed. For this reason, engineers have made many suggestions, such as modifying the TLP geometry to be triangular, adding and adjusting the mass of dampers, and proposing a new model of mooring system configuration. This article proposes a TLP design with double pontoons consisting of a main pontoon as a place for exploration activities and an attached pontoon as a stabilizer. The design is carried out by optimizing the mass ratio, the distance between the two pontoons, and the stiffness of the connecting structure, which satisfies the 2-DOF vibration equation. The minimal dynamic response on the main pontoon is obtained if the distance between the two pontoons is half a wavelength ($x/\lambda = 1/2$) while the mass ratio is 3:1.

Keywords: TLP, dynamic response, stability, double pontoon

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN

Minyak dan gas bumi merupakan sumber daya alam yang tersimpan di bawah permukaan bumi baik daratan maupun perairan yang berbentuk cair dan gas. Minyak dan gas berada di dalam pori-pori batuan pada kolam di perut bumi. Untuk memperoleh minyak dan gas bumi, maka dilakukan pengeboran baik di daratan maupun di lautan. Pengeboran di lautan dilakukan baik di lautan dangkal maupun lautan dalam. Pada pengeboran yang dilakukan di lautan dalam, dibutuhkan bangunan terapung untuk memudahkan dalam eksploitasi migas. Bangunan terapung tersebut dikenal dengan istilah *Tension Leg Platform* (TLP).

Tension Leg Platform (TLP) bergerak akibat adanya pengaruh dari hembusan angin, gelombang laut, cuaca, dan hal lain yang dapat merusak struktur bangunan [1]. Kerusakan yang dapat terjadi pada bangunan terapung lepas pantai dapat diakibatkan oleh ketidakstabilan bangunan yang menyebabkan gerak bangunan yang berlebihan. Struktur bangunan terapung dapat mengalami kelelahan (*fatigue*) baik pada struktur utama maupun struktur sekunder [2]. Struktur bangunan lepas pantai cenderung mengalami kelelahan akibat adanya beban lingkungan yang bekerja akibat sifat siklis gelombang. Secara umum struktur merespon gelombang air serta beban angin secara dinamis. Selain itu beberapa faktor lain pada tingkat tertentu juga dapat menambah beban

siklis, sehingga keadaannya bertambah kritis [3].

Tension Leg Platform (TLP) merupakan struktur apung vertikal yang banyak digunakan pada eksplorasi gas atau minyak lepas pantai. Tension leg platform (TLP) sangat cocok digunakan di kedalaman air antara 300 m hingga 1500 m [4]. Platform secara permanen ditambatkan dengan tendon pada masing-masing sudut struktur. Sekelompok tendon disebut tension leg. Tension leg memiliki kekakuan aksial yang relatif tinggi sehingga hampir semua gerakan vertikal platform dihilangkan [5]. Gambar 1 memperlihatkan contoh bangunan Tension Leg Platform (TLP).



Gambar 1. TLP Seastar Matterhorn

<http://www.sbmatlantia.com/products/floatingsolution/tlps/seastar/matterhorn>.

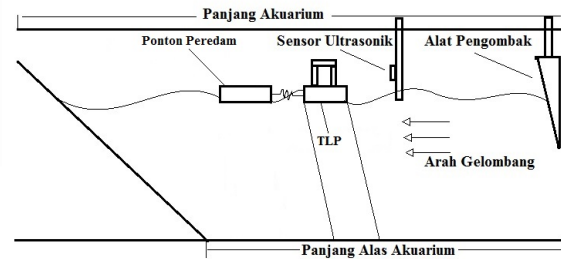
Tension Leg Platform adalah sebuah bangunan lepas pantai tipe compliant structure. Bangunan TLP terdiri atas beberapa bagian yaitu struktur hull, rangka atas kolom, dek bagian atas, sistem tendon dan sistem pondasi (foundation system). Pada penerapannya, TLP tidak boleh diikat kendur juga tidak boleh diikat terlalu kencang agar TLP dapat bergerak bebas di permukaan air mengikuti pasang surut air laut baik surge, sway maupun yaw, namun posisi amplitudo TLP dibatasi. TLP dapat terkena gaya-gaya horizontal dan vertikal akibat kondisi lingkungan. Maka dari itu TLP dirancang dan dibuat lebih berat guna penyebaran tegangan [6].

TLP adalah struktur terapung yang di atasnya terdapat geladak (*deck*) tempat di mana fasilitas produksi dan tempat tinggal pekerja berada. Platform tersusun dari ponton dan kolom yang bisa memberikan gaya apung yang cukup untuk menjaga agar bagian dasar atau lantai selalu berada di atas permukaan air bagaimanapun kondisi lautnya. Kolom ini diikat ke dasar laut dengan tendon dan dipancangkan dengan template. Gaya apung platform inilah yang memberikan gaya-tarik awal (pretension) pada tendon.

Persoalan utama dari TLP adalah respon dinamis dimana terjadi amplitudo yang besar jika dipasang di laut dalam. Amplitudo besar terutama disebabkan oleh ombak ekstrem dan dapat menyebabkan struktur dan peralatan di atasnya [7,8]. Beberapa usulan rancangan untuk respon yang lebih stabil telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya [9,10]. Pada artikel ini diusulkan rancangan Tension Leg Platform berponton ganda, yang terdiri dari ponton utama dan ponton gandengan. Sebagai hipotesis, rancangan ini dapat menstabilkan pergerakan ponton utama jika persamaan getarannya dianalisis sebagai system getaran dua derajat kebebasan [11]. Selanjutnya dilakukan dioptimasi menjadi system peredam massa (Vibration Dynamic Absorber/DVA) [12].

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dianalisa dua jenis model TLP, yaitu TLP model single ponton dan TLP dengan *double* ponton. Kedua model diuji pada sebuah kolam media pengombak yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2 [9]. Parameter kolam ombak dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Skema Alat Uji

Tabel 1. Parameter kolam ombak

Deskripsi	Simbol	Nilai	Satuan
Tinggi Ombak	h	10	cm
Amplitudo Ombak	A	3,25	cm
Periode Ombak	T	0,65	s
Panjang Ombak	λ	40	cm
Kedalaman Air	D	60	cm
Frekuensi Ombak	F	1,7	Hz
Kekakuan Pegas	K	10	n/m

Persamaan gerak

Untuk melakukan validasi eksperimen, dilakukan pengujian secara analitik dengan memasukkan persamaan morison. Adapun persamaan morison adalah sebagai berikut.

$$F = \rho C_t A \dot{u} + \frac{1}{2} \rho C_D D u |u| \quad (2)$$

Untuk nilai percepatannya yaitu:

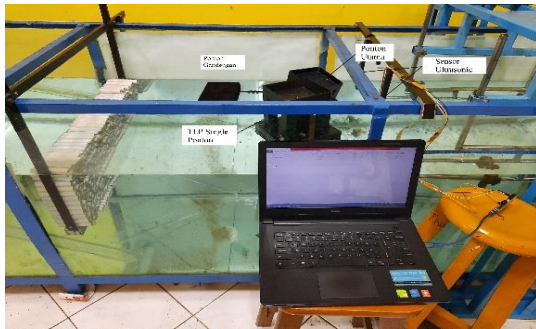
$$\ddot{u} = \frac{2\pi^2 \cdot 0,6m}{0,65s^2} \times \frac{\cosh(k \times 0,6)}{\sinh(k \times 0,6)} x \sin(-\omega) \quad (3)$$

Dan untuk nilai kecepatannya yaitu:

$$u = \frac{\pi \cdot 0,6m}{0,65s} \times \frac{\cosh(k \times 0,6)}{\sinh(k \times 0,6)} \times \cos \omega \quad (4)$$

Kajian eksperimen

Proses pengambilan data dilakukan secara eksperimen dengan pengujian langsung terhadap kedua model, Proses pengambilan data dilakukan dengan menggunakan sensor *ultrasonic* dan modul arduino ide. sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Pengambilan Data

Sebelum melakukan pengujian, dilakukan analisis berupa pengukuran dari kedua model TLP yang akan diuji. Hasilnya didapatkan spesifikasi TLP seperti yang tercantum Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik TLP

Deskripsi	Satuan	Nilai	
		TLP _{utama}	TLP _{gandengan}
Tinggi Total TLP	cm	22	5,5
Massa Total TLP	gram	825	295
Panjang Tali Tambat	cm	45	0

Response Amplitude Operator (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. Hal ini dikarenakan RAO adalah alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. RAO memberikan informasi tentang karakteristik gerakan bangunan laut bentuk grafik, dimana absisnya adalah frekuensi dan ordinatnya merupakan rasio antara amplitude gerakan pada mode tertentu. Persamaan RAO untuk gerakan translasi adalah

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} (m/m) \quad (5)$$

Dimana :

$X_p(\omega)$ = Amplitudo struktur, m

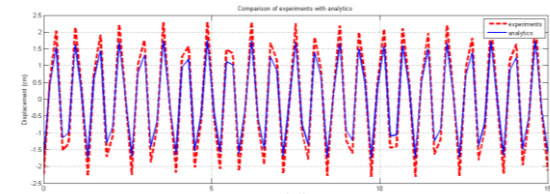
$\eta(\omega)$ = Amplitudo gelombang, m

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi pengujian

Validasi dilakukan pada media pengombak dan spesimen TLP single ponton dan double ponton dengan membandingkan data yang telah didapatkan dari pengujian eksperimen dengan hasil analitik dari persamaan morison seperti

yang terdapat pada persamaan (2). Data diambil selama 15 detik baik secara eksperimen maupun secara analitik. Pada Gambar 4 dapat dilihat perbedaan antara hasil percobaan eksperimen dengan analitik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa TLP eksperimen dan analitik menunjukkan frekuensi yang sama dan memiliki selisih simpangan yang kecil, menandakan bahwa hasil valid dan dapat digunakan.



Gambar 4. validasi pengujian

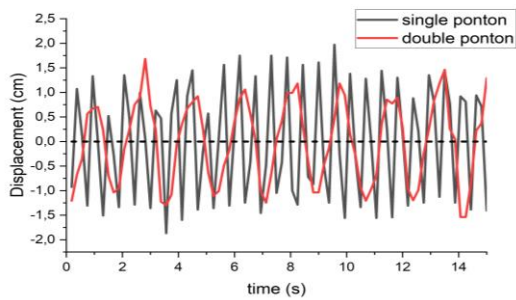
Rancangan eksperimen dan RAO

Kajian eksperimen dirancang dengan memvariasikan jarak antara kedua ponton (x) dan rasio massa ponton gandeng terhadap massa ponton utama (mp_g/mp_u). Untuk setiap komposisi diukur amplitudonya yang ditampilkan dalam RAO, sebagaimana yang terlihat pada Tabel 3.

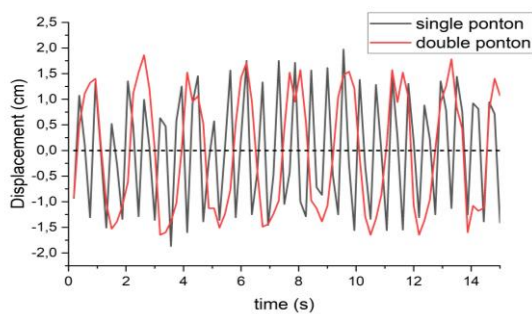
Tabel 3. Rancangan eksperimen dan RAO

No	Jarak x	Massa (gram)	mp_g/mp_u	RAO
1	0	0		0,2993
		100	0,478	0,2257
2	1/4 λ	200	0,6	0,3335
		300	0,72	0,2201
3	2/4 λ	100	0,478	0,1893
		200	0,6	0,2707
4	3/4 λ	300	0,72	0,2789
		100	0,478	0,2570
5	λ	200	0,6	0,2402
		300	0,72	0,2368
		100	0,478	0,1934
		200	0,6	0,1998
		300	0,72	0,2386

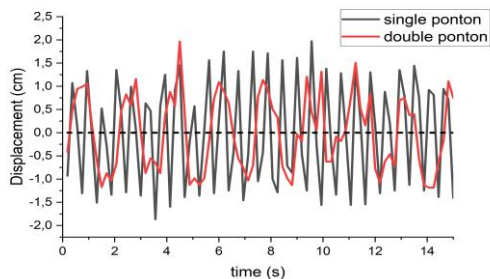
Dari eksperimen yang telah dilakukan pada TLP single ponton dan TLP double ponton, didapatkan hasil respon dinamik dari TLP double ponton dengan jarak antar ponton 1/4 λ dan perbedaan rasio massa ponton gandengan seperti yang terlihat pada Gambar 5, 6, dan 7.



Gambar 5. Pengujian dengan $x=1/4 \lambda$ dan rasio massa 0,478

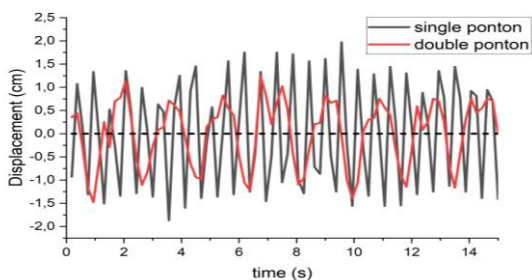


Gambar 6. Pengujian dengan $x=1/4 \lambda$ dan rasio massa 0,6

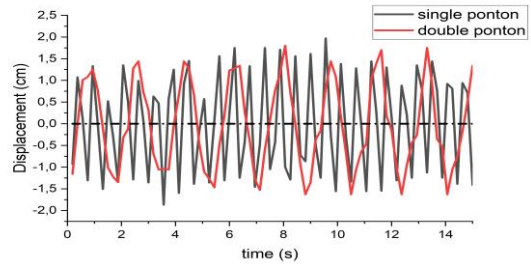


Gambar 7. Pengujian dengan $x=1/4 \lambda$ dan rasio massa 0,72

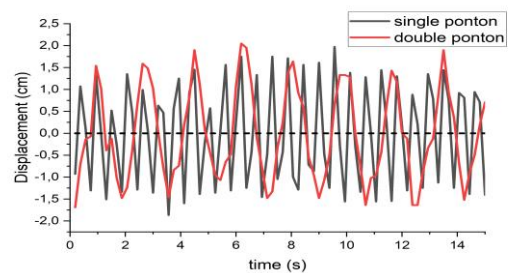
Kemudian untuk eksperimen selanjutnya dengan jarak antar ponton yaitu $1/2 \lambda$ dengan perbedaan rasio massa didapatkan hasil seperti yang terlihat pada Gambar 8, 9, dan 10.



Gambar 8. Pengujian dengan $x=1/2 \lambda$ dan rasio massa 0,478

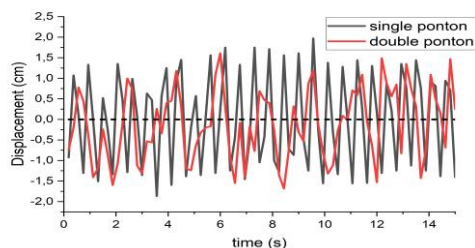


Gambar 9. Pengujian dengan $x=1/2 \lambda$ dan rasio massa 0,6

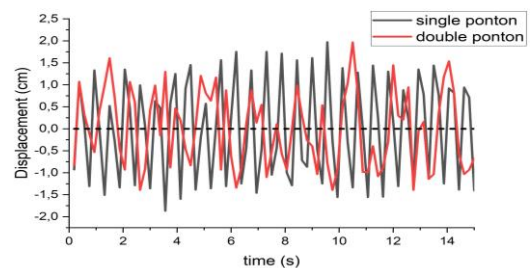


Gambar 10. Pengujian dengan $x=1/2 \lambda$ dan rasio massa 0,72

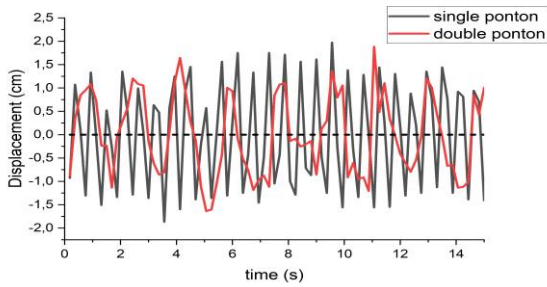
Selanjutnya pada eksperimen dengan jarak antar ponton yaitu $3/4 \lambda$ dengan perbedaan rasio massa didapatkan hasil seperti yang terlihat pada Gambar 11, 12, dan 13.



Gambar 11. Pengujian dengan $x=3/4 \lambda$ dan rasio massa 0,478

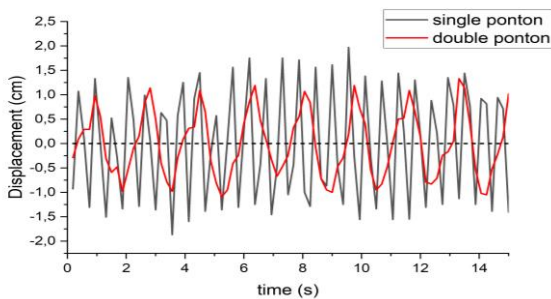


Gambar 12. Pengujian dengan $x=3/4 \lambda$ dan rasio massa 0,6

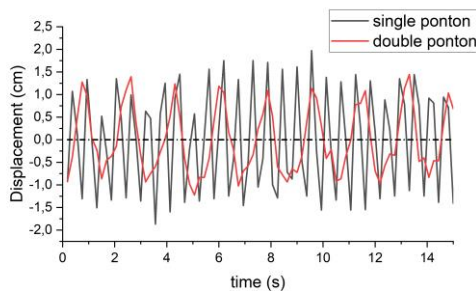


Gambar 13. Pengujian dengan $x=3/4 \lambda$ dan rasio massa 0,72

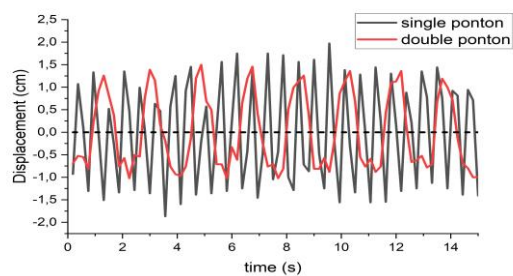
Dan untuk eksperimen selanjutnya dengan jarak antar ponton yaitu $x=\lambda$ dengan perbedaan rasio massa didapatkan hasil seperti yang terlihat pada Gambar 14, 15, dan 16



Gambar 14. Pengujian dengan $x=\lambda$ dan rasio massa 0,478



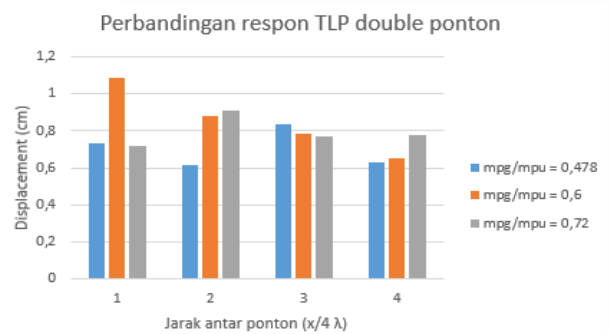
Gambar 15. Pengujian dengan $x=\lambda$ dan rasio massa 0,6



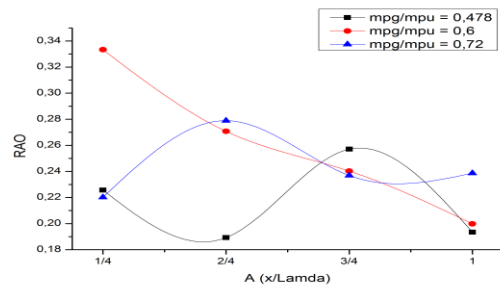
Gambar 16. Pengujian dengan $x=\lambda$ dan rasio massa 0,72

Response Amplitude Operator (RAO)

Perbandingan respon TLP *double ponton* ditampilkan dalam bentuk non dimensional atau dikenal dengan *Respon Amplitude Operator* (RAO). Gambar 17 memperlihatkan grafik batang RAO TLP *double ponton*, sedangkan Gambar 18 memperlihatkan grafik garis TLP *double ponton*. Dari kedua gambar dapat disimpulkan bahwa TLP *double ponton* dengan jarak $1/2 \lambda$ dan $mpg/mpu = 0,478$ memiliki nilai RAO yang paling kecil. Dengan kata lain TLP *double ponton* dengan variasi tersebut lebih stabil terhadap gaya gelombang.



Gambar 17. Hasil RAO TLP double ponton



Gambar 18. Hasil RAO TLP double ponton

KESIMPULAN

Penambahan ponton gandeng dapat lebih menstabilkan gerakan ponton utama. Parameter yang mempengaruhi adalah jarak kedua ponton dan rasio kedua massa ponton. Pada penelitian ini diperoleh jarak optimal yang memberikan respon yang paling stabil adalah pada jarak kedua ponton $x=1/2 \lambda$ dan rasio massa ponton gandeng terhadap massa ponton utama (mpg/mpu) adalah 0,478.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Lou, C. Yu, and P. Chen, "Dynamic response of a riser under excitation of internal waves, "Journal Ocean University China, vol. 14, no.6, pp. 982-988, Dec. 2015.
- [2] Djatmiko, Eko. B., 2003. Analisis Kelelahan Struktur Bangunan Laut. Kursus singkat Offshore Structure Design and Modelling, Surabaya.
- [3] Prastianto, R.W., Sutha Gde. P. 2003. Respon Dinamik Nonlinier Struktur Tension Leg Platform Akibat Gaya Gelombang. Jurnal Teknik Sipil ITS Vol. 10, No. 3, hal. 81-91.
- [4] Kharade, A.S., Kapadiya S.V., 2014. Offshore Engineering: an Overview of Types and Loadings on Structures. Int J. struct and Civil Engg.
- [5] El-gamal, A.R., and Refat, H.M., 2014. Influence of the Density of Water on the Dynamic Behavior of Square Tension Leg Platform. American Journal of Civil Engineering and Architecture, Vol. 2, No. 4, pp. 122-129.
- [6] Soegiono, 2004. Teknologi Produksi dan Perawatan Bangunan Laut. Airlangga University Press, Surabaya.
- [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 Engineering, vol. 61, pp. 123 138, Mar. 2013,
- [8] 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.
- [9] 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. Vol. 8, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Bangka Belitung.
- [10] 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.
- [11] P. Su, J. Wu, S. Liu, and J. Jiang, "Study on the dynamics of the two-degree-of-freedom system with variable stiffness magnetic isolator, "Journal Vibroengineering, vol. 20, no.1, pp. 116 126, 2018.
- [12] V. Piccirillo, A. M. Tusset, and J. M. Balthazar, "Optimization Of Dynamic Vibration Absorbers Based On Equal-Peak Theory, "Latin American Journal Solids and Structure, vol. 16, no.4, p.e184, 2019.