

ANALISIS PERBANDINGAN KONFIGURASI 3x4 DAN 4x3 BERDASARKAN TENGANGAN TALI TAMBAT DAN *OFFSET SPAR*

Andi Hamril Vikri Al Farisi, Musdalifah Akbar Simanjuntak, Selviani, Fuad Mahfud Assidiq

Departemen Teknik Kelautan, Universitas Hasanuddin

Email: epphy03@gmail.com

Abstrak

Pada umumnya SPAR digunakan pada *offshore* yang masih beroperasi di laut. SPAR atau biasa disebut *Single Point Anchor Reservoir* adalah salah satu *platform* yang berbentuk silinder vertikal yang dipergunakan untuk memfasilitasi aktivitas *drilling* untuk eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi di laut. Sebuah SPAR tentunya memiliki tali tambat, fungsi utama tali tambat sendiri adalah untuk mengamankan posisi kapal agar tidak bergerak meskipun diterpa angin ataupun gelombang kencang pada struktur bangunan lepas pantai. Sehingga tali tambat dapat meminimalisir kerusakan pada SPAR yang dipengaruhi oleh beban lingkungan misalnya gelombang, arus dan angin. Di paper ini membahas mengenai analisis perbandingan konfigurasi pada tali tambat, Adapun variasi tali tambatnya yakni 3x4 dan 4x3 dimana SPAR memiliki 24 buah tali tambat dengan sudut antar mooring sebesar 20° serta radius *mooring* yaitu 500 m. Analisis yang dilakukan yaitu membandingkan konfigurasi 3x4 dan 4x3 berdasarkan tegangan tali tambat, perpindahan SPAR, dan umur kelelahan yang akan terjadi pada SPAR itu sendiri

Kata kunci: *Perpindahan SPAR, SPAR, Tegangan, Variasi Tali Tambat*

Abstract

In general, SPAR is used on offshore which still operates at sea. SPAR or commonly called Single Point Anchor Reservoir is one of the vertical cylindrical platforms used to facilitate drilling activities for oil and gas exploration and exploitation at sea. A SPAR certainly has a mooring rope, the main function of the mooring rope itself is to secure the position of the ship so that it does not move even though it is hit by wind or strong waves on the offshore building structure. So that the mooring rope can minimize damage to the SPAR which is influenced by environmental loads such as waves, currents and wind. This paper discusses the analysis of configuration comparison on mooring ropes, the mooring rope variations are 3x4 and 4x3 where the SPAR has 24 mooring ropes with an angle between moorings of 20° and a mooring radius of 500m. The analysis conducted is to compare the 3x4 and 4x3 configurations based on mooring line stress, SPAR displacement, and fatigue life that will occur on the SPAR itself.

Keywords: *SPAR displacement, SPAR, Stress, Tether Variation*

PENDAHULUAN

Industri pada *system offshore* sangat dibutuhkan pembaharuannya dengan teknologi yang berkelanjutan guna mendapatkan hidrokarbon pada suatu tempat yang tidak mudah diakses dalam pemanfaatan pada teknologi yang sudah ada saat ini. Dengan semakin melonjaknya permintaan minyak dan gas dunia, *floating structure* telah dipergunakan secara luas dalam memproduksi minyak dan gas di perairan (Li,2012). Tanggapan dari aktivitas *floating structure* khususnya pada *heave* juga penting dalam persiapan alat-alat produksi dan *drilling* yang dibutuhkan (Sudhakar et al,2011). *Floating structure* seperti SPAR (*Single Point Anchor Reservoir*) menjadi pilihan dalam penyimpanan minyak dan gas di perairan. SPAR yang berbentuk silinder vertikal memfasilitasi *buoyancy* untuk mendukung bangunan-bangunan yang ada di laut (*Deep Oil Technology Inc,1995*). Hingga kini, SPAR itu dipergunakan pada *offshore wind farm* yang juga aktivitasnya di laut (Sinpyo et al,2013).

Analisis pada tali tambat perlu untuk dilakukan karena berhubungan bersama stimulasi faktor luar dimana dapat mengakibatkan adanya perubahan aktivitas bangunan pada *offshore*. Sehingga tali tambat dapat meminimalisir kerusakan pada SPAR yang dipengaruhi oleh beban lingkungan misalnya gelombang, arus dan angin. Dalam kasus lain, *mooring* banyak digunakan pada laut dalam dimana sistem *mooring* pada kapal lebih didominasi oleh serangan gelombang laut. *Spread mooring* menggunakan tali taut leg biasa digunakan untuk *platform*. Taut *leg mooring* dapat menahan gaya horizontal dan vertikal. Gaya pengembali dihasilkan oleh berat *mooring lines* mempengaruhi sistem untuk kembali ke posisi setimbang.



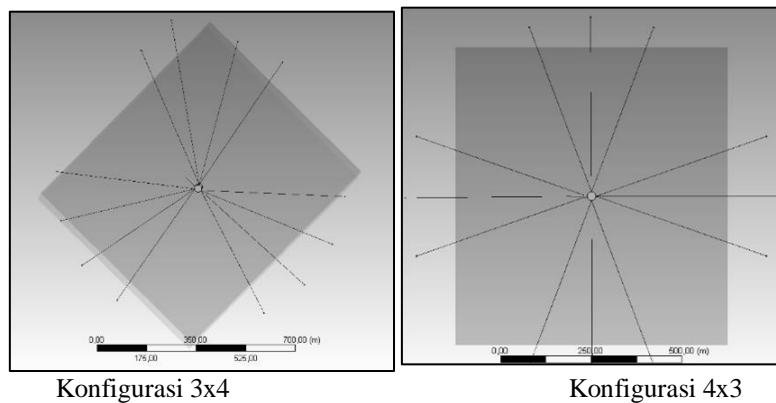
METODE PENELITIAN

PEMODELAN NUMERIK

Pemodelan SPAR memakai teori *Boundary Element Method*. SPAR dimodelkan dalam kondisi perairan Masela pada pembebanan kurun waktu 200 tahun. Model SPAR diasumsikan sebagai *surface* contoh menggunakan pertimbangan massa dan titik berat secara lebih jelasnya. Model SPAR pula menerapkan mengenai pemasangan tali tambat (*mooring system*). Tipe tali tambat diasumsikan menggunakan *Taut leg mooring*. Simulasi pembebanan berlangsung selama 3.600 detik. Dimensi SPAR bersama data lingkungan dilihat pada Tabel 1.1 dan 1.2. Selain itu, konfigurasi *mooring* pada tali jangkar terlampir pada gambar 1. Gambar tersebut bisa diketahui bahwa variasi konfigurasi *mooring* yang digunakan adalah konfigurasi 3x4 dan konfigurasi 4x3.

Tabel 1. Dimensi SPAR

<i>Description</i>	<i>Quantity</i>
Diameter (D)	25 m
Tinggi (H)	125 m
Draft (T)	110 m
Kedalaman (h)	500 m
Densitas Air	1025 m
Densitas Silinder	600 m
Sudut antar Mooring	20 ⁰
Panjang Tali (3x4, 4x3)	500 m



Gambar 1. Variasi Konfigurasi *Mooring*

1.1 Beban Lingkungan

Beban lingkungan dapat memengaruhi aktivitas SPAR dalam bekerja seperti memproduksi, menyimpan minyak dan gas bumi, hal itu bisa menghasilkan gaya pada system tali tambat. Adapun beban lingkungan yang dapat memengaruhi gerakan SPAR mengakibatkan munculnya gaya pada tali tambat yakni beban *wave*, *wind* dan *current*.

Tabel 2. Data Lingkungan

Tinggi Gelombang Signifikan	5,28 m, 6,28 m, dan 7,28 m
Periode Gelombang	10,74 s
Angin	16,91 m/s
Arus	0.5 m/s

1.2 Teori Elastisitas

Menurut Szilard (1989), Teori Elastisitas adalah bagian dari ilmu fisika yang membahas mengenai suatu gaya, perpindahan, *stress*, *strain*, dan perbedaan elastis pada sebuah benda. Jika sebuah pejal diberikan gaya dari luar, sehingga benda itu dapat mengalami perubahan bentuk. Maka akan ada *stress* dan *strain*. Perubahan bentuk ini terkait pada sistem ukuran benda itu secara spontan dari objek. Teori Elastisitas pula memahami bahwa sebuah objek memiliki sifat homogen dan Isotropik, sehingga sifat ukuran objek sama dalam keadaan bagaimanapun.

1.2.1 Stress

Menurut Popov (1984), pada biasanya tegangan (*stress*) merupakan suatu bentuk bertambah panjangnya sebuah benda akibat dari gaya tarik yang berbanding lurus terhadap luasan penampang pada benda tersebut. Adapun rumus dari tegangan yaitu:

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

Keterangan:

F = gaya (N)

A = luas penampang benda(m²)

1.2.2 Strain

Menurut Popov (1984), Regangan (*strain*) merupakan perubahan panjang dimana perbandingan antara pertambahan panjang benda terhadap panjang benda mula-mula. Regangan adalah besaran turunan yang tidak memiliki berdimensi. Adapun rumus dari regangan yaitu:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L}$$

Keterangan:

Δ = panjang total (m)

L = panjang mula-mula (m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1 Konfigurasi 3x4

Dari tabel dapat dilihat bahwa tegangan maksimum tali tambat yang tertinggi dihasilkan pada konfigurasi 3x4 yaitu sebesar 3707,00 MPa di $H_s = 5,28$ m dan $H_s = 7,28$ m. Sedangkan untuk tegangan minimum yang dihasilkan yaitu sebesar 3325.16 MPa di $H_s = 5,28$ m.

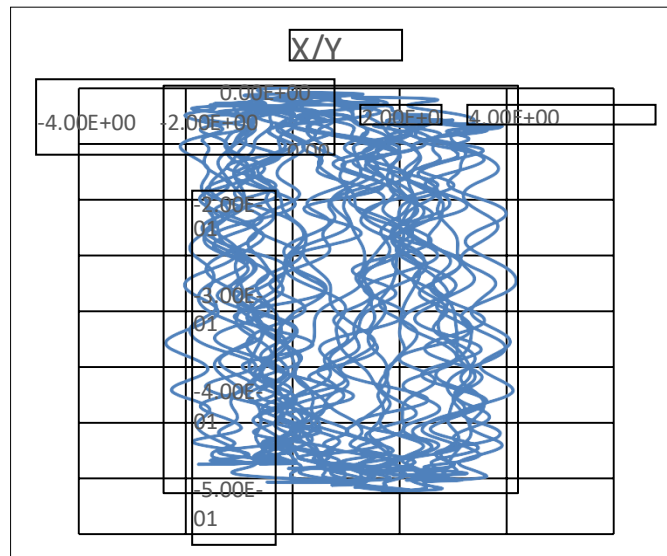
Tabel 3. Tegangan Maksimum Tali Tambat

CABLE	$H_s = 5,28$ m $T_p = 10,74$ s		$H_s = 6,28$ m $T_p = 10,74$ s		$H_s = 7,28$ m $T_p = 10,74$ s	
	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum
Cable 1	3479,04	3367,88	3414,56	3409,5	3452,39	3361,54
Cable 2	3486,44	3371,95	3426,72	3419	3481,18	3369,55
Cable 3	3489,01	3374,33	3442,85	3466	3483,44	3372,94
Cable 4	3490,15	3374,54	3487,76	3429	3485,95	3375,39
Cable 5	3453,55	3364,48	3453,01	3400	3452,40	3363,65
Cable 6	3448,27	3361,07	3448,27	3403	3448,27	3361,27
Cable 7	3448,27	3347,86	3402,12	3401,5	3448,27	3349,92

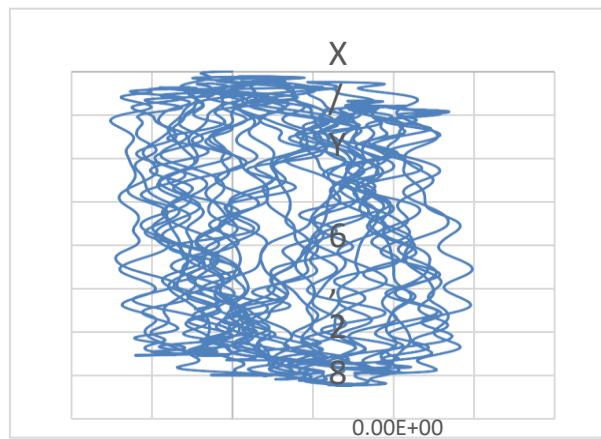
Cable 8	3449,41	3335,77	3409,13	3375,45	3451,65	3339,08
Cable 9	3448,27	3325,16	3375,50	3401,5	3448,27	3328,44
Cable 10	3707,00	3594,56	3639,46	3648	3707,00	3598,44
Cable 11	3448,28	3348,55	3409,06	3392	3448,28	3350,69
Cable 12	3451,28	3364,28	3405,08	3392	3451,96	3364,96

a. Offset pada SPAR di ($H_s = 5,28$ m, $6,28$ m, $7,28$ m), $T_p = 10,74$ s

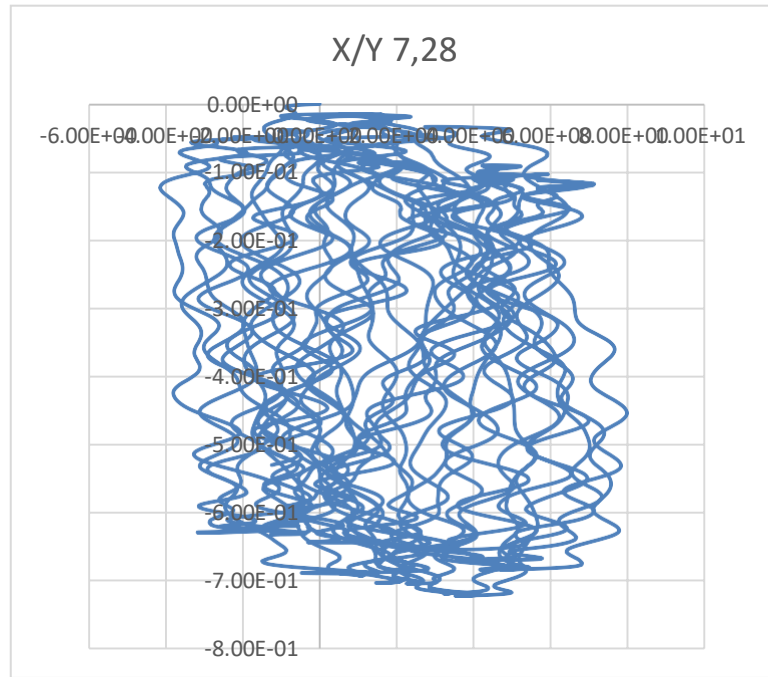
Pada grafik di bawah dapat dilihat bahwa Offset pada SPAR di ($H_s = 5,28$ m, $6,28$ m, $7,28$ m), $T_p = 10,74$ s memiliki perpindahan yang besar atau jauh dari titik semula.



Gambar 2. Grafik *Offset* pada SPAR Konfigurasi 3x4 $H_s = 5,28$ m



Gambar 3. Grafik *Offset* pada SPAR Konfigurasi 3x4 $H_s = 6,28$ m



Gambar 4. Grafik Offset pada SPAR Konfigurasi 3x4 H_s = 7,28 m

2.2 Konfigurasi 4x3

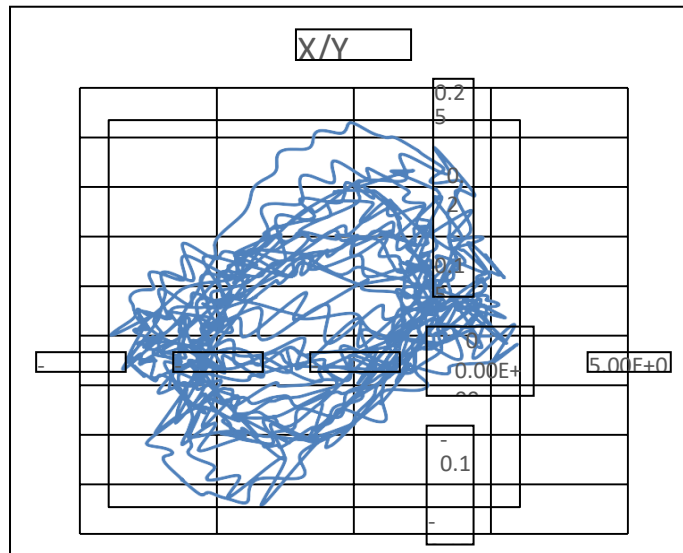
Dari tabel dapat dilihat bahwa tegangan maksimum tali tambat yang tertinggi dihasilkan pada konfigurasi 4x3 yaitu sebesar 3462.66 MPa di H_s = 7,28 m. Sedangkan untuk tegangan minimum yang dihasilkan yaitu sebesar 3352.97 MPa di H_s = 7,28 m. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tegangan maksimum pada konfigurasi 3x4 lebih besar bila dibandingkan dengan tegangan maksimum pada konfigurasi 4x3.

Tabel 4. Tegangan maksimum tali tambat

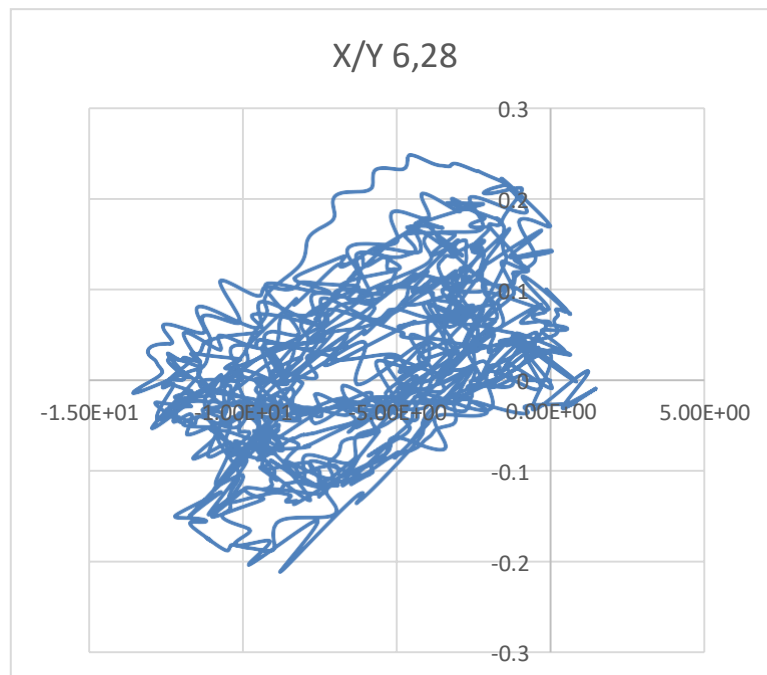
CABLE	H _s = 5,28 m T _p = 10,74 s		H _s = 6,28 m T _p = 10,74 s		H _s = 7,28 m T _p = 10,74 s	
	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum
Cable 1	3452,39	3361,54	3453,10	3358,40	3453,78	3354,96
Cable 2	3452,44	3360,21	3453,20	3356,86	3453,91	3352,97
Cable 3	3451,96	3360,25	3452,68	3356,95	3453,35	3353,16
Cable 4	3448,75	3364,76	3449,02	3363,50	3449,27	3362,10
Cable 5	3450,04	3369,35	3450,04	3369,33	3450,04	3369,31
Cable 6	3448,27	3366,59	3448,27	3366,50	3449,07	3366,36
Cable 7	3454,13	3364,70	3457,33	3364,05	3460,89	3363,42
Cable 8	3455,47	3364,53	3458,86	3363,84	3462,66	3363,17
Cable 9	3455,57	3364,78	3458,76	3364,14	3462,32	3363,51
Cable 10	3450,87	3367,28	3452,07	3367,06	3453,42	3366,84
Cable 11	3448,75	3368,47	3448,78	3368,46	3448,82	3368,44
Cable 12	3449,82	3369,32	3450,09	3368,19	3450,34	3366,95

b. Offset pada SPAR di ($H_s = 5,28$ m, $6,28$ m, $7,28$ m), $T_p = 10,74$ s

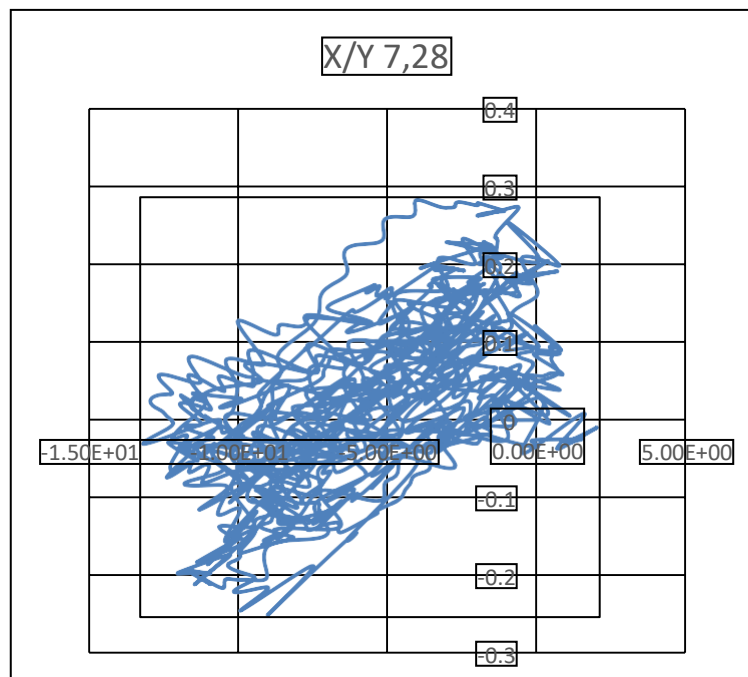
Pada grafik di bawah dapat dilihat bahwa Offset pada SPAR di ($H_s = 5,28$ m, $6,28$ m, $7,28$ m), $T_p = 10,74$ s memiliki perpindahan yang kecil atau perpindahannya tidak jauh dari titik semula. Jika dibandingkan perpindahan yang terjadi antara konfigurasi 3x4 dan konfigurasi 4x3, perpindahan yang besar terjadi pada konfigurasi 3x4.



Gambar 5. Grafik *Offset* pada SPAR Konfigurasi 4x3 $H_s = 7,28$ m



Gambar 6. Grafik *Offset* pada SPAR Konfigurasi 4x3 $H_s = 6,28$ m



Gambar 7. Grafik Offset pada SPAR Konfigurasi 4x3 $H_s = 7,28$

KESIMPULAN

Dari hasil pemodelan numerik pada SPAR dengan konfigurasi 3x4 dan konfigurasi 4x3 dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan maksimum yang tertinggi terjadi pada konfigurasi 3x4 yaitu sebesar 3707,00 MPa sedangkan pada konfigurasi 4x3 hanya sebesar 3462.66 MPa.
2. Offset yang dihasilkan SPAR dengan konfigurasi 3x4 lebih besar perpindahannya bila dibandingkan dengan konfigurasi 4x3.
3. Tegangan maksimum dan offset SPAR yang dihasilkan pada konfigurasi 3x4 lebih besar sehingga dapat disimpulkan bahwa kelelahannya lebih besar sehingga umur SPAR lebih pendek. Sedangkan tegangan maksimum dan offset SPAR yang dihasilkan pada konfigurasi 4x3 lebih kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa kelelahannya kecil sehingga umur SPAR lebih panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ishaq, Irza Yanuar. 2017. "Studi Analitis, Numeris Dan Ekperimen Olah Gerak Serta Dinamika Tegangan Sistem Tambat Model Spar Tipe Klasik Dalam Kondisi Free Floating Dan Tertambat Dengan Variasi Konfigurasi Tali (Taut, Catenary 1 Dan Catenary 2)". Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [2] Popov, E P. 1996. "Mekanika Teknik". Erlangga. Indonesia
- [3] Siswanto, Slamet dkk. 2017. "Analisa Variasi Konfigurasi Sudut Sebar Sistem Spread Mooring pada Semi-submersible". Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [4] A. Sarifuddin, R. Ahmad, Dan F. M. Assidiq, "Analisis Vertical Plate Pada Variasi Kecepatan Aliran Di Lunas Spar", *Sensistek*, Vol. 5, No. 2, Hlm. 90-94, Des 2022.
- [5] A. Phady, A. Rajmi, F. Ramadhani, M. T. P. Andalan, S. Aski, Dan M. Z. M. Alie, "Pengaruh Optimasi Beban Rangka Tubular Terhadap Analisis Kekuatan Tekuk Dan Kelelahan Pada Fixed Offshore Platform", *Sensistek*, Vol. 3, No. 1, Hlm. 8-13, Nov 2020.
- [6] F. Mahmuddin, S. Klara, M. U. Pawara, Dan A. Y. Akhir, "Studi Performa Vertical-Axis Wind Turbine (Vawt) Sebagai Pembangkit Energi Listrik Pada Floating Platform", *Sensistek*, Vol. 2, No. 1, Hlm. 8-16, Okt 2019.
- [7] F. Mahfud Assidiq, "Prediksi Performa Floating Offshore Wind Turbine Tipe Barge Floater Pasca Kegagalan Mooring Line", *Sensistek*, Vol. 1, No. 1, Hlm. 73-80, Sep 2018.

