

Analisis Integritas Struktur *Jacket Wellhead Platform* Tiga Kaki Akibat Pengaruh *Scouring*

Nauval Nurahmad, Yoyok Setyo Hadiwidodo, dan Handayanu
Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: yoyoksetyo@oe.its.ac.id

Abstrak—Indonesia memiliki bermacam-macam bangunan lepas pantai yang beroperasi, salah satunya adalah *jacket platform*. Dalam merancang *jacket platform*, perlu memerhatikan beberapa aspek seperti beban-beban yang terkena struktur tersebut maupun faktor alam seperti *scouring*. *Scouring* dapat mengakibatkan integritas struktur berkurang karena hilangnya *vertical* dan *lateral support* pada tanah. Selain itu, *scouring* menyebabkan penurunan *safety factor* pada *pile*. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis integritas dan prediksi kedalaman *scouring* agar struktur dapat beroperasi sesuai *codes*. Penelitian ini menjelaskan mengenai analisis integritas struktur dengan metode *analisis in-place* untuk mengetahui pengaruh *scouring* terhadap kekuatan member, sambungan, maupun fondasi dan mengetahui maksimum kedalaman *scouring* yang diizinkan oleh *codes*. Hasil analisis didapat bahwa maksimum kedalaman *scouring* yang diizinkan oleh API RP 2A WSD pada struktur ini adalah kedalaman 5 m dengan *pile compression safety factor* bernilai 1.5 pada *pile* PB2 dan PA3 yang sudah mencapai batas *safety factor* yang diizinkan, yaitu 1.5. Member kritis terjadi pada member 303L-122X dengan *Unity Check* (UC) sebesar 0.95 dan sambungan kritis terjadi pada *joint* 702L dengan UC sebesar 0,546 pada kedalaman *scouring* 5 m.

Kata Kunci—*Inplace, Jacket Platform, Pile, Scouring, Unity Check*.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan negara maritim yang memiliki sumber daya alam yang melimpah. Sumber daya alam tersebut adalah minyak dan gas. Produksi gas Indonesia mewakili sekitar 65% dari total produksi hidrokarbon dalam negeri [1]. Seiring dengan pertambahan jumlah penduduk Indonesia, kebutuhan akan minyak dan gas pun semakin bertambah. Oleh karena itu, Indonesia terus mengembangkan teknologi untuk keperluan eksplorasi, eksploitasi, produksi, dan distribusi minyak dan gas agar dapat memenuhi kebutuhan penduduknya. Salah satu teknologi yang dikembangkan adalah anjungan lepas pantai. Menurut SKK Migas, terdapat sekitar 600 anjungan lepas pantai yang tersebar di seluruh perairan Indonesia [2]. Pada umumnya, anjungan lepas pantai yang beroperasi adalah berjenis tetap (*fixed offshore platform*) karena Indonesia memiliki perairan yang cenderung dangkal [3].

Dalam perencanaan struktur bangunan lepas pantai, perlu diperhatikan berbagai beban yang berpengaruh pada struktur, seperti beban mati (*dead loads*), beban hidup (*live loads*), beban lingkungan, beban konstruksi, dan beban dinamis. Selain itu, faktor-faktor alam juga menjadi masalah dalam mempertahankan integritas struktur lepas pantai, seperti adanya pertumbuhan organisme laut (*marine growth*), erosi (*scouring*), dan penurunan tanah (*subsidence*), yang dapat menyebabkan kegagalan pada struktur.

Scouring adalah sebuah fenomena alam yang terjadi ketika tanah di sekitar fondasi tergerus oleh gelombang dan arus.

Meskipun penggerusan ini dapat diukur, kedalaman dan pola gerusannya sulit diukur dengan akurat [4]. *Scouring* cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan arus, turbulensi, dan erodabilitas tanah. Terdapat dua jenis *scouring*, yaitu *global scour* dan *local scour*. *Global scour* mempengaruhi area pada fondasi dan biasanya mencakup dua kali luas *jacket platform*. Sementara itu, *local scour* hanya mempengaruhi beberapa area tertentu, seperti pada satu tiang pancang saja. Mekanisme *local scour* disebabkan oleh proses hidrodinamika yang kompleks, sedangkan *global scour* disebabkan oleh beberapa efek aliran umum [5].

Scouring dipandang sebagai suatu fenomena alam yang dapat memberikan tambahan gaya pada *jacket platform*. Hal ini disebabkan oleh hilangnya tanah di sekitar kaki-kaki *jacket platform* yang dapat menyebabkan gaya internal pada elemen struktur menjadi lebih besar dan berpotensi menyebabkan ketidakstabilan atau gerakan lateral yang tidak diinginkan.

Scouring dapat berdampak negatif pada stabilitas struktur lepas pantai karena hilangnya dukungan vertikal dan lateral pada tanah. Hal tersebut dapat menyebabkan penurunan daya dukung pada fondasi dan menurunkan faktor keamanan struktur [6]. Kedalaman yang tidak dapat diprediksi dapat menyebabkan kegagalan dan keruntuhan struktur. Namun, analisis yang terlalu dalam juga dapat meningkatkan biaya konstruksi. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang tepat untuk memprediksi kedalaman *scouring* maksimum dan merancang fondasi yang sesuai untuk struktur [7].

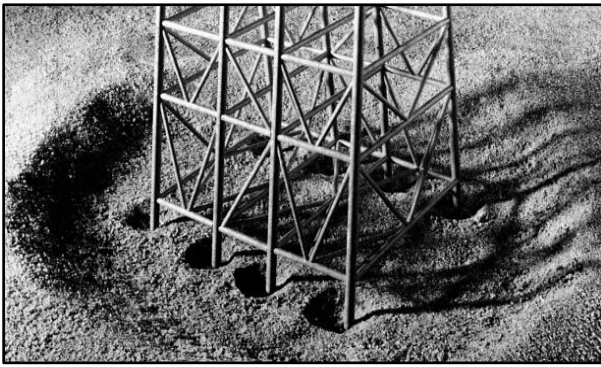
Pada penelitian ini, penulis melakukan analisis *in-place* pada struktur untuk mengetahui pengaruh *scouring* terhadap kekuatan member, sambungan, maupun fondasi dan mengetahui maksimum kedalaman *scouring* yang diizinkan oleh API RP 2A WSD.

II. DASAR TEORI

A. *Scouring*

Scouring merupakan peristiwa alam di mana daya dukung tanah berkurang akibat adanya penggerusan tanah sehingga kekuatan *pile* dari struktur akan berkurang. Pemancangan dari anjungan lepas pantai dapat menyebabkan keseimbangan dinamis permukaan dasar laut terganggu. Gangguan tersebut apabila terjadi di sekitar kaki *jacket platform* dapat menyebabkan penurunan kapasitas fondasi. Kapasitas fondasi adalah tahanan pasif *seabed* terhadap gaya lateral dan momen. Sifat alami *scouring* mempunyai fenomena sebagai berikut [6]. (1) Jumlah material yang diangkut keluar dan masuk ke daerah gerusan akan menghasilkan selisih besar gerusan yang sama. (2) Jika penampang basah di daerah gerusan meningkat, maka besar gerusan akan berkurang.

Adapun jenis-jenis dari *scouring* adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Scouring pada jacket platform.

Local Scouring, penggerusan lubang di sekitar kaki elemen struktur sebagai kelompok tiang, dan Global Scouring, cekungan dangkal pada sebagian besar struktur yang disebabkan karena efek struktur secara keseluruhan.

Scouring dianggap sebagai fenomena alam yang dapat menimbulkan gaya tambah pada jacket platform. Dengan tidak adanya tanah di sekitar kaki dari jacket platform dapat menyebabkan gaya internal pada elemen struktur bertambah dan dapat menyebabkan ketidakstabilan atau terjadi gerakan lateral yang tidak diinginkan seperti pada Gambar 1 [8]. Scouring berpotensi menimbulkan efek negatif terhadap stabilitas struktur secara keseluruhan karena hilangnya vertical dan lateral support. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan slip pada mudmat pada sistem fondasi. Kedalaman scouring yang tidak dapat diprediksi dapat menyebabkan keruntuhan.

B. Perhitungan Scouring

Dalam analisis scouring pada fondasi, hal yang perlu diperhatikan adalah menentukan kedalaman maksimum scouring yang mungkin terjadi. Luas lubang scouring tidak menjadi fokus pada analisis ini. Ada beberapa rumus yang digunakan untuk menghitung scouring. Metode Breseurs merupakan salah satu persamaan yang dapat digunakan. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut.

$$S_c = 1.35 \times D_p \times \left(\frac{d_0}{D_p}\right)^{0.3} \quad (1)$$

Di mana, S_c adalah maksimum kedalaman scouring (m), D_p adalah diameter pile (m), dan d_0 adalah kedalaman air laut (m). Maksimum kedalaman scouring tidak bergantung pada kondisi hydraulic dan ukuran pada butiran tanah.

Persamaan lain yang dapat digunakan adalah persamaan yang dikembangkan oleh Sumer dan Fredsoe dengan menggabungkan beberapa penelitian sebelumnya dan mengombinasikan pengaruh arus dan gelombang. Adapun persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

$$S_{wc} = S_c [1 - \exp\{-A(KC - B)\}] \text{ For } KC > B \quad (2)$$

Dengan S_{wc} merupakan maksimum kedalaman scouring akibat gelombang dan arus yang dikombinasikan.

C. Analisis Inplace

Analisis inplace adalah sebuah metode analisis yang digunakan untuk mengevaluasi kegagalan pada struktur anjungan lepas pantai pada kondisi operasi (in-service). Tujuan dari analisis ini adalah untuk memastikan bahwa struktur dapat menahan beban baik beban gravitasi maupun beban lingkungan selama kondisi operasi. Metode analisis yang digunakan pada analisis inplace adalah metode analisis

Tabel 1. Deskripsi Wellhead Jacket Platform PT. XYZ

Parameter	Wellhead Jacket Platform X
Platform Orientation	Platform North are 45 degrees counterclockwise from True North
Mudline Elevation	EL (-) 89.2 m w.r.t MSL
Working Point	EL (+) 6.50 m
Spacing at Working Point	10.0 m x 9.0 m
Jacket	46.00" OD (Leg), 47.00" OD (Can)
No. of Jacket Legs	3
Jacket Leg Batter	1 : 8 (Single Batter) at X-dir. 1 : 4.444 (Single Batter) at Y-dir.
Pile	3 ea of 42.00" OD piles 82 m below mudline for Pile at Row A3 86 m below mudline for Pile at Row B1 and B2
Pile Penetration	1 ea of 26" OD conductor (current) 2 ea of 26" OD conductor (future)
Conductor	91 m below mudline
Conductor Penetration	
Boat Landing	1 ea at Row A3-B1 - EL (+) 4.50 m - EL (-) 6.50 m - EL (-) 17.00 m
Jacket Plan Elevation	- EL (-) 30.00 m - EL (-) 44.00 m - EL (-) 60.00 m - EL (-) 74.00 m - EL (-) 89.20 m (Mudline)
Deck Elevation	- Main Deck EL (+) 15.00 m - Cellar Deck EL (+) 11.50 m
Rigid Riser	1 ea of 8.625" riser to X WHP

statis yang mempertimbangkan keadaan struktur pada kondisi statis atau tidak terpengaruh oleh waktu. Analisis Inplace pada umumnya memiliki tiga kondisi yang harus dipertimbangkan, yaitu sebagai berikut: Operating Condition, dimana menggunakan beban lingkungan, yaitu periode gelombang dengan periode ulang 1 tahun. Storm/Extreme Condition, di mana menggunakan beban lingkungan, yaitu periode gelombang dengan periode ulang 100 tahun. Pullout Condition, untuk melihat pile tension capacity saat gravitational load minimum dan lateral loads maximum.

Dalam analisis inplace perlu memerhatikan nilai dari Unity Check (UC). UC merupakan rasio antara tegangan aktual yang terjadi dengan tegangan yang diizinkan. Nilai UC sendiri biasanya diwajibkan untuk kurang dari 1 sebagai batas maksimum yang dapat diterima oleh struktur. Adapun persamaan dari UC adalah sebagai berikut.

$$UC = \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{all}} \quad (3)$$

Dengan σ_{act} adalah tegangan aktual (ksi) dan σ_{all} adalah tegangan yang diizinkan (ksi).

D. Pile Capacity

Pada pile atau fondasi, beban ditransfer melalui sisi tiang yang terhubung dengan tanah tempat pile tersebut ditanamkan (tahanan geser/skin friction) dan daya dukung pile pada ujung pile (end bearing). Secara umum, daya dukung pada pile dibagi menjadi dua bagian, yaitu daya dukung pada dasar tiang dan daya dukung akibat gesekan pada tiang. Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya dukung ultimate (ultimate bearing capacity) pada pile menurut API RP 2A WSD adalah sebagai berikut.

$$Q_d = Q_f + Q_p = fA_s + qA_p \quad (4)$$

Hasil dari analisis pada bearing capacity adalah safety factor. Safety factor adalah batas aman pile dapat beroperasi.

Tabel 2.
Structural Dead Weight

Description	Load Factor	Basic Weight (kN)	Factored Weight (kN)
<i>Topside Structural Self Weight</i>			
Topside	1.10	833.93	917.33
<i>Substructure Structural Self Weight</i>			
Jacket	1.10	5635.18	6198.70
Boatlanding	1.10	249.73	274.70
Pile Above Mudline	1.10	2807.00	3087.70
Conductor	1.10	2453.15	2698.46
Riser Weight	1.10	59.76	65.74
Total	-	12038.80	13242.63

Tabel 3.
Substructure Non-Generated Dead Load

Load ID	Description	Load Factor	Weight (kN)	
			Estimated	Factored
JNGL	<i>Substructure Non-Generated Dead Load</i>			
	Anode	1.10	316.61	348.27
	Conductor Guide		116.37	128.01
	Clamp		52.63	57.89
	Crown		18.75	20.63
	Closure Plate		19.61	21.57
	Diaphragm Closure		14.70	16.17
	Fender		75.50	83.05
	Floodline		58.83	64.71
	Handrail, Stair, Grating (Boatlanding)		30.73	33.80
	Handrail, Stair, Grating (Jacket walkway)		42.65	46.92
	Mudmat		378.02	415.82
	Padeye		35.55	39.11
	Pile Spacer		5.41	5.95
	Trunnion		98.10	107.91
NGDM	Skirt and punching plate	1.10	126.85	139.54
Total Substructure Non-Generated Dead Load			-	1390.31

Tabel 4.
Topside Loadings

Load ID	Description	Load Factor	Weight (kN)	
			Basic	Factored
NGL	Grating	1.10		
	Handrail	1.10		
	Hatch Cover	1.10		
	Padeye	1.10	429.24	472.16
	Stabbing Guide	1.10		
	Stair	1.10		
	Starplate	1.10		
EQPO	Mechanical Equipment Operating Load at Deck	1.15	185.98	213.87
EIS	Electrical, Instrument, And Safety Equipment at Deck	1.15	259.63	298.58
PLMO	Piping Operating Load at Main Deck	1.15	83.91	96.50
PLCO	Piping Operating Load at Cellar Deck	1.15	17.20	19.78
PLJO	Piping Operating Load at Jacket Walkway	1.15	14.57	16.76
SAFJ	Safety Equipment at Jacket Walkway	1.15	0.10	0.12
CRSW	Crane Self Weight	1.15	26.97	31.02
CROP	Crane Operating Load	17.65	2.00	35.30
BLM	Live Load at Main Deck	1.00 / 0.25	600.84	600.84
BLC	Live Load at Cellar Deck	1.00 / 0.25	99.80	99.80
BLJ	Live Load at Jacket Walkway	1.00 / 0.25	86.59	86.59
BLW	Live Load at Main Deck During Well Service	1.00 / 0.25	399.95	399.95
WLI	Well Service Load (E-Line at Main Deck)	1.00	330.74	330.74

Adapun persamaan dari *safety factor* adalah sebagai berikut.

$$SF = \frac{Q_d}{Q_{all}} \tag{5}$$

Dengan Q_d adalah *ultimate bearing capacity* (kN) dan Q_{all} adalah *bearing capacity* yang diizinkan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Studi Literatur

Hal yang pertama dilakukan dalam melakukan penelitian ini adalah studi literatur sesuai dengan topik penelitian yang dilakukan. Hal-hal yang dikaji seperti jurnal, buku, laporan

tugas akhir, maupun *codes & standard* yang berlaku pada penelitian ini.

B. Pengumpulan Data

Tahap selanjutnya merupakan proses pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini. Data yang dibutuhkan adalah data struktur dan data lingkungan. Objek analisis pada penelitian ini adalah *jacket platform* milik PT. XYZ yang deskripsinya disebutkan seperti pada Tabel 1.

Data beban yang meliputi berat struktur, beban yang terdapat pada *substructure jacket*, dan beban *topside* seperti pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4. Data lingkungan yang meliputi data kedalaman laut, data angin, data gelombang,

Tabel 5.
Data Kedalaman Laut

Description	Return Period	
	1-Year	100-Years
Water Depth at MSL	89.20 m	89.00 m
Lowest Astronomical Tide (LAT)	-1.16 m	-1.16 m
Highest Astronomical Tide (HAT)	1.24 m	1.24 m
Storm Tide (SS)	0.32 m	0.58 m
Minimum Water Depth (WD+LAT)	88.04 m	88.04 m
Maximum Water Depth (WD+HAT+SS)	90.76 m	91.02 m

Tabel 6.
Data Angin

Description	Return Period	
	1-Year	100-Years
1 Hour Wind	13.2 m/s	18.1 m/s

Tabel 7.
Data Gelombang

Description	Return Period	
	1-Year	100-Years
Height of Maximum Wave (H_{max})	7.60 m	12.50 m
Period of Maximum Wave (T_{max})	10.30 s	11.80 s

Tabel 8.
Data Arus

Location	Current Speed (m/s)	
	1-Year	100-Years
Surface	0.81	1.26
Mid-Depth	0.50	0.65
Near-Bottom	0.29	0.35

dan data arus ditinjau pada Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8.

C. Pemodelan Struktur dengan Software

Tahap selanjutnya adalah pemodelan struktur *jacket platform* sesuai data yang telah didapat. Selain itu *jacket platform* tersebut diberikan pembebanan seperti beban mati, beban hidup, beban *equipment*, beban perpipaan, dan beban lingkungan.

D. Perhitungan Perkiraan Maksimum Kedalaman Scouring

Pada tahap ini, dilakukan perhitungan perkiraan maksimum kedalaman *scouring* dengan menggunakan Persamaan (1) dan Persamaan (2).

E. Analisis Inplace Jacket Platform

Analisis *inplace* dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah terjadinya *scouring* untuk mengetahui UC pada setiap member dan mengetahui kekuatan struktur dalam menerima beban.

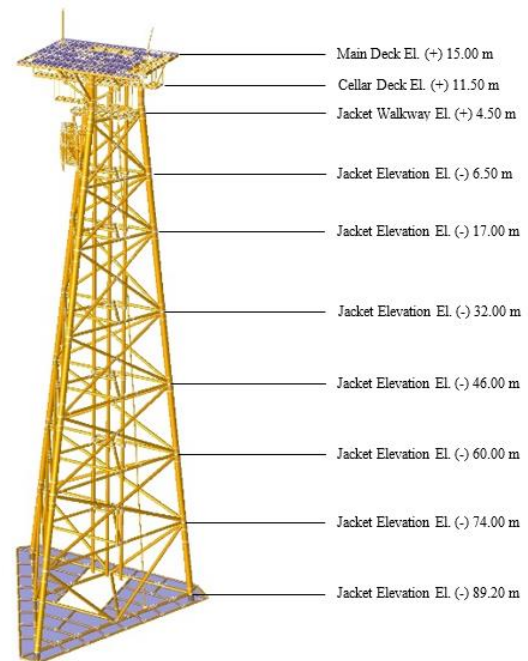
F. Pengecekan Safety Factor Pile hingga $SF < 1.5$

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan *pile* hingga mencapai maksimum kedalaman *scouring*. Jika nilai dari $SF < 1.5$, maka dikatakan bahwa *pile* tersebut sudah tidak dapat menahan beban akibat adanya *scouring*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan dan Validasi Struktur

Model struktur *wellhead jacket platform* 3 kaki dimodelkan dengan menggunakan *software* sesuai dengan data yang telah didapat seperti pada Gambar 2. Validasi dilakukan dengan membandingkan berat struktur *wellhead jacket platform* hasil pemodelan dengan berat struktur sesungguhnya sesuai dengan data yang tersedia. Validasi dilakukan untuk



Gambar 2. Pemodelan struktur.

Tabel 9.
Validasi Model

Berat Struktur (kN)		Koreksi (%)
Data	Pemodelan SACS	
13242.63	13310.135	0.510%

Tabel 10.

Kedalaman Scouring (Breusers)			
Deskripsi	Simbol	Nilai	Unit
Kedalaman Scouring	S_c	5.47	m

Tabel 11.

Kedalaman Scouring (Sumer & Fredsoe)			
Deskripsi	Simbol	Nilai	Unit
Kedalaman Scouring	S_{wc}	2.14	m

membuktikan bahwa struktur tersebut sudah mewakili struktur sesungguhnya di lapangan yang ditentukan dengan nilai eror yang tidak melebihi batas toleransi. Validasi dilakukan berdasarkan berat struktur *jacket* tersebut. Adapun hasil validasi pemodelan tersebut disajikan pada Tabel 9.

B. Analisis Scouring

Perhitungan perkiraan kedalaman *scouring* dilakukan untuk memprediksi maksimum kedalaman *scouring* pada salah satu *pile*. Terdapat beberapa metode perhitungan yang dapat dilakukan. Hasil perhitungan didapat seperti pada Tabel 10 dan Tabel 11 [9].

C. Analisis Member Kritis

Analisis *inplace* dilakukan untuk memperoleh member kritis pada struktur tersebut. Member dinyatakan aman apabila $UC \leq 1$. *Unity Check* (UC) merupakan parameter kekuatan struktur yang ditentukan berdasarkan rasio antara tegangan yang terjadi dengan tegangan yang diizinkan. Adapun member kritis pada kondisi *non scouring* seperti pada Tabel 12.

Berdasarkan Tabel 12, dapat dilihat bahwa UC terbesar terjadi pada arah pembebanan 120° yang berlokasi di *brace*, yaitu dengan nilai 0.90. Selanjutnya analisis *inplace* berfokus pada arah pembebanan yang mengalami UC terbesar, yaitu 120° . Hasil dari UC pada member kritis dengan variasi keda-

Tabel 12.
Member Kritis pada Kondisi *Non-Scouring*

Arah Pembebanan	Member Kritis	Location	Properties		UC
			OD (cm)	Thick-ness (cm)	
0	302L-112X	Brace	60.96	1.27	0.66
30	303L-132X	Brace	60.96	1.27	0.67
60	733L-743L	Jacket Leg	116.84	2.54	0.80
90	503L-322X	Brace	55.88	1.27	0.85
120	303L-122X	Brace	60.96	1.27	0.91
150	303L-122X	Brace	60.96	1.27	0.74
180	742L-752L	Jacket Leg	116.84	2.54	0.79
210	501L-311X	Brace	55.88	1.27	0.60
240	743L-753L	Jacket Leg	116.84	2.54	0.68
270	733L-743L	Jacket Leg	116.84	2.54	0.79
300	502L-321X	Brace	55.88	1.27	0.76
330	602L-421X	Brace	55.88	1.27	0.68

Tabel 13.
Unity Check pada Member Kritis Arah Pembebanan 120°

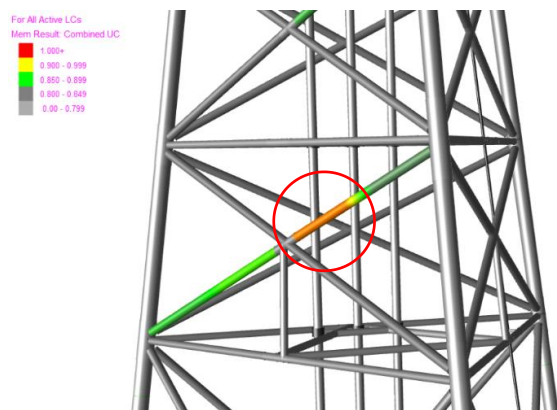
Member Kritis	Group Label	Location	Scouring (m)				
			1	2	3	4	5
303L-122X	V31	Brace	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95

Tabel 14.
Joint Kritis pada Kondisi *Non-Scouring*

Joint Kritis	Load Condition	UC
702L	1702	0.519
703L	1702	0.490
701L	1712	0.442
603L	1704	0.360
601L	1704	0.313

Tabel 15.
Unity Check pada Member Kritis Arah Pembebanan 30°

Joint Kritis	Scouring (m)				
	1	2	3	4	5
702L	0.525	0.530	0.535	0.541	0.546



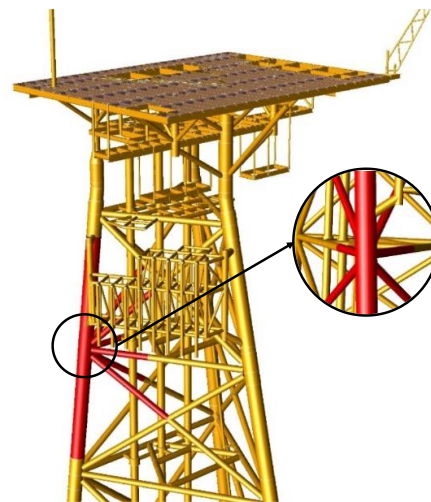
Gambar 3. Member kritis arah pembebanan 120°.

laman *scouring* disajikan pada Tabel 13. Adapun lokasi dari member kritis seperti pada Gambar 3.

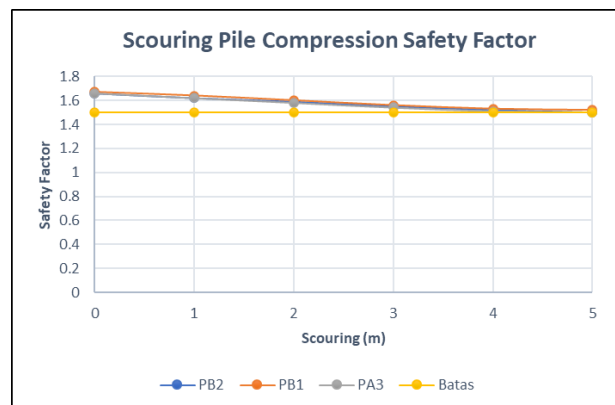
D. Analisis Joint Punching Shear Check

Analisis *joint punching shear check* dilakukan untuk mengetahui *joint* kritis pada struktur. *Joint* dikatakan aman apabila nilai $UC \leq 1$. Adapun 5 *joint* kritis yang terjadi pada kaki *jacket* pada kondisi *non-scouring* pada Tabel 14.

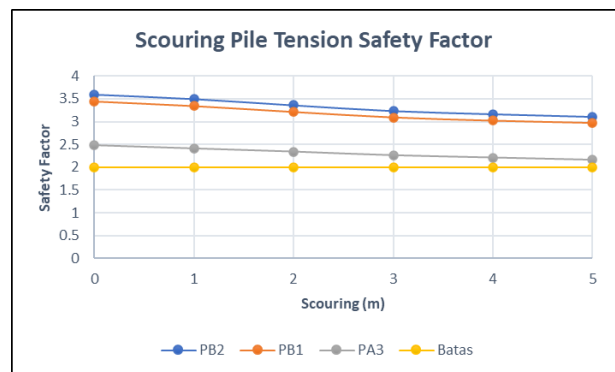
Dapat dilihat dari Tabel 14 bahwa *joint* kritis yang terjadi pada kaki *jacket* adalah pada *joint* 702L pada arah pembebanan 30°. Sehingga untuk selanjutnya akan dilakukan analisis *joint* kritis berfokus pada *joint* 702L pada arah pembebanan 30° dengan variasi kedalaman *scouring*. Adapun hasil analisis yang didapat disajikan pada Tabel 15, sedangkan lokasi *joint* kritis yang dimaksud seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. *Joint* kritis 7021 arah pembebanan 30°.



Gambar 5. Grafik *scouring pile compression safety factor*.



Gambar 6. Grafik *scouring pile tension safety factor*.

E. Analisis Safety Factor pada Pile

Analisis *safety factor* pada *pile* perlu dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan keamanan *pile* dalam menahan beban pada struktur. *Safety factor* merupakan rasio antara kapasitas *pile* dengan beban maksimum yang bekerja pada struktur. Nilai dari *safety factor* dari *pile* pada kondisi *tension* maupun *compression* mengalami penurunan seiring bertambahnya kedalaman *scouring*. Adapun grafik dari penurunan *safety factor pile* tersebut disajikan pada Gambar 5.

Berdasarkan Gambar 5, menunjukkan bahwa *scouring* dapat berpengaruh pada *safety factor* dari *pile*. Dapat dilihat bahwa pada Gambar 5, pada kondisi *scouring* kedalaman 5 m nilai dari *compression safety factor* pada *pile* PB2 dan PA3 sudah mencapai nilai 1.5. Batas dari nilai *compression safety factor* sendiri adalah 1.5. Sedangkan untuk *tension safety factor* dapat dilihat pada Gambar 6, bahwa pada kondisi

scouring kedalaman 5 m masih dikatakan aman dikarenakan nilai *safety factor* melebihi 2.0. Batas dari nilai *tension safety factor* adalah 2.0. Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur dapat beroperasi pada maksimum kedalaman 5 m pada kondisi badai.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan proses studi, perhitungan, simulasi, dan pembahasan, telah diperoleh kesimpulan sementara yang dapat menjawab rumusan permasalahan dan mencapai tujuan yang ditetapkan dalam tugas akhir ini. Berdasarkan kesimpulan tersebut, penulis menyimpulkan hasil penelitian yang telah dilakukan adalah maksimum kedalaman *scouring* yang diperbolehkan pada struktur ini adalah kedalaman 5 m dengan *pile compression safety factor* bernilai 1.5 pada *pile* PA3 dan PB2 yang sudah pada batas maksimal *safety factor* yang diizinkan. Member kritis terjadi pada member 303L-122X dengan *Unity Check* (UC) 0.95 dan sambungan kritis terjadi pada *joint* 702L dengan UC 0.546 pada maksimum kedalaman *scouring*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Agarwal, V. Agarwal, dan T. Hansmann, "Ten Ways to Boost Indonesia's Energy Sector in a Postpandemic World," McKinsey & Company, New York, 2020.
- [2] Kementerian Kelautan dan Perikanan, "Kaji Pemanfaatan Anjungan Migas Lepas Pantai untuk Perikanan Budidaya," Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta, 2021.
- [3] R. L. Tawekal, A. R. Baskara, dan R. Adriadi, "Studi kehandalan struktur anjungan lepas pantai tipe brace monopod," *J. Tek. Sipil ITB*, vol. 11, no. 4, hal. 179–190, 2004, doi: 10.5614/jts.2004.11.4.4.
- [4] R. D. Riyanto *et al.*, "Risk Assessment of Aging Offshore Jacket Platform Group: A Case Study on 'B' Field Platforms," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 649, no. 1, hal. 12068. doi: 10.1088/1755-1315/649/1/012068.
- [5] M. A. El-Reedy, *Marine Structural Design Calculations*. Massachusetts: Butterworth-Heinemann, 2014. ISBN: 978-0-08-099987-6.
- [6] E. Prihantika dan M. Murdjito, "Analisis dampak scouring pada integritas jacket structure dengan pendekatan statis berbasis keandalan," *J. Tek. ITS*, vol. 2, no. 2, hal. G191–G196, 2013, doi: 10.12962/j23373539.v2i2.4785.
- [7] B. S. W. Sari, "Analisis Kekuatan Ultimate Berbasis Resiko Pada Struktur Jacket Wellhead Tripod Platform Akibat Terjadinya Scouring," Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [8] A. H. A. Sani, M. K. A. Husain, N. I. M. Zaki, N. A. Mukhlas, dan S. Z. A. S. Ahmad, "Effect of pile scouring on structural integrity of fixed offshore jacket structures," *J. Adv. Res. Appl. Mech.*, vol. 86, no. 1, hal. 1–11, 2021.
- [9] S. B. Mutlu dan F. Jørgen, "Scour around pile in combined waves and current," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 127, no. 5, hal. 403–411, 2001, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:5(403).

[1] R. Agarwal, V. Agarwal, dan T. Hansmann, "Ten Ways to Boost