

# Analisis Dampak *Scouring* Pada Integritas *Jacket Structure* dengan Pendekatan Statis Berbasis Keandalan

Edit Hasta Prihantika, Murdjito, dan Daniel M. Rosyid

Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: murdjito@oe.its.ac.id

**Abstrak**—Integritas *jacket structure* sangat terpengaruh dengan kondisi lingkungan yang dapat menimbulkan masalah tertentu, seperti masalah *scouring* pada *jacket*. *Jacket APN-A* adalah salah satu *platform* yang mengalami *scouring* dengan rentan masalah yang cukup dikatakan paling parah. Analisa *In-place* yang harus dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur dengan masalah *scouring* adalah dengan menghitung *unity check* pada *member* dan *safety factor* pada *bearing capacity*. Variasi skenario yang dilakukan untuk menganalisa kekuatan *jacket APN-A* adalah dengan bervariasi kedalaman *scouring* hingga 5 meter dan dengan bervariasi penambahan beban *dead load* dan *live load* hingga 30% dari beban awal. Hasil analisa didapatkan bahwa *Jacket APN-A* tidak terjadi tegangan yang melebihi batas ketentuan ketika mengalami skenario *scouring* hingga 5 meter, akan tetapi mulai terjadi tegangan yang melebihi batas ketentuan ketika mengalami penambahan beban 10% yaitu pada *member 3* yang termasuk *Jacket Brace* dengan angka mencapai 1,0031. *Bearing capacity* pada *Jacket APN-A*, hasil analisa menunjukkan tidak ada yang melebihi kapaitas *Safety Factor* yang diijinkan ketika mengalami skenario *scouring* hingga 5 meter, akan tetapi pondasi tidak memenuhi syarat ketika mengalami skenario penambahan beban hingga 20% dari beban awal dengan angka mencapai 1,7. Keandalan dari *platform APN-A* mengalami penurunan yang cukup signifikan ketika mengalami penambahan *dead load* dan *live load*.

**Kata Kunci**—*Jacket structure*, *platform APN-A*, *Scouring*, integritas.

## I. PENDAHULUAN

EKSPLORASI maupun produksi minyak di lepas pantai sangat membutuhkan teknologi yang tinggi. Salah satu teknologi yang digunakan dan dikembangkan hingga sekarang adalah *platform* (anjungan lepas pantai). *Platform* dibagi menjadi dua tipe menurut sifatnya, yaitu *platform* yang bersifat terapung seperti *semisubmersible* dan *platform* yang bersifat tetap seperti *jacket structure* dan *gravity structure*. Di perairan Indonesia yang termasuk perairan yang dangkal, umumnya *platform* yang digunakan adalah jenis *platform* yang bersifat tetap dengan tipe *jacket structure*. Beberapa masalah yang sering terjadi pada bangunan lepas pantai yang ada di laut Indonesia adalah masalah *marine growth*, *land subsidence*, dan *scouring*. *Scouring* yang terjadi pada bangunan lepas pantai seringkali mengakibatkan kegagalan konstruksi. *Scour* disebabkan oleh tiga mekanisme [1]:

1. Peningkatan kecepatan air disekitar objek.
2. Pusaran jejak *vortex* di sisi hilir objek.
3. Sebuah komponen vertikal dari kecepatan air yang disebabkan oleh adanya objek.

Kekuatan pada *jacket structure* berhubungan langsung dengan *thickness* yang dipakai pada material, selain itu juga berhubungan dengan penetrasi *pile* atau pondasi yang dibuat untuk menopang stuktur tersebut. Pondasi merupakan salah satu komponen penting pada bangunan lepas pantai namun juga merupakan salah satu komponen yang paling rawan [2].

Pada anjungan lepas pantai milik PT. PHE, beberapa mengalami permasalahan *scouring*. *Platform APN-A* adalah salah satu *platform* yang mengalami permasalahan tentang *scouring*.

Melalui penelitian ini diharapkan dapat diketahui besarnya kekuatan struktur kaki *jacket* terhadap pembebanan yang ada pada kondisi operasional dan badai, sehingga dapat mengetahui estimasi maksimal kedalaman *scour* agar struktur tetap stabil dan tidak mengalami kegagalan pada kaki *jacket*. Setelah mendapatkan nilai estimasi maksimal, diharapkan akan mengetahui pula pengaruh kedalaman *scour* terhadap nilai keandalan struktur *Jacket APNA* (lihat Gambar 1).

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan berupa data struktur, lingkungan, dan tanah. Data lingkungan dan tanah pada *Platform APN-A* diperoleh dari PT. Paramuda Jaya. Sedangkan data yang dibutuhkan lainnya adalah data pembebanan saat kondisi operasional dan badai dengan batasan yang ada.

### B. Permodelan dan Validasi

Permodelan struktur dilakukan dengan GT *strudl*. Setelah permodelan struktur, maka dilakukan permodelan pembebanan sesuai data yang ada. Validasi dilakukan untuk mencocokkan berat struktur pada permodelan yang dibuat dengan berat struktur pada data yang didapatkan.



Gambar. 1. Jacket APN-A [3].

C. Analisa statis In-place pada BLP

Analisa ini digunakan untuk mengetahui nilai Unity Check member-member pada struktur dengan pembebanan yang telah dimasukkan dengan menggunakan persamaan (1). Analisa stress member adalah berbanding antara tegangan sebenarnya dengan tegangan ijin [4].

$$UC = \frac{fa}{0.6 Fy} + \frac{\sqrt{fbx^2 + fby^2}}{0.75 Fy} \leq 1 \tag{1}$$

D. Analisa Bearing Capacity

Penyaluran beban oleh tiang pancang ini dapat dilakukan melalui lekatan antara sisi tiang dengan tanah tempat tiang dipancang (tahanan geser selimut/skin friction) dan daya dukung tiang pancang oleh ujung tiang pancang (end bearing). Daya dukung aksial suatu pondasi dalam pada umumnya terdiri atas dua bagian yaitu daya dukung akibat gesekan sepanjang tiang dan daya dukung ujung (dasar) tiang.

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \tag{2}$$

E. Analisa Keandalan dan Simulasi Monte Carlo

Sistem dari keandalan pada dasarnya dapat ditunjukkan sebagai problematika antara Demand (tuntutan atau beban) dan Capacity (kapasitas atau kekuatan). Secara tradisional didasarkan atas safety factor (angka keamanan) yang diperkenankan. Ukuran konvensional untuk angka keamanan

adalah perbandingan antara asumsi nilai nominal kapasitas,  $X^*$ , dan beban,  $Y^*$ , yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{X^*}{Y^*} \tag{3}$$

Simulasi adalah teknik untuk melakukan eksperimen dalam laboratorium atau pada komputer digital untuk sistem perilaku model [5]. Biasanya simulasi model menghasilkan simulasi data yang harus diperlakukan secara statistik untuk memprediksi perilaku sistem ke depannya. Dalam arti luas, simulasi memiliki ruang lingkup khusus. Ketika suatu sistem yang sedang dipelajari mengandung variabel atau parameter yang memiliki nilai random, atau mengandung perubahan acak, maka metode simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk memecahkan persoalan ini [6].

Unsur pokok yang diperlukan didalam simulasi Monte Carlo adalah sebuah random number generator, di mana simulasi dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dari perubahan acak berdasarkan distribusi peluang perubahan acak tersebut. Ini, berarti simulasi Monte Carlo mensyaratkan bahwa distribusi peluang dari perubahan acak yang terlibat di dalam sistem yang sedang dipelajari telah diketahui atau dapat diasumsikan.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Data Struktur, Lingkungan, Pembebanan, dan Tanah

Data utama dari struktur APN-A adalah sebagai berikut:

Recomended Practice	: API RP 2A WSD
Kedalaman	: 134 ft
Jumlah Deck	: 3
Heli Deck TOS	: EL (+) 62'-0"
Wellhead Deck TOS	: EL (+) 47'-4,125"
Main Deck TOS	: EL (+) 37'-6"

Arah yang terjadi untuk beban gelombang ada 12 arah, 0; 30; 60; 90; 120; 150; 180; 210; 240; 270; 300; 330, dengan data seperti pada Tabel 1. Kecepatan angin per detik dapat dilihat pada Tabel 2.

Kecepatan arus, dibagi menurut kedalamannya, karena arus yang mempunyai nilai besar terjadi di surface area. Pembagian kecepatan arus dapat dilihat pada Tabel 3. Beban-beban yang diberikan pada struktur ada pada Tabel 4.

Data yang sangat penting dalam analisa struktur dengan metode in-place adalah data tanah. Data tanah digunakan saat menganalisa bearing capacity dari suatu struktur. Data tanah yang digunakan dalam input di GT Strudl adalah dalam bentuk kurva P-Y, Q-Z, dan T-Z yang telah dikonversikan menjadi angka. Data tanah struktur APN-A seperti pada Gambar 2.

B. Permodelan dan Validasi Berat Struktur

Pemodelan struktur APN-A Jacket Platform menggunakan bantuan software GT Strudl dan GT Selos.

Tabel 1.  
Tinggi gelombang dan periode

Returns Periods	Wave Height m (ft)	Period (sec)
1 year return operating	3.50 (11.483)	7.0
100 years return storm	5.50 (18.045)	8.7

Tabel 2.  
Kecepatan angin

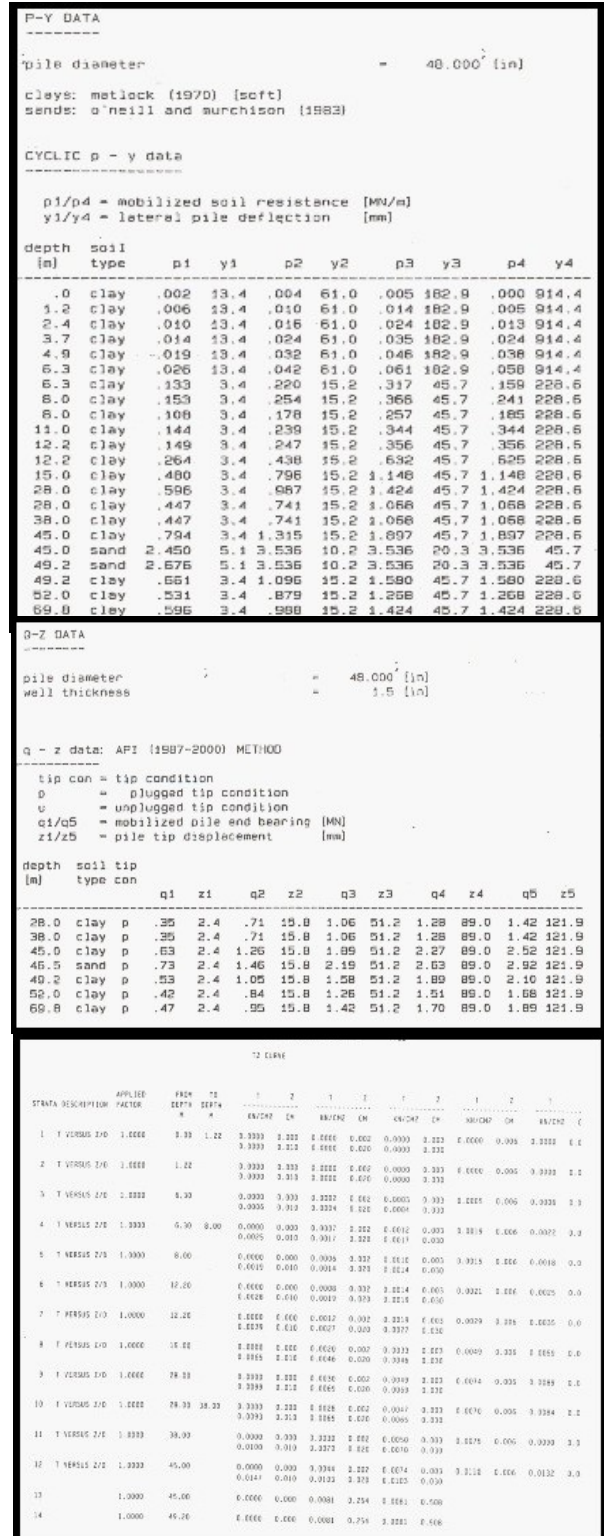
Condition	Velocity (m/s)
Operating	12.4
Storm	25.7

Tabel 3.  
Data arus

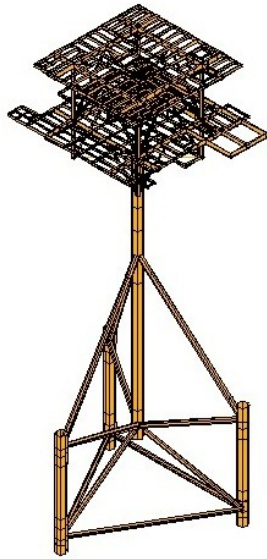
Percent of depth below water surface (%)	Current Velocity (m/s)	
	Operating Condition	Storm Condition
0 (surface)	0.670	1.090
10	0.560	0.870
20	0.480	0.710
30	0.420	0.590
40	0.380	0.500
50	0.350	0.440
60	0.330	0.390
70	0.310	0.360
80	0.300	0.340
90	0.290	0.320
100 (mud line)	0.290	0.310

Tabel 4. Data pembebanan

Description	Static Load
<b>Self Weight</b>	-
<b>Other Structure</b>	
Main deck Handrail	51.131 kN
Wellhead Handrail	14.578 kN
Weather Shelter	38.613 kN
<b>Open Area Live Load</b>	
Main deck Live Load	7.5 kN/m <sup>2</sup>
Stairway	5.0 kN/m <sup>2</sup>
Wellhead Live Load	5.0 kN/m <sup>2</sup>
Laydown Area Load	15.0 kN/m <sup>2</sup>
Helideck Live Load	5.0 kN/m <sup>2</sup>
Walkways Live Load	5.0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Anodes Load</b>	132.3 kN
<b>Dry Weight Loads</b>	
CO2 Bottle Tank	0.89 kN
Portable Sump Tank	4.96 kN
Nitrogen Bottle Tank	24.55 kN
Wellhead & Monitoring Shutdown Panel	21.1 kN
Monitor & Control Unit SCADA Panel	6.23 kN
VHF Digital Panel	5.874 kN
AC/DC Charger	16.768 kN
DC Panel	12.37 kN
Battery Box	68.70 kN
Navigation And Lanterns	10.80 kN
Solar Array Panel	15.3 kN
<b>Hydrotest Load</b>	
CO2 Bottle Tank	0.89 kN
Portable Sump Tank	11.792 kN
Nitrogen Bottle Tank	24.55 kN
Wellhead & Monitoring Shutdown Panel	21.1 kN
Monitor & Control Unit SCADA Panel	6.23 kN
VHF Digital Panel	5.874 kN
AC/DC Charger	16.768 kN
DC Panel	12.37 kN
Battery Box	68.70 kN
Navigation And Lanterns	10.80 kN
Solar Array Panel	15.3 kN
<b>Helicopter Self Weight</b>	44.149 kN
<b>Manual Hoist Operating Load</b>	14.7 kN



Gambar 2. Data P-Y, Q-Z, dan T-Z



Gambar 3. Detail Model Struktur APN-A.

Tabel 5.

Hasil *Member Stress Check* “Member 90” (OPERASI)

Deck Beam (member 90)	Beban Awal	Beban Awal + 10% (DL & LL)	Beban Awal + 20% (DL & LL)	Beban Awal + 20% (DL & LL)
Nonscour	0.9126	0.9935	1.0743	1.1552
Scour 1m	0.9132	0.9941	1.0750	1.1559
Scour 2m	0.9138	0.9948	1.0757	1.1567
Scour 3m	0.9144	0.9954	1.0765	1.1575
Scour 4m	0.9150	0.9961	1.0772	1.1583
Scour 5m	0.9156	0.9967	1.0779	1.1590

Setelah struktur selesai dimodelkan, maka beban pada struktur harus dimasukkan sesuai data yang telah ada. Validasi struktur dilakukan setelah pembebanan pada struktur selesai dimasukkan semua. Berat struktur pada permodelan adalah 2621.31 KN, sedangkan berat struktur pada data adalah 2647.07 KN (lihat Gambar 3).

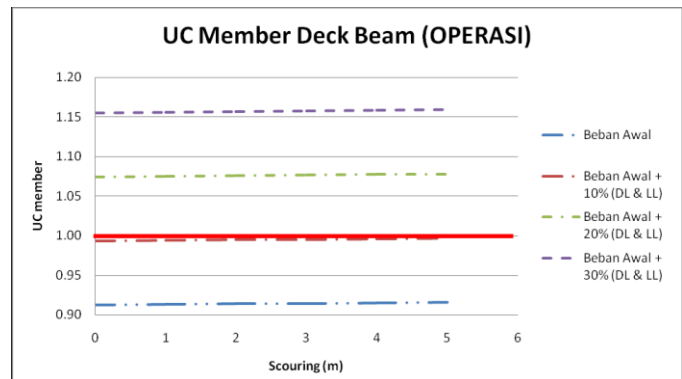
C. *Analisa Member Stress*

Hasil dari analisa *member* adalah *Unity Check* yang dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu *Deck Beam* dan *Jacket Brace*. *Member* yang paling parah di katagori *Deck Beam* adalah *member 90* yang ada di *Main Deck*, sedangkan pada katagori *Jacket Brace* adalah *member 3* yang ada di *Brace Caison*. Hasil *member stress check* untuk kondisi operasi dapat di lihat di Tabel 5-6 dan Gambar 4-5.

Hasil *member stress check* untuk kondisi badai tidak mengalami *stress* yang melebihi batas seperti pada Tabel 7-8 dan Gambar 6-7.

D. *Analisa Bearing Capacity*

Hasil dari analisa *bearing capacity* adalah *Safety Factor*. *Safety Factor* untuk ketiga *pile* hampir sama setelah dihitung dengan persamaan (2). Hasil yang telah diplotkan ke dalam grafik pada Gambar 8-9.

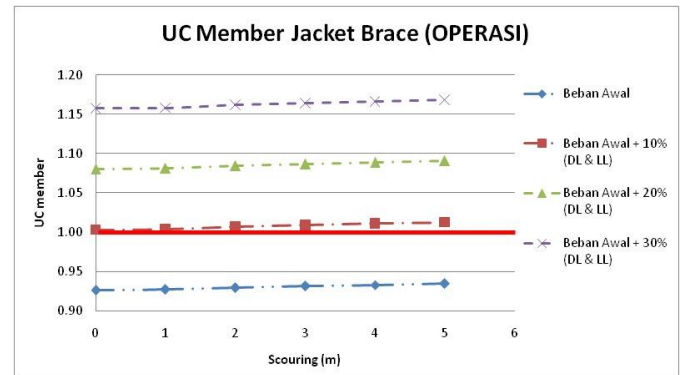


Gambar 4. UC Member Deck Beam (Operasi).

Tabel 6.

Hasil *Member Stress Check* “Member 3” (OPERASI)

Jacket Brace (member 3)	Beban Awal	Beban Awal + 10% (DL & LL)	Beban Awal + 20% (DL & LL)	Beban Awal + 30% (DL & LL)
Nonscour	0.9260	1.0031	1.0801	1.1572
Scour 1m	0.9266	1.0038	1.0809	1.1580
Scour 2m	0.9294	1.0068	1.0842	1.1616
Scour 3m	0.9311	1.0087	1.0863	1.1639
Scour 4m	0.9329	1.0106	1.0884	1.1661
Scour 5m	0.9346	1.0125	1.0904	1.1683

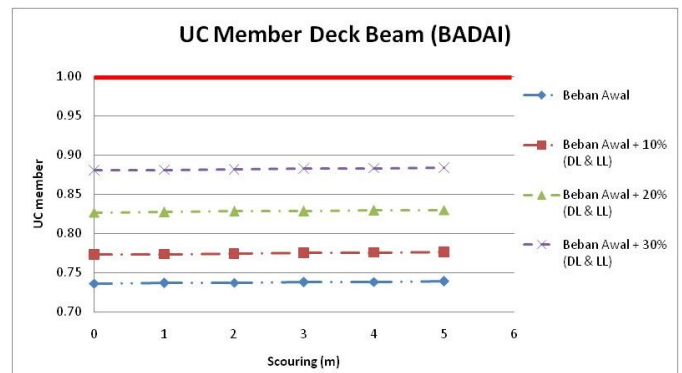


Gambar 5. UC Member Jacket Brace (Operasi)

Tabel 7.

Hasil *Member Stress Check* “Member 90” (BADAI)

Deck Beam (member 90)	Beban Awal	Beban Awal + 10% (DL & LL)	Beban Awal + 20% (DL & LL)	Beban Awal + 30% (DL & LL)
Nonscour	0.7366	0.7734	0.8268	0.8803
Scour 1m	0.7370	0.7739	0.8274	0.8809
Scour 2m	0.7376	0.7745	0.8281	0.8816
Scour 3m	0.7382	0.7750	0.8287	0.8823
Scour 4m	0.7387	0.7757	0.8294	0.8830
Scour 5m	0.7393	0.7763	0.8300	0.8837

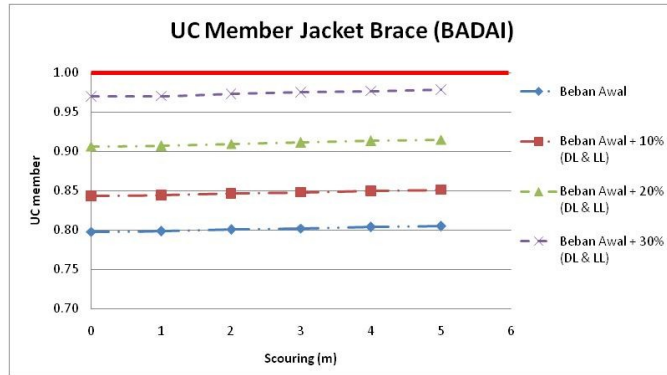


Gambar 6. UC Member Deck Beam (Badai).

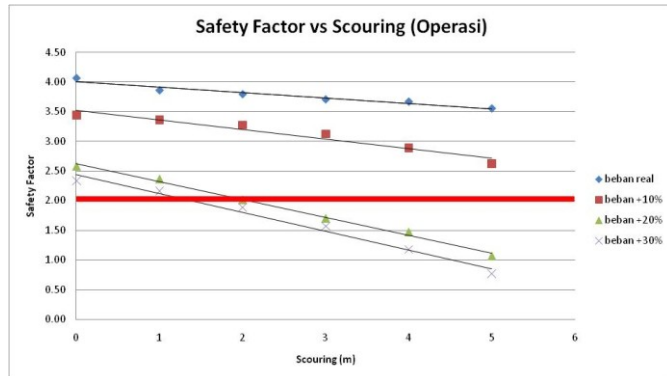


Tabel 8  
Hasil Member Stress Check "Member 3" (BADAI)

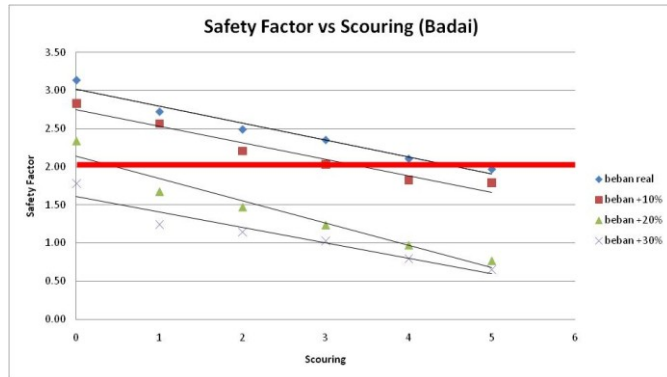
Jacket Brace (member 3)	Beban Awal	Beban Awal + 10% (DL & LL)	Beban Awal + 20% (DL & LL)	Beban Awal + 30% (DL & LL)
Nonscour	0.7980	0.8436	0.9065	0.9695
Scour 1m	0.7986	0.8442	0.9072	0.9702
Scour 2m	0.8009	0.8466	0.9099	0.9731
Scour 3m	0.8023	0.8480	0.9115	0.9749
Scour 4m	0.8037	0.8497	0.9132	0.9767
Scour 5m	0.8051	0.8512	0.9149	0.9785



Gambar. 7. UC Member Jacket Brace (Badai).



Gambar. 8. Grafik Safety Factor vs Scouring (Operasi).



Gambar. 9. Grafik Safety Factor vs Scouring (Badai).

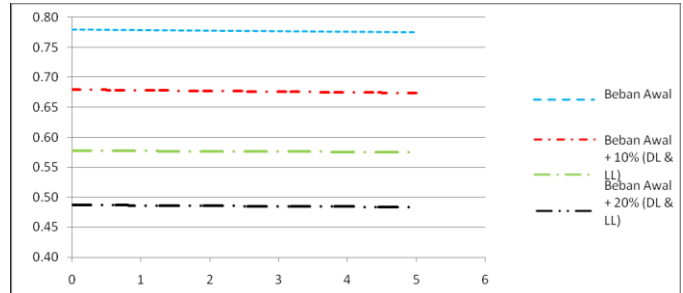
E. Analisa Keandalan dengan Simulasi Monte Carlo

Analisa keandalan dilakukan pada member terkritik menurut katagorinya masing-masing. Mode kegagalan untuk analisa keandalan menggunakan persamaan (1). Hasil iterasi menggunakan RNG hingga 100000 kali dikonversikan menjadi keandalan struktur seperti pada Tabel 9-10 dan Gambar 10-11.

Tabel 9.

Hasil Analisa Keandalan Struktur Pada Member 90

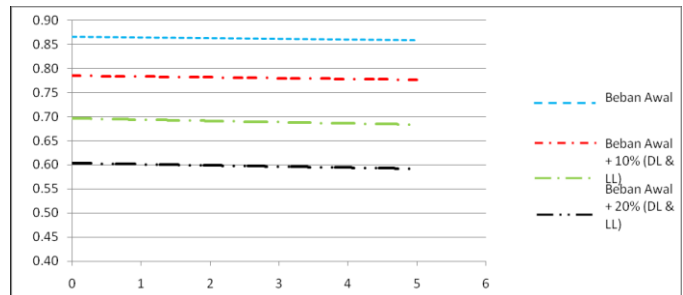
Deck Beam (member 90)	Beban Awal	Beban Awal + 10% (DL & LL)	Beban Awal + 20% (DL & LL)	Beban Awal + 30% (DL & LL)
Nonscour	0.7794	0.6786	0.5759	0.4883
Scour 1m	0.7786	0.6799	0.5776	0.4850
Scour 2m	0.7766	0.6763	0.5777	0.4841
Scour 3m	0.7781	0.6753	0.5765	0.4836
Scour 4m	0.7750	0.6767	0.5751	0.4844
Scour 5m	0.7759	0.6720	0.5738	0.4838



Gambar. 10. Grafik Keandalan vs Scouring (Deck Beam Member 90).

Tabel 10.  
Hasil Analisa Keandalan Struktur Pada Member 3

Jacket Brace (member 3)	Beban Awal	Beban Awal + 10% (DL & LL)	Beban Awal + 20% (DL & LL)	Beban Awal + 20% (DL & LL)
Nonscour	0.8668	0.7843	0.6962	0.6014
Scour 1m	0.8668	0.7844	0.6932	0.6051
Scour 2m	0.8608	0.7814	0.6916	0.6001
Scour 3m	0.8613	0.7809	0.6907	0.5945
Scour 4m	0.8597	0.7774	0.6847	0.5948
Scour 5m	0.8591	0.7756	0.6841	0.5919



Gambar. 11. Grafik Keandalan vs Scouring (Jacket Brace Member 3).

IV. KESIMPULAN

Dari analisa yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kedalaman *scour* maksimal yang diijinkan untuk *platform* APN-A adalah kedalaman 1 meter dengan analisa penambahan beban 10% dari beban awal.
2. Dampak masalah *scour* pada *platform* adalah naiknya *member stress* pada *member 3* di *Jacket Brace* menjadi 1.0031 dan turunnya angka keamanan pada Pondasi menjadi 1.7 yang dapat mengakibatkan efek kekuatan *platform* APN-A tidak memenuhi syarat.
3. Keandalan struktur APN-A mengalami penurunan pada saat mengalami *scour* dan lebih signifikan lagi dengan adanya penambahan *live load* dan *dead load* hingga 30% pada *platform* APN-A.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Paramuda Jaya yang telah membantu dalam mengumpulkan data selama pengerjaan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baltrop, N.D.P. & Adams, A.J., "Dynamics Of Fixed Marine Structures – Third Edition". London: The Marine Technology Directorate Limited.1 (1991).
- [2] Dawson, T.H., "Offshore Structural Engineering". New Jersey, USA: Prentice-Hall Inc. Engelwood Cliffs (1983).
- [3] <http://www.oilrig-photos.com/picture/number1851.asp> (2013)
- [4] American Petroleum Institut, *API RP 2A Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design*, API Publishing Services, Washington D.C. , (2005).
- [5] Hastanto, E.S., "Analisa Ultimate Strenght Jacket LE Berbasis Keandalan". Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS (2000).
- [6] Rosyid, D.M., "Pengantar Rekayasa Keandalan". Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2002).