

ANALISIS TUMBUKAN KAPAL PADA ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE JACKET 6 KAKI

Julio De Velas

NIM : 15513064

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan, FTSL, ITB

Email : juliodevelas@protonmail.ch

Kata Kunci : Tabrakan Kapal, Anjungan Tipe Tetap

ABSTRAK

Anjungan lepas pantai yang berlokasi di alur pelayaran memiliki potensi besar terhadap tabrakan/tumbukan kapal. Energi kinetik yang dimiliki kapal harus diserap menjadi energi regangan pada kapal atau struktur anjungan, atau oleh keduanya. Pada tugas akhir ini, dilakukan analisis dengan metode analitik, dan dengan bantuan perangkat lunak *SACS Collapse* dan ANSYS, untuk mendapatkan pemahaman mengenai karakteristik penyerapan energi melalui deformasi lokal dan lentur oleh struktur anjungan lepas pantai dan akurasi dari metode analitik dan analisis elemen hingga ANSYS yang terdapat beberapa simplifikasi. Selain itu, beberapa skenario tabrakan juga digunakan dalam tugas akhir ini. Analisis dengan *SACS Collapse* dilakukan untuk kasus dimana *pile* dan beban selain tabrakan kapal tidak diperhitungkan, dan kasus dimana *pile* dan beban luar selain tabrakan kapal diperhitungkan. Kedua kasus tersebut digunakan dengan tujuan untuk memahami pengaruh *pile* pada kapasitas penyerapan energi struktur anjungan, serta untuk mengetahui apakah struktur anjungan bisa menahan beban lingkungan kondisi operasi setelah tabrakan terjadi. Selain itu, juga akan dihitung berat kapal maksimum dengan kecepatan 2 m/s yang dapat ditahan oleh struktur anjungan. Dari hasil analisis tabrakan pada *member bracing*, didapatkan bahwa besar kapasitas penyerapan energi *member* cukup dekat untuk ketiga metode yang dilakukan. Sedangkan untuk kasus tabrakan pada *jacket leg*, hasil yang didapatkan berbeda jauh antara analitik dan ANSYS dengan SACS, dikarenakan asumsi yang digunakan pada ANSYS dan metode analitik tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Penyerapan energi oleh struktur global anjungan cukup besar untuk kasus tabrakan pada *jacket leg*, tetapi sangat kecil dan dapat diabaikan untuk kasus tabrakan pada *bracing*.

PENDAHULUAN

Pada industri minyak dan gas di seluruh dunia, struktur anjungan lepas pantai tipe jacket adalah yang paling umum digunakan untuk kedalaman laut dangkal sampai kedalaman menengah. Struktur tipe ini menerima beban lingkungan akibat angin, gelombang laut, dan arus. Selain beban lingkungan, struktur ini juga memiliki kemungkinan untuk menerima beban lain. Beban yang terbesar selain beban operasional adalah beban akibat tabrakan/tumbukan oleh kapal yang beroperasi disekitarnya. Tabrakan yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan struktural yang serius dan mengakibatkan pengurangan pada daya dukung elemen struktur tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap kemungkinan dan dampak dari terjadinya tabrakan kapal pada struktur anjungan lepas pantai.

TEORI DAN METODOLOGI

Untuk instalasi tipe tetap (*fixed*), besar energi kinetik yang harus didisipasi oleh struktur anjungan dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$E_k = \frac{1}{2}(m_s + a_s) v_s^2 \quad (1)$$

Dimana,

E_k = Energi kinetik kapal (KJ)

m_s = Massa kapal (ton)

a_s = Massa tambahan hidrodinamik kapal (ton)

v_s = Kecepatan kapal (m/s)

Energi kinetik kapal harus diserap oleh struktur anjungan dengan 3 mekanisme, yaitu deformasi lokal dan balok *member* yang tertabrak, dan deformasi global struktur secara keseluruhan.

Deformasi Lokal

Penyerapan energi melalui deformasi lokal dapat dihitung dengan mengintegrasikan kurva hubungan gaya-deformasi lokal yang diberikan pada DNV RP-C204 dan API RP2A-WSD.

- DNV RP-C204

$$\frac{R}{R_c} = k \cdot c_1 \cdot \left(\frac{\delta}{D}\right)^{c_2} \quad (2)$$

$$R_c = F_y \cdot \frac{t^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{t}} \quad (3)$$

$$c_1 = 22 + 1.2 \cdot \frac{B}{D} \quad (4)$$

$$c_2 = \frac{1.925}{3.5 + \frac{B}{D}} \quad (5)$$

$$k = 1.0 \quad \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \leq 0.2 \quad (6)$$

$$k = 1.0 - 2 \left(\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} - 0.2 \right) \quad 0.2 < \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0.6 \quad (7)$$

$$k = 0 \quad 0.6 \leq \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \quad (8)$$

dimana,

R = Gaya Luar

N_{Sd} = Gaya tekan aksial elemen desain

N_{Rd} = Tahanan tekan aksial elemen desain

B = Lebar bidang kontak

δ = Kedalaman indentasi (penyok)

- API RP2A-WSD

$$P_\delta = 3,75 \cdot F_y \cdot t^2 \cdot \left(\frac{D}{t}\right)^{0.5} \left(\frac{\delta}{R}\right)^{0.5} \quad (9)$$

$$E_\delta = \int_0^\delta P_\delta d\delta = 14.14 M_p \frac{\delta^{\frac{3}{2}}}{t^{0.5}} \quad (10)$$

P_δ = *denting force* (gaya yang mengakibatkan deformasi lokal)

E_δ = *denting energy* (energi deformasi lokal)

F_y = Kuat leleh material (*yield strength*)

t = Tebal dinding penampang

δ = Kedalaman indentasi (penyok)

D = Diameter penampang

R = Radius penampang

Deformasi Balok

Hubungan gaya-deformasi balok (ref. 6) direpresentasikan oleh persamaan berikut,

$$\frac{P}{P_{critical}} = \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta}{D}\right)^2} + \frac{\Delta}{D} \cdot \arcsin\left(\frac{\Delta}{D}\right) , \frac{\Delta}{D} \leq 1 \quad (11)$$

$$\frac{P}{P_{critical}} = \frac{\pi \cdot \Delta}{2 \cdot D} , \frac{\Delta}{D} > 1 \quad (12)$$

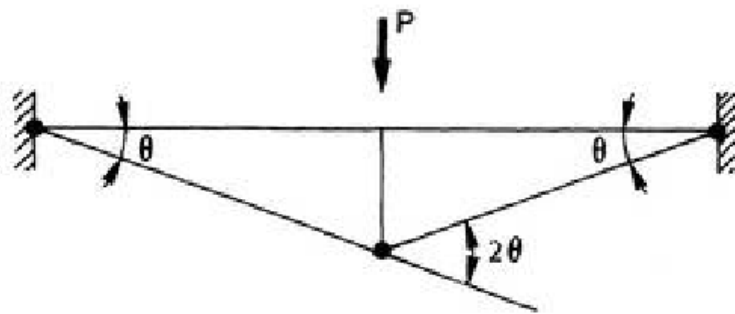
Dimana,

D = Diameter penampang

Δ = Defleksi lateral dari elemen balok

$P_{critical}$ = Beban kritis yang dapat ditahan *member*

Beban Kritis



Gambar 1. Mekanisme Tiga Sendi

Kerja Luar = Kerja Dalam

$$\sum P \cdot \Delta = \sum M_p \cdot \theta \quad (13)$$

$$P_{critical} = \frac{8 \cdot M_p}{L} ; \text{Beban pada jarak setengah bentang dari tumpuan} \quad (14)$$

$$P_{critical} = \frac{M_p \cdot 32}{3 \cdot l} ; \text{Beban pada jarak seperempat bentang dari tumpuan} \quad (15)$$

Dimana,

M_p = Kapasitas momen plastis

L = Panjang *member*

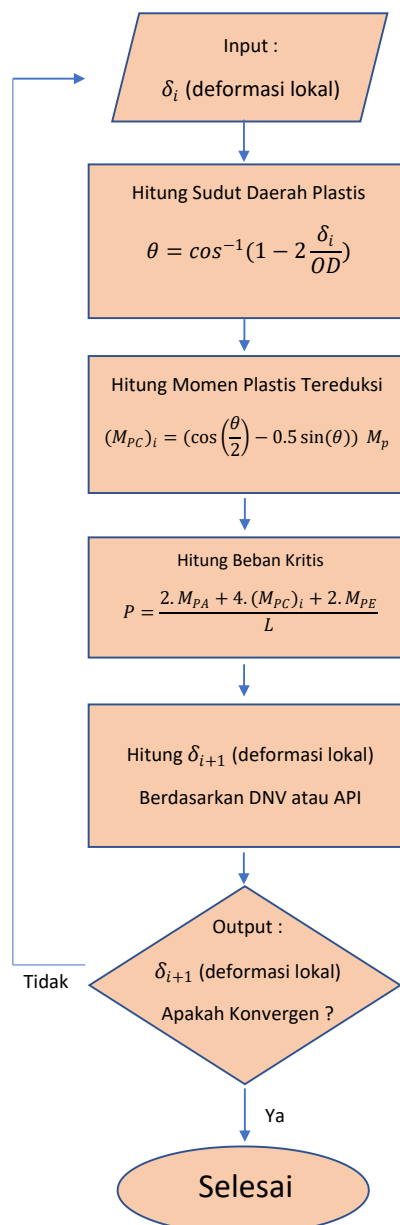
Hubungan *Local Denting* – Kapasitas Momen Plastis

Deformasi lokal menyebabkan pengurangan kapasitas momen plastis *member*. Pengurangan tersebut dapat dihitung dengan persamaan (ref. 1) berikut,

$$\frac{M_{red}}{M_p} = \cos \frac{\varphi}{2} - \frac{1}{2} \sin \varphi \quad (16)$$

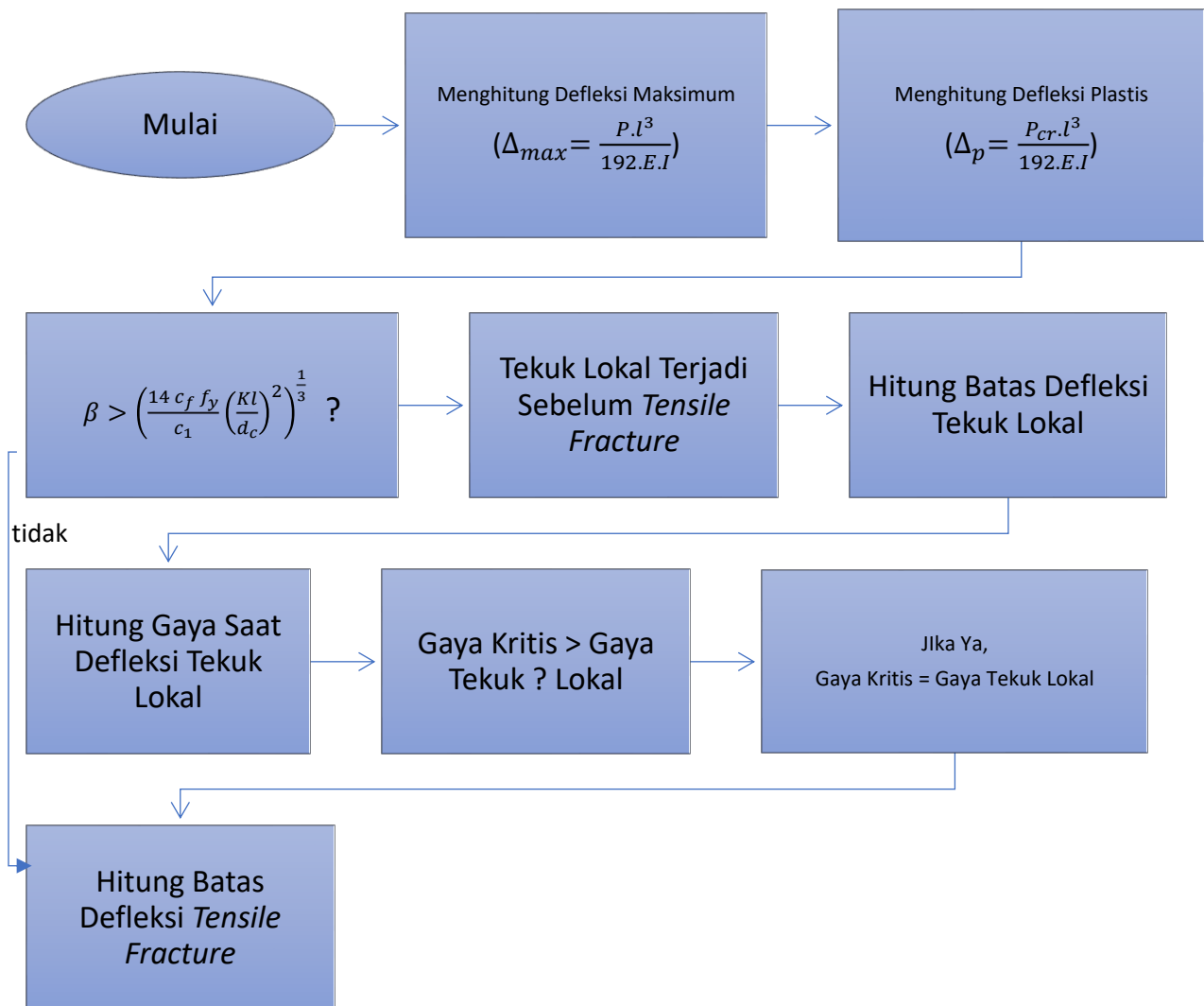
$$\varphi = \arccos \left(1 - \frac{2\delta}{D}\right) \quad (17)$$

Pengurangan kapastias momen plastis mengakibatkan beban kritis harus dihitung kembali dengan skema iterasi sebagai berikut untuk kasus tabrakan pada tengah bentang,

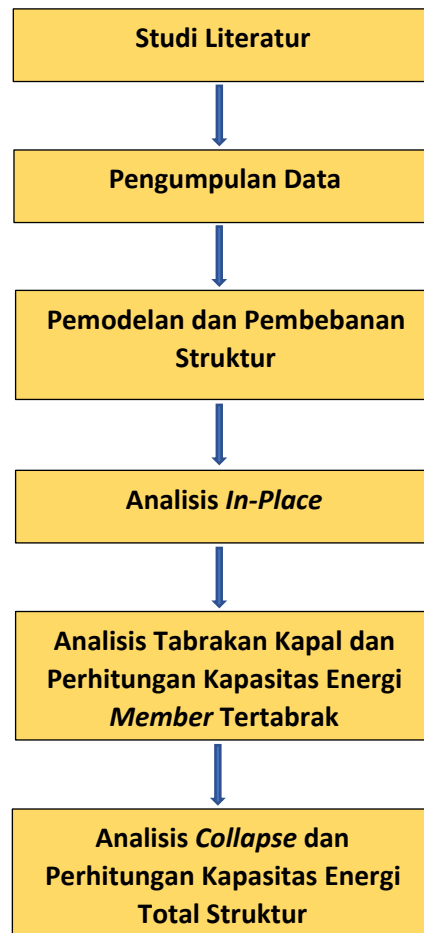


Batasan Daktilitas Deformasi Balok

Perhitungan batasan daktilitas deformasi balok yang terdiri dari *local buckling* dan *tensile fracture* diilustrasikan pada diagram alir berikut,



Metodologi pengerjaan tugas akhir ini diberikan pada diagram alir berikut,



HASIL DAN ANALISA

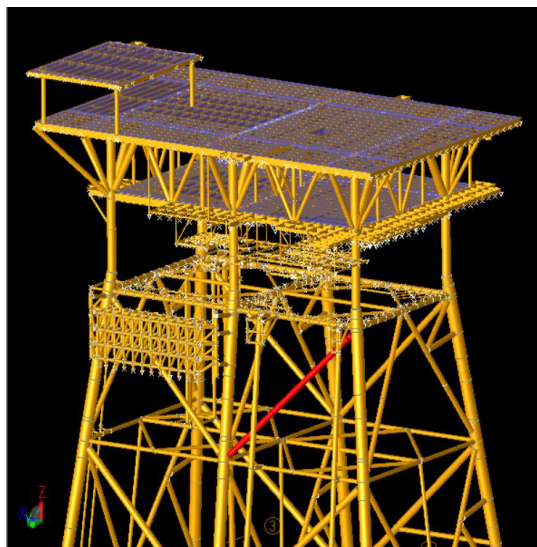
Perhitungan akan dilakukan dengan analitik dan dengan bantuan perangkat lunak elemen hingga ANSYS dan SACS *Collapse* yang digunakan sebagai pembanding hubungan gaya-deformasi dan gaya-energi regangan.

- Kasus *Bow Impact* Pada *Bracing*

Kasus *bow impact* pada *bracing* terdiri dari kasus tabrakan pada $\frac{1}{2}$ bentang dan $\frac{1}{4}$ bentang. Energi yang akan ditransfer oleh kapal ke elemen struktur merupakan energi kinetik yang dapat dihitung dengan persamaan 2.6 yaitu,

$$E_k = \frac{1}{2} (m_s + a_s) v_s^2 \rightarrow E_k = \frac{1}{2} (1,000 + 100) 2^2 = 2,200 \text{ kJ} = 2.2 \text{ MJ} \quad (18)$$

Member 3004-289



Gambar 2. Member 3004-289

Tabel 1. Properti Penampang Member 3004-289

No.	Properti	Nilai	Satuan
1.	Diameter Luar (OD)	0.5041	Meter
2.	Tebal Dinding (t)	0.00787	Meter
3.	Panjang <i>Member</i> (<i>l</i>)	15.95	Meter
4.	Modulus Elastisitas (<i>E</i>)	200,000	MPa
5.	Tegangan Leleh (σ_y)	345	MPa

a. Tabrakan pada jarak $\frac{1}{2}$ bentang

Rangkuman kapasitas energi indentasi, balok, dan total hasil metode analitik, SACS, dan ANSYS diberikan pada tabel 2, 3, dan 4, secara berturut-turut.

Tabel 2. Rangkuman Kapasitas Energi Indentasi *member* 3004-289 (1/2 Bentang)

Metode	Kapasitas
Analitik	0.00878 MJ
SACS Collapse	0.00795 MJ
ANSYS	0.01375 MJ

Tabel 3. Rangkuman Kapasitas Energi Balok *member* 3004-289 (1/2 Bentang)

Metode	Kapasitas
Analitik	0.098 MJ
SACS Collapse	0.09273 MJ
ANSYS	0.1168 MJ

Tabel 4. Rangkuman Kapasitas Energi Total *member* 3004-289 (1/2 Bentang)

Metode	Kapasitas Total	Energi Kapal
Analitik	0.1068 MJ	2.2 MJ
SACS Collapse	0.1MJ	2.2 MJ
ANSYS	0.13 MJ	2.2 MJ

b. Tabrakan pada jarak 1/4 bentang

Rangkuman kapasitas energi indentasi, balok, dan total hasil metode analitik, SACS, dan ANSYS diberikan pada tabel 5, 6, dan 7.

Tabel 5. Rangkuman Kapasitas Energi Indentasi *member* 3004-289 (1/4 Bentang)

Metode	Kapasitas
Analitik	0.003 MJ
SACS Collapse	0.00706 MJ
ANSYS	0.0307 MJ

Tabel 6. Rangkuman Kapasitas Energi Balok *member* 3004-289 (1/4 Bentang)

Metode	Kapasitas
Analitik	0.07157 MJ
SACS Collapse	0.0994 MJ
ANSYS	0.0757 MJ

Tabel 7. Rangkuman Kapasitas Energi Total *member* 3004-289 (1/4 Bentang)

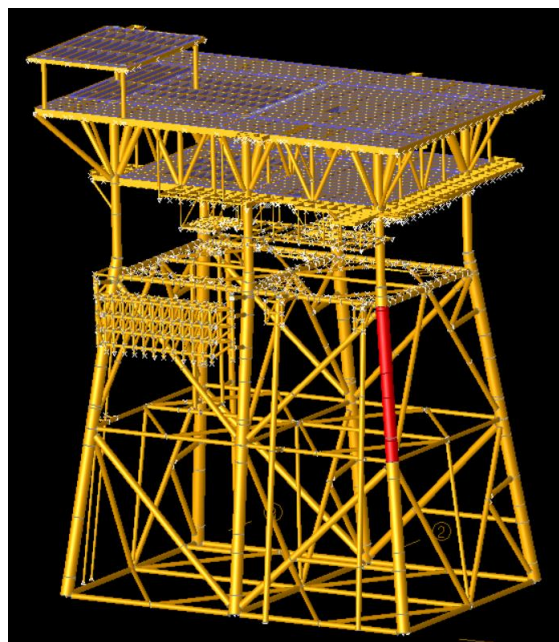
Metode	Kapasitas Total	Energi Kapal
Analitik	0.0746 MJ	2.2 MJ
SACS Collapse	0.1065 MJ	2.2 MJ
ANSYS	0.1064 MJ	2.2 MJ

- Kasus *Broadside Impact* Pada *Jacket Leg*

Energi yang akan ditransfer oleh kapal ke elemen struktur merupakan energi kinetik yaitu,

$$E_k = \frac{1}{2}(m_s + a_s) v_s^2 \rightarrow E_k = \frac{1}{2}(1,000 + 400) 2^2 = 2,800 \text{ kJ} = 2.8 \text{ MJ}$$

Member 281-3004



Gambar 3. *Member 281-3004*

Tabel 8. Properti *Member 281-3004*

No.	Properti	Nilai	Satuan
1.	Diameter Luar (OD)	1.0123	Meter
2.	Tebal Dinding (t)	0.0263	Meter
3.	Panjang <i>Member (l)</i>	12.381	Meter
4.	Modulus Elastisitas (E)	200,000	MPa
5.	Tegangan Leleh (σ_y)	345	MPa

Rangkuman kapasitas energi indentasi, balok, dan total hasil metode analitik, SACS, dan ANSYS diberikan pada tabel.

Tabel 9. Rangkuman Kapasitas Energi Indentasi *member* 281-3004

Metode	Kapasitas
Analitik	0.733 MJ
SACS Collapse	0.329 MJ
ANSYS	1.002 MJ

Tabel 10. Rangkuman Kapasitas Energi Balok *Member* 281-3004

Metode	Kapasitas
Analitik	0.7264 MJ
SACS Collapse	0.0611 MJ
ANSYS	0.268 MJ

Tabel 11. Rangkuman Kapasitas Energi Total *member* 281-3004

Metode	Kapasitas Total	Energi Kapal
Analitik	1.46 MJ	2.8 MJ
SACS Collapse	0.3901 MJ	2.8 MJ
ANSYS	1.27 MJ	2.8 MJ

Dari hasil analisis, seluruh *member* yang ditinjau tidak ada yang dapat menahan tabrakan kapal dengan massa 1000 ton dan kecepatan 2 m/s

Hasil Analisis *Collapse*

Rangkuman kapasitas energi regangan tabrakan kapal *member* 281-3004 dan 3004-289 sebelum dan sesudah mengaplikasikan efek *piles* dan beban luar pada struktur diberikan pada tabel 12.

Tabel 12. Rangkuman Seluruh Analisis *Collapse*

Member	Kasus Tabrakan	Tanpa Pondasi dan Tanpa Beban <i>Topsides</i> (MJ)	Dengan Pondasi dan Beban <i>Topsides</i> (MJ)
3004-289 (<i>Bracing</i>)	½ Bentang	0.1	0.1034
	¼ Bentang	0.1065	0.11
281-3004 (<i>Jacket Leg</i>)	½ Bentang	0.4428	0.616

Pada tabel 12, penambahan kapasitas energi regangan diakibatkan struktur global yang berdeformasi lebih besar jika efek *pile* diperhitungkan, dan besar penambahan kapasitas sangat signifikan untuk tabrakan kapal pada *jacket leg*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada tugas akhir ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut,

1. Seluruh komponen struktur anjungan pada analisis *in-place* tidak ada yang mengalami deformasi plastis, dan memenuhi persyaratan kapasitas berdasarkan API RP2A.
2. Hubungan beban-deformasi lokal yang didapatkan melalui ANSYS berbeda jauh dengan hubungan yang diberikan pada DNV dan API, hal ini mungkin dikarenakan efek *strain hardening* yang diabaikan pada model ANSYS, sedangkan hubungan yang diberikan pada DNV dan API merupakan persamaan empiris yang didapatkan melalui percobaan, dimana efek *strain hardening* diperhitungkan
3. Hubungan beban-deformasi balok yang didapatkan melalui ANSYS, SACS *Collapse*, dan analitik tidak jauh berbeda.
4. Kapasitas energi regangan yang didapatkan melalui ANSYS, SACS *Collapse*, dan analitik menghasilkan nilai yang berdekatan untuk *member* 3004-289 (*bracing*). Namun, hasil untuk *member* 281-3004 (*Jacket Leg*) berbeda jauh, dikarenakan asumsi mendasar pada analitik dan ANSYS adalah tumpuan jepit, sedangkan pada SACS *Collapse* didapatkan bahwa kegagalan terjadi pada *member* pendukung, bukan pada *member* yang tertabrak, sehingga asumsi tumpuan jepit tidak benar, dan metode analitik yang diberikan DNV tidak dapat digunakan untuk kasus ini.
5. Penambahan kapasitas energi setelah pondasi diperhitungan cukup signifikan untuk *member* 281-3004 (*Jacket Leg*) dan sangat kecil untuk *member* 3004-289 (*bracing*). Hal ini dikarenakan perbedaan gaya kritis yang sangat jauh.

Beberapa hal yang bisa dilanjutkan dari tugas akhir ini yaitu,

1. Melakukan analisis elemen hingga non-linear dengan menyertakan model kapal, sehingga hasil yang didapatkan lebih realistis dan penyerapan energi oleh kapal juga dapat dihitung.
2. Menyertakan efek *strain hardening* pada ANSYS, untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
3. Melakukan analisis tabrakan kapal untuk lokasi-lokasi tabrakan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. DET NORSKE VERITAS, Recommended Practice C204 Design Against Accidental Loads, 2004.
2. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms. API RP 2A, 2000.
3. NORSOK STANDARD, N-004 Design of Steel Structures. 2004.
4. AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, Guidance Notes on Accidental Load Analysis and Design for Offshore Structures. 2013.
5. Wight, James K.; MacGregor, James G.: Reinforced Concrete: Mechanics and Design 6th Edition. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson, 2011.
6. Amdahl, Jørgen; Furnes, Olav: Ship Collision with Offshore Platforms. Intermaritec, Hamburg, 1980.
7. Amdahl, Jørgen; Furnes, Olav: Computer Simulation Study of Offshore Collisions and Analysis of Ship-Platform Impacts. Applied Ocean Research Vol. 2 No. 3, 1980.
8. Amdahl, Jørgen.; Eberg, Ernst.: Ship Collision with Offshore Structures. Balkema, Rotterdam, 1993.
9. Amdahl, Jørgen; Søreide, Tore: Energy Absorption in Ship-Platform Impacts. IABSE Reports, 1983.
10. Visser, W.: Ship Collision and Capacity of Brace Members of Fixed Steel Offshore Platforms. Research Report RR220. Houten: HSE Books, 2004.
11. Travanca, Joao; Hao, Hong: Energy Dissipation in High-Energy Ship-Offshore Jacket Platform Collisions. Marine Structures 40, 2015.
12. Li, Liang; Hu, Zhiqiang; Jiang, Zhe: Plastic and Elastic Responses of a Jacket Platform Subjected to Ship Impacts. Hindawi Publishing Corporation, 2013.
13. Kjetil Hatlestad Qvale: Analysis and Design of Columns in Offshore Structures subjected to Supply Vessel Collisions. Master thesis, 2012.
14. Reny Watan: Analysis and Design of Columns in Offshore Structures subjected to Supply Vessel Collisions. Master thesis, 2011.