

Analisis Tegangan pada Variasi *Shackle* Saat Proses *Upending* Struktur *Jacket* Empat Kaki pada Tahap Instalasi

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

Abstrak—Struktur *Jacket* adalah rangka ruang tubular yang dilas yang terdiri dari kaki vertikal atau kaki dengan kemiringan yang didukung oleh sistem *bracing lateral*. Pada proses perancangan *jacket* terdapat tiga tahap besar, yaitu tahap fabrikasi, tahap *loadout*, dan tahap instalasi atau pemasangan. Metode instalasi lepas pantai yang biasa digunakan adalah *lifting*. Terdapat dua metode *lifting*, yaitu vertikal dan horizontal. *Lifting* horizontal akan dilanjutkan dengan proses *upending*. *Upending* merupakan suatu proses memutar struktur dari posisi horizontal menjadi posisi vertikal. *Upending* menjadi salah satu proses pada instalasi yang paling kritis. Proses instalasi khususnya proses *upending* juga memperhatikan perlengkapan penting yang digunakan yaitu *shackle*. Analisis pada penelitian ini diawali dengan proses pemodelan *crane barge* dan pemodelan *jacket* dengan menggunakan data yang ada. Analisis kemudian dilanjutkan dengan melakukan pengecekan *response amplitude operator* atau RAO dari *crane barge*. Output dari analisis ini akan digunakan menjadi *input* pada proses pemodelan *upending* untuk dilakukan analisis lebih lanjut. Struktur *jacket* dimodelkan ulang dengan menggunakan *tools line* dengan ukuran dan spesifikasi sesuai data. Hasil dari analisis *upending* yaitu didapatkan *output* berupa maksimum tegangan *sling* sebesar 478,139 kN. Tegangan *sling* maksimum ini akan digunakan sebagai *input* beban pada analisis *shackle*. Analisis tegangan pada *shackle* diawali dengan pemodelan terhadap kedua jenis *shackle*, yaitu *Dee* dan *Bow Shackle*. Hasil yang didapatkan dari analisis adalah hasil tegangan von mises sebesar 331,00 MPa untuk *Bow Shackle* dan 330,93 MPa untuk *Dee Shackle*.

Kata Kunci— Instalasi, *Crane Barge*, Tegangan Von Mises, *Shackle*.

I. PENDAHULUAN

STRUKTUR *Jacket* adalah rangka ruang tubular yang dilas yang terdiri dari kaki vertikal atau kaki dengan kemiringan yang didukung oleh sistem *bracing lateral*. Fungsi struktur *jacket* adalah untuk menopang fasilitas bagian atas, memberikan dukungan untuk konduktor, riser, dan perlengkapan lainnya [1]. Struktur *jacket* menjadi salah satu struktur yang dapat digunakan untuk mendukung kegiatan eksplorasi minyak dan gas bumi. Struktur ini termasuk ke dalam jenis struktur anjungan lepas pantai terpancang yang paling sering digunakan untuk pengeboran dan produksi. Struktur *jacket* terdiri atas *tubular member* yang saling berhubungan untuk membentuk kerangka ruang tiga dimensi. Struktur ini biasanya memiliki empat hingga delapan kaki yang memiliki kemiringan tertentu untuk mencapai stabilitas agar tidak roboh ketika terkena gelombang [2]. Pada proses perancangan *jacket* terdapat tiga tahap besar, yaitu tahap fabrikasi di mana struktur *jacket* dibangun dengan memerhatikan standar yang ada, tahap *loadout* berupa proses pemindahan struktur ke atas kapal

Tabel 1.
Data Struktur

Struktur yang disusun	
Jenis Struktur	<i>Wellhead Production</i>
Tinggi <i>Jacket</i>	34 m
Jumlah Kaki	4
Elevasi	<i>Jacket Plan</i> EL (-) 30 m
	<i>Jacket Plan</i> EL (-) 19 m
	<i>Jacket Plan</i> EL (-) 8 m
	<i>Jacket Walkway</i> EL (+) 4m
Leg Batter	<i>No Batter</i>

Tabel 2.
Data Lingkungan

Deskripsi	Satuan	Nilai
<i>Significant wave height</i>	m	2,2
<i>Wind Speed</i>	m/s	11,8
<i>Spectral peak wave period</i>	s	6,4
<i>Current near surface (1m below MSL)</i>	m/s	0,44
<i>Mid-depth current</i>	m/s	0,39
<i>Near-seabed current (1m above seabed)</i>	m/s	0,31

atau *barge*, dan tahap instalasi atau pemasangan. Metode instalasi lepas pantai yang biasa digunakan adalah *lifting* yang terdiri dari dua metode, yaitu vertikal dan horizontal *lifting*. Pada metode horizontal *lifting* yang dilakukan dari *barge* ke tempat instalasi, diperlukan proses *upending* *jacket* dari posisi horizontal menuju vertikal [3].

Upending merupakan suatu proses memutar struktur dari posisi horizontal menjadi posisi vertikal [3]. Proses *upending* dimulai setelah proses *launching* atau *lifting* *jacket*. *Upending* menjadi salah satu proses pada instalasi yang paling kritis. Proses *upending* memiliki konfigurasi yang tidak berbeda jauh dengan *lifting* [4]. Proses instalasi khususnya proses *upending* juga memperhatikan perlengkapan penting yang digunakan yaitu *shackle*.

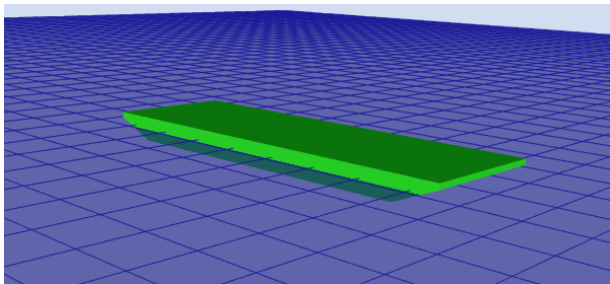
Shackle merupakan suatu alat berbentuk “U” yang biasa digunakan dalam operasi *lifting* sebagai alat untuk menghubungkan *sling* wire rope dengan *padeye*. Material yang biasa digunakan untuk pembuatan *shackle* adalah baja paduan. *Shackle* yang biasa digunakan ketika proses *lifting* adalah *dee shackle* dan *bow shackle*. Acuan yang digunakan untuk melihat kekuatan *shackle* adalah *working load limit* atau WLL [5]. Rusaknya *shackle* yang menghubungkan beban dengan alat angkat dapat mengakibatkan kecelakaan yang serius [6]. Oleh karena itu, tegangan yang terjadi pada struktur *shackle* harus diketahui dengan baik. Tegangan-tegangan yang terjadi pada *shackle* harus dianalisis agar proses *upending* dapat berjalan dengan lancar.

Tabel 3.
Data *Barge*

Deskripsi	Satuan	Nilai
LoA	m	76,2
B	m	24,384
T	m	3,8
H	m	4,88

Tabel 4.
Data Tali Tambat

Spesifikasi Tali Tambat Yang Digunakan		
Tipe	Wire Rope IWRC	
Nominal Diameter Tali Tambat	34	mm
MBL	74,54	MT
	731	kN



Gambar 1. Model *barge*.

Tabel 5.
Validasi Model

Parameter	Data Asli	Data Model	Satuan	Persentase Perbedaan
LOA	76,2	76,2	m	0,00%
Lebar	24,384	24,384	m	0,00%
Tinggi	4,88	4,88	m	0,00%
Displacement	4579,0	4597,91	ton	0,41%

II. URAIAN PENELITIAN

A. Studi Literatur

Studi dan pengumpulan literatur seperti buku, jurnal, *code* sebagai referensi atau bahan kajian serta sumber teori-teori yang dibutuhkan dalam penelitian ini.

B. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data struktur, data lingkungan, data *barge*, dan data tali tambat seperti yang tertera pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

C. Pemodelan Crane Barge

Pemodelan *crane barge* dilakukan dengan menggunakan data yang ditunjukkan pada Tabel 3. Pemodelan dilakukan untuk mempermudah proses analisis selanjutnya. Hasil pemodelan ini kemudian dilakukan validasi dengan menggunakan data hidrostatik dari kapal asli yang digunakan dalam pemodelan.

D. Pemodelan Struktur Jacket

Pemodelan dilakukan berdasarkan data pada Tabel 1 dan data *drawing* yang ada. Hal ini bertujuan untuk mempermudah dan melancarkan proses penelitian. Setelah dilakukan pemodelan struktur, proses selanjutnya adalah validasi dari struktur menggunakan parameter berat struktur asli.

Tabel 6.
Data Elevasi Struktur *Jacket*

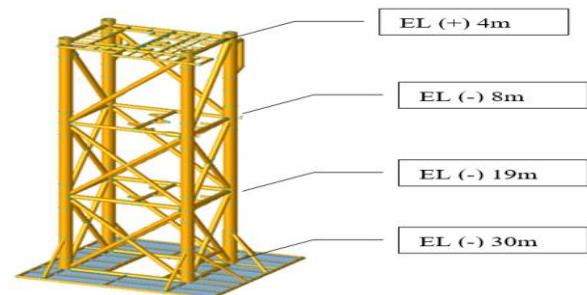
Elevasi dari <i>Sea Level</i>	Keterangan (m)
Elevasi <i>Horizontal Brace</i> 1	4
Elevasi <i>Horizontal Brace</i> 2	-8
Elevasi <i>Horizontal Brace</i> 3	-19
Elevasi <i>Horizontal Brace</i> 4	-30

Tabel 7.
Validasi Model

Komponen Berat	Berat Struktur (kN)	Error (%)	Check
Report	2160,387		
Pemodelan	2224,723	2,98%	OK

Tabel 8.
Koordinat Titik Berat Struktur

Sumbu	Koordinat (m)
x	-18,80924
y	-0,0707
z	0,52079



Gambar 2. Model *jacket*.

E. Cek Response Amplitude Operator Crane Barge

Analisis *response amplitude operator crane barge* dilakukan untuk mengetahui bagaimana pergerakan *crane barge* pada kondisi *free floating* di mana *output* dari analisis ini akan digunakan dalam proses selanjutnya penelitian ini.

F. Pemodelan *Upending*

Pemodelan *upending* ini meliputi pemodelan *crane barge*, *jacket*, serta konfigurasi *rigging* yang digunakan dalam proses *upending*.

G. Analisis Tegangan *Sling*

Analisis tegangan *sling* pada saat *upending* dilakukan pada *sling* yang terhubung dengan *main* dan *auxiliary hook*.

H. Analisis Tegangan *Shackle*

Analisis tegangan pada *shackle* dilakukan untuk melihat tegangan yang terjadi pada *shackle* pada proses *upending jacket*.

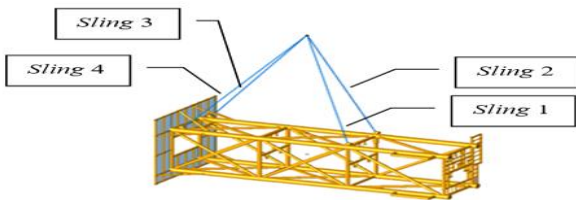
I. Kesimpulan

Tahap terakhir yakni penarikan kesimpulan dari proses penelitian yang telah dilakukan.

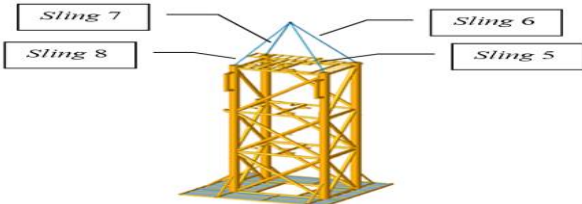
III. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan Crane Barge

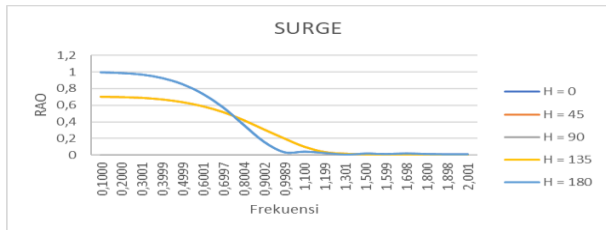
Pemodelan dilakukan berdasarkan data-data yang sebelumnya telah ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil



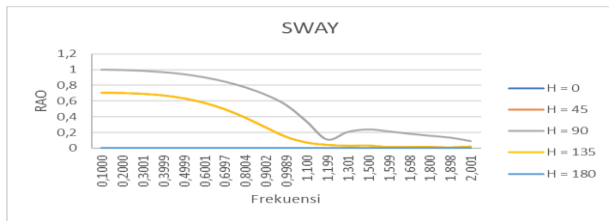
Gambar 3. Konfigurasi rigging pada posisi horizontal.



Gambar 4. Konfigurasi rigging pada posisi vertikal.



Gambar 5. Gerakan Surge kondisi Free Floating.



Gambar 6. Gerakan Sway kondisi Free Floating.

pemodelan ini ditunjukkan pada Gambar 1. Model ini kemudian divalidasi menggunakan data *displacement* yang tersedia untuk melakukan cek bahwa model sudah menggambarkan *vessel* sebenarnya.

Tabel 5 merupakan hasil validasi yang dilakukan terhadap model. Perbandingan data model dengan data asli yang dilakukan untuk validasi model *barge* mengikuti batas toleransi tidak boleh lebih dari 2% untuk dikatakan model tersebut sesuai dengan *barge* asli. Dari Tabel 5, dapat diketahui bahwa perbandingan data asli dengan model memiliki perbandingan yang kurang dari 2%, sehingga telah sesuai dengan batas toleransi yang diberikan.

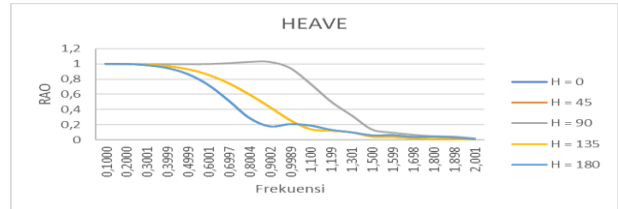
B. Pemodelan Struktur Jacket

Pemodelan struktur *jacket* dilakukan dengan menggunakan data yang didapatkan dari *drawing* dan data pada Tabel 1. Struktur *jacket* yang dijadikan objek analisis pada penelitian ini adalah struktur *jacket* dengan empat kaki dengan tinggi struktur 34 m. Struktur memiliki pembagian elevasi seperti pada Tabel 6. Dari pemodelan struktur *jacket* ini, didapatkan model struktur yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada Gambar 2.

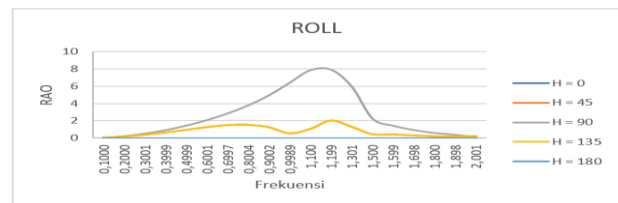
Setelah struktur *jacket* dimodelkan, kemudian dilakukan pemberian beban terhadap struktur dan dilakukan validasi dengan membandingkan berat struktur keseluruhan pada model dan berat struktur keseluruhan pada *report* atau data struktur *jacket* dengan besar *error* yang diperbolehkan adalah 10%. Dari hasil validasi pada Tabel 7, didapatkan

Tabel 9. Perhitungan Panjang Sling

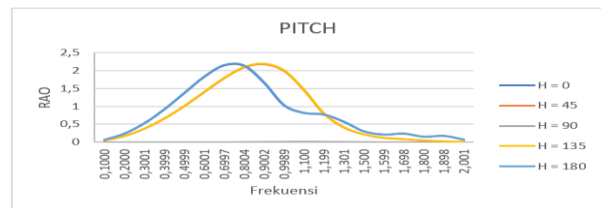
Rigging	Panjang Sling	
	mm	ft
Sling 1	25664,90	84,20
Sling 2	25684,17	84,27
Sling 3	28297,49	92,84
Sling 4	28279,99	92,78
Sling 5	13112,11	43,02
Sling 6	13149,79	43,14
Sling 7	12747,59	41,82
Sling 8	12708,71	41,70



Gambar 7. Gerakan Heave kondisi Free Floating.



Gambar 8. Gerakan Roll kondisi Free Floating.



Gambar 9. Gerakan Pitch kondisi Free Floating.

bahwa persentase *error* yang didapat sebesar 2,98% berada di bawah 10%, sehingga model dapat dikatakan telah menggambarkan struktur aslinya.

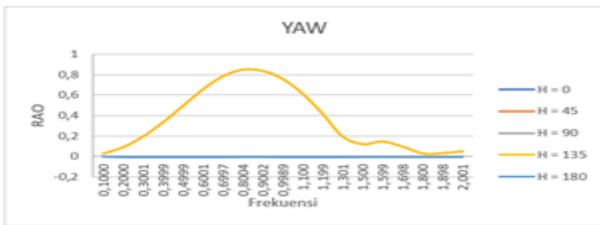
Pemodelan *jacket* yang telah divalidasi kemudian dilakukan analisis konfigurasi *rigging* yang digunakan dalam proses *upending* yang terbagi menjadi dua, yaitu ketika *jacket* dalam posisi horizontal seperti pada Gambar 3 dan vertikal seperti pada Gambar 4. Konfigurasi *rigging* tidak lepas dari letak titik *hook* yang dipengaruhi oleh posisi titik berat *jacket*. Untuk koordinat titik berat struktur dimuat dalam Tabel 8. Data panjang *sling* pada Tabel 9 ini akan digunakan dalam pemodelan *sling* menggunakan *tool line* untuk analisis *upending*.

C. Analisis Response Amplitude Operator

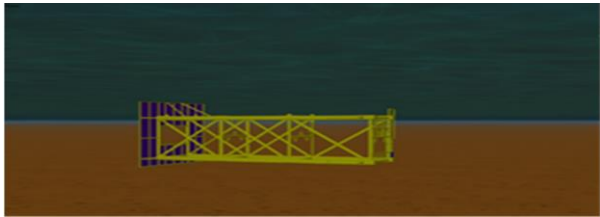
Analisis *Response Amplitude Operator* atau RAO disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10, di mana sumbu x atau absis menerangkan parameter frekuensi dan sumbu y atau ordinat merupakan rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu dengan amplitudo gelombang. Hasil atau *output* akan digunakan dalam proses selanjutnya, yaitu pemodelan dan analisis *upending*.

D. Pemodelan Upending

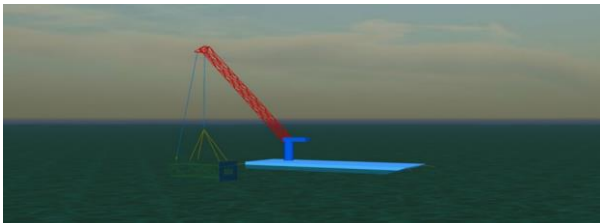
Pemodelan *upending* pada Gambar 12 meliputi pemodelan *crane barge*, *jacket* seperti pada Gambar 11, dan komponen *rigging* yang telah dianalisis sebelumnya.



Gambar 10. Gerakan *Yaw* kondisi *Free Floating*.



Gambar 11. Hasil pemodelan *jacket*.



Gambar 12. Hasil pemodelan *upending*.

Tabel 10. Koordinat Tali Tambat

	x	y	z
MLA	-3,048	-8,128	4,88
MLB	-3,048	8,128	4,88
MLC	-73,152	8,128	4,88
MLD	-73,152	-8,128	4,88

Pemodelan *barge* menggunakan data *barge* yang ada dan juga output dari proses sebelumnya.

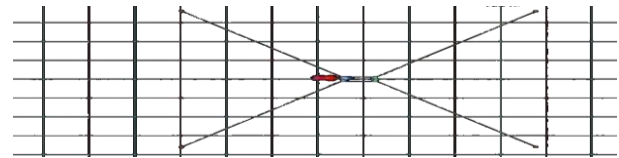
Dalam proses instalasi, *barge* perlu ditambat agar tetap berada pada tempatnya selama proses berlangsung. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, tali tambat juga dimodelkan. Panjang tali tambat dihitung dengan menggunakan persamaan *catenary mooring line* dengan sumber dari Faltinsen [7] dan didapatkan hasil panjang *mooring* yang digunakan adalah 350m. Koordinat posisi tali tambat dijelaskan pada Tabel 10 dan Gambar 13.

E. Analisis Tegangan Sling

Analisis tegangan *sling* pada saat *upending* dilakukan pada *sling* yang terhubung dengan *main* dan *auxiliary hook*. Hasil dari analisis ini adalah tegangan *sling* per satuan waktu. Analisis dilakukan dari arah *heading* 180°. Spesifikasi *sling* yang digunakan tertera pada Tabel 11. Hasil dari analisis tegangan *sling* diperlihatkan pada grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 14.

Dari hasil analisa tegangan *sling* pada Gambar 14, dapat dilihat bahwa maksimum tegangan *sling* horizontal yang didapat terletak pada *sling* 4 dengan nilai 12,474 kN. Pada posisi ini, *sling* terhubung dengan *trunnioin*.

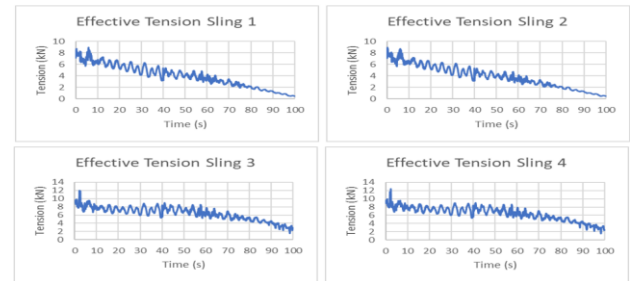
Dari hasil analisa tegangan *sling* pada Gambar 15, dapat dilihat bahwa maksimum tegangan *sling* vertikal yang didapat terletak pada *sling* 5 dengan nilai 478,139 kN. Besar tegangan ini akan digunakan dalam analisis tegangan *shackle* karena *sling* pada posisi ini berhubungan dengan *shackle*.



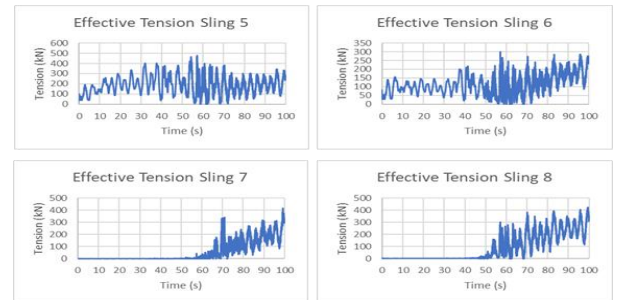
Gambar 13. Posisi Tali Tambat.

Tabel 11. Spesifikasi *Sling*

Sling Specification		
Type	Wire Rope	
Nominal Diameter of sling	86	mm
MBL	528,68	MT
	5165	kN



Gambar 14. Grafik Tegangan *Sling* yang terhubung pada *Main Hook*.



Gambar 15. Grafik Tegangan *Sling* yang terhubung pada *Auxiliary Hook*.

F. Analisis Tegangan Shackle

Analisis tegangan *shackle* diawali dengan pemodelan *shackle* yang dilakukan terhadap kedua jenis *shackle*, yaitu *Dee* dan *Bow Shackle* dengan menggunakan ukuran yang telah tertera pada katalog yang digunakan. Ukuran *shackle* yang digunakan dipengaruhi oleh besar dari tegangan *sling* dalam ton dipilih ukuran *shackle* dengan WLL sebesar 150 ton. Diameter *shackle* yang digunakan adalah 102mm untuk *Dee Shackle* dan 105mm untuk *Bow Shackle* dengan ukuran diameter pin sebesar 108 mm dan *length inside* dari *shackle* sebesar 410 mm untuk kedua *shackle*. Material *shackle* yang digunakan memiliki *yield strength* 793 MPa dengan *allowable stress* sebesar 674 MPa. Hasil pemodelan ditunjukkan pada Gambar 16.

Setelah pemodelan dilakukan terhadap kedua jenis *shackle*, analisis tegangan lokal dilanjutkan dengan melakukan input pembebanan dan *boundary condition* berupa *fix support* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17. Beban yang digunakan merupakan tegangan *sling* maksimum yang terhubung dengan *auxiliary hook* hasil analisis *upending* yang telah dilakukan sebelumnya sebesar 478,139 kN.

Hasil dari analisis tegangan didapatkan nilai tegangan von mises pada *Dee Shackle* sebesar 330,93 MPa dan pada *Bow Shackle* sebesar 331 MPa. Tegangan yang terjadi terlihat pada Gambar 18 dan Gambar 19.

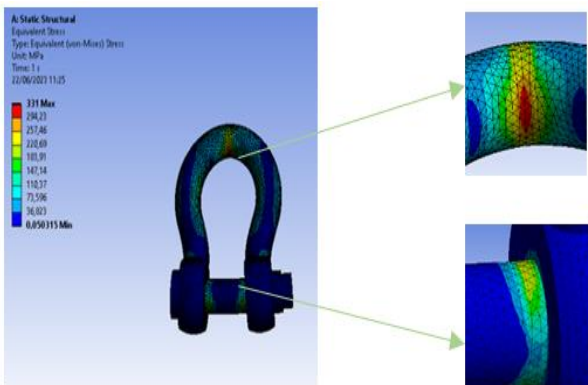
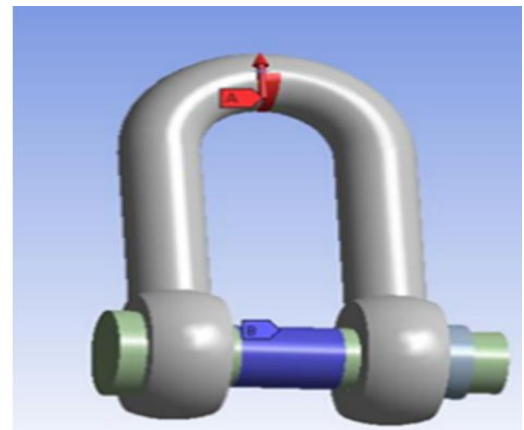
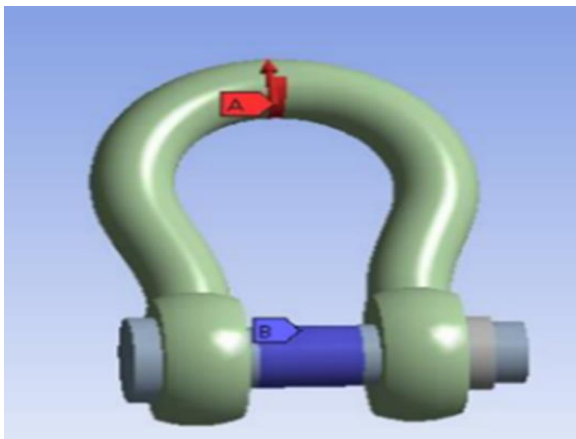


(a)

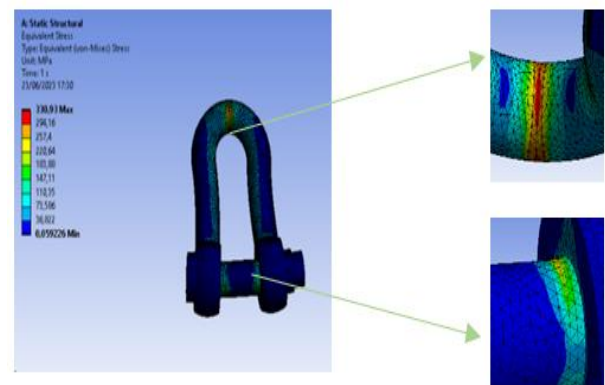


(b)

Gambar 16. Hasil Pemodelan Shackle (a) Bow Shackle (b) Dee Shackle.



Gambar 18. Tegangan Von Mises pada Bow Shackle.



Gambar 19. Tegangan Von Mises pada Dee Shackle.

Ukuran meshing yang digunakan pada penelitian ini adalah 11 mm. Hasil tegangan yang didapatkan dari kedua jenis shackle sebesar 331,00 MPa dan 330,93 MPa dapat dinyatakan aman karena tidak melebihi *yield strength* material dan *allowable stress* materialnya.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, berikut ini adalah kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini. Analisis tegangan pada Dee Shackle dan Bow Shackle dilakukan dengan memasukkan beban dari tegangan sling maksimum yang terhubung dengan auxiliary hook dari proses upending. Hasil analisis didapatkan tegangan pada Dee Shackle sebesar 330,93 MPa dan tegangan pada Bow Shackle sebesar 331,00 MPa. Hasil tegangan dari kedua jenis shackle dapat dinyatakan aman karena tidak melebihi *yield strength* material dan *allowable stress*nya. Pada kasus

upending jacket empat kaki ini, untuk ukuran Dee Shackle tidak terdapat pada katalog pada umumnya, sehingga diharuskan untuk melakukan pemesanan secara khusus, sedangkan untuk ukuran Bow Shackle terdapat pada katalog yang telah ada. Dari analisis yang dilakukan ini, lebih disarankan untuk menggunakan Bow Shackle.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Bai, *Marine Structural Design*. Oxford: Elsevier, ISBN: 0-08-043921-7, 2003.
- [2] S. K. Chakrabarti, *Handbook of Offshore Engineering*. Oxford: Elsevier, ISBN-13: 978-0-08-044568-7, 2005.
- [3] L. Liang, "Heavy Lift Installation Study of Offshore Structures," Department of Civil Engineering, National University of Singapore, Singapore, 2004.
- [4] N. V. Pramatma, "Analisis Lifting dan Upending Pada Well Head Platform Madura Field," Departemen Teknik Lepas Pantai, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2014.
- [5] D. N. Veritas, "DNV-ST-N001 Marine Operations and Marine Warranty," *Det Norske Veritas*, 2018. .

- [6] S. Lee, I. Jeon, and D.-C. Baek, "Deviation based fault detection method for shackles under variable loading," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 2, pp. 753–760, 2018.
- [7] O. M. Faltinsen, *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, ISBN: 0-521-45870-6, 1990.