

Analisis Kekuatan Konstruksi *Crane Pedestal* Pada *Mooring Storage Tanker* Niria

Teguh Rachman Hakim, Handayanu, dan Mas Murtedjo

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: handayanu@oe.its.ac.id

Abstrak— Pada penelitian ini akan membahas kekuatan konstruksi *crane pedestal* akibat konversi Motor Tanker menjadi *Mooring Storage Tanker* (MST). MST ini tentunya memiliki karakteristik operasional yang berbeda dengan Motor Tanker. MST bersifat tetap, tentunya kapal harus memenuhi beberapa karakteristik tertentu dan cukup kuat untuk menahan beban operasional tambahan saat menjadi *Mooring Storage Tanker* di perairan Natuna. Dalam penelitian ini akan ditinjau kekuatan dari konstruksi *crane pedestal* sebagai penambahan fasilitas yang didesain sedemikian rupa sehingga memenuhi aturan yang ditetapkan Lloyd's Register. Karakteristik kapal dapat kita lihat dengan RAO dimana motion yang paling dominan adalah gerakan *heaving* dan *pitching*. Trend RAO mengalami kondisi puncak pada kondisi *heaving* pada arah datang gelombang *head sea* (180°) dengan *encountering* frekuensi sebesar 0.088 rad/sec dan besar simpangan RAO 0.9913. Sedang pada kondisi *pitching* diperoleh trend RAO dengan kondisi puncak pada arah datang gelombang *head sea* (180°) pada *encountering* frekuensi sebesar 0.442 rad/sec dan besar simpangan RAO 0.896. Hasil perhitungan longitudinal bending momen terbesar pada arah pembebanan 180° sebesar 113.095.780,8 ton.m dan shear force sebesar 515.841,91 ton. Hasil analisis dengan FEM untuk *crane pedestal* menunjukkan besar tegangan maksimum (*von mises stress*) sebesar 192 N/mm² dari arah pembebanan *head sea* (180°). Tegangan ijin mengacu pada Lloyd's Register (Section 8) sebesar 216 N/mm² sehingga konstruksi *crane pedestal* masih dalam batas aman.

Kata Kunci— *Crane Pedestal*, frekuensi *encountering*, *Heaving*, *Mooring Storage Tanker*, *Pitching*, *Von Mises Stress*.

I. PENDAHULUAN

PROSES konversi Motor Tanker menjadi *Mooring Storage Tanker* (MST) lebih banyak digunakan di industri *oil and gas*. Waktu pembuatan MST dengan konversi lebih singkat sekitar 1-2 tahun dari pada pembuatan *Moored Storage* baru. 70 % *Storage Tanker* yang beroperasi diseluruh dunia adalah hasil konversi [1]. Waktu pembuatan yang lebih singkat dari pada pembuatan baru adalah salah satu alasan *Mooring Storage Tanker* dikonversi dari Motor Tanker. Keuntungan lain yang didapatkan dalam proses secara konversi adalah antisipasi pada umur reservoir yang pendek hingga menengah yakni (5-15 tahun) dan jadwal proses operasi yang lebih cepat [2].

MST (*Mooring Storage Tanker*) adalah sebuah fasilitas terapung yang dipasang di sekitar ladang minyak dan gas bumi lepas pantai yang fungsinya untuk menerima, menyimpan dan menyalurkan minyak dan gas bumi. MST ini terdiri dari sebuah struktur pengapung berbentuk sebuah kapal yang

secara permanen di tambatkan ditempatnya beroperasi dan mendapatkan pengaruh yang sangat signifikan dari beban gelombang dan angin. Karena adanya konversi maka dibutuhkan penambahan sebuah *pedestal crane* yang akan melayani logistik dan sistem pelayanan barang diatas kapal, maka diperlukan disain yang cermat yang menjamin bahwa konstruksi penyangga *pedestal crane* terintegrasi kuat dengan konstruksi kapal dan penambahan beban serta peletakkannya yang memiliki beban momen yang cukup besar dikarenakan *pedestal crane* diletakkan disisi kapal akan tetap menjamin stabilitas kapal berada pada batas yang aman.

Menurut API Specification 2C 5th Edition (1995), sebuah struktur *crane* terdiri dari *crane boom*, *boom point sheave assembly*, *boom tip extension*, *bridle*, *revolving upperstructure*, *swing circle assembly*, *boom foot pin*, *sheave pin*, *connectors*, *fastening*, *pedestal*, dan *center post* [3]. Salah struktur penting pada sebuah *crane* adalah *crane pedestal*. *Crane pedestal* adalah sebuah substruktur pendukung yang diatasnya terdapat struktur atas yang dapat berputar dan menjulang tinggi dan berfungsi sebagai dasar untuk mendukung struktur yang ada diatasnya.

Dalam pembuatan dan pengembangan kapasitas *crane* perlu mempertimbangkan faktor struktur *crane* dan faktor operasional yang mempengaruhi kapasitas total [4]. Karena operasi pengangkatan dengan *crane* pada MST lebih berbahaya dibanding operasi yang sama pada *fixed offshore structure* [5].

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis tegangan maksimum pada *crane pedestal* dengan studi kasus *Motor Storage Tanker* Niria yang dibangun oleh galangan kapal Ishikawajima Heavy Industry Co. Ltd. Shipyard Division pada tahun 1983. Saat ini kurang lebih berumur 29 tahun. Trading vessel ini telah di konversi menjadi *Mooring Storage Tanker* (MST) yang beroperasi di Laut Natuna.

II. URAIAN PENELITIAN

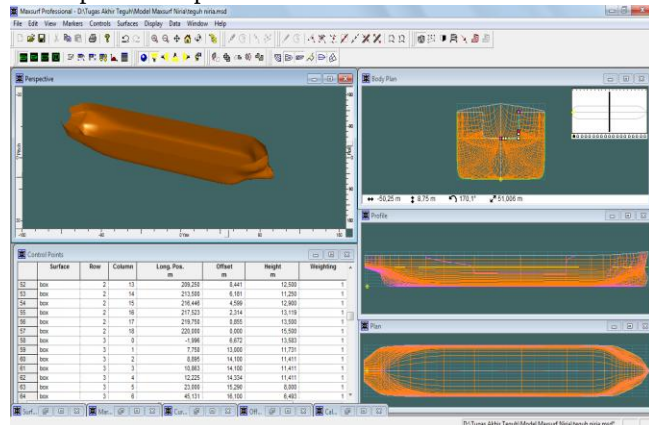
A. Pemodelan *Mooring Storage Tanker* Niria

Studi kasus pada penelitian ini adalah *Mooring Storage Tanker* (MT. NIRIA) yang beroperasi di Laut Natuna dengan kedalaman 125 meter. Lokasi operasi *Mooring Storage Tanker* di perairan Laut Natuna, dimana kondisi perairannya termasuk extreme dengan kategori sea state – 5 yang mempunyai karakteristik tinggi gelombang pada rentang 2,5 m – 4 m.

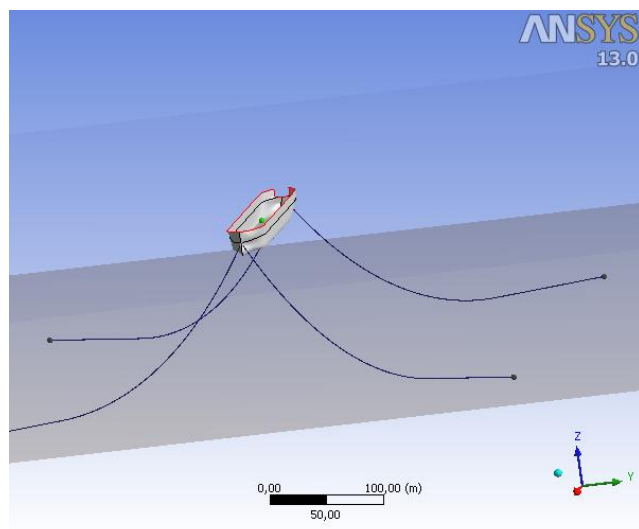
MT. NIRIA memiliki satu buah *crane* yang terletak di sisi samping MT NIRIA. Konstruksi pondasi *pedestal crane* yang dirancang dibagi menjadi 2 bagian yaitu *crane coloumn* yang

ada diatas main deck dan *crane reinforcement* yang menjadi satu kesatuan dengan konstruksi kapal dan type *crane pedestal* adalah type C [3].

Pemodelan kapal dengan menggunakan software maxsurf yang dapat dilihat pada Gambar 1, setelah itu dilanjutkan dengan pemodelan menggunakan Ansys AQWA untuk mencari RAO yang digunakan untuk analisis gerakan kapal dan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Pemodelan MST Niria menggunakan MAXSURF.



Gambar 2. Pemodelan MST Niria menggunakan Ansys AQWA.

B. Validasi Model

Untuk mendapatkan hasil pemodelan kapal yang akurat sesuai dengan keadaan sebenarnya, maka rancangan model harus divalidasi. Validasi model dilakukan dengan membandingkan data hasil perhitungan hidrostatik keluaran MAXSURF dan Ansys AQWA dengan data hidrostatik MST Niria yang sudah ada dengan perbedaan maksimal sebesar 5 %. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.
Perbandingan data hidrostatik pemodelan MAXSURF dan Ansys AQWA dengan data kapal MST. NIRIA

Measurment	MST NIRIA	Model Maxsurf	Model Ansys	Koreksi Maxsurf (%)	Koreksi Ansys (%)
LOA (m)	228,55	228,55	228,55	0,00	0,00
LPP (m)	219,00	219,00	219,00	0,00	0,00
B (m)	32,20	32,20	32,20	0,00	0,00
H (m)	18,90	18,90	18,90	0,00	0,00
T (m)	12,21	12,21	12,21	0,00	0,00
Displacement (Ton)	72679,00	72744,13	70527,00	0,09	2,96
WSA (m ²)	10683,50	10755,87		0,68	
AM (m ²)	390,60	387,60		0,77	
AW (m ²)	6282,60	6524,55	6514,96	3,85	3,70
L CB (m thd AP)	115,10	111,27	111,08	3,33	3,49
LCF (m thd AP)	109,00	105,98	105,62	2,77	3,10
KB (m)	6,28	6,37	6,40	1,53	1,98
Cb	0,82	0,82		0,36	
Cp	0,83	0,83		0,73	
Cw	0,89	0,92		3,37	
Cm	1,00	0,99		1,00	
LKM	299,00	300,00		0,33	

C. Perhitungan Longitudinal Bending Moment

Dua kondisi yang perlu di perhatikan yang memiliki pengaruh besar pada kekuatan memanjang kapal adalah, suatu kondisi dimana puncak gelombang pada *amidship* dan kondisi dimana puncak gelombang terdapat pada ujung-ujung kapal. Maka kapal akan mengalami *hog* dan yang satunya akan mengalami *sag* [6]. Perhitungan pada air yang bergelombang bending momen dirumuskan pada (1),(2).

$$M = M_z + M_w \quad (1)$$

$$M_w = M_\zeta + M_z + M_\psi \quad (2)$$

Dimana M adalah total momen bending, M_s adalah momen bending pada *still water*, M_w adalah momen bending pada kondisi bergelombang, M_ζ adalah momen bending yang dihasilkan oleh profil gelombang, M_z menyatakan momen bending yang dihasilkan oleh gerak *heaving*, M_ψ menyatakan momen bending yang dihasilkan oleh gerak *pitching*.

Bending momen akibat *heaving* pada *calm water* dirumuskan pada (3).

$$M_z = \int \left[\int \left(\frac{w'}{g} \omega_e^2 Z_a \right) dx + \int (2\rho g y(x) Z_a) dx \right] dx \quad (3)$$

Bending momen akibat *pitching* pada *calm water* dirumuskan pada (4).

$$M_\psi = \int \left[\int \left(\frac{w'}{g} \omega_e^2 \psi_a \right) dx + \int (2\rho g y(x) \psi_a) dx \right] dx \quad (4)$$

Dengan w/g menyatakan added mass persatuan panjang kapal, ω_e adalah frekuensi *encountering*, $y(x)$ adalah *half-*

breadth pada *waterplane* pada posisi x , Z_a adalah amplitudo gerakan *heaving*, dan ψ_a menyatakan amplitudo gerakan *pitching*.

D. Perhitungan Beban Angin Pada Crane Pedestal

Perhitungan beban angin meliputi perhitungan kecepatan, gaya, dan momen angin.

Kecepatan angin yang akan dicari adalah kecepatan angin pada elevasi 10,69 m dari SWL pada kondisi *Vessel Draft* yaitu dengan *draft* 12,21 m. Kecepatan angin dapat dihitung dengan persamaan (5).

$$V = V_0 \left(\frac{y}{10} \right)^{1/7} \quad (5)$$

Dengan V adalah kecepatan angin pada elevasi y (m/s), V_0 adalah kecepatan angin pada elevasi 10 m (m/s), y adalah elevasi yang akan dihitung kecepatan anginnya (m). Persamaan untuk gaya angin dapat dituliskan pada (6)

$$F_w = C_q S \sin \alpha \quad (6)$$

Dengan C adalah koefisien bentuk, q adalah tekanan angin, S adalah daerah proyeksi normal terhadap arah gaya, A adalah sudut antara arah angin dan sumbu permukaan [7], [8].

Momen dicari dengan cara mengalikan gaya angin (F_w) dengan panjang lengan (l) seperti pada (7). Panjang lengan, adalah jarak antara titik pada elevasi tertentu yang terkena gaya angin dengan titik pada *crane pedestal* didekat sambungan dengan geladak dimana dilakukan perhitungan

$$M = F_w \times l \quad (7)$$

E. Perhitungan Beban Angkat Crane Pedestal

Penelitian ini mengabaikan gerakan yang terjadi dari *crane* dan *boom* pada saat operasi serta defleksi dari *crane* dan hanya ditinjau beban yang diangkat oleh *crane* saja. Beban angkat *crane* dapat dituliskan dengan persamaan (8).

$$W = m \times g \quad (8)$$

Dengan W adalah beban *crane* (N), m adalah massa dari beban (kg), dan g adalah percepatan gravitasi (m/s^2).

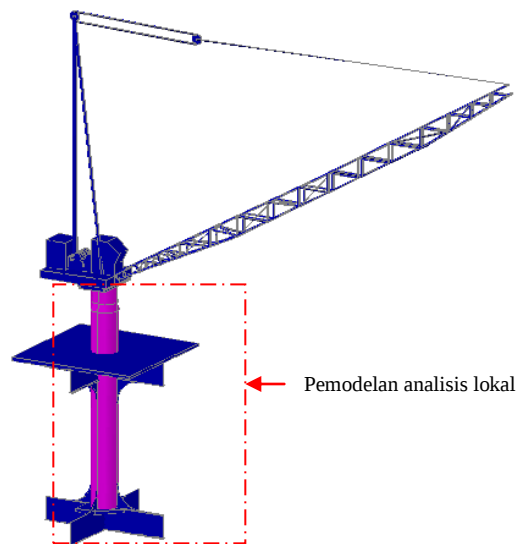
Sedangkan untuk momen dari beban angkat *crane pedestal* dituliskan dengan (9).

$$M = W \times l$$

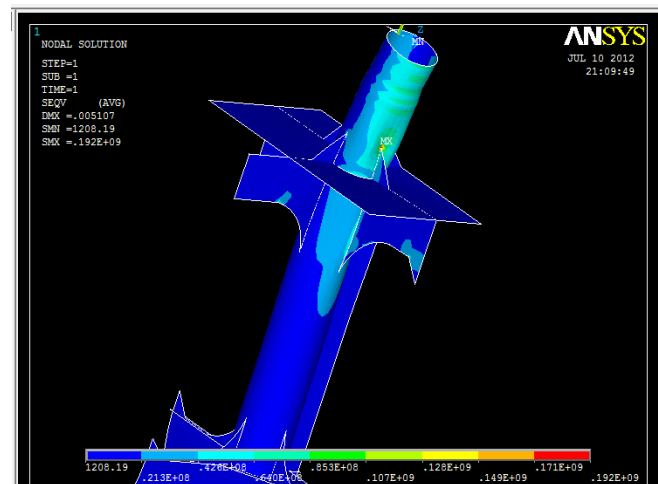
Dengan M adalah momen (N.m) dan l adalah lengan *boom* pada *crane pedestal* ketika operasi (m).

F. Pemodelan Analisis Lokal pada Crane Pedestal

Pemodelan yang dilakukan adalah *pedestal* pada *crane* dan sebagian dari *deck* kapal yang tersambung dan menumpu *crane pedestal* seperti pada Gambar 3. Pada analisis lokal mencari tegangan gabungan maksimum (*von misses stress*) yang terjadi yang harus memenuhi kriteria perancangan *Lloyd Register section 8* dengan menggunakan Ansys Multiphysic seperti Gambar 4.



Gambar. 3. Pemodelan crane pedestal dengan menggunakan autocad 3D.



Gambar. 4. Pemodelan analisis lokal crane pedestal dengan menggunakan Ansys Multiphysic.

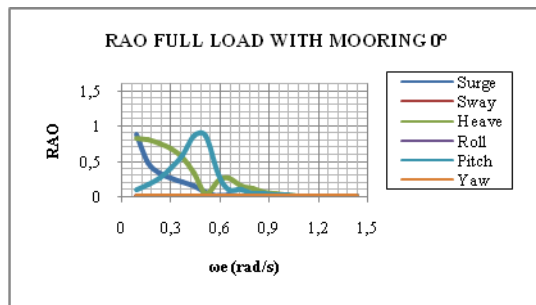
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Gerakan Mooring Storage Tanker(MST)

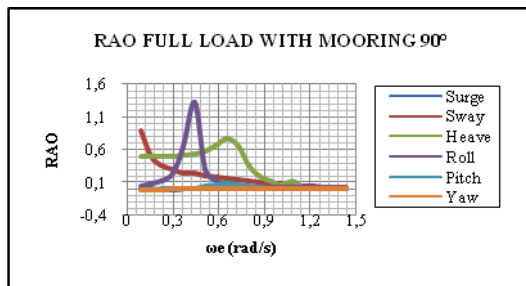
Dari hasil pemodelan dengan menggunakan Ansys AQWA di dapatkan nilai RAO dari *six degree of freedom* dengan arah head sea (180°), *following sea* (0°), dan *beam sea* (90°). Output grafik dari RAO MST Niria dapat dilihat pada Gambar 5.

Dari grafik RAO secara umum dapat dengan mudah mengetahui dan membandingkan gerakan paling dominan untuk masing masing arah. Grafik diatas dibagi dalam tiap-tiap heading, dimana tiap-tiap heading terdapat 6 gerakan.

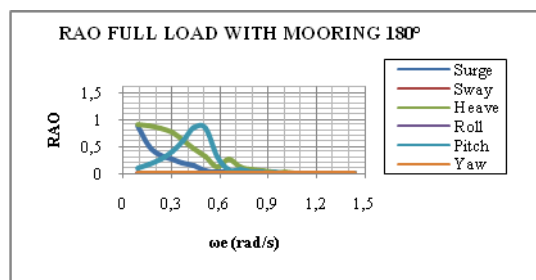
Dari grafik Gambar 5. dapat kita lihat gerakan yang paling dominan adalah *heaving* dan *pitching* yang memiliki simpangan amplitudo terbesar.



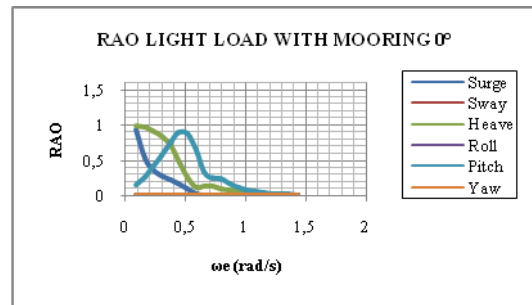
(a)



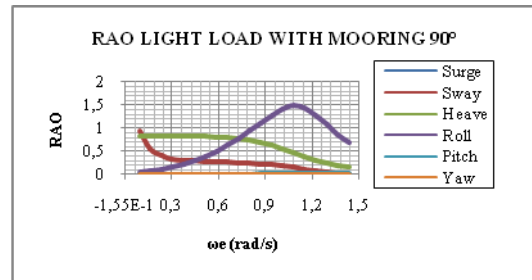
(b)



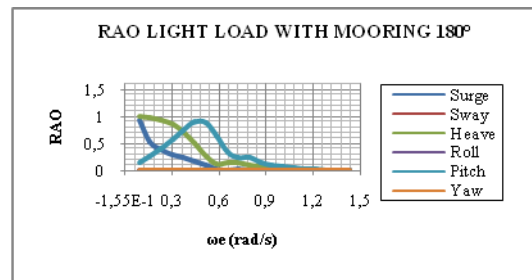
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar. 5. RAO kondisi *full load* arah 0° (a) RAO kondisi *full load* arah 90° (b) RAO kondisi *full load* arah 180° (c) RAO kondisi *light load* arah 0° (d) RAO kondisi *light load* arah 90° (e) RAO kondisi *light load* arah 180° (f).

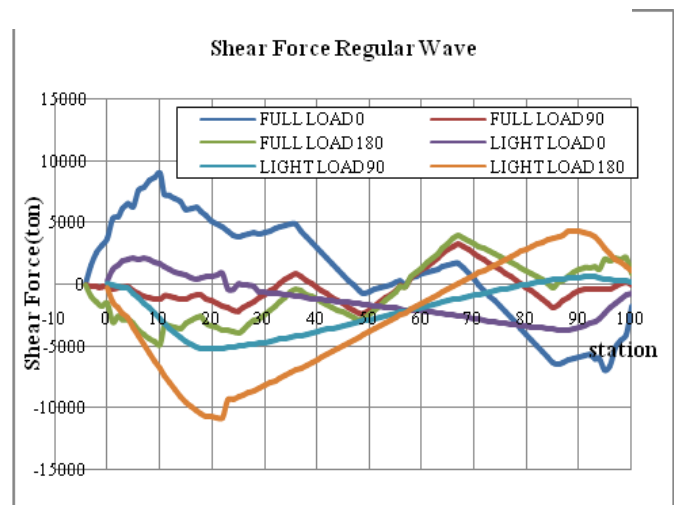
Hasil pemodelan dengan Ansys AQWA juga menghasilkan *output* single amplitude acceleration untuk perhitungan beban inertia pada Tabel 2.

Tabel 2.
Output Single Amplitude Acceleration

Heading	Single Amplitude Acceleration					
	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0°	0,109	0	0,1393	0	0,364	0
90°	0,0255	0,309	0,6979	0,931	0,066	0,0204
180°	0,1006	0	0,1303	0	0,356	0

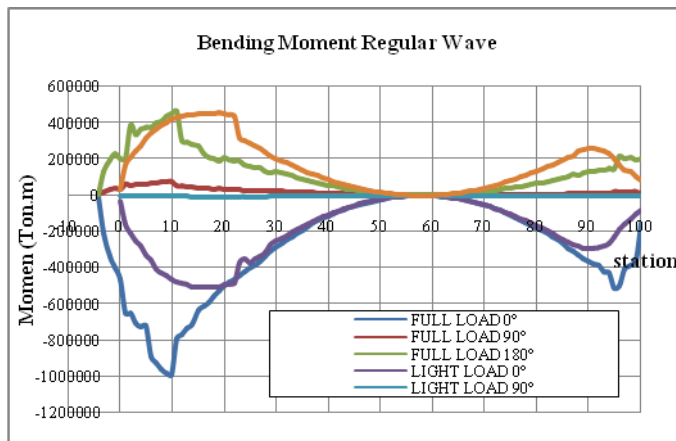
B. Hasil Perhitungan Longitudinal Bending Moment

Penelitian ini menitikberatkan perhitungan kekuatan memanjang kapal dipengaruhi oleh gelombang regular kondisi *heaving* dan *pitching* dengan perhitungan matematis dapat diperoleh penyebaran gaya geser dan bending momen relatif pada setiap station yang dipengaruhi oleh variasi muatan pada kondisi gelombang regular *heaving-pitching* seperti ditampilkan dalam grafik pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar. 6. Shear Force Regular Wave Heaving-Pitching.

Dari Gambar 6 dan Gambar 7 dapat diperoleh nilai tegangan geser dan bending momen maksimum. Crane pedestal terletak pada frame 66 atau station 54. Maka dari itu *shear force* dan *bending momen* pada station 54 seperti pada Tabel 3.



Gambar. 7. Bending Moment Regular Wave Heaving-Pitching.

Tabel 3.

Tegangan geser dan bending momen pada station 54

Load Condition	Heading	Shear Force (ton)	Bending Momen (ton.m)
Full Load	0	-64,163	-5946,8
	90	-832,89	495,156
	180	-1007,2	3142,22
Light Load	0	-1902,4	-7163,3
	90	-2473,8	-2375
	180	-2973,7	1814,12

C. Hasil Perhitungan Beban Angin

Hasil dari perhitungan beban angin yang meliputi kecepatan angin, gaya angin, dan momen angin dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4.
Hasil Perhitungan Beban Angin

Parameter	Height (m)		
	10,69	9,69	9,19
velocity	6,10	6,02	5,97
wind force	34,22	16,64	86,05
force moment	34,22	8,32	215,13

D. Hasil Perhitungan Beban Angkat Crane

Perhitungan untuk mencari beban dengan massa crane dan beban maksimum yang dapat diangkat oleh crane (150 ton) adalah:

$$W = m \times g$$

$$W = 150 \times 9,81 = 1471,5 \text{ KN}$$

Hasil yang didapat dari perhitungan beban crane dan beban maksimum yang dapat diangkat oleh crane adalah 1471,5 KN

Sedangkan luas penampang pedestal dengan diameter 1,59 m dan thickness sebesar 2 mm adalah $0,01 \text{ m}^2$, sehingga

untuk *axial load* dari berat crane dan beban angkat crane adalah $147.150 \text{ (KN/m}^2\text{)}$

Untuk mencari momen beban 1471,5 KN dengan momen lengan 30,48 m adalah

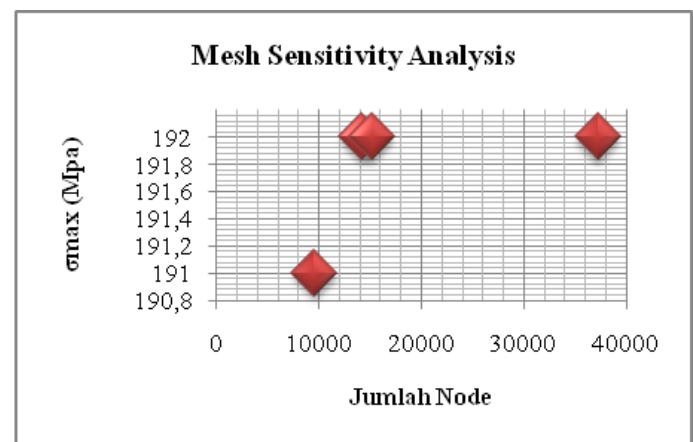
$$M = W \times l$$

$$M = 147,5 \times 30,48 = 44851,32 \text{ KN.m}$$

Hasil dari perhitungan momen pada beban angkat crane didapatkan hasil sebesar 44851,32 KN.m.

E. Analisis lokal dengan Fenite Element Method Pada Crane Pedestal

Tebal plat dari crane pedestal adalah 20mm menggunakan baja A36 sedangkan tebal plat untuk deck 1,5 cm. Untuk mendapatkan nilai stress pada analisis lokal dengan *fenite element method* akibat respon pada crane pedestal dan sambungan hull dilakukan dengan menggunakan software Ansys Multiphysic dengan memasukkan parameter beban antara lain momen inerti, *shear stress* dan *bending moment* pada kekuatan memanjang kapal, gaya angin, momen angin, beban angkat crane dan momen angkat crane pada kondisi *full load* dan *light load* dengan 3 arah pembebanan (*head sea*, *following sea*, *beam sea*). Setelah dilakukan pemodelan seperti Gambar 4. maka perlu adanya analisis sensitivitas *meshing* terhadap model seperti pada Gambar 8 untuk mengetahui tingkat keakuratan *meshing* pada pemodelan.



Gambar. 8. Analisis sensitifitas meshing.

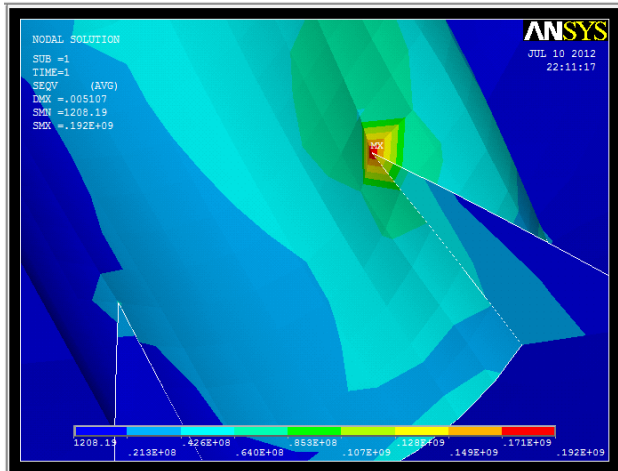
Dari hasil analisis sensitivitas *meshing* didapatkan *meshing* mulai jarak 0,2 m besaran tegangan yang terjadi sudah stabil sehingga *meshing* pemodelan menggunakan 0,2 m.

Dari hasil pemodelan didapatkan tegangan von mises pada tiap arah dan kondisi seperti pada Tabel 5.

Tabel 4.
Tegangan Von Misses Tiap arah dan Kondisi Pembebanan

Kondisi Pembebanan	Arah Pembebanan	Tegangan Von Misses
Full Load	0°	174 Mpa
	90°	177 Mpa
	180°	192 Mpa
Light Load	0°	181 Mpa
	90°	187 Mpa
	180°	192 MPa

Tegangan yang tertinggi terjadi pada saat kondisi light dengan arah pembebanan 180° dengan nilai 192 MPa. Didapat pula *bending stress* untuk arah x adalah 43,7 MPa, arah y adalah 123,9 MPa dan arah z adalah 134 MPa serta *shear stress* xy adalah 8,56 MPa, untuk arah yz adalah 26 MPa, dan arah xz adalah 14,1 MPa. Tegangan yang diizinkan menurut LR section 8 untuk tegangan *von misses* sebesar 216 MPa, *bending stress* 183 MPa dan *shear stress* 106 MPa. Maka seluruh tegangan yang terjadi masih dibawah dari tegangan yang diizinkan dengan deformasi maksimum sebesar 0,0051 m. Letak tegangan maksimum yang terjadi adalah letak *hotspot stress crane pedestal* yaitu pada sambungan *crane pedestal* dengan deck seperti pada Gambar 9.



Gambar. 9. Letak *hotspot stress* pada analisis lokal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Citra Mas karena telah memberikan data penunjang dalam pengerjaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Parunov, Josko. 2007. *Hydrodynamic and Structural Analysis of MST Ship*.
- [2] Ochi, M.K. 1973. "On Prediction of Extreme Value", *Journal of Ship Research*, SNAME, vol.17, No. 1, pp. 29-37.
- [3] API Specification 2C 5th Edition, 1995, "Specification for Offshore Cranes", USA
- [4] Peurifoy, R. L., 1996, "Construction Planning, Equipment, and Methods 5th Edition", The McGraw-Hill Companies, New York.
- [5] Langen, I., dan Than, T. K., 2003, "Simulation of Dynamic Behaviour of a FPSO Crane", Stavanger University College, Stavanger.
- [6] Bhattacharyya, R. 1978. "Dynamic of Marine Vehicles". John Wiley and Sons Inc., New York.
- [7] ABS, 2004. "Commentary on the Guide for Buckling and Ultimate Strength Assessment for Offshore Structures", Houston.
- [8] DNV RP C205, 2007, "Environmental Conditions and Environmental Loads", Norway.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Karakteristik kapal dapat kita lihat dengan RAO dimana motion yang paling dominan adalah gerakan *heaving* dan *pitching*. Trend RAO mengalami kondisi puncak pada kondisi *Heaving* arah datang gelombang *Head Sea* (180°) dengan *encountering* frekuensi sebesar 0.088 rad/sec dan besar simpangan RAO 0.9913. Sedang pada kondisi *Pitching* diperoleh trend RAO dengan kondisi puncak pada arah datang gelombang *Head Sea* (180°) pada *encountering* frekuensi sebesar 0.442 rad/sec dan besar simpangan RAO 0.896.
2. Kekuatan memanjang kapal terbesar dengan arah pembebanan 180° kondisi *light load* dengan nilai *bending momen* total sebesar 113.095.780,8 ton.m dan *shear force* total pada kekuatan memanjang sebesar 515.841,9192 ton
3. Letak *hot spot stress* terletak pada sambungan crane pedestal dengan deck dengan tegangan *von misses* terbesar pada kondisi *light load* arah pembebanan 180° sebesar 192 MPa sedangkan tegangan yang diizinkan menurut LR Section 8 adalah 216 MPa sehingga konstruksi crane pedestal masih dalam batas aman.