

Evaluasi Unjuk Kerja *Crane Barge* KGM-23 pada Saat Operasi Pengangkatan dan Pemasangan *Boom Burner* di Lokasi Peciko *Field Platform* MWP-B Total E&P Indonesi 

Adelia Viviany.S, Imam Rochani dan Wisnu Wardhana

Jurusan Para Pengarang, Fakultas Masing-masing, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

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

Abstrak—*Crane Barge* merupakan sebuah kapal bisa disebut dengan pontoon yang memiliki crane di atasnya, biasa digunakan untuk menunjang kegiatan kerja pengeboran gas dan minyak bumi seperti *dredging*, *lifting*, *protection pile removal*, instalasi *pin connector* dan instalasi *boom burner*. Tugas akhir ini menganalisa stabilitas statis dan dinamis dengan mencari tinggi gelombang maksimal yang diizinkan menurut standar yang digunakan dibantu oleh *software* MOSES dibagi dalam tiga kondisi, yaitu 10% *consummables*, 50% *consummables*, dan 100% *consummables*. Stabilitas yang dihasilkan *crane barge* untuk setiap kondisi menunjukkan angka stabilitas yang baik sesuai dengan kriteria yang ditentukan. Untuk gerakan maksimum yang dihasilkan yang memenuhi standar Total E&P Indonesi  *Lifting Operation* pada kondisi 10% *Consummables*, yaitu untuk heading 0  dan 180 , tinggi gelombang yang diizinkan sebesar 1.53 m, heading 45 , 135 , 225 , dan 315  tinggi gelombang sebesar 1.37 m, sedangkan untuk heading 90  dan 270  tinggi gelombang sebesar 0,83 m. Sedangkan untuk gerakan maksimum pada kondisi 50% *Consummables*, yaitu untuk heading 0  dan 180 , tinggi gelombang yang diizinkan sebesar 1.62 m, heading 45 , 135 , 225 , dan 315  tinggi gelombang sebesar 1.40 m, sedangkan untuk heading 90  dan 270  tinggi gelombang sebesar 0,90 m. Gerakan yang diperoleh untuk *roll* dan *pitch* dapat dikatakan aman pada tinggi gelombang yang telah didapatkan untuk masing-masing arah dan kondisinya karena masih memenuhi standar yang ditetapkan sehingga operasi pengangkatan dan pemasangan *boom burner* pada *platform* MWP-B Peciko *Field* Total E&P Indonesi  dapat dilaksanakan dengan baik.

Kata Kunci—*boom burner*, *crane barge*, *lifting operation*, *platform*.

I. PENDAHULUAN

CRANE barge merupakan sebuah kapal atau bisa disebut dengan pontoon yang memiliki crane di atasnya, biasa

digunakan untuk menunjang kegiatan kerja pengeboran gas dan minyak bumi seperti *dredging*, *lifting*, *protection pile removal*, instalasi *pin connector* dan instalasi *boom burner*. Salah satu pekerjaan offshore yang kita bahas adalah pengangkatan (*lifting*) dan pemasangan *Boom burner* yang merupakan salah satu project TOTAL E&P Indonesi . Pada era yang serba maju seperti sekarang ini, ukuran *crane barge* yang sekarang berkapasitas lebih besar daripada sebelumnya, sehingga struktur yang diangkat berukuran besar. Oleh karena itu stabilitas sangat penting untuk diperhatikan dalam operasi *lifting* pada pekerjaan *offshore* yang secara signifikan dipengaruhi oleh beban lingkungan.

Stabilitas merupakan ukuran kualitas unjuk kerja pada struktur terapung dimana pada saat kapal diolengkan oleh angin, arus, serta gelombang, kapal dapat tegak kembali baik ditinjau pada saat berlayar maupun pada saat beroperasi. Analisa stabilitas ini dilakukan demi mengupayakan keselamatan para pekerja dan barge itu sendiri serta mengetahui batas aman gerakan *crane* yang dipengaruhi kondisi lingkungan pada saat instalasi *boom burner* agar gerakan tersebut dapat terkontrol dengan baik untuk menghindari benturan antar benda yang membuat operator mengalami banyak kerugian. Oleh alasan itu, perlu dilakukan studi evaluasi kerja *crane barge* pada operasi *lifting* dalam tugas akhir ini.

II. URAIAN PENELITIAN

Langkah pertama, dilakukan studi literatur dan pengumpulan data yang meliputi mencari serta mempelajari buku, diktat, jurnal, ataupun laporan tugas akhir terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang sama atau mirip dengan tugas akhir ini. Literatur tersebut digunakan sebagai acuan ataupun referensi tugas akhir ini. Selain itu, juga dilakukan perolehan data dari TOTAL E&P Indonesi  sebagai objek tugas akhir.

Selanjutnya dilakukan pemodelan pada *software* MOSES. Ada beberapa tahap yang dilakukan dalam pemodelan, pertama membuat pemodelan sesuai dengan data yang telah

didapatkan. Dalam menganalisa gerakan kapal, peneliti menggunakan software MOSES. Selanjutnya crane barge diballast dan diinput titik beratnya, setelah itu diperoleh kurva stabilitas.

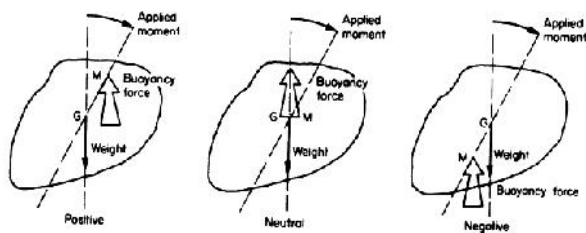
A. Teori stabilitas

Stabilitas merupakan ukuran kualitas unjuk kerja pada struktur terapung dimana pada saat kapal diolengkan oleh angin, arus serta gelombang, kapal dapat tegak kembali baik ditinjau pada saat berlayar maupun pada saat beroperasi. Sedangkan Faktor utama yang berpengaruh terhadap stabilitas menurut Rujukan [1]” adalah :

1. Titik berat (*Center of Gravity*), yaitu titik yang merupakan titik pusat dari gaya berat kapal yang bekerja ke arah bawah
2. Titik apung (*Center of Bouyancy*), yaitu merupakan pusat dari volume displasemen dan posisi dari titik apung tergantung hanya pada geometri dari badan kapal dibawah air dan kapal akan mengapung tegak jika buoyancy terletak pada centerline
3. Titik metasentra (*Metacentra*) yaitu merupakan titik semu dari batas dimana titik G tidak boleh melewati titik M sehingga stabilitas kapal bisa stabil.

B. Daya Apung

Beberapa objek yang diletakkan di air akan mengapung, beberapa akan tenggelam, dan yang lainnya akan melayang. Benda yang mengapung disebut sebagai *buoyant* yang positif, untuk yang tenggelam disebut *buoyant* yang negatif dan untuk melayang disebut *buoyant* yang netral. Gambar di bawah ini menunjukkan tiga kondisi stabilitas tersebut.



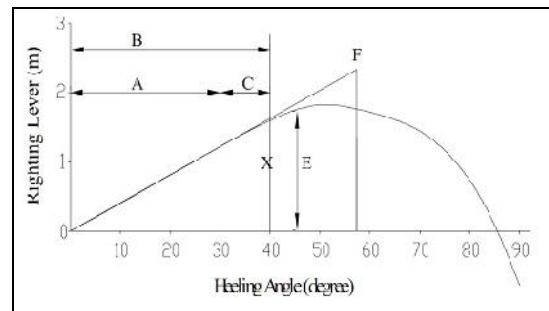
Gambar 1. Tiga kondisi stabilitas menurut Rujukan [2]

Gagasan dari prinsip pengapungan pertama kali ditemukan oleh Archimedes yang juga memberikan namanya untuk fenomena ini; Prinsip Archimedes: “Apabila sebuah benda sebagian atau seluruhnya terbenam di dalam air, maka benda tersebut akan mendapat gaya tekan ke atas yang besarnya sama dengan berat air yang dipindahkan oleh bagian benda yang terbenam”.

Dari definisi di atas kita bisa melihat bahwa apakah sebuah objek tenggelam atau terapung, hal itu diputuskan tidak hanya dari beratnya tapi juga dari jumlah air yang dipindahkan.

B. Parameter IMO Untuk Stabilitas

Untuk menjamin keselamatan kapal dalam hal stabilitas, maka standar IMO yang harus dipenuhi:



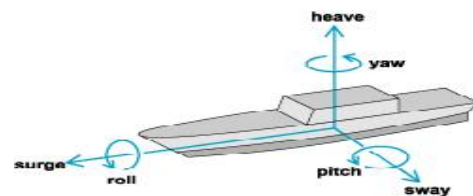
Gambar 2. Hubungan sudut oleng dengan lengan stabilitas

1. Keterangan Gambar B = Luasan dibawah kurva G0Z sampai dengan 40° tidak boleh kurang dari 0,09 meter-radian atau 5,16 meter-degree.
2. Keterangan Gambar F = Tinggi metasentra awal (GM) tidak boleh kurang dari 0.15 meter.
3. Jarak lengan momen pengembali (GZ) tidak boleh lebih kecil dari 0,2 m pada saat kemiringan kapal sama dengan atau lebih dari 30°.

C. Teori Gerak Kapal Akibat Gelombang

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas (SDOF-*six degree of freedom*) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional. Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut :

1. Mode gerak translasional
 - ❖ *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x
 - ❖ *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y
 - ❖ *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z
2. Mode gerak rotasional
 - ❖ *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x
 - ❖ *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y
 - ❖ *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z

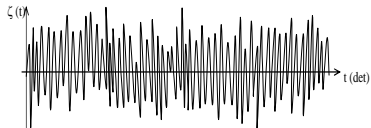


Gambar 3. Six Degree Of Freedom (SDOF) pada kapal

D. Respon Struktur pada Gelombang Acak (Ireguler)

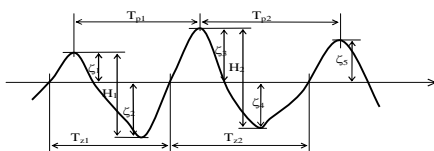
RAO adalah respon struktur terhadap gelombang reguler. Karena keadaan gelombang laut yang sebenarnya adalah irreguler, maka RAO harus dirubah menjadi respon terhadap gelombang irreguler. Karena pertimbangan tersebut, untuk memprediksi respon struktur pada gelombang irreguler diperlukan suatu alat untuk mewakili ke-irreguler-an

gelombang yaitu spektrum gelombang. Spektrum gelombang dipilih berdasarkan kondisi laut dimana struktur beroperasi. Terdapat banyak teori spektrum gelombang yang dapat digunakan seperti spektrum Bretschneider, Pierson-Moskowitz, JONSWAP, ITTC, ISSC, dan lain sebagainya.



Gambar 4. Tipe Time Series yang Diplot dari Rekaman Gelombang Acak

Gelombang acak mempunyai tinggi, amplitudo dan periode gelombang yang bervariasi. Rekaman gelombang dapat di analisa statistik menggunakan metode zero-upcrossing (T_p) atau zero-downcrossing (T_z). Berikut adalah contoh gambar gelombang acak dengan parameter stokastiknya.



Gambar 5. Parameter Stokastik pada Gelombang Acak

Spektrum gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson-Morkowitz yang disesuaikan dengan kondisi laut yang ada. Persamaan spektrum JONSWAP dapat ditulis sebagai berikut:

$$S(\tilde{S}) = \Gamma g^2 \tilde{S}^{-5} \text{EXP} \left[-1,25 \left(\frac{\tilde{S}}{\tilde{S}_0} \right)^{-4} \right] \chi \text{EXP} \left[\frac{-(\tilde{S}-\tilde{S}_0)^2}{24^2 \tilde{S}_0^2} \right] \quad (1)$$

Dimana :

χ = parameter puncak (*peakedness parameter*)

\ddagger = parameter bentuk (*shape parameter*)

untuk $\tilde{S} \leq \tilde{S}_0 = 0,07$ dan $\tilde{S} \geq \tilde{S}_0 = 0,09$

$\Gamma = 0,0076 (X_0)^{-0,22}$, untuk X_0 tidak diketahui $\Gamma = 0,0081$

E. Beban Gelombang

Beban lingkungan merupakan beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Menurut Rujukan [3] beban gelombang merupakan beban terbesar yang ditimbulkan oleh beban lingkungan pada bangunan lepas pantai (*offshore structure*). Perhitungan beban gelombang dapat direpresentasikan dengan perhitungan gaya gelombang. Teori perhitungan gaya gelombang yang tepat untuk kapal-kapal besar adalah teori difraksi. Dalam teori ini bilamana suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur ini akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang disekitarnya. Dalam

hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang.

Syarat pemilihan teori untuk perhitungan gaya gelombang didasarkan pada perbandingan antara diameter struktur (D) dengan panjang gelombang (λ) sebagai berikut:

$D/\lambda > 1$ = Gelombang mendekati pemantulan murni, persamaan morison tidak valid.

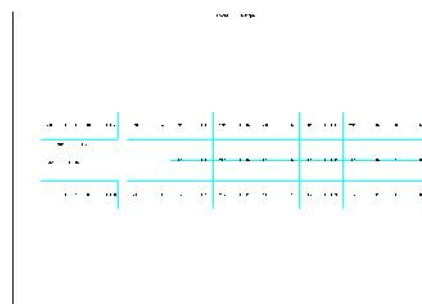
$D/\lambda > 0,2$ = Difraksi gelombang perlu diperhitungkan, persamaan morison tidak valid.

$D/\lambda < 0,2$ = Persamaan morison valid.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisa Stabilitas Statis

Pada penelitian ini permodelan ini akan menggunakan bantuan dari software MOSES 7. Langkah pertama adalah memasukkan ukuran barge dan titik koordinat, dimana sebelumnya *General Arrangement* telah dimodelkan melalui AutoCAD. Langkah kedua meng-input ukuran compartment untuk tiap tankinya. Langkah ketiganya yaitu menginput titik berat dari *deck, crawler, crane boom, winch*, dan peralatan lainnya di atas deck.



Gambar 6 Pemodelan Compartment pada Crane Barge

Setelah membuat pemodelan, maka model harus divalidasi terlebih dahulu ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1
Validasi Pemodelan

| | Unit | NILAI | | EROR % |
|--------------|------|--------|---------|--------|
| | | DATA | MODEL | |
| DRAFT | m | 1 | 1 | 0 |
| DISPLACEMENT | ton | 1522 | 1503.54 | 0.012 |
| LCB | m | 41.06 | 41.15 | 0.002 |
| VCB | m | 0.495 | 0.51 | 0.03 |
| LCF | m | 41.078 | 41.15 | 0.002 |
| KML | m | 449.87 | 419.03 | 0.069 |
| KMT | m | 39.946 | 39.99 | 0.001 |

Hasil dari validasi pemodelan ini menyatakan bahwa model layak digunakan untuk analisa. Kemudian dengan bantuan *software*, diperoleh nilai stabilitas yang merupakan stabilitas yang baik dan sesuai dengan kriteria yang digunakan seperti ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 2
Tabel Kriteria Stabilitas

| Stability Check | Unit | Result | | | | | Remark |
|-----------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|
| | | A | B | C | D | E | |
| Kriteria1 | meter | 15.35 | 17.54 | 8.79 | 15.1 | 10.89 | OK |
| Kriteria2 | meter | 4.12 | 4.45 | 1.18 | 3.95 | 2.33 | OK |
| Kriteria3 | m-deg | 659.4 | 788.66 | 745.5 | 745.5 | 368.1 | OK |

Keterangan :

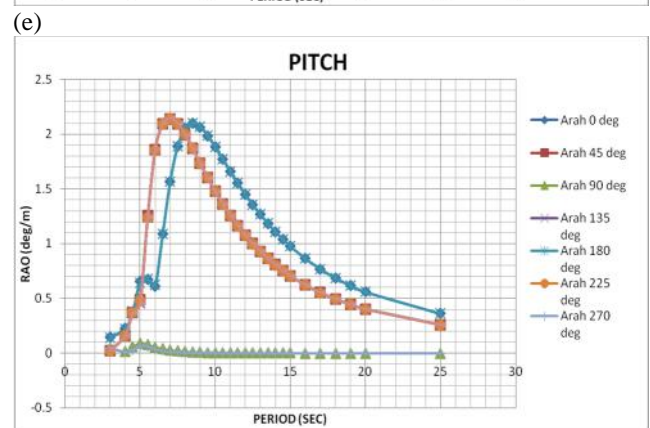
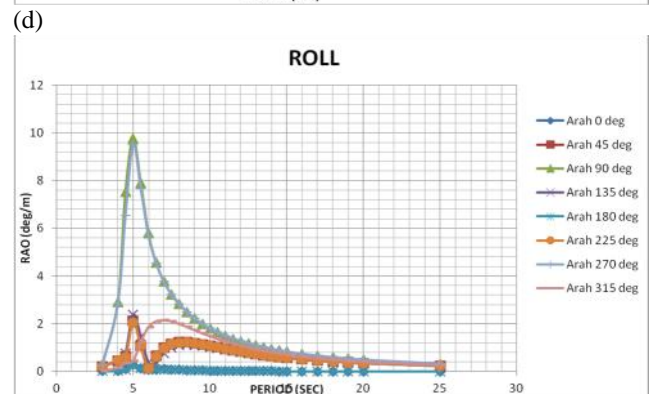
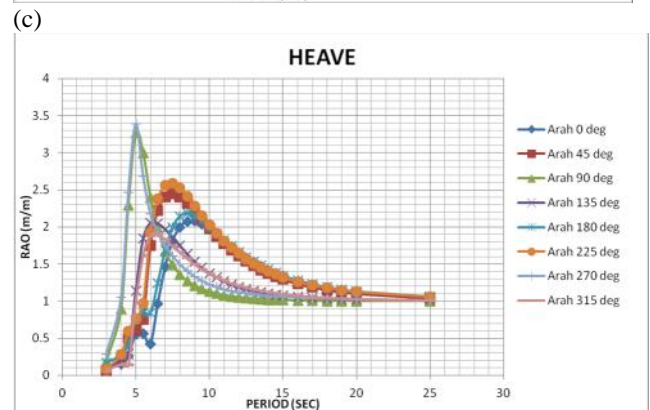
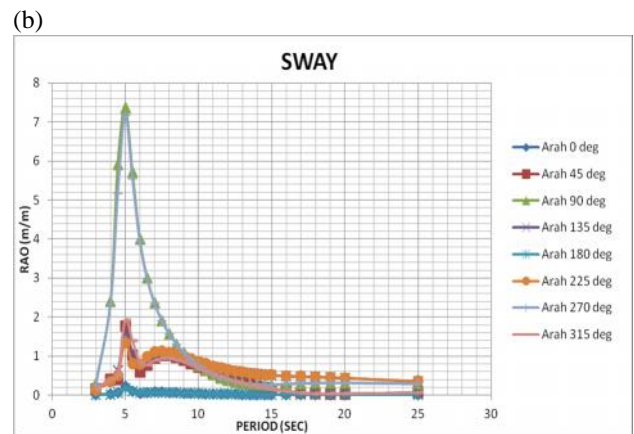
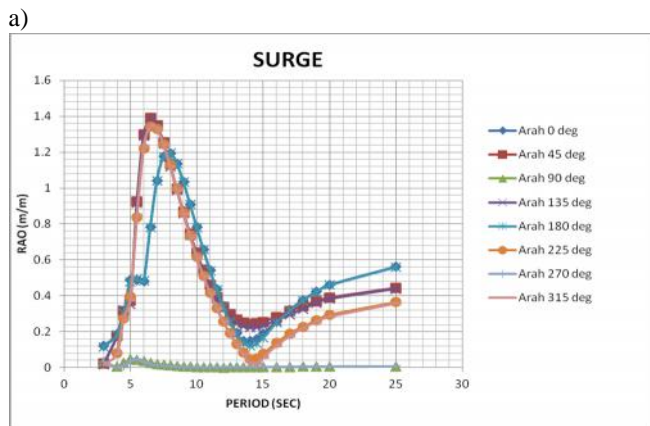
- A = Kondisi 10% *Non-Lifting*
- B = Kondisi 10% *Lifting*
- C = Kondisi 50% *Non-Lifting*
- D = Kondisi 50% *Lifting*
- E = Kondisi 100% *Departure*

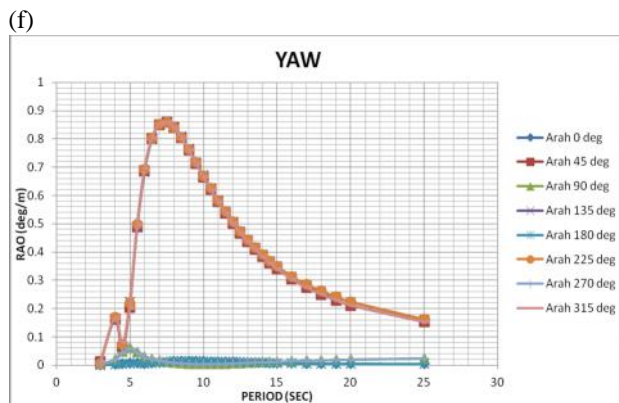
- Kriteria 1 = Jarak tinggi metacentrik awal (GM)
- Kriteria 2 = Jarak Righting Arm pada sudut 30°
- Kriteria 3 = Area dibawah kurva righting arm sampai sudut heel 40°

Jarak metasentra awal (GM) tidak boleh kurang dari 0,15 meter Jarak lengan momen pengembali (GZ) tidak boleh lebih kecil dari 0,2 m pada saat kemiringan kapal sama dengan atau lebih dari 30°. Luasan dibawah kurva G0Z sampai dengan 40° tidak boleh kurang dari 0,09 meter-radian atau 5,16 meter-degree.

B. Analisa Gerakan Dinamis

Untuk analisa gerakan dinamis pada *crane barge*, dari software MOSES menghasilkan RAO untuk arah pembebanan 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° dalam derajat kebebasan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Berikut ini hasil dari grafik RAO pada kondisi 10% *consummables*:





Gambar 4 Grafik RAO kondisi 10% consummables ; (a) surge; (b) sway; (c) heave; (d) roll; (e) pitch; (f) yaw.

Secara keseluruhan, grafik RAO diatas menunjukkan bahwa untuk heading 0° (following seas) dan 180° (head seas) gerakan maksimal terjadi pada surge dan pitch. Untuk heading 90° dan 270° (head seas) gerakan maksimal terjadi pada sway dan roll. Sedangkan gerakan heave hampir persis sama pada setiap heading. Kemudian untuk heading 45°, 135°, 225° dan 315° (quarter-seas) gerakan maksimal terjadi pada gerakan yaw. Nilai maksimal dari setiap RAO pada kondisi 10% consummables dapat dilihat dalam tabel dibawah ini:

Tabel 3.
RAO pada kondisi 10% consummables

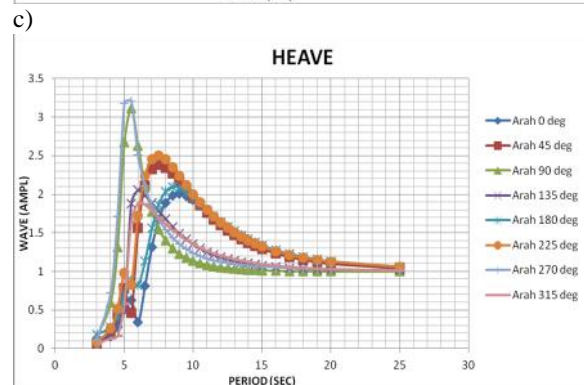
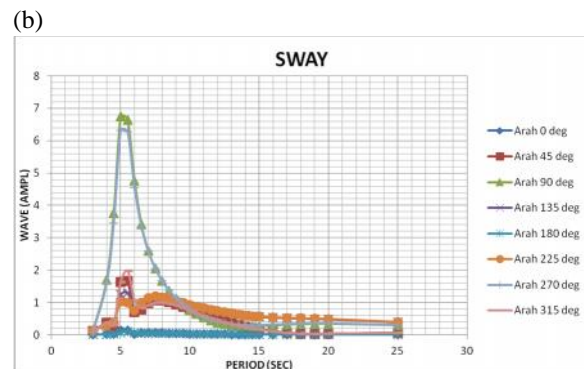
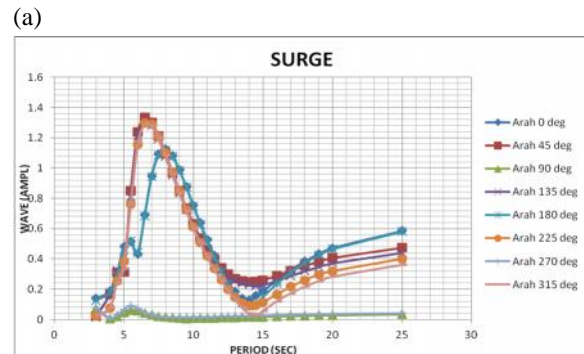
| Moda Gerakan | RAO Maksimum | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 45 | 90 | 135 | 180 | 225 | 270 | 315 |
| Surge | 1,195 | 1,389 | 0,046 | 1,38 | 1,195 | 1,344 | 0,047 | 1,347 |
| Sway | 0,226 | 1,769 | 7,37 | 1,593 | 0,174 | 1,334 | 7,173 | 1,921 |
| Heave | 2,08 | 2,449 | 3,267 | 2,057 | 2,187 | 2,591 | 3,388 | 1,895 |
| Roll | 0,296 | 2,125 | 9,725 | 2,374 | 0,228 | 2,032 | 9,494 | 2,312 |
| Pitch | 2,098 | 2,14 | 0,089 | 2,143 | 2,102 | 2,141 | 0,063 | 2,147 |
| Yaw | 0,015 | 0,859 | 0,063 | 0,86 | 0,015 | 0,86 | 0,06 | 0,859 |

Tabel 4.
Gerakan Maksimum crane barge
GERAKAN MAKSIMUM CRANE BARGE (10%)

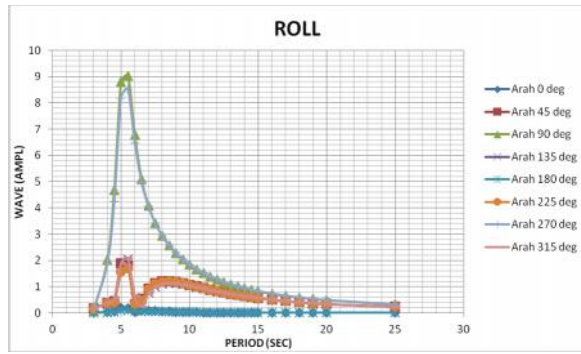
| | Environment | | | ROLL | PITCH |
|------|-------------|--------|-------|-------|-------|
| | Wave | Period | Wind | | |
| | 0° | 1.53 | 5.10 | | |
| 45° | 1.37 | 4.56 | 10.64 | 1.238 | 1.933 |
| 90° | 0.83 | 2.76 | 6.44 | 2.792 | 0.028 |
| 135° | 1.37 | 4.56 | 10.64 | 1.403 | 1.928 |
| 180° | 1.53 | 5.10 | 11.90 | 0.132 | 1.725 |
| 225° | 1.37 | 4.56 | 10.64 | 1.207 | 1.926 |
| 270° | 0.83 | 2.76 | 6.44 | 2.603 | 0.021 |
| 315° | 1.37 | 4.56 | 10.64 | 1.386 | 1.933 |

Dengan mengacu pada standar yang telah ditentukan oleh Total E&P Indonesia lifting Operation yaitu maksimal gerakan roll adalah 3° dan pitch adalah 2° maka dapat disimpulkan bahwa crane barge dapat beroperasi pada lingkungan dengan tinggi gelombang maksimal yang dianggap aman yaitu 0,83 meter dari berbagai arah pembebanan gelombang.

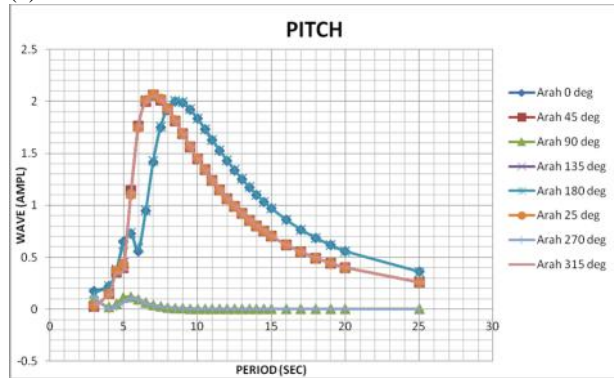
Selanjutnya, dengan menggunakan arah pembebanan yang sama dengan kondisi sebelumnya dan dalam enam derajat kebebasan yang sama pula, maka diperoleh grafik RAO pada kondisi 50% consummables sebagai berikut:



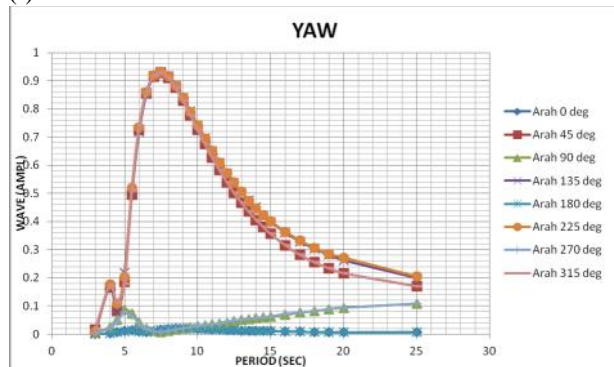
(d)



(e)



(f)



Gambar 5 Grafik RAO kondisi 50% consummables ; (a) surge; (b) sway; (c) heave; (d) roll; (e) pitch; (f) yaw.

Nilai maksimal dari setiap RAO pada kondisi 50% consummables dapat dilihat dalam tabel dibawah ini:

Tabel 5.
RAO pada kondisi 50% consummables

| Moda Gerakan | RAO Maksimum | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 45 | 90 | 135 | 180 | 225 | 270 | 315 |
| Surge | 1,126 | 1,334 | 0,072 | 1,313 | 1,119 | 1,296 | 0,092 | 1,261 |
| Sway | 0,146 | 1,659 | 6,75 | 1,298 | 0,093 | 1,185 | 6,321 | 1,975 |
| Heave | 2,008 | 2,38 | 3,114 | 2,056 | 2,094 | 2,499 | 3,208 | 1,885 |
| Roll | 0,2 | 1,891 | 9,035 | 2,056 | 0,107 | 1,697 | 8,523 | 2,07 |
| Pitch | 1,998 | 2,057 | 0,121 | 2,065 | 2,006 | 2,067 | 0,108 | 2,055 |
| Yaw | 0,02 | 0,927 | 0,108 | 0,916 | 0,02 | 0,931 | 0,108 | 0,929 |

Tabel 6
Gerakan Maksimum crane barge

| GERAKAN MAKSIMUM CRANE BARGE (50%) | | | | | |
|------------------------------------|-------------|--------|-------|-------|-------|
| | Environment | | | ROLL | PITCH |
| | Wave | Period | Wind | | |
| 0° | 1.62 | 5.40 | 12.60 | 0.138 | 1.947 |
| 45° | 1.40 | 4.68 | 10.92 | 1.36 | 1.963 |
| 90° | 0.90 | 3.00 | 7.00 | 2.969 | 0.049 |
| 135° | 1.40 | 4.68 | 10.92 | 1.445 | 1.964 |
| 180° | 1.62 | 5.40 | 12.60 | 0.092 | 1.957 |
| 225° | 1.40 | 4.68 | 10.92 | 1.249 | 1.96 |
| 270° | 0.90 | 3.00 | 7.00 | 2.75 | 0.041 |

Dengan mengacu pada peraturan yang telah ditetapkan, maka dapat disimpulkan bahwa crane barge dapat beroperasi pada lingkungan dengan tinggi gelombang maksimal yang dianggap aman yaitu 0,9 meter dari berbagai arah pembebanan gelombang.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Penelitian tentang unjuk kerja crane barge pada saat beroperasi ini sangat penting. Salah satu penyebab kecelakaan kerja dalam keadaan berlayar maupun beroperasi yaitu peranan awak kapal dan pekerja yang tidak menghiraukan perhitungan stabilitas kapalnya sehingga mengakibatkan crane barge bertumbukan dengan benda-benda lain pada saat beroperasi, kehilangan kesetimbangan, atau bahkan tenggelam. Ditinjau dari stabilitas statis, untuk semua kondisi dapat dikatakan tergolong aman karena sudah memenuhi standar IMO (International Maritime Organization). Sedangkan untuk stabilitas dinamis harus diperhatikan untuk tinggi gelombang yang datang untuk 10% consummables agar tidak melebihi 0,83 m dan 0,9 m untuk 50% consummables, sehingga operasi pengangkatan dan pemasangan boom burner pada platform MWP-B Peciko Field Total E&P Indonesia dapat dilaksanakan dengan baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis A.V.S mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc, dan Bapak Dr.Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc dan juga kepada TOTAL E&P INDONESIA yang telah mendukung dalam hal data teknis serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam melakukan analisa ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Zubaly, Robert B, *Applied Naval Architecture*, The Society Naval Architec and Marine Engineers, New Jersey, (1996).
 [2] K.J. Rawson and E.C. Tupper , *Basic Ship Theory 5th Edition Volume 2 - Ship Dynamics and Design*, Plant a Tree, (2001).
 [3] Indiyono, Paul, *Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai*, SIC, Surabaya, (2004).