

Analisis Integritas Struktur Kaki *Jack-up* yang Mengalami Retak dengan Pendekatan *Ultimate Strength*; Studi Kasus *Jack-up* Maleo MOPU (*Mobile Offshore Production Unit*)

Alit Winiscoyo, Eko Budi Djatmiko dan Murdjito

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: awiniscoyo@gmail.com

Abstrak—*Jack-up* adalah suatu struktur bangunan lepas pantai yang terdiri dari lambung (*hull*), kaki (*legs*), dan suatu sistem *jacking* sehingga memungkinkan untuk dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi yang lain. Pada penelitian ini akan dilakukan studi kasus struktur Maleo MOPU (*Mobile Offshore Production Unit*) yang dioperasikan oleh SANTOS (Madura) Pty.Ltd. yang beroperasi di Selat Madura blok Maleo dengan kedalaman perairan di lokasi ini adalah 57 m terhadap MSL (*Mean Sea Level*). Studi kasus ini dilakukan karena ditemukan indikator retak leleh/damage pada sambungan antara kaki *jack-up* dan *mudmat*. Analisis *ultimate strength* akan dilakukan untuk mengetahui integritas struktur terhadap beban maksimal. Variasi *dead load*, *live load* dan *environmental load* menjadi tahapan penting dalam analisa ini untuk mengetahui tingkat integritas struktur. Dengan pengaruh variasi beban (*dead load* dan *live load*) terhadap struktur untuk tiap-tiap kasus didapatkan nilai *unity check* (UC) yang dari semua kasus dikategorikan aman karena tidak ada nilai UC yang melebihi 1,3 (API RP 2A WSD). Dari semua analisis yang dilakukan *dead load* lebih berpengaruh dibandingkan dengan *live load*. Dari analisis *pushover* yang telah dilakukan pada *jack-up* Maleo MOPU yang dimitigasi dengan menambahkan *brace* dan menambahkan ketebalan dihasilkan nilai *Reserve Strength Ratio* (RSR) terkecil pada arah pembebanan 270° dengan nilai 6,5 pada *Brace Clamp case* dan terbesar dengan nilai 18,3 pada *X-Bracing case*. Nilai RSR tersebut masih memenuhi syarat yang telah ditetapkan API RP 2A berupa nilai RSR minimal untuk *platform* berpenghuni adalah 1,6.

Kata Kunci—integritas, *Jack-up* Maleo MOPU, *Ultimate Strength*.

I. PENDAHULUAN

JACK-UP platform adalah suatu struktur kompleks yang digunakan sebagai bangunan lepas pantai dalam berbagai mode operasi. *Jack-up* telah menjadi salah satu bangunan eksplorasi industri minyak lepas pantai sejak tahun 1950-an. *Jack-up* digunakan dalam berbagai fungsi diantaranya yaitu sebagai eksplorasi pengeboran, produksi, akomodasi, dan sebagai *platform* perawatan (*maintenance platform*). Seperti halnya dengan setiap teknologi inovatif, *jack-up* telah digunakan dengan keterbatasan operasional dan desainnya. Keterbatasan ini meliputi batasan beban dek ketika mengapung, kemampuan membawa beban ketika proses *lifting*, batasan lingkungan, batasan pengeboran, dan batasan tanah khususnya pondasi. Alasan untuk mendorong batas-batas ini dikarenakan keinginan untuk menjelajahi perairan yang lebih dalam, *reservoir* yang lebih dalam di lingkungan yang lebih keras, dan di daerah dimana tanah dan pondasi mungkin

sulit stabil atau bahkan tidak stabil [1].

Salah satu perusahaan yang menggunakan *jack-up* adalah SANTOS (Madura) Pty.Ltd. *Jack-up* milik perusahaan ini bernama Maleo MOPU (*Mobile Offshore Production Unit*) yang terletak di Maleo field, 40 km dari tenggara Pulau Madura, 25 km dari selatan Pulau Puteran. Struktur ini beroperasi di Selat Madura dengan kedalaman kira-kira 57 m dari *Mean Sea Level* (MSL). Gambar dari Maleo MOPU ditunjukkan pada Gambar 1.

Maleo MOPU ini dibangun semenjak tahun 1978 di Bethlehem Steel, Beaumont Texas yard. Pada saat dilakukan inspeksi tahunan di bulan Agustus 2010, ditemukan retakan pada sambungan antara *mudmat* dengan kaki *jack-up*, terutama pada *gusset plate* di setiap kaki *jack-up*. Retakan ini tentunya berpengaruh terhadap respon *inplace* struktur secara global. Gambar 2 menunjukkan *gusset plate* dan contoh retakan yang ditemukan serta lokasi dari setiap retakan di kaki *jack-up*.

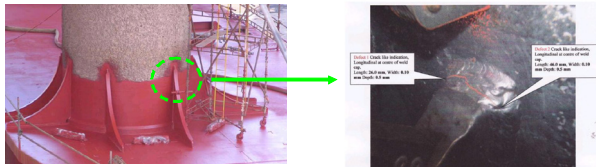
Pada era 1968-1989 diperkirakan terdapat 11 *jack-up* yang dikonversi menjadi unit produksi [3]. Menurut literatur [4], jika pada saat inspeksi terhadap platform ditemukan kerusakan pada struktur utama maka dapat dilakukan *assessment*. Di dalam *assessment* ada dua analisis penting yaitu *design level analysis* dan *ultimate strength analysis*. Analisis *ultimate strength* atau *pushover* adalah salah satu cara untuk mengetahui besarnya kapasitas struktur untuk menerima beban maksimal. Analisis *pushover* dapat di definisikan suatu metode yang dipakai dalam menganalisis keruntuhan struktur dan merupakan analisis non-linear dengan pembebanan inkremental untuk menentukan pembebanan yang menyebabkan struktur runtuh [5]. Serta merupakan salah satu cara untuk mengetahui besarnya kapasitas struktur untuk menerima beban maksimal. Metode yang dilakukan adalah dengan melakukan simulasi penambahan beban secara bertahap sampai struktur tersebut runtuh. Dari hasil tersebut akan diketahui *Reserve Strength Ratio* (RSR) atau rasio kekuatan cadangan struktur.

SANTOS sebagai pemilik *jack-up* Maleo MOPU melakukan mitigasi terhadap *crack* yang terjadi pada sambungan antara *mudmat* dengan kaki *jack-up*. Enam skenario telah dirancang untuk usaha mitigasi. Enam skenario tersebut adalah:

- ✓ Case 1 – With Gusset plate (existing condition);
- ✓ Case 2 – No Gusset : all the gusset plate is removed;
- ✓ Case 3 – Brace Clamp With Gusset
- ✓ Case 4 – Brace Clamp Without Gusset;
- ✓ Case 5 – External Grout;



Gambar. 1. Maleo MOPU [2].

Gambar. 2. Lokasi retakan pada kaki *jack-up* [2].

✓ Case 6 – X brace at legs.

Analisis *push-over* atau *ultimate strength* dibutuhkan dalam keenam skenario. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kapasitas struktur *jack-up* Maleo MOPU untuk menerima beban maksimal.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Studi Literatur

Dalam makalah ini, literatur-literatur yang dipelajari adalah tugas akhir yang pernah dilakukan sebelumnya dan jurnal yang berkaitan langsung dengan penelitian ini serta buku-buku sebagai tambahan referensi dalam penyelesaian masalah.

B. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan adalah data-data yang didapatkan dari laporan analisis global milik SANTOS (Madura) Pty.Ltd. Data-data tersebut diantaranya adalah:

1. Data Geometri Struktur

i. Mudmat

Mudmat jack-up ini seperti *barge* berbentuk huruf “A” dengan ukuran 64 m × 51.82 m × 3 m dengan ketebalan 9.53 mm hingga 31.75 mm.

ii. Kaki *jack-up*

- Berbentuk kolom silinder dengan OD 3.6 m.
- Panjang kaki dari dasar *mudmat* 95.1 m (sebelum dikonversi) dan 86 m (setelah dikonversi).
- Ketebalan bervariasi antara 28.58 mm hingga 76.2 mm.
- Sambungan antara kaki dengan *mudmat* berupa *gusset plate*.

iii. Deck *jack-up*

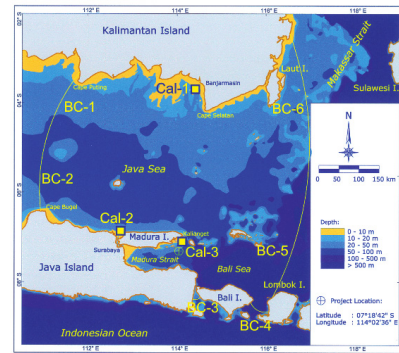
Deck berbentuk menyerupai *barge* dengan ukuran panjang 53.6 m, lebar 40.23 dan tinggi 6.1 m.

2. Data Lingkungan

Data Lingkungan yang dipakai adalah data lingkungan Selat Madura untuk 100 tahunan.

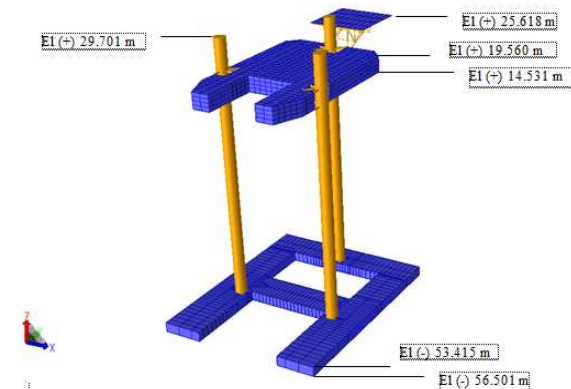
- Kedalaman Laut dan Kondisi Pasang Surut
Kedalaman laut di lokasi yaitu 57 m dari MSL.
- Gelombang

Data gelombang yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data gelombang pada Laporan Metocean Maleo Field dengan periode ulang 100 tahun.

Gambar. 3. Kondisi geografis perairan sekitar lokasi *Jack-up* Maleo beroperasi [2].

Tabel 1.
Properti material [2]

Yield Strength (σ_y), Mpa	248
Modulus Young E, Mpa	2.06E+5
Poisson's Ratio, (ν)	0.3
Fracture Toughness (K_{IC}), ksi√in	85

Gambar. 4. Model global struktur *Jack-up* MALEO MOPU.

iii. Kondisi Geografis

Gambar 3 menunjukkan kondisi geografis wilayah perairan sekitar *platform* berada.

3. Data Material

Material yang dipakai adalah material baja yang memiliki properti Tabel ditunjukkan dalam Tabel 1.

C. Pembuatan model global

Pemodelan pada tahap ini menggunakan pemodelan elemen hingga secara global. Tujuan dari pemodelan ini adalah untuk analisis integritas struktur dengan pendekatan *ultimate strength*. Gambar 4 menunjukkan pemodelan global struktur kondisi *existing*.

D. Analisis Beban Gelombang.

Dari pengolahan data *probability of individual wave* yang didapat dari *wave scatter diagram*, maka didapatkan tinggi gelombang maksimum (H) dan periode gelombang maksimum (T) sebesar 9,34 meter dan 14,90 s untuk kondisi *storm*. Tinggi dan periode maksimum gelombang yang didapat, dikombinasikan dengan kedalaman perairan (d), gaya grafitasi (g), serta kecepatan arus pada permukaan (V) digunakan untuk menentukan teori gelombang yang tepat digunakan pada perairan *platform* beroperasi. Berdasarkan penarikan garis pada Grafik *Region of Validity*, teori

gelombang yang digunakan dalam perairan adalah teori gelombang Stoke Orde 5.

Dari teori gelombang yang digunakan maka kita dapat menentukan kecepatan dan percepatan partikel air yang melewati struktur. Bila D/L kecil ($D/L \leq 0.2$) maka pola aliran fluida tidak akan terganggu dan besarnya gaya dapat dihitung dengan persamaan Morison (O'Brien dan Morison, 1952). Persamaan Morison menyatakan bahwa gaya gelombang dapat diekspresikan sebagai penjumlahan dari gaya seret (*drag force*, FD), yang muncul akibat kecepatan partikel air saat melewati struktur, dan gaya inersia (*inertia force*, FM) akibat percepatan partikel air [6].

Gambar 5 menunjukkan arah pembebanan lingkungan yang dibebankan pada struktur.

Struktur *Jack-up* Maleo MOPU ini dianalisis dengan 8 arah pembebanan dengan jarak antar arah pembebanan 45 derajat.

E. Pemodelan Penguat Kaki *Jack-up* Maleo MOPU

Pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 ditunjukkan pemodelan global struktur kaki *Jack-up* Maleo MOPU dengan penguatannya.

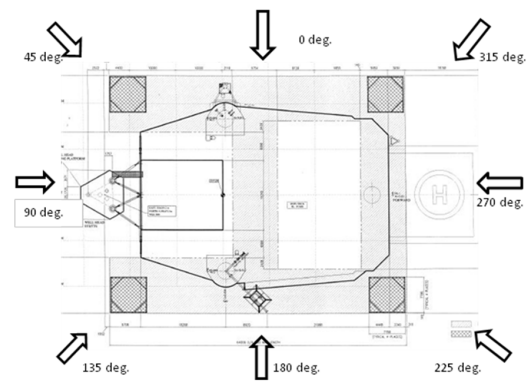
III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisis Variasi *Dead Load* dan *Live Load*

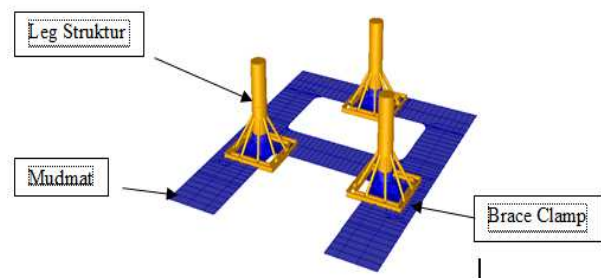
Beban-belan yang diinputkan dalam analisis ini adalah beban-belan yang bekerja pada struktur *jack-up* baik itu beban mati, beban hidup, maupun beban lingkungan. Analisis pada setiap elemen menggunakan standard [4] dan [7]. Dalam pembebanan model global ini digunakan 11 beban kombinasi disesuaikan dengan arah pembebanan lingkungan. Analisis yang pertama dilakukan adalah dengan memvariasikan *dead load* dan *live load* sebesar 75%, 80%, 90%, 100%, 110% dan 120%. Faktor ini diambil dari kemungkinan adanya penambahan atau pengurangan beban di struktur tersebut. Misalnya penambahan jumlah pekerja dan pengurangan jumlah *equipment*. Hasil dari analisis ini adalah nilai *unity check* (UC). Nilai UC ini berubah sesuai dengan variasi beban. Perubahan nilai UC ada berbagai tren baik itu eksponensial (naik) dan lateral (konstan). Berikut ditampilkan tabel dan gambar untuk melihat perubahan nilai UC pada struktur *jack-up* pada setiap *case* dengan variasi beban yang ditentukan.

Dari hasil *integrity check* dengan variasi *dead load* dan *live load* didapatkan nilai UC yang naik tiap variasi beban. Hasil *integrity check* dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9, Tabel 10, dan Tabel 11. Sebagai contoh, pada saat *dead load* divariasikan pada *Jack-up* Maleo MOPU X-bracing nilai UC meningkat sebesar $\pm 0,2-0,3$ satuan dari tiap variasi. Dari semua analisis *integrity check* yang dilakukan menunjukkan bahwa X-bracing *case* adalah *case* yang paling baik. Karena tingkat sensitivitas pada *case* tersebut terhadap beban, baik *dead load* dan *live load* sangat baik. Dengan variasi beban *dead load* maupun *live load* sebesar 0,75 % sampai 120% *Jack-up* Maleo MOPU dengan X-bracing *case* didapatkan nilai *unity check* terkecil dibandingkan dengan *unity check case* lain.

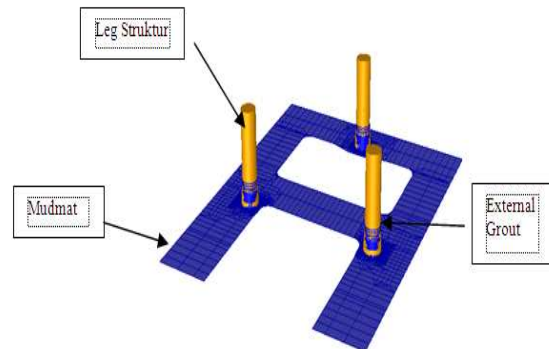
Dari semua analisis integritas struktur yang telah dilakukan menunjukan bahwa Brace Clamp *case* adalah *case* yang paling buruk. Karena tingkat sensitivitas pada *case* tersebut terhadap *dead load* dan *live load* yang rendah. Tetap walaupun



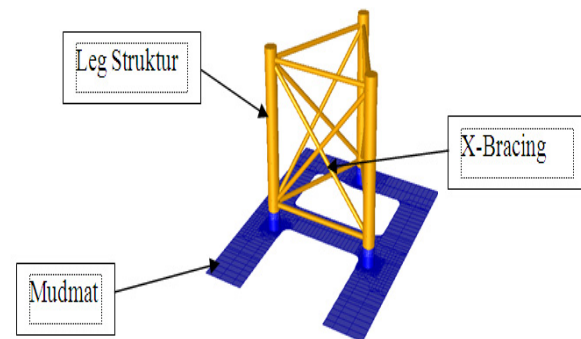
Gambar. 5. Arah beban gelombang dan arus pada struktur [2].



Gambar. 6. Model penguatan kaki *jack-up* Maleo MOPU dengan *Brace Clamp*.



Gambar. 7. Model penguatan kaki *jack-up* Maleo MOPU dengan *External Grout*.



Gambar. 8. Model penguatan kaki *jack-up* Maleo MOPU dengan *X-bracing*.

case yang paling buruk, Brace clamp *case* masih bisa menahan beban dengan baik. Brace clamp *case* memiliki nilai UC paling tinggi adalah 0,73 pada variasi *dead load*

sebesar 120%. Selain itu juga, dapat disimpulkan bahwa *dead load* lebih berpengaruh pada struktur dibandingkan dengan *live load*. Hal ini bisa dilihat dari perkembangan *unity check* pada kondisi *dead load* lebih besar dari pada *unity check* pada kondisi *live load*. Untuk melihat perubahan nilai UC pada struktur tiap-tiap case, dapat dilihat di Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14.

B. Analisis Pushover

Menurut API RP 2A, jika terjadi *damage* pada struktur yang mempengaruhi kondisi struktur, maka bisa dilanjutkan dengan melakukan *pushover analysis*. Tetapi sebelum melakukan *pushover analysis*, terlebih dulu dilakukan analisis inplane kondisi *storm* struktur yang sudah dimodifikasi pada semua arah gelombang untuk mengetahui arah gelombang yang mengakibatkan struktur mengalami kondisi UC yang paling kritis. Dari hasil analisis yang ditunjukkan Tabel 12 didapatkan bahwa arah gelombang yang relatif membuat struktur paling kritis adalah gelombang arah 270°. Arah gelombang tersebut yang akan digunakan dalam analisis *pushover*.

Pada analisis *pushover* digunakan model struktur yang mengalami 2 pembebanan penting, yakni beban lingkungan dengan besar yang sama dengan *inplace storm* dan beban vertikal dengan besar yang sama dengan inplane operasional. Beban vertikal yang diterima oleh struktur ditingkatkan menjadi 1 kali sedangkan beban lingkungan dari masing – masing arah tinjauan ditingkatkan dengan pembesaran sebesar 10 % (0.1) dari beban rencana. Secara keseluruhan *struktur* akan runtuh / *collapse* setelah adanya member yang plastis karena terbentuknya *plastic hinge*. Hal ini akan mengurangi kekakuan struktur. Adanya member plastis ini dapat menyebabkan kegagalan *joint*. Dengan gaya yang semakin bertambah peluang buckle juga muncul bila gaya tekan melebihi kapasitas penampangnya.

C. Push Over pada Gelombang arah 270°

Gelombang arah 270° digunakan karena merupakan salah satu arah gelombang yang signifikan berpengaruh kritis terhadap struktur. Pada analisis *pushover* di gelombang arah 270° ini dihasilkan member yang mengalami plastis terlebih dulu adalah member 1292-1291 (LEG 3) saat mencapai increment ke 4 dengan load factor 30. Sedangkan struktur mengalami keruntuhan secara keseluruhan / *collapse pushed over* adalah saat keseluruhan struktur sudah tidak dapat lagi menahan / meneruskan lagi beban beban yang terjadi. Struktur mengalami keruntuhan secara keseluruhan yaitu pada saat mencapai increment ke 6 dengan load factor 50. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 15.

Berikut adalah hasil analisis dari analisis *collapse* dengan menggunakan beban gelombang arah 270° :

1. Pada *load faktor* 30 (increment ke 4), belum terdapat *member* yang mulai menunjukkan plastisitas. Perbedaan rasio plastisitas ditunjukkan pada perbedaan warna yang terdapat pada *beam*.
2. Pada *load faktor* 40 (increment ke 5), rasio plastisitas yang terjadi pada *beam* belum menunjukkan perbedaan nilai rasionya. Hal itu dapat dilihat dari variasi warna yang terlihat. Dalam *load faktor* ini semua member masih mempunyai plastisitas dibawah 90 %.

Tabel 2.

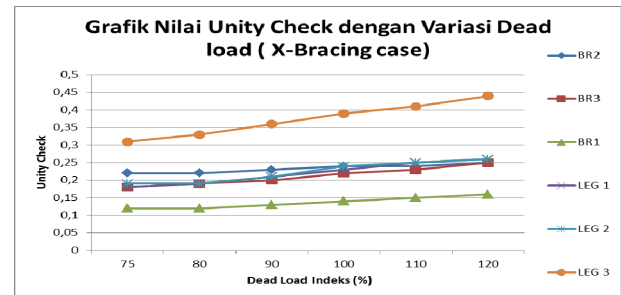
Nilai *unity check* pada *bracing* dengan variasi *dead load* (X-bracing case)

GROUP	MEMBER	LOAD	LIVE LOAD INDEKS (%)					
			75	80	90	100	110	120
BR2	129S-129V	207	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25
BR3	129U-129N	205	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22
BR1	129R-129Q	202	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14

Tabel 3.

Nilai *unity check* pada *leg* dengan variasi *dead load* (X-bracing case)

GROUP	MEMBER	LOAD	DEAD LOAD INDEKS (%)					
			75	80	90	100	110	120
LEG 1	128Q-128P	203	0,18	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26
LEG 2	129E-129D	203	0,19	0,19	0,21	0,24	0,25	0,26
LEG 3	1292-1291	203	0,31	0,33	0,36	0,39	0,41	0,44

Gambar. 9. Grafik nilai *unity check* dengan variasi *dead load* (X-bracing case)

Tabel 4.

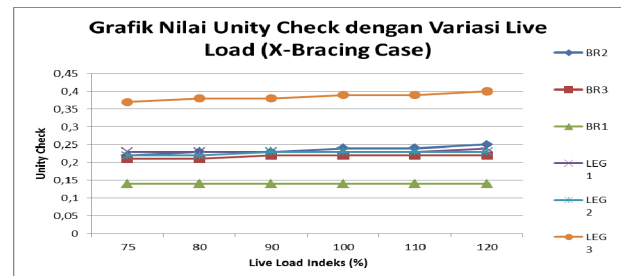
Nilai *unity check* pada *bracing* dengan variasi *live load* (X-bracing case)

GROUP	MEMBER	LOAD	LIVE LOAD INDEKS (%)					
			75	80	90	100	110	120
BR2	129S-129V	207	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25
BR3	129U-129N	205	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22
BR1	129R-129Q	202	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14

Tabel 5.

Nilai *unity check* pada *leg* dengan variasi *live load* (X-bracing case)

GROUP	MEMBER	LOAD	LIVE LOAD INDEKS (%)					
			75	80	90	100	110	120
LEG 1	128Q-128P	203	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24
LEG 2	129E-129D	203	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23
LEG 3	1292-1291	203	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39	0,4

Gambar. 10. Grafik nilai *unity check* dengan variasi *live load* (X-Bracing case)

Tabel 6.

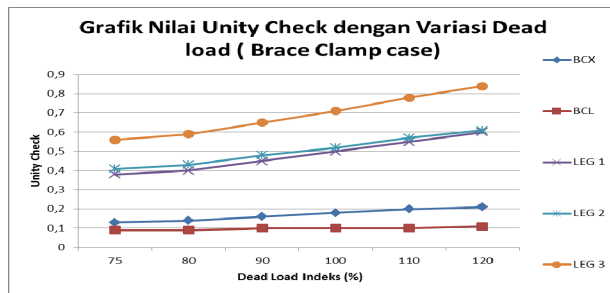
Nilai *unity check* pada *bracing* dengan variasi *dead load* (Brace Clamp case)

GROUP	MEMBER	LOAD	DEAD LOAD INDEKS (%)					
			75	80	90	100	110	120
BCX	12AJ-12BQ	210	0,13	0,14	0,16	0,18	0,2	0,21
BCL	129M-12CH	207	0,09	0,09	0,1	0,1	0,1	0,11

Tabel 7.

Nilai *unity check* pada *leg* dengan variasi *dead load* (Brace Clamp case)

GROUP	MEMBER	LOAD	DEAD LOAD INDEKS (%)					
			75	80	90	100	110	120
LEG 1	128Q-128P	203	0,38	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
LEG 2	129E-129D	203	0,41	0,43	0,48	0,52	0,57	0,61
LEG 3	1292-1291	203	0,56	0,59	0,65	0,71	0,78	0,84

Gambar. 11. Grafik nilai *unity check* dengan variasi *dead load* (Brace Clamp case).

Tabel 8.

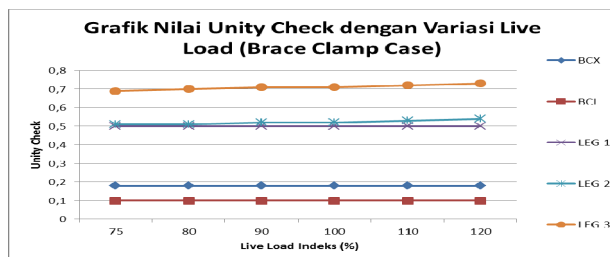
Nilai *unity check* pada bracing dengan variasi *live load* (Brace Clamp case)

GROUP	MEMBER	LOAD	LIVE LOAD INDEKS (%)					
			75	80	90	100	110	120
BCX	12AJ-12BQ	210	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
BCL	129M-12CH	207	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabel 9.

Nilai *unity check* pada leg dengan variasi beban *live load* (Brace Clamp case)

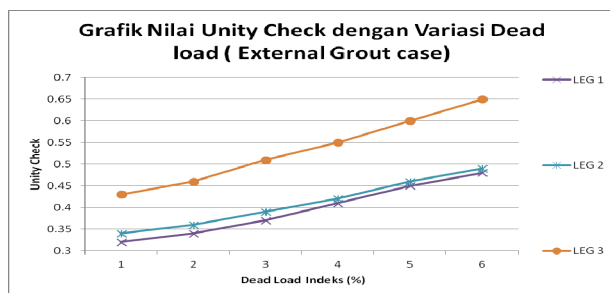
GROUP	MEMBER	LOAD	LIVE LOAD INDEKS (%)					
			75	80	90	100	110	120
LEG 1	128Q-128P	203	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
LEG 2	129E-129D	203	0,51	0,51	0,52	0,52	0,53	0,54
LEG 3	1292-1291	203	0,69	0,7	0,71	0,71	0,72	0,73

Gambar. 12. Grafik nilai *unity check* dengan variasi *live load* (Brace Clamp case).

Tabel 10.

Nilai *unity check* pada leg dengan variasi *dead load* (External Grout case)

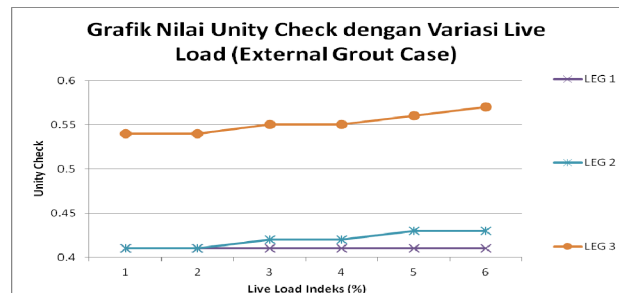
GROUP	MEMBER	LOAD	DEAD LOAD INDEKS (%)					
			75	80	90	100	110	120
LEG 1	128Q-128P	203	0,32	0,34	0,37	0,41	0,45	0,48
LEG 2	129E-129D	203	0,34	0,36	0,39	0,42	0,46	0,49
LEG 3	1292-1291	203	0,43	0,46	0,51	0,55	0,6	0,65

Gambar 13. Grafik nilai *unity check* dengan variasi *dead load* (External Grout case).

Tabel 11.

Nilai *unity check* pada bracing dengan variasi *live load* (External Grout case)

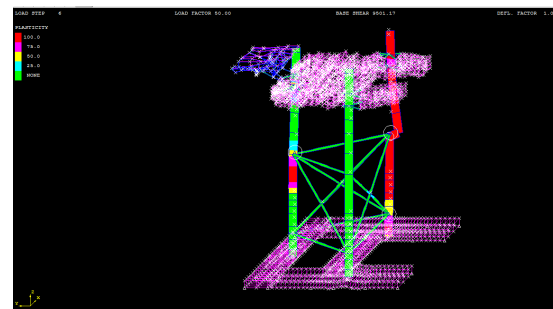
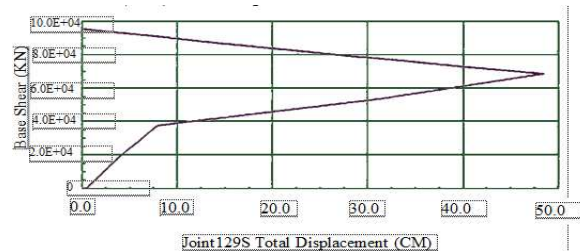
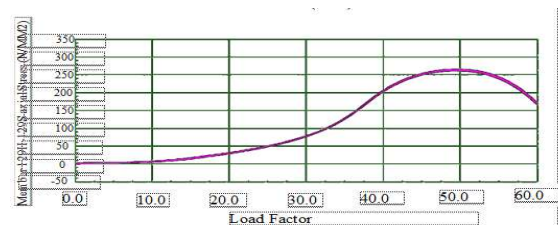
GROUP	MEMBER	LOAD	LIVE LOAD INDEKS (%)					
			75	80	90	100	110	120
LEG 1	128Q-128P	203	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
LEG 2	129E-129D	203	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43
LEG 3	1292-1291	203	0,54	0,54	0,55	0,55	0,56	0,57

Gambar. 14. Grafik nilai *unity check* dengan variasi *live load* (External Grout case).

Tabel 12.

Hasil *member check* pada arah gelombang 2700 jack-up X-bracing

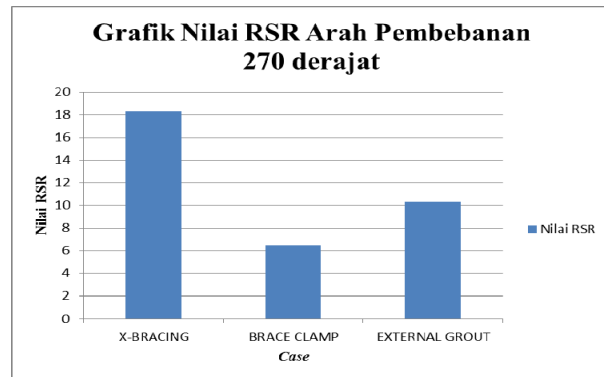
MEMBER	GROUP ID	UNITY CHECK
1292-1291	LGD	0.385
1291-128M	LG5	0.368
1293-1292	LGC	0.3
1295-129Q	LG8	0.287
129Q-1294	LG8	0.28

Gambar. 15. Pemodelan *pushover* pada increment ke 6 dengan *load factor* 50.Gambar. 16. Kurva hubungan beban lateral dengan total *displacement* pada member 129H-129S (LGD).Gambar. 17. Kurva hubungan *load factor* dengan *axial stress* pada member 129H-129S (LGD).

3. Analisis dengan *load faktor* 50 (increment ke 6) menunjukkan mulai terdapat memeber yang mengalami plastisitas 100 % yaitu member 129H-129S. Hal ini terlihat dari warna yang terdapat pada member pada Gambar 15. Kurva hubungan antara beban lateral (*base shear*) dengan *total displacement* pada joint 129S (LGD) ditunjukkan di Gambar 16. Kurva hubungan antara *load factor* dengan *axial stress* pada joint 1291-1292 (LGD) ditunjukkan di Gambar 17.

Tabel 13.
Nilai RSR tiap-tiap Case

Case	Arah Pembebanan(derajat)	P awal (Kips)	P runtuh (Kips)	RSR	Keterangan
X-Bracing	270	513,6	9387,9	18,3	Joint failure
Brace Clamp		618,6	4020,5	6,5	Joint plastis
External Grout		585,3	6145,6	10,5	Joint plastis



Gambar. 18. Grafik nilai RSR tiap-tiap case.

Setelah struktur dianalisis *push over*, maka diperoleh RSR (*Reserve Strength Ratio*) pada gelombang arah 270°. Dari nilai RSR yang didapat pada gelombang arah 270° yaitu 18,3 maka sesuai dengan API RP 2A-WSD maka *Jack-up* Maleo MOPU dikategorikan aman (*safe*). Struktur dikategorikan aman karena nilai RSR minimal yang disyaratkan adalah 1,6. Selain itu didapatkan nilai RSR pada case lain di sudut yang lain.

Setelah dilakukan analisis *push over* pada semua case didapatkan nilai *Reserve Strength Ratio* (RSR) pada tiap-tiap case. RSR adalah perbandingan antara tegangan pada saat struktur runtuh dengan tegangan pada saat awal. Dari hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 13 dan Gambar 18 menunjukkan bahwa semua case telah melewati batas aman dari batas yang telah ditetapkan (RSR minimum 1,6). Dapat dilihat pada gambar 4.20 *jack-up* dengan X-bracing case memiliki nilai RSR tertinggi dengan nilai 18,3. Sedangkan Brace Clamp case memiliki nilai RSR terkecil dengan 6,5. Ketiga nilai RSR ini tergolong besar karena jauh dari batas aman. Banyak faktor yang menyebabkan demikian, salah satunya adalah struktur dari *jack-up* itu sendiri yang sangat kaku/kuat. Perubahan fungsi dari struktur yang pertama kali dibuat untuk *platform drilling* menjadi platform production menyebabkan jumlah beban yang diterima struktur berkurang.

IV. KESIMPULAN DAN RINGKASAN

Dari analisis yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan pengaruh variasi beban (*dead load* dan *live load*) terhadap struktur untuk tiap-tiap case didapatkan nilai *unity check* (UC) yang dari semua case dikategorikan aman karena tidak ada nilai UC yang melebihi 1,3 (API RP 2A WSD). Dari semua analisis yang dilakukan beban *dead load* lebih berpengaruh dibandingkan dengan beban *live load* karena grafik perubahan nilai UC variasi *dead load* lebih signifikan dibandingkan dengan grafik perubahan nilai UC dengan variasi *live load*.
2. Pada analisis *pushover* yang telah dilakukan pada *jack-up* Maleo MOPU yang dimitigasi dengan menambahkan

brace dan menambahkan ketebalan dihasilkan nilai *Reserve Strength Ratio* (RSR) terkecil pada arah pembebanan 270° dengan nilai 6,5 pada Brace Clamp case dan terbesar dengan nilai 18,3 pada X-Bracing case. Nilai RSR tersebut masih memenuhi syarat dari yang telah ditetapkan API RP 2A berupa nilai RSR minimal untuk *platform* berpenghuni adalah 1,6.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bennet, "Jack-up Units, A Technical Primer For The Offshore Industry Professional", Keppel FELS (2005).
- [2] PT. Singgar Mulia, "Maleo MOPU Global In-Place Analysis", Doc.no. 9701-90-RPT-0002, (2011).
- [3] Kobus, L.C.S., Fogal, R.W., dan Sacchi, E., "Jack-up Conversion for Production", *Marine Structures* 2, (1989) 193-211.
- [4] API RP 2A, 2000 "Recommended Practice for Planning, Designing & Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design", 21th Edition, American Petroleum Institute. (Code)
- [5] Yudhistira, 2006, *Analisa Ultimate Strength Struktur Jacket LWA Berbasis Resiko dengan MicroSAS*, Jurnal Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan-ITS, Surabaya.
- [6] Chakrabarti, S.K., 1987, *Hydrodynamics of Offshore Structure*, Computational Mechanics Publications Southampton, Boston, USA
- [7] American Institute of Steel Construction (AISC), *Manual of Steel Construction – Allowable Stress design*, 9th Ed (1989).