

Analisis Kekuatan Struktur *Jacket* dan Konfigurasi *Rigging* Saat Proses *Roll-up* pada Fase Fabrikasi

Rico Firdani Yuzri, Rudi Walujo Prastianto, dan Nur Syahroni
 Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: rudiwp@oe.its.ac.id

Abstrak—Proses *roll-up* bagian *jacket* adalah salah satu tahap penting dalam proses fabrikasi struktur lepas pantai tipe *jacket*. Diperlukan perencanaan yang matang agar tidak terjadi kegagalan selama proses tersebut. Makalah ini membahas analisis *roll-up* pada struktur *jacket* dengan variasi *roll-up angle* 0°, 30°, 60°, 77°, 90°, dan 93,6°. Pemodelan dan analisisnya menggunakan bantuan *software* SACS untuk mengetahui kekuatan dan *joint strength* dari struktur *jacket* serta reaksi-reaksi tumpuan akibat proses *roll-up*. Selain itu juga dilakukan perhitungan terkait konfigurasi *rigging* mencakup *sling*, *shackle*, hingga *crane* yang digunakan. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur *jacket* masih memenuhi kriteria desain dan tidak mengalami kegagalan dengan *unity check* maksimum analisis elastisnya 0,634 dan *unity check* maksimum untuk *joint strength* 0,965. Untuk analisis reaksi tumpuan akibat proses *roll-up* didapatkan reaksi maksimum 5.194,32 kN pada kasus *roll-up angle* 93,6°. Pada analisis *rigging* didapatkan konfigurasi 29 *sling*, 14 *shackel*, dan 4 *crane* untuk mendukung proses *roll-up* ini. Diperoleh efisiensi maksimum untuk tiap peralatan yang digunakan yaitu sebesar 95,42% untuk *sling*; 64,13% untuk *shackel* dan 99,18% untuk *crane*.

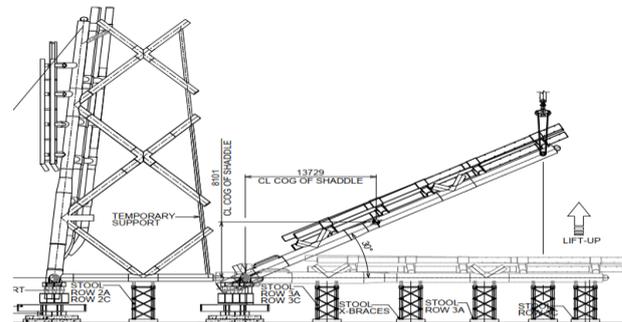
Kata Kunci—*Jacket*, Metode Elemen Hingga, *Roll-up*, *Support Frame Structure*, Fase Fabrikasi.

I. PENDAHULUAN

PROSES fabrikasi struktur anjungan lepas pantai tipe *jacket* terdiri dari beberapa tahapan, salah satunya adalah proses *roll-up jacket*. *Roll-up jacket* adalah proses penegakan bagian struktur *jacket* dari posisi awalnya yang meletak secara horisontal menjadi berdiri tegak seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Proses penegakan hingga posisi tegak sesuai konfigurasi akhir yang diinginkan, memerlukan operasi *heavy lifting* yang sangat berperan penting. Pengangkatan bagian-bagian struktur *jacket* akan membutuhkan beberapa *crane* dan harus dijalankan dengan beban terangkat oleh *crane*. Hal ini memerlukan perhitungan berat *jacket* dan *central of gravity* (CoG) nya dengan teliti berdasarkan kapasitas dan jumlah *crane* yang dibutuhkan sesuai titik angkat struktur *jacket* yang aman [1-2].

Posisi akhir dalam proses *roll-up* ditentukan berdasarkan ukuran struktur yang akan difabrikasi. Untuk struktur *jacket* kategori perairan dangkal biasanya dengan posisi akhir *jacket* sama dengan posisi saat akhir yaitu kondisi vertikal. Sedangkan untuk struktur *jacket* yang dipakai di perairan dalam, biasanya akan diposisikan horisontal pada sisi samping dari struktur *jacket* tersebut [3]. Posisi akhir dalam proses *roll-up* juga dapat berubah tergantung dari *fabrication yard* dan juga perencanaan posisi akhir proses *loadout* struktur *jacket* yang disesuaikan *barge* nya.

Proses *roll-up* juga memerlukan perencanaan yang matang terhadap sistem *rigging* atau *lifting equipments* nya. Tanpa *rigging equipments* yang tepat bangunan lepas pantai tidak dapat dibangun secara efektif [4]. Perhitungannya dilakukan dengan mempertimbangkan beban desain dan kapasitas



Gambar 1. Ilustrasi proses *roll-up* struktur *jacket*.

Tabel 1.
Weight Control Report Jacket Hornsea II OSS

Description	All Jacket	Row 5
Weight	4.642,90 [MT]	4.437,48 [MT]
CoG (x axis)	0,36 m	22,21 m
CoG (y axis)	-0,34 m	14,96 m
CoG (z axis)	-10,64 m	5,04 m

Tabel 2.
 Data Komponen *Rigging*

Sling	Shackle	Crane
Ø115 mm Wire Sling, Ø78 Cable Laid grommet,	Crosby Bolt Type	QUY 650, TEREX
Ø80mm Wire Sling,	Shackle with SWL	CC2800, SANY
Ø86mm Wire Sling,	120 MT	SCC2500A
Ø74mm Wire Sling		

Tabel 3.
 Validasi Keseluruhan Struktur *Jacket* Horsea II OSS

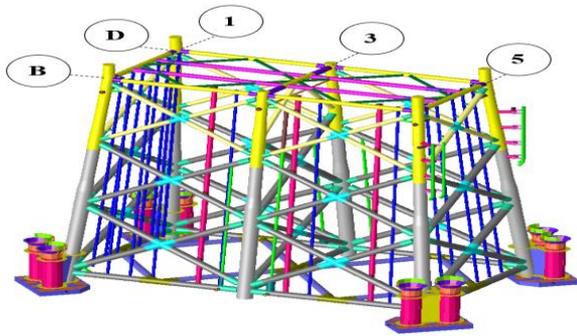
Description	WCR	SACS [mT]	Difference [%]
Weight	4.642,90 [mT]	4.437,48 [mT]	4,42
CoG (x axis)	0,36 m	0,35 m	0,028
CoG (y axis)	-0,34 m	-0,35 m	0,029
CoG (z axis)	-10,64 m	-11,15 m	0,046

rigging. Seluruh perlengkapan dan struktur pendukung diselesaikan sebelum *roll-up* dilakukan, termasuk mencakup semua pekerjaan permanen serta *temporary scaffolding* dan *erection aids* [5]. Makalah ini memaparkan hasil penelitian untuk analisis kekuatan struktur *jacket* dan reaksi-reaksi pada setiap tumpuannya selama proses *roll-up*. Selain itu juga analisis terkait konfigurasi *rigging* untuk melihat efisiensi maksimum pada *sling*, *shackle*, hingga *crane* yang digunakan. Analisis proses *roll-up* sangat menentukan keberhasilan dan efisiensi proses fabrikasinya.

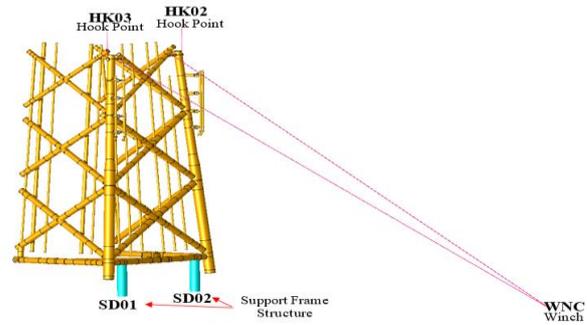
II. URAIAN PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

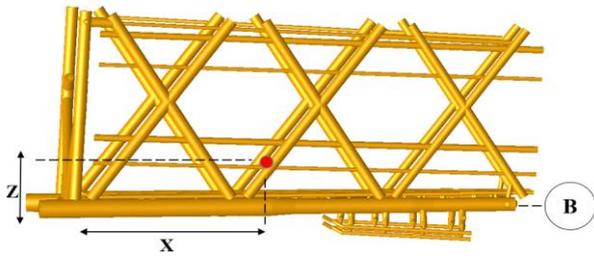
Data yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian ini berupa data dari struktur *jacket* yang digunakan, data *weight control report* (WCR), dan data komponen *rigging*. Struktur



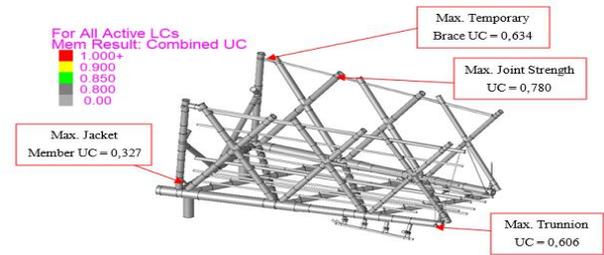
Gambar 2. Keseluruhan *jacket* hornsea II OSS.



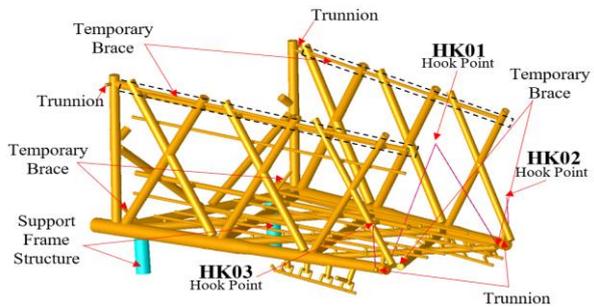
Gambar 6. Konfigurasi *roll-up angle* 70°-93,6°.



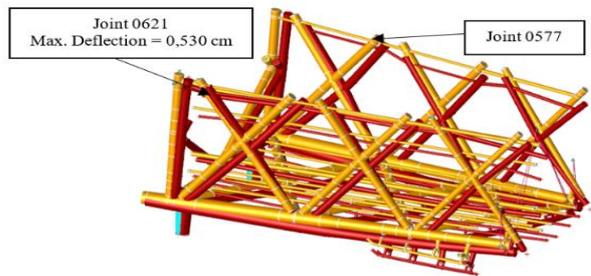
Gambar 3. Side view *jacket* hornsea II OSS dan letak cog dari row 5.



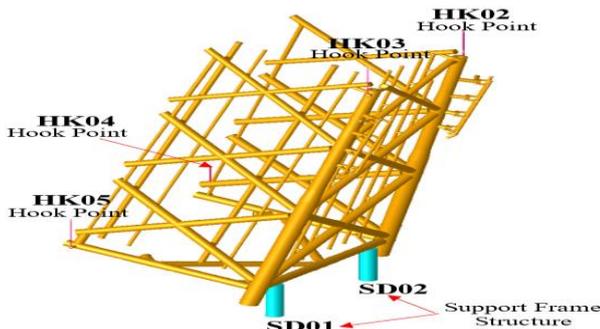
Gambar 7. Hasil analisis untuk *roll-up angle* 0°.



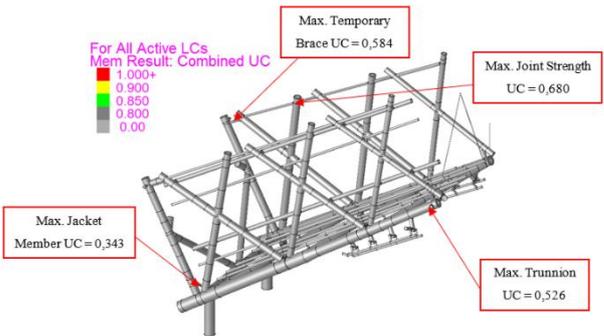
Gambar 4. Konfigurasi *roll-up angle* 0°-60°.



Gambar 8. *Deflected shape* untuk *roll-up angle* 0°.



Gambar 5. Konfigurasi *roll-up angle* 70°-90°.



Gambar 9. Hasil analisis untuk *roll-up angle* 30°.

yang dianalisis adalah struktur *jacket* Hornsea II OSS yang merupakan *Offshore Substation Platform* (OSS) untuk *wind turbine*. Struktur tersebut memiliki 6 kaki dengan *pile sleeve* di 4 kaki terluarnya. Data *weight control report* (WCR) digunakan sebagai pembandingan dari hasil pemodelan dengan struktur aslinya sebagai validasi berat dan letak CoG seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Data komponen *rigging* yang dibutuhkan untuk mendukung proses *roll-up* struktur *jacket* ini berupa *slings*, *shackles*, dan *cranes* yang ditunjukkan oleh Tabel 2.

B. Pemodelan Struktur Jacket Horsea II OSS

Pemodelan struktur menggunakan *software* SACS dengan model keseluruhan struktur *jacket* Hornsea II OSS seperti ditunjukkan oleh Gambar 2. Selanjutnya dibuat model potongan struktur pada row 5 *jacket* Hornsea II OSS (lihat Gambar 3) yang nantinya akan dianalisis kekuatannya selama

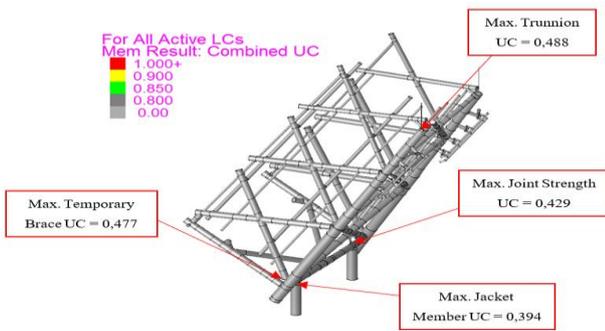
proses *roll-up*.

C. Validasi Model

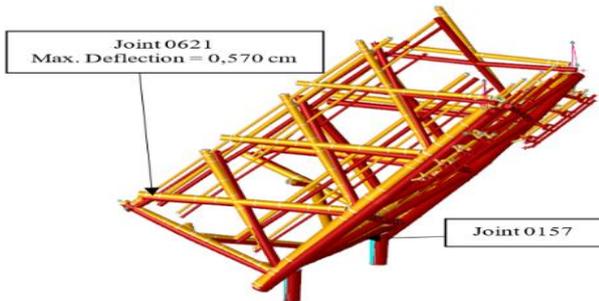
Model struktur *jacket* Hornsea II OSS divalidasi berat dan posisi CoG nya dengan kondisi struktur sebenarnya dari data WCR. Kriteria yang harus dipenuhi adalah perbedaan/*error* harus kurang dari 5%. Jika kriteria belum terpenuhi, maka harus dilakukan *weight adjustment* melalui pemodelan ulang. Hasil validasi untuk model keseluruhan struktur *jacket* ditunjukkan oleh Tabel 3. Sedangkan, validasi untuk model row 5 struktur *jacket* ditunjukkan oleh Tabel 4. Hasil validasi terhadap parameter berat dan CoG untuk kedua model struktur *jacket* menunjukkan sudah terpenuhinya kriterianya yaitu dengan *error* kurang dari 5%.

D. Penentuan Konfigurasi Roll-up

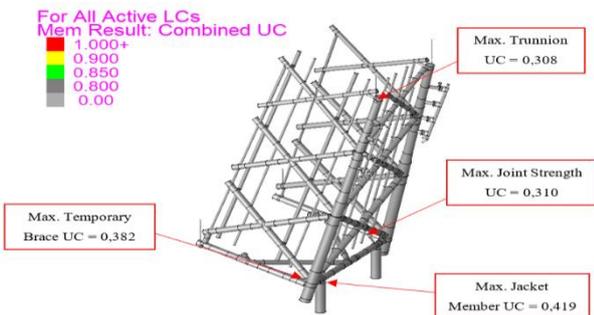
Penentuan konfigurasi *roll-up* meliputi penentuan komponen dan konfigurasi *rigging*, dimulai dari penentuan



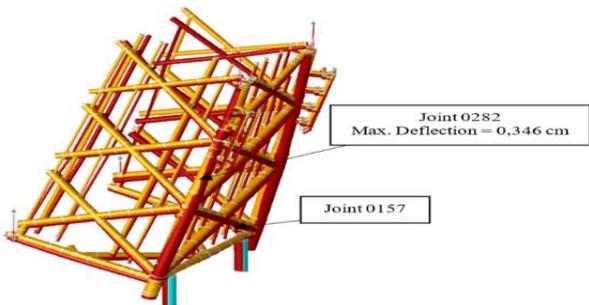
Gambar 11. Hasil analisis untuk roll-up angle 60°.



Gambar 12. Deflected shape untuk roll-up angle 60°.



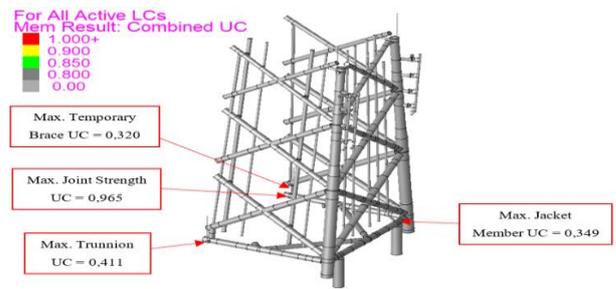
Gambar 13. Hasil analisis untuk roll-up angle 77°.



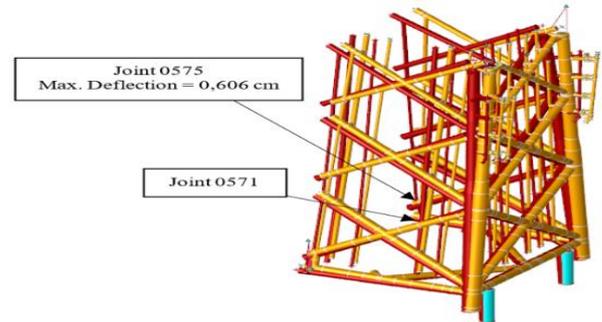
Gambar 14. Deflected shape untuk roll-up angle 77°.

jumlah dan lokasi *sling*, *shackle*, dan *crane* yang digunakan. Kemudian, menentu kan *temporary lifting aid structure* yaitu dari *trunnion* hingga *temporary brace*. Dan juga menentukan lokasi *support frame structure* yang disesuaikan dengan kondisi *fabrication yard*. Perencanaan konfigurasi ini juga diperhitungkan berdasarkan kondisi struktur *jacket* apakah dalam kondisi aman atau tidak dalam proses *roll-up* [6]. Konfigurasi untuk analisis *roll-up* pada kasus ini dibedakan menjadi 3, sesuai dengan kebutuhan *rigging* untuk setiap *roll-up angle* nya.

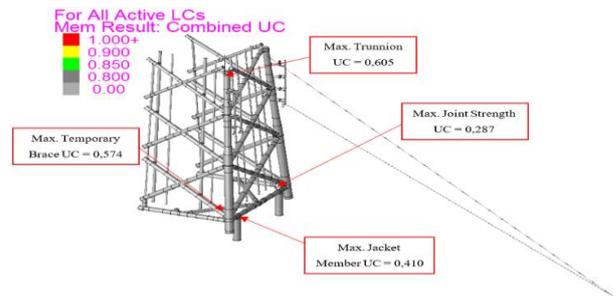
Untuk *roll-up angle* 0°-60° digunakan 3 *hook point*, dan 3 *crane*. Pada *hook point* 1 (HK01) terpasang 2 *sling* yang terhubung langsung pada *temporary structure*. Untuk *hook point* 2 (HK02) terdiri dari 1 *sling* yang terhubung ke *trunnion* sebagai titik hubungannya. Sedangkan untuk *hook po*



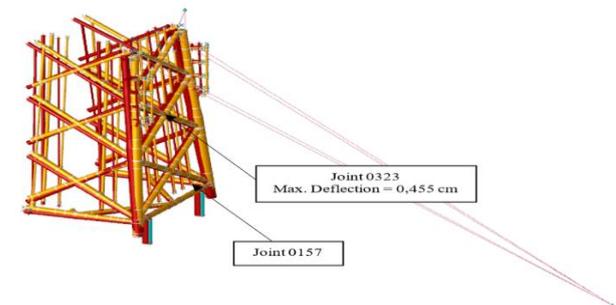
Gambar 15. Hasil analisis untuk roll-up angle 90°.



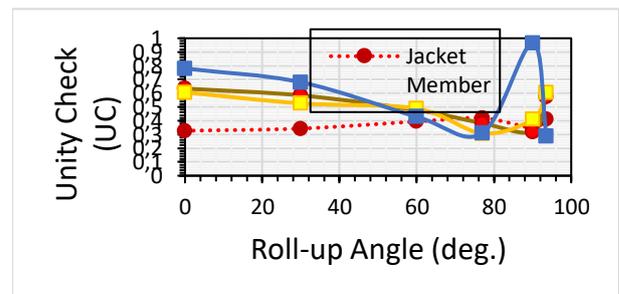
Gambar 16. Deflected shape untuk roll-up angle 90°.



Gambar 17. Hasil analisis untuk roll-up angle 93,6°.



Gambar 18. Deflected shape untuk roll-up angle 93,6°.



Gambar 19. Ringkasan hasil analisis roll-up.

int 3 (HK03) terdiri da ri 1 *sling* yang langsung terhubung ke *trunnion* sebagai titik hubungannya. Konfigurasi ini ditunjukkan oleh Gambar 4.

Untuk *roll-up angle* 70°-90° digunakan 4 *hook point*, sehingga ada penambahan *hook point* dan pada *hook point* 1

Tabel 4.
Validasi Row 5 Struktur Jacket Hornsea II OSS

Description	WCR	SACS	Difference [%]
Weight	1385,50 [mT]	1361,44 [mT]	1,74
CoG (x axis)	22,21 m	23,00 m	0,034
CoG (y axis)	14,96 m	14,86 m	0,0067
CoG (z axis)	5,04 m	4,86 m	0,037

Tabel 5.
Maximum Joint Deflection akibat Proses Roll-up

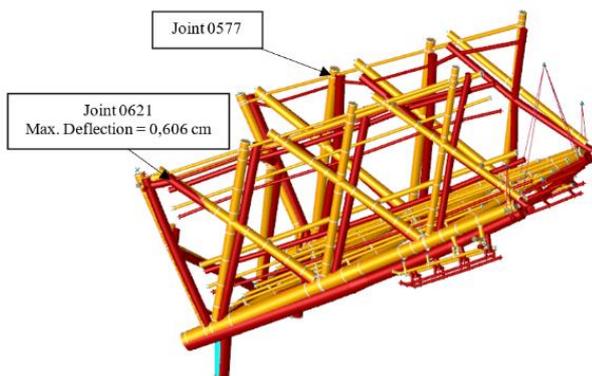
Joint ID	Deflection (cm)	Allowable Deflection (cm)	Roll-up Angle (deg.)	Remarks
621	0,606	1,170	30	OK
575	0,606	1,170	90	OK

Tabel 6.
Maximum Static Sling Tension untuk SL01, SL02, dan SL03

Roll-up Angle (deg.)	Static Sling Reaction		
	HK01 (600T)		HK02 (650T)
	SL01 MT	SL02 MT	SL03 MT
0	91,28	84,03	218,95
30	79,57	72,46	195,72
60	0,00	0,00	192,80
77	0,00	0,00	121,08
90	0,00	0,00	114,51
93,6	0,00	0,00	216,12

Tabel 7.
Maximum Static Sling Tension untuk SL04, SL05, dan SL06

Roll-up Angle (deg.)	Static Sling Reaction		
	HK3 (650T)	HK4 (600T)	HK5 (250T)
	SL04 MT	SL05 MT	SL06 MT
0	242,84	0,00	0,00
30	210,55	0,00	0,00
60	195,25	0,00	0,00
77	123,44	38,01	65,55
90	107,72	117,46	175,36
93,6	242,33	0,00	0,00



Gambar 10. Deflected Shape untuk Roll-up Angle 30°.

(HK01) dihilangkan untuk konfigurasi ini. Pada hook point 2 (HK02) terdiri dari 1 sling yang terhubung ke trunnion. Sedangkan untuk hook point 3 (HK03) terdiri dari 1 sling yang juga terhubung ke trunnion. Untuk penambahan hook point yaitu hook point 4 (HK04) dan hook point 5 (HK05) masing-masing terdiri dari 1 sling yang langsung terhubung ke trunnion. Konfigurasi ini ditunjukkan oleh Gambar 5.

Sementara itu untuk roll-up angle 93,6° digunakan 2 hook point, yaitu hook point 2 (HK02) dengan 1 sling yang terhubung ke trunnion dan hook point 3 (HK03) terdiri dari 1 sling yang juga terhubung ke trunnion. Sedangkan hook point pada konfigurasi sebelumnya dihilangkan tetapi ditambahkan winch sebagai penahan struktur jacket pada

Tabel 8.
Maximum Static Sling Tension untuk SL01, SL02, dan SL03

Description	SWL [MT]	Design Load [MT]	Efficiency (%)
Rigging on QUY 650 Crane Ø115 mm Wire Sling Flemish Eye Kiswire	180	242,84	39,68
Rigging on TEREX CC2800 Crane Ø78 Cable Laid grommet Kiswire	116,5	91,28	47,71
Ø78 Cable Laid grommet Kiswire	116,5	91,28	95,42
Ø78 Cable Laid grommet Kiswire	116,5	175,36	44,27
Rigging on CKE2500 Crane Ø78 Cable Laid grommet Kiswire	116,5	178,35	45,03
Rigging on Hold Back System Ø80mm Wire Sling	85	76,96	50,86
Ø80mm Wire Sling	85	76,96	50,86
Ø80mm Wire Sling	85	76,96	50,86
Ø86mm Wire Sling Flemish Eye	75	76,96	43,74
Ø74mm Wire Sling Soft & Thimble Eye	67	76,96	59,40
Ø78mm Cable Laid Grommet	116,5	76,96	54,41
Ø32mm Wire Rope	19,03	11,32	61,07
Crosby Bolt Type Shackle	120	76,96	64,13

Tabel 9.
Kapasitas Crane untuk Setiap Sudut Roll-up.

Roll-up Angle	TEREX CC2800 (HK01)	QUY 650 (HK02)	QUY 650 (HK03)	SANY 250 (HK04)	TEREX CC2800 (HK05)
Efficiency (%)	Efficiency (%)	Efficiency (%)	Efficiency (%)	Efficiency (%)	Efficiency (%)
0	80,10	80,32	91,5	-	-
30	70,45	72,26	79,93	-	-
60	-	71,24	74,44	-	-
77	-	46,36	48,71	34,54	38,14
90	-	44,08	43,08	99,18	89,98
93,6	-	76,33	95,35	-	-

kondisi vertikalnya yang terhubung ke temporary brace. Untuk konfigurasi ini ditunjukkan oleh Gambar 6.

E. Analisis Roll-up

Analisis roll-up dilakukan dengan memvariasikan roll-up angle yaitu 0°, 30°, 60°, 77°, 90°, 93,6°. Analisis roll-up ini bertujuan untuk mengetahui beban, tegangan dan reaksi maksimum dari sling, crane hook, support frame structure, maupun respon struktur row 5 jacket Hornsea II OSS yang disebabkan oleh proses roll-up. Analisis roll-up dipengaruhi oleh beban mati yang meliputi struktur permanen dan struktur sementara. Struktur permanen ini merupakan komponen/bagian struktur yang tidak berubah terhadap moda operasi seperti jacket, deck, grating, piping, boatlanding, anode, dan lain-lain. Sedangkan struktur sementara terdiri dari trunnion dan temporary brace [7].

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisis Kekuatan dan Joint Strength

Keseluruhan member struktur jacket dilakukan analisis untuk dicek kekuatan struktur (UC) dan joint strength.

Tabel 10.

Support Reaction Summary Akibat Proses *Roll-up* pada Saddle 1

Roll-up Angle (deg.)	Saddle 1		
	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
0	-75,64	-645,78	3.812,77
30	-64,25	-593,74	4.193,34
60	0,00	-601,54	5.075,35
77	0,00	-603,02	5.071,70
90	0,00	-459,79	4.077,38
93,6	-663,32	-517,55	5.194,32

Analisis menggunakan *software* SACS dan digunakan faktor LRFD sebesar 1,3 sebagai faktor beban untuk keamanan dari kekuatan struktur, *joint strength* (*punching shear*), dan hasil reaksi-reaksi tumpuan yang terjadi.

Analisis untuk posisi 0°, menghasilkan *unity check* (UC) maksimum pada bagian *temporary brace* akibat *bending* dengan UC = 0,634 seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Sementara itu *joint deflection* dari struktur *jacket* ditunjukkan pada Gambar 8. Sedangkan untuk *joint strength*, UC maksimumnya sebesar 0,780 yang juga terjadi pada *temporary brace* dengan dimensi kecil yang tersambung pada *member diagonal* dari struktur *jacket*. Hal ini karena terjadi *bending* pada *temporary member* tersebut.

Untuk analisis 30°, didapatkan UC maksimum pada bagian *temporary brace* akibat *bending* dengan UC = 0,584 seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Sedangkan untuk *joint deflection* dari struktur *jacket* ditunjukkan pada Gambar 10. Untuk *unity check* maksimum pada *joint strength*, yaitu 0,680 yang juga terjadi pada *temporary brace* dengan dimensi kecil yang tersambung pada *member diagonal* dari struktur *jacket*. Hal ini karena terjadi *bending* pada *temporary member* tersebut.

Untuk analisis 60°, diperoleh *unity check* (UC) maksimum pada bagian *trunnion* akibat *shear* atau gaya geser yang terjadi pada *member trunnion* dengan UC = 0,488 ditunjukkan pada Gambar 11. Sementara itu *joint deflection* dari struktur *jacket* ditunjukkan pada Gambar 12. Sedangkan untuk *joint strength*, UC maksimum yaitu 0,429 yang terjadi pada *member temporary brace* dengan dimensi kecil yang tersambung pada *member diagonal* dari struktur *jacket*.

Untuk analisis 77°, menghasilkan *unity check* (UC) maksimum pada bagian *jacket member* akibat beban terpusat pada tumpuan sehingga beban yang diterima oleh *jacket member* lebih besar dibandingkan dengan bagian yang lain dengan UC = 0,419 ditunjukkan pada Gambar 13. Sementara itu *joint deflection* ditunjukkan pada Gambar 14. Sedangkan untuk *joint strength*, UC maksimum yaitu 0,310 yang terjadi pada *temporary brace* dengan dimensi kecil yang tersambung pada *member diagonal* dari struktur *jacket*.

Untuk analisis 90°, didapatkan *unity check* (UC) maksimum pada bagian *trunnion* akibat *shear* atau gaya geser yang terjadi dengan UC 0,411 ditunjukkan pada Gambar 15. Sedangkan *joint deflection* dari struktur *jacket* ditunjukkan pada Gambar 16. Sementara itu untuk *joint strength*, UC maksimum yaitu 0,965 yang terjadi pada *trunnion* dengan dimensi kecil yang tersambung pada *member diagonal* dari struktur *jacket*.

Untuk analisis 93,6°, diperoleh UC maksimum pada bagian *trunnion* akibat *shear* atau gaya geser yang terjadi dengan UC = 0,605 ditunjukkan pada Gambar 17. Sementara itu *joint deflection* dari struktur *jacket* ditunjukkan pada

Tabel 11.

Support Reaction Summary akibat Proses *Roll-up* pada Saddle 2

Roll-up Angle (deg.)	Saddle 2		
	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
0	75,64	611,98	3.497,77
30	64,25	560,59	3.862,22
60	0,00	601,54	4.470,07
77	0,00	603,02	4.867,11
90	0,00	459,79	4.223,81
93,6	-561,96	643,95	4.331,08

Gambar 18. Sedangkan untuk *joint strength*, UC maksimum yaitu 0,287 yang terjadi pada *temporary brace* dengan dimensi kecil yang tersambung pada *member diagonal* dari struktur *jacket*.

Gambar 19 menunjukkan ringkasan hasil analisis untuk *member* dan *joint strength* pada *jacket*. *Member* UC maksimum terjadi pada *temporary brace* dengan sudut *roll-up* 0° dan *joint strength* UC terjadi pada sudut *roll-up* 90°. Kenaikan dan penurunan hasil UC dipengaruhi oleh konfigurasi dan distribusi beban selama proses *roll-up*.

Tabel 5 menunjukkan ringkasan *joint deflection* maksimum selama proses *roll-up* struktur *jacket*, di mana maksimum *deflection* adalah 0,606 cm yang terjadi pada dua *joint* yaitu 0621 dan 0575 untuk sudut *roll-up* 30° dan 90°. Untuk defleksi yang terjadi masih di bawah dari *allowable deflection* sehingga defleksi maksimum yang terjadi akibat proses *roll-up* ini masih aman karena masih di bawah kriteria desain untuk defleksi yang terjadi.

B. Maksimum Static Sling Tension

Dari analisis pada proses *roll-up*, didapatkan hasil analisis berupa *static sling tension* untuk setiap reaksi pada *hook point* dan untuk setiap slingnya dari variasi sudut 0° sampai posisi tegaknya yaitu 93,6°. Hasil analisis untuk SL01, SL02 dan SL03 ditunjukkan oleh Tabel 6, sedangkan untuk SL04 SL05 dan SL06 ditunjukkan oleh Tabel 7.

Pada *winch* hanya terjadi pada sudut *roll-up* 93,6° yang terdiri dari 2 *sling* yaitu SL07 dan SL08. Untuk *sling* yang terjadi pada *winch* memiliki *tension* yaitu 76,96 MT untuk SL07 dan 67,67 MT untuk SL08. Dari analisis *static sling tension* diperoleh *tension* maksimum adalah 2.381,57 kN atau 242,84 MT pada SL04 di *hook point* 3 dengan kapasitas *crane* maksimum 650 T.

C. Rigging Check

Penentuan *rigging equipment* yang tepat ditentukan berdasarkan berat dan CoG dari struktur yang digunakan untuk proses *roll-up* [8]. *Rigging equipment* dilakukan pengecekan dengan melakukan perhitungan kapasitas dari *sling* maupun *shackel* terhadap *static sling tension* yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan SACS. Untuk meningkatkan keselamatan dalam perencanaan perlu adanya desain faktor dalam menentukan kapasitas *rigging equipment*. *Rigging equipment* yang didesain harus mempertimbangkan efisiensi yang optimal karena berkaitan untuk menghemat biaya fabrikasi [9]. Untuk mendukung proses *roll-up* ini digunakan 29 *sling* dan 14 *shackel* yang ditunjukkan oleh Tabel 8. Dari analisis *rigging* didapatkan maksimum efisiensi terjadi pada *cable laid grommet* (Ø78 mm) dengan efisiensi sebesar 95,42%. Sedangkan untuk *shackel* diperoleh efisiensi maksimum yaitu 64,13%.

D. Support Reaction akibat Roll-up

Reaksi dari *support frame structure* akibat proses *roll-up* untuk variasi setiap *roll-up angle* nya ditunjukkan pada Tabel 10, untuk *saddle 1* dan Tabel 11, untuk *saddle 2*. Didapatkan reaksi maksimum dari kedua *support frame structure* tersebut terjadi pada *saddle 1* yaitu 5.194,32 kN atau 529,67 MT dengan *roll-up angle* 93,6°.

E. Crane Check

Perhitungan kapasitas *crane* dipengaruhi oleh lokasi, struktur, persyaratan kontingensi, dan lainnya, untuk melihat efisiensi yang terjadi setiap *crane*. Konfigurasi dan jumlah *crane* yang digunakan berbeda-beda, penentuan ditentukan berdasarkan *roll-up angle*, beban yang diangkat, hingga ketersediaan *crane*. Kapasitas *crane* untuk setiap sudut *roll-up*nya ditunjukkan oleh Tabel 9.

Dari perhitungan didapatkan kapasitas *crane* pada *roll up angle* 0° – 30° efisiensi maksimum terjadi pada *hook point 03* (QUY 650) yaitu sebesar 91,5 %. Pada *roll-up angle* 60° efisiensi maksimum terjadi pada *hook point 03* (QUY 650) yaitu sebesar 74,4 %. Pada *roll-up angle* 77° – 93,6° efisiensi maksimum terjadi pada *hook point 03* (QUY 650) yaitu sebesar 99,18 % yang terjadi pada *roll-up angle* 90°.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hasil analisis perhitungan kekuatan struktur *jacket* pada proses *roll-up* masih memenuhi kriteria desain sehingga tidak mengalami kegagalan selama proses *roll-up* struktur *jacket row 5*. Dengan *unity check* maksimum adalah 0,634, yaitu pada *temporary brace* yang terjadi pada *roll-up angle* 0°, sedangkan *unity check* untuk *joint strength* maksimumnya adalah 0,965, yaitu pada *joint 0571* yang terjadi pada *roll-up angle* 90°. Reaksi maksimum yang diperoleh akibat dari proses *roll-up* pada *support frame structure* adalah 5.194,32 kN atau 529,67 MT yang terjadi pada *saddle 1* yang terjadi pada *roll-up angle* 93,6°. Pada perhitungan konfigurasi *rigging* juga tidak ada yang melebihi dari batas kriteria

desainnya, sehingga proses *roll-up* dengan konfigurasi yang sudah ditentukan dapat digunakan secara aman. Konfigurasi yang sudah ditentukan menggunakan 29 *sling*, 14 *shackel*, dan 4 *crane* untuk mendukung proses *roll-up* ini. Diperoleh efisiensi maksimum untuk *sling* yang digunakan sebesar 95,42% yaitu pada *cable laid grommet* (Ø78 mm). Untuk *shackel* diperoleh efisiensi maksimum sebesar 64.13% dengan menggunakan *Crosby Bolt type shackel*. Sedangkan untuk *crane*, efisiensi maksimum diperoleh sebesar 99,18% yang terjadi pada *hook point 03* (QUY 650) pada variasi sudut *roll-up* 90°.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Bai, *Marine Structural Design*, 2nd ed. United Kingdom: Elsevier, 2003.
- [2] K. A. Hafez and M. M. Ismaiel, "A novel rational scenario for the post-construction phases following all-ground construction of an offshore platform," *Ships Offshore Struct.*, vol. 8, no. 2, pp. 200–213, 2013, doi: 10.1080/17445302.2012.684282.
- [3] B. C. Gerwick Jr, *Construction of Marine and Offshore Structures*, 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. doi: 10.1201/9780849330520.
- [4] L. Liang, "Heavy Lift Installation Study of Offshore Structures," Department of Civil Engineering, National University of Singapore, 2005.
- [5] P. B. G. JF and Loubser, "Jacket fabrication and construction support," *Civ. Eng.*, vol. 1991, no. 9, pp. 357–359, 1991, doi: 10520/AJA10212019_17933.
- [6] R. Mahardi, Y. S. Hadiwidodo, and R. W. Prastianto, "Analisis pengaruh pergerakan barge terhadap pergerakan struktur riser support jacket pada proses lifting tahap instalasi," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, pp. G58–G64, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.66967.
- [7] A. A. Al-Sharir, "Design, fabrication and installation of fixed offshore platforms in the Arabian Gulf," *Sci. Publ. Cent.*, vol. 2, no. 1, p. 7, 1995.
- [8] K. A. Hafez and M. M. Ismael, "Practical investigation of a monopod fabrication method and the numerical investigation of its up-righting process," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 431–453, 2013, doi: 10.2478/IJNAOE-2013-0144.
- [9] R. Y. G. Kautsar, R. W. Prastianto, M. J. Rifqy, and R. F. Farhana, "Analysis of a Lower Deck Rigging Configuration and Reusable Padeye Design based on Finite Element Model for Improving Stacking Operation Efficiency," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 1081, no. 1, p. 12043. doi: 10.1088/1755-1315/1081/1/012043.