

SIMULASI NUMERIK DESAIN CRADDLE DECK DERMAGA KAPAL 150 GT

M. Sholikhhan Arif¹⁾ ✉, Heri Supomo¹⁾, Triwilaswandio W. Pribadi¹⁾, Sufian Imam Wahidi¹⁾, Rizky Chandra Ariesta¹⁾

Sri Rejeki Wahyu Pribadi¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
sufian@na.its.ac.id
chandra@its.ac.id
sri-rejeki@na.its.ac.id

Abstract

Cradle is a lifting tool used to transport ships. The innovation of the cradle design as a deck tool for transporting ships to the dock is a breakthrough to simplify the transportation process. Of course, in the design process, a method is needed to get a design that meets the standard. Numerical simulation is a method that is applied to determine the stress that occurs in the cradle when it is subjected to a load. The workload is a ship transported with the assumption that the load is evenly distributed along with the cradle. The design acceptance criteria were chosen based on the ability of the cradle structure to withstand axial and transverse loads. The standard code as a reference uses the allowable stress criteria from the Indonesian Classification Bureau (BKI) in each local stress. Based on the simulation results, it is found that the sluggishness of the planned cradle design is able to withstand the workload so that the cradle design is feasible to be applied to the operational process.

Keywords: Cradle, Design, Ship, Dock, Stress, BKI, Sluggishness.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia akan transportasi laut selalu meningkat seiring dengan berjalannya waktu. Kebanyakan barang-barang dari produsen menuju konsumen didistribusikan melalui transportasi laut terutama kapal. Hal ini dikarenakan transportasi laut merupakan metode transportasi yang paling murah dibandingkan dengan metode transportasi lainnya^[1]. Kapal merupakan faktor penting yang mendukung distribusi barang dan menjadi alat transportasi antar daerah di Indonesia untuk memenuhi desain operabilitas dan ketahanan struktur akibat kelelahan^[2]. Untuk menjaga kelancaran dari hal tersebut, maka kapal harus berada pada performa yang optimal untuk memastikan kelancaran maupun keselamatan bagi kapal dan krunya^[3,4].

Performa kapal akan selalu menurun seiring berjalannya waktu akibat faktor luar ketika kapal beroperasi. Guna menjaga performa kapal agar tetap memenuhi standar yang ada, kapal menjalani proses perawatan dan reparasi yang rutin. Kapal melaksanakan reparasi pada galangan reparasi kapal. Di Indonesia terdapat lebih dari 250 galangan kapal dengan kapasitas reparasi kapal hingga 12 juta DWT per tahun^[5].

Corresponding Author:

✉ M. Sholikhhan Arif

Received on: 2021-12-12

Revised on: 2022-05-29

Accepted on: 2022-11-27

Proses reparasi kapal mencakup berbagai macam hal yang terkadang membutuhkan sebuah kapal untuk dinaikkan ke dok kering agar dapat melaksanakan reparasi bagian kapal yang berada di bawah garis air. Proses menaikkan kapal ke dok kering ini dapat disebut dengan proses *docking*. Perancangan struktur tersebut membutuhkan analisis desain sebelum proses manufaktur untuk memperoleh data kekuatan struktur sebelum diproduksi [6].

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan analisis dalam bentuk simulasi numerik untuk memperoleh karakteristik tegangan dan deformasi pada struktur desain *cradle deck*. Simulasi dilakukan dengan bantuan *finite element analysis* (FEA) untuk memprediksi tegangan dan deformasi [7-9]. Desain *lifting dock* modular dengan menggunakan material yang ada di pasar sebenarnya layak secara teknis dan menentukan kelayakan kemampuan *lifting dock* dalam menahan beban operasionalnya.

2. METODE DAN BAHAN

Dalam pengerjaan penelitian ini diperlukan beberapa data untuk menunjang perencanaan dan desain *Platform lifting dock* ini. Data yang diperlukan adalah data populasi kapal 150 GT, spesifikasi teknis kapal 150 GT, dan spesifikasi teknis. Berdasarkan data-data tersebut, dibuatlah konsep desain *lifting dock* yang dapat memenuhi teknis pengedokan kapal 150 GT. Selain itu dilakukan juga studi operasional dari konsep tersebut agar konsep desain yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan. Analisis pembangunan *self propeller floating dock* sebelumnya telah dilakukan untuk reparasi kapal ikan 150 GT di kawasan Indonesia Timur [10].

2.1. Teknis *Platform Lifting Dock* berbasis Motor Listrik

Setelah konsep desain selesai, dilakukan perhitungan teknis terhadap konsep desain tersebut. Perhitungan teknis disesuaikan dengan peraturan yang ada dan dibuat sesuai dengan konsep desain. Perhitungan ini dilakukan dengan cara menggunakan metode elemen hingga [11, 12], dengan menggunakan perangkat lunak. Pemodelan desain awal, diuji dengan proses konvergensi lalu diuji sesuai dengan kondisi dan beban yang diterima. Apabila tidak memenuhi, maka dilakukan revisi desain dan pengujian ulang hingga diperoleh hasil yang memuaskan.

2.2. Data Ukuran Utama Kapal Ikan 150 GT

Dalam perancangan desain *lifting dock* berbasis motor listrik, hal yang perlu dilakukan terlebih dahulu adalah menentukan ukuran utama dari *platform lifting dock*. Penentuan ukuran utama dilakukan dengan membandingkan ukuran utama kapal ikan dengan kapasitas 150 GT. Ukuran utama kapal ikan diperoleh dari hasil pengumpulan data kapal-kapal pembanding yang diperoleh. Kapal pembanding yang digunakan adalah 30 data kapal ikan yang dimiliki oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) [13]. Data-data kapal ikan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data kapal 150 GT.[12]

NO	NAMA KAPAL	GT (ton)	NT (ton)	Lpp (m)	B (m)	H (m)	T (m)
1	Fak Fak Jaya - 08	48	15	21.15	5.32	2.46	1.86
2	Fak Fak Jaya - 18	46	14	20.58	5.00	2.44	1.84
3	Helsinki	99	56	24.05	4.65	2.17	1.57
4	Inka Mina - 275	33	0	20.00	4.00	2.60	2.00

NO	NAMA KAPAL	GT (ton)	NT (ton)	Lpp (m)	B (m)	H (m)	T (m)
5	Inka Mina - 276	33	0	20.00	4.00	2.60	2.00
6	Inka Mina - 278	33	10	20.00	4.00	2.60	2.00
7	Inka Mina - 279	33	0	20.00	4.00	2.60	2.00
8	Inka Mina - 280	33	10	20.00	4.00	2.60	2.00
9	Inka Mina - 282	33	0	20.00	4.00	2.60	2.00
10	Inka Mina - 283	33	10	20.00	4.00	2.60	2.00
11	Inka Mina - 285	33	0	20.00	4.00	2.60	2.00
12	Inka Mina - 286	33	0	20.00	4.00	2.60	2.00
13	Inka Mina - 505	50	15	24.85	5.22	2.50	1.90
14	Inka Mina - 518	37	0	20.00	4.00	2.60	2.00
15	Inka Mina - 524	37	0	20.00	4.00	2.60	2.00
16	Inka Mina - 540	37	0	20.00	4.00	2.60	2.00
17	Inka Mina - 711	30	9	19.00	4.30	2.20	1.60
18	Inka Mina - 773	32	10	18.00	4.00	2.60	2.00
19	Inka Mina - 777	35	11	20.00	4.00	2.60	2.00
20	Metro 06	35	11	23.00	4.70	2.30	1.70
21	Mina Kencana - 09	98	44	29.15	6.50	3.10	2.50
22	Nelayan Jaya - 168	88	27	22.87	6.65	2.75	2.15
23	Nusantara - V	88	52	23.79	6.46	3.18	2.58
24	POF - 18	96	29	23.80	6.50	2.95	2.35
25	Sahabat	45	27	22.60	6.35	2.15	1.55
26	Samudera Jaya Raya 3	58	18	19.98	5.62	2.65	2.05
27	Sempurna - III	47	15	22.10	5.95	2.35	1.75
28	Sentosa - IV	138	82	23.92	6.49	2.34	1.74
29	Tenggiri - 6	35	0	19.00	4.00	2.60	2.00
30	Ulang Ulie - IX	34	20	19.10	4.60	1.95	1.35
	Max Measurement	138	82	29.15	6.65	3.18	2.58

Dari data kapal-kapal tersebut diambil ukuran utama terbesar sebagai referensi ukuran utama dari *platform lifting dock* yang didesain. Ukuran utama kapal yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut:

Lpp : 29,15 m
 B : 6,65 m
 H : 3,18 m

T : 2.58 m

Selain dari data kapal-kapal pembanding diatas, terdapat data untuk *Fishing Vessel* 150 GT milik PT. IKI. Kapal tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Lpp : 23,65 m

B : 7 m

H : 3,35 m

T : 2,75 m (*Full Load*)

T : 1,038 m (*Empty Load*)

LWT : 108,710 ton

DWT : 6.965 ton (*Empty Load*)

Dikarenakan data *Fishing Vessel* 150 GT milik PT. IKI memiliki data yang lebih lengkap, maka selanjutnya akan digunakan sebagai sampel kapal 150 GT yang digunakan dalam perhitungan.

2.3. Data LWT dan DWT Kapal 150 GT

Dari data yang diperoleh dilakukan perhitungan LWT dan persebaran DWT kapal 150 GT. Hal ini dilakukan untuk mengetahui komponen berat pada kapal dan juga titik berat serta persebaran berat dari masing-masing komponen tersebut. Data ini nantinya akan digunakan untuk menghitung pembebanan pada *keel block* dan *side block* kapal. Setelah dilakukan perhitungan pada kondisi kapal kosong, diperoleh persebaran beban LWT dan DWT kapal 150 GT seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Persebaran beban LWT dan DWT kapal 150 GT ^[10].

PERHITUNGAN PEMBEBANAN						
KOMPONEN BERAT	KUANTITAS (Persen)	BERAT/ KOMPONEN (ton)	JARAK <i>SIDE</i> <i>BLOCK</i>		2	m DARI CL
			TOTAL BERAT (ton)	TCG (m)	BEBAN PADA	BEBAN PADA
				Dari CL	<i>Keel</i> <i>Block</i>	<i>Side</i> <i>Block</i>
Lightship	100	105,7	105,7	0	89,845	15,855
FWT	10,643	4,475	0,476	0	0,476	0
FOT No 1 (P)	6,463	5,974	0,386	- 0,453	0,299	0,087
FOT No 1 (S)	6,463	5,974	0,386	0,453	0,299	0,087
FOT No 2 (P)	5,067	11,2	0,568	- 0,649	0,383	0,184
FOT No 2 (S)	5,067	11,2	0,568	0,649	0,383	0,184
<i>Sewage Tank</i>	10	2,532	0,253	- 1,008	0,126	0,128
<i>Bilge</i>	10	3,6	0,36	0,897	0,199	0,161
<i>Daily fuel oil 1</i>	100	0,861	0,861	- 2,654	0	0,861
<i>Daily fuel oil 2</i>	100	0,907	0,907	-0,9	0,499	0,408
<i>Lubricant Oi Tank</i>	100	1,189	1,189	- 0,717	0,763	0,426

PERHITUNGAN PEMBEBANAN						
KOMPONEN BERAT	KUANTITAS (Persen)	BERAT/ KOMPONEN (ton)	JARAK <i>SIDE</i> <i>BLOCK</i>		2	m DARI CL
			TOTAL BERAT (ton)	TCG (m)	BEBAN PADA	BEBAN PADA
				Dari CL	<i>Keel</i> <i>Block</i>	<i>Side</i> <i>Block</i>
<i>Diesel Oil Tank</i>	9,817	1,085	0,107	0,447	0,083	0,024
<i>Ballast (P)</i>	0	20,94	0	-0,1	0	0
<i>Ballast (S)</i>	0	20,944	0	0,099	0	0
<i>Fresh Water (P)</i>	9,332	4,846	0,452	- 2,077	0	0,452
<i>Fresh Water (S)</i>	9,332	4,846	0,452	2,077	0	0,452
<i>Cargo Hold 1</i>	0	43,739	0	0	0	0
<i>Cargo Hold 2</i>	0	41,839	0	0	0	0
<i>Main engine Yanmar 6 AYM-ETE</i>	100	2,365	2,365	0	2,365	0
<i>Marine Gearbox Yanmar YXH-240</i>	100	0,645	0,645	0	0,645	0
Pembebanan Total			115,675		96,364	19,311

2.4. Metode Elemen Hingga

Tahapan proses analisis dilakukan sesuai tahapan prosedur yang dijelaskan oleh Logan pada buku ^[14], yaitu sebagai berikut:

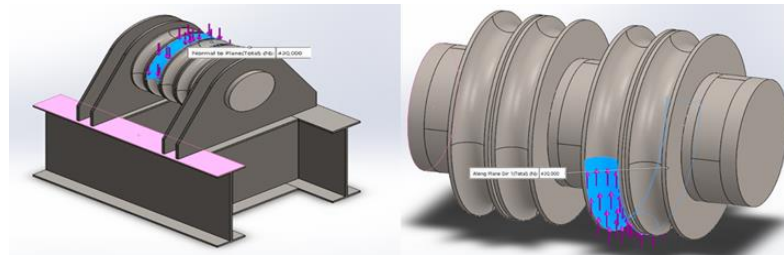
- Proses simulasi model dilakukan dengan pemodelan 3D *software* dengan bantuan perangkat lunak computer aided (CAD)
- Menentukan gaya-gaya dan kondisi batas pada model struktur
- Melakukan pemilihan elemen dan uji konvergensi ^[15]
- Mengevaluasi hasil tegangan dan deformasi
- Melakukan pengolahan data
- Verifikasi hasil kekuatan struktur dengan rules.

Beberapa tahapan tersebut secara umum memberikan kemudahan dalam proses analisis kekuatan pada simulasi desain struktur pada umumnya.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Lifting Unit

Konsep lifting unit sebelumnya, terdapat 3 komponen utama pada *lifting unit* yaitu sistem katrol, pengunci platform samping, dan *winch*. Pada analisa ini akan dilakukan pengujian pada sistem katrol dan pengunci samping. Untuk sistem katrol akan dilakukan pengujian pada katrol bagian atas dan bagian bawah dengan kondisi terbesar yang akan diterima katrol tersebut yaitu pada kondisi 4.



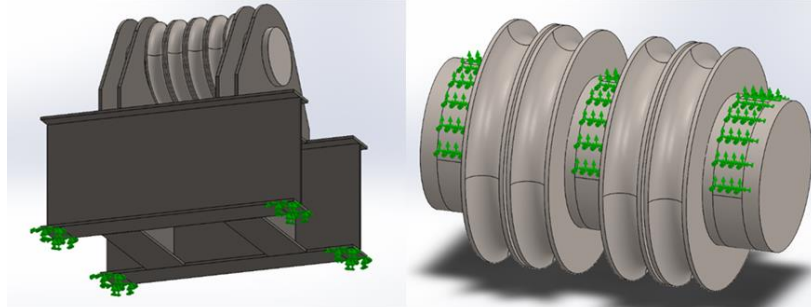
Gambar 1. Contoh pembebanan pengujian katrol.

Sebelum melakukan pengujian, dilakukan perhitungan pembebanan pada masing-masing katrol. Perhitungan tersebut dilakukan dengan pertimbangan gaya gesek yang terjadi pada katrol sesuai dengan arahan dari *rules* [16]. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3, perhitungan dilakukan dengan cara menentukan terlebih dahulu *layout* katrol, kemudian dilakukan perhitungan keuntungan mekanis pada sistem tersebut dan akan diperoleh beban masing-masing komponen dengan contoh pembebanan seperti pada Gambar 1.

Tabel 3: Perhitungan beban katrol.

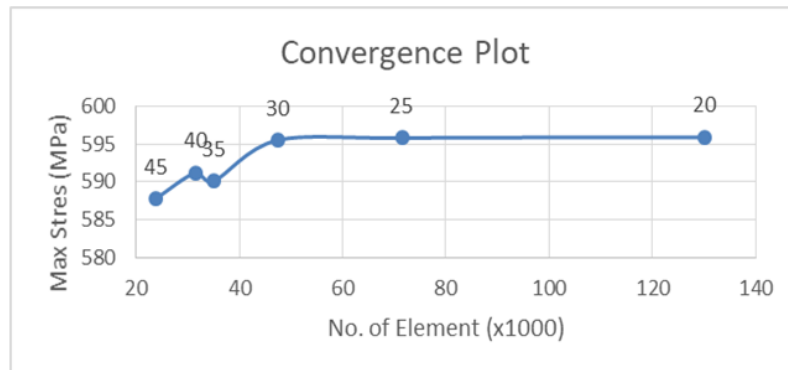
PERHITUNGAN BEBAN KATROL			
Beban pada Sistem Katrol			
Beban		2000 kN	
Jumlah Tali		8	
Gaya Gesek		5%	
Efisiensi		0,95	
TALI KE-	EFISIENSI	BEBAN (kN)	BEBAN/KATROL (kN)
2	0,95	297,106	579,357
3	0,9025	282,251	
4	0,857375	268,138	522,87
5	0,814506	254,731	
6	0,773781	241,995	471,89
7	0,735092	229,895	
8	0,698337	218,4	425,881
9	0,66342	207,48	
MA	6,395012	2000	2000
Kapasitas Winch Minimal		312.7438 kN	

Setelah itu dilakukan penentuan kondisi batas untuk masing-masing model. Berdasarkan kondisi ketika operasional, kon kondisi batas dari katrol atas dan katrol bawah dapat dilihat seperti pada Gambar 2.

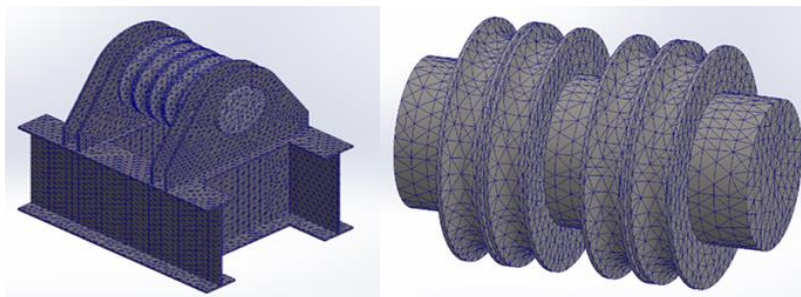


Gambar 2. Kondisi batas pengujian katrol.

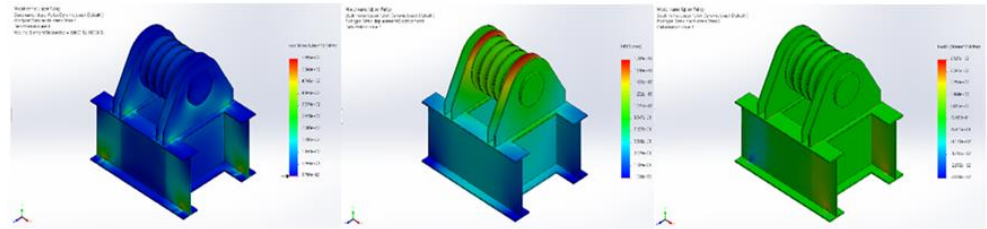
Seperti pada pengujian sebelumnya, diperlukan adanya pengecekan konvergensi model. Pada model dilakukan pengujian konvergensi pada kondisi 4 dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 3. Dalam pengecekan konvergensi dilakukan pengecekan tegangan maksimum model pada elemen berukuran 45 mm hingga 20 mm. Berdasarkan pada grafik konvergensi tersebut ditentukan bahwa model mulai konvergen dimulai pada ukuran 30 mm. Untuk kedepannya akan dilakukan pengujian pada ukuran elemen 30 mm seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Grafik konvergensi sistem katrol.



Gambar 4. Mesh yang digunakan pada pengujian katrol.



Gambar 5. Contoh hasil simulasi katrol kondisi 4.

Hasil dari pengujian tersebut menghasilkan gambar seperti pada Gambar 5. Pengujian dilakukan untuk masing-masing kondisi dan hasil dari tegangan, deformasi, dan tegangan geser maksimum dari hasil simulasi dicatat dan dilakukan pengecekan dengan tegangan izin yang diperbolehkan dan hasilnya tertulis dalam Tabel 4.

Tabel 4: Hasil simulasi katrol.

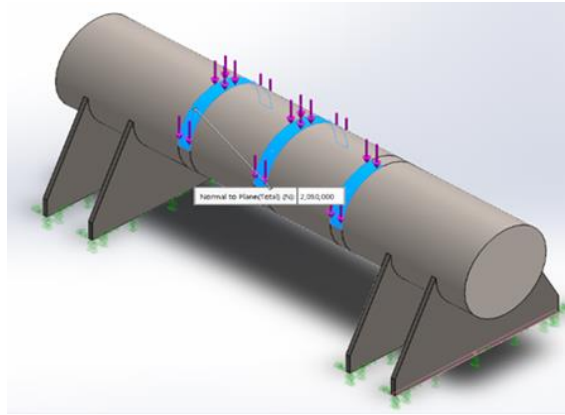
KONDISI	SYARAT	HASIL (MPa)	RULES (Mpa)	CHECK
Kondisi 4	Tegangan	595,5	710	OK
Katrol Atas	Tegangan Geser	292,7	426	OK
Kondisi 4	Tegangan	109,0	170	OK
Katrol Bawah	Tegangan Geser	30,29	102	OK

Komponen terakhir dari lifting unit adalah pengunci samping *platform*. Pengunci samping *platform* berfungsi untuk mengunci *platform* ditempatnya ketika proses operasi pengedokan maupun ketika *lifting dock* tidak digunakan. Pengunci samping *platform* menerima beban dari *platform* beserta *cradle* dan kapal yang ditumpu di atasnya. Untuk besar beban yang diterima pengunci samping diperoleh dari pengujian sebelumnya sebagaimana dijelaskan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pembebanan pada pengunci samping *platform*.

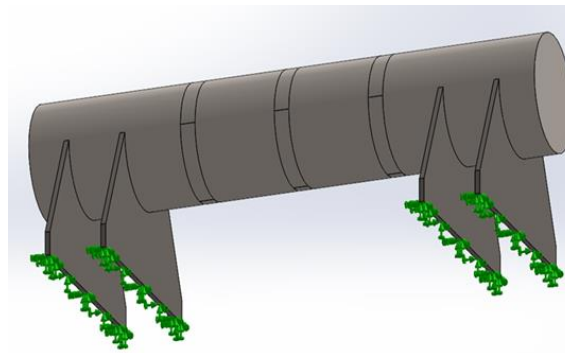
KONDISI	BEBAN PADA PENGUNCI (kN)	BEBAN YANG DIGUNAKAN (kN)
1	849,55	850
2	982,60	985
3	1448,20	1450
4	2046,60	2050

Pembebanan akan disesuaikan dengan posisi dari masing-masing beban yang diterima sesuai dengan Gambar 6.



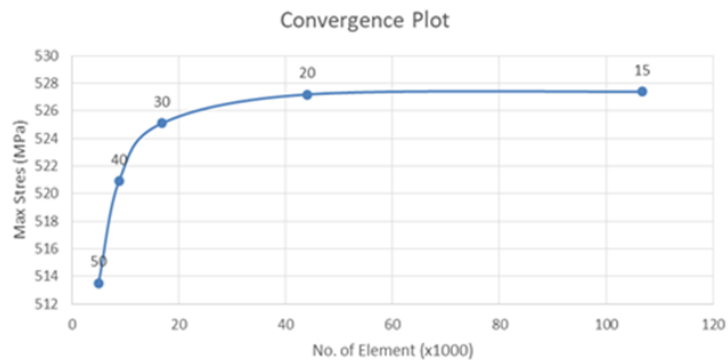
Gambar 6. Contoh pembebanan pengunci samping *platform*.

Untuk kondisi batas dari pengujian akan berfungsi sebagai pengunci samping *platform* diletakkan pada pondasi *lifting unit* seperti pada Gambar 7.

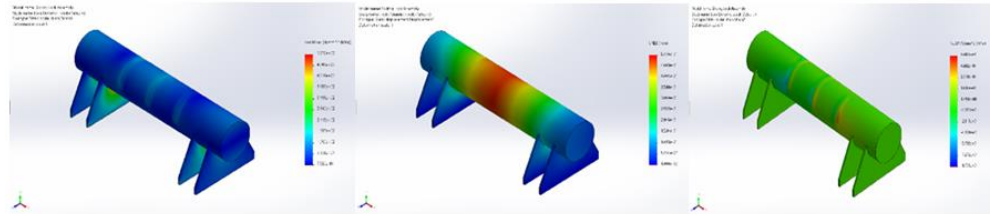


Gambar 7. Kondisi batas pengunci samping *platform*.

Seperti pada pengujian sebelumnya, diperlukan adanya pengecekan konvergensi model. Pada model pengunci samping *platform* dilakukan pengujian konvergensi pada kondisi 4 dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 8.

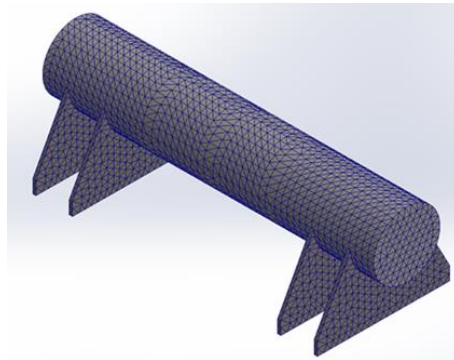


Gambar 8. Grafik konvergensi pengunci samping *platform*.



Gambar 9. Mesh yang digunakan untuk pengujian pengunci samping platform.

Untuk kedepannya akan dilakukan pengujian pada ukuran elemen 20 mm seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 10. Contoh hasil simulasi pengunci samping platform kondisi 4.

Hasil dari pengujian tersebut menghasilkan gambar seperti pada Gambar 10. Pengujian dilakukan untuk masing-masing kondisi dan hasil dari tegangan, deformasi, dan tegangan geser maksimum dari hasil simulasi dicatat dan dilakukan pengecekan dengan tegangan izin yang diperbolehkan dan hasilnya tertulis dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil simulasi pengunci samping platform.

KONDISI	SYARAT	HASIL (MPa)	RULES (Mpa)	CHECK
Kondisi 1	Tegangan	273,4	475,7	OK
	Tegangan Geser	34,7	285,4	OK
Kondisi 2	Tegangan	318,5	532,5	OK
	Tegangan Geser	41,1	319,5	OK
Kondisi 3	Tegangan	341,4	603,5	OK
	Tegangan Geser	40,0	362,1	OK
Kondisi 4	Tegangan	527,2	710,0	OK
	Tegangan Geser	60,87	426,0	OK

3.2. Platform

Berdasarkan dari ukuran kapal 150 GT dan berdasarkan ukuran material yang berada di pasaran. Ditentukanlah ukuran utama dari platform sebagai berikut:

$$L : 30 \text{ m}$$

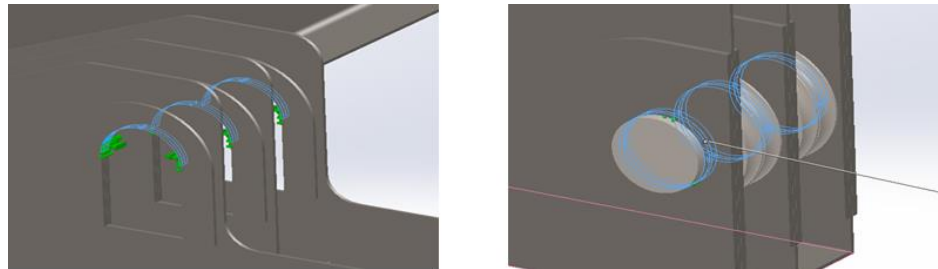
B : 9 m

Beban untuk *platform* diperoleh dari *cradle* yang disalurkan melalui roda-roda *cradle*. Untuk perhitungan pembebanan *platform*, dilakukan beberapa asumsi untuk membantu perhitungan. Pertama adalah beban yang diterima dari masing-masing *cradle* akan dianggap sama. Hal ini diperoleh dengan asumsi titik berat kapal secara memanjang atau LCG kapal tepat berada di tengah-tengah panjang *cradle*. Perhitungan akan tetap menggunakan 4 kondisi tetapi dengan persebaran beban yang merata. Untuk asumsi kedua adalah luasan roda yang menempel pada *platform* akan diasumsikan dengan lebar roda = 101,6 mm dikali dengan 50 mm. Dari perhitungan beban tersebut diperoleh beban masing-masing roda pada *platform* pada Tabel 7.

Tabel 7. Pembebanan pada *platform*.

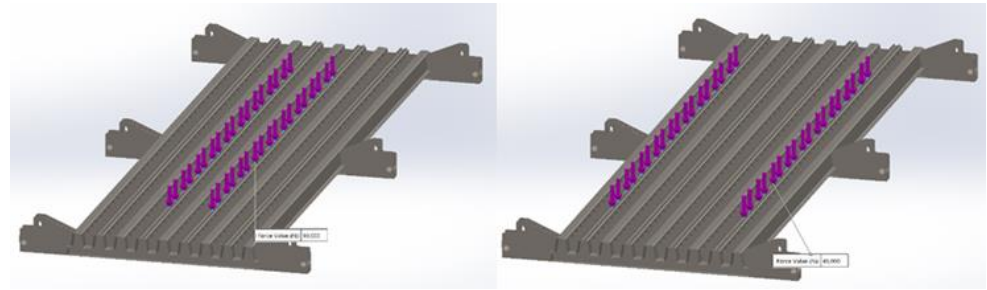
KONDISI	BEBAN PADA RODA (kN)		BEBAN YANG DIGUNAKAN (kN)	
	RODA TENGAH	RODA SAMPING	RODA TENGAH	RODA SAMPING
1	39,984	4,047	40	5
2	41,876	7,136	45	10
3	55,761	28,264	60	30
4	86,248	41,505	90	45

Setelah diperoleh pembebanan yang sesuai, perlu ditentukan kondisi batas pada *platform*. Untuk kondisi batas pada *platform* ditentukan pada dua posisi, yaitu ketika *platform* dikunci pada pengunci samping dan ketika *platform* ditumpu dengan sistem katrol pada lifting unit. Hal ini digambarkan pada Gambar 11 dengan gambar sebelah kiri menggambarkan kondisi batas ketika *platform* dikunci di pengunci samping dan gambar sebelah kanan menggambarkan kondisi batas ketika *platform* ditumpu pada katrol.



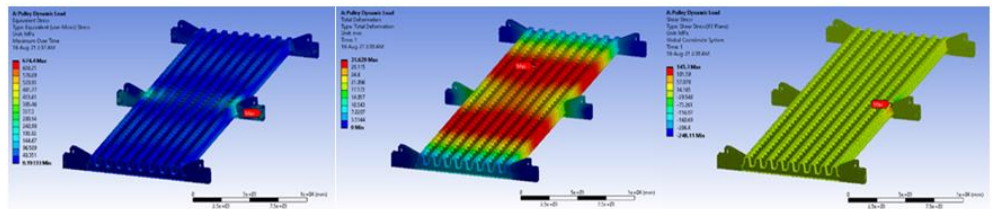
Gambar 11. Kondisi batas pada *platform*.

Untuk pembebanan seperti yang telah disebutkan di atas berasal dari roda *cradle*. Oleh karena itu pembebanan *platform* akibat *cradle* juga perlu menggambarkan *cradle* tersebut. Pembebanan diletakkan sesuai dengan posisi roda *cradle* dan dengan luasan penampang sesuai dengan asumsi sebelumnya. Untuk beban roda tengah dan roda samping juga dibedakan sesuai dengan perhitungan.



Gambar 12. Contoh pembebanan platform.

Dimana dapat dilihat pembebanan pada Gambar 12 pembebanan di gambar sebelah kiri merupakan beban akibat roda tengah, pembebanan di gambar sebelah kanan merupakan beban akibat roda samping. Setelah dilakukan pengujian sesuai dengan kondisi yang ada, diperoleh hasil seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Contoh hasil simulasi platform kondisi 4.

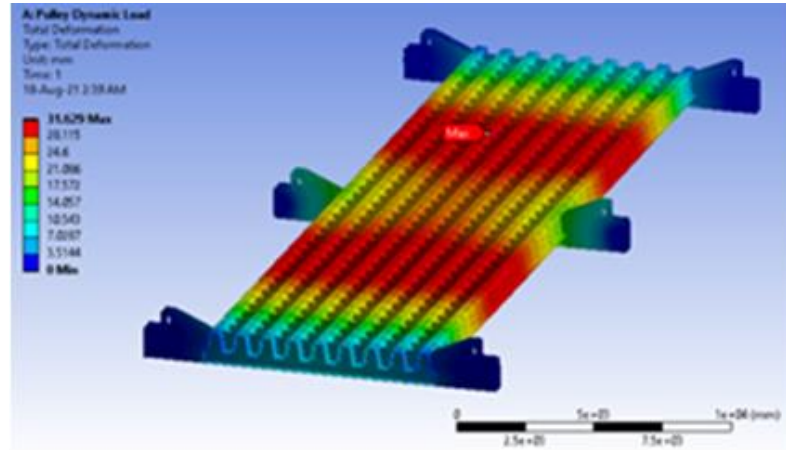
Masing-masing hasil pengujian dicatat dengan rekapitulasi serta pengecekan hasil dengan rules pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil simulasi platform.

KONDISI	SYARAT	HASIL (MPa)	RULES (MPa)	CHECK
Kondisi 1	Tegangan	278,951	475,7	OK
	Kontrol	Tegangan Geser	59,919	285,4
Kondisi 1	Tegangan	203,9	475,7	OK
	Pengunci Samping	Tegangan Geser	44,847	285,4
Kondisi 2	Tegangan	322,85	532,5	OK
	Kontrol	Tegangan Geser	69,41	319,5
Kondisi 2	Tegangan	235,97	532,5	OK
	Pengunci Samping	Tegangan Geser	51,594	319,5
Kondisi 3	Tegangan	476,31	603,5	OK
	Kontrol	Tegangan Geser	102,64	362,1
Kondisi 3	Tegangan	348,01	603,5	OK
	Pengunci Samping	Tegangan Geser	75,216	362,1
Kondisi 4	Tegangan	674,4	710	OK
	Kontrol	Tegangan Geser	145,3	426
Kondisi 4	Tegangan	492,84	710	OK

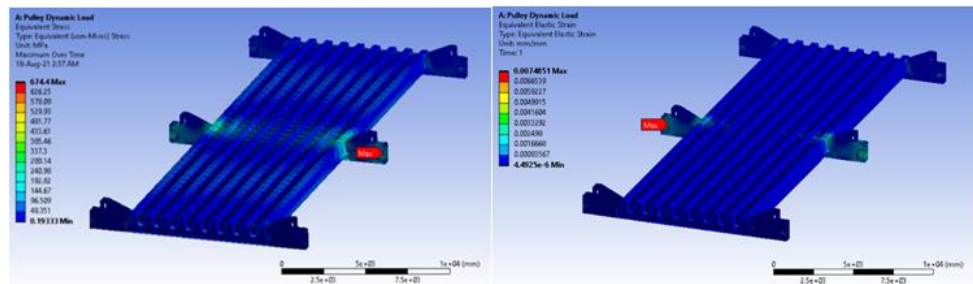
KONDISI	SYARAT	HASIL (MPa)	RULES (MPa)	CHECK
Pengunci Samping	Tegangan Geser	105,56	426	OK

Selain pengujian dengan menggunakan tegangan dan tegangan geser. Pada platform dilakukan pengujian tambahan pada besar deformasi dan Modulus Elastisitas dari hasil simulasi. Pengujian deformasi yang terjadi pada *platform* dibandingkan dengan *elongation* dari material. Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat bahwa deformasi maksimal yang terjadi adalah sebesar 31,629 mm seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Deformasi maksimal pada *platform*.

Deformasi tersebut dibandingkan dengan elongation maksimal material yang digunakan yaitu maksimal sebesar 20%. Setelah dilakukan perhitungan, deformasi maksimal memiliki nilai sebesar 0.211 % sehingga memenuhi syarat yang diberikan. Selain itu dilakukan perhitungan Modulus Elastisitas pada hasil simulasi dengan cara memperoleh nilai *Stress* dan *Strain* maksimum yang terjadi pada Gambar 15.

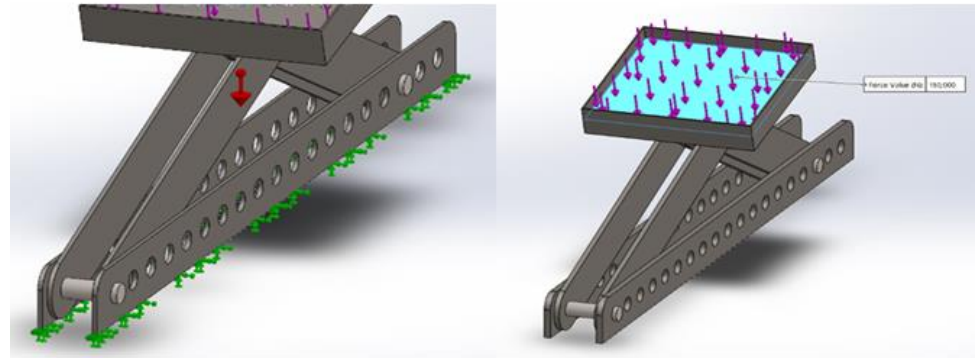


Gambar 15. Tegangan dan regangan maksimum.

Setelah diperoleh dapat dilakukan perhitungan Modulus Elastisitas dengan perhitungan stress dibagi dengan strain. Hasil dari perhitungan tersebut harus dibawah Modulus Elastisitas material yaitu 200 GPa. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai stress maksimum sebesar 674,4 MPa, dan Strain maksimum sebesar 0,00748 sehingga diperoleh nilai Modulus Elastisitas sebesar 90,16 GPa yang masih memenuhi nilai Modulus Elastisitas material.

3.3. Side Lock System

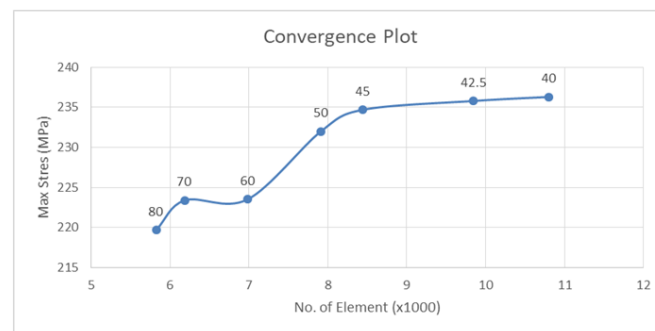
Berdasarkan perhitungan sebelumnya telah ditentukan beban pada *side block* untuk masing-masing kondisi. Beban *side block* tersebut akan ditumpu menggunakan *side lock system* sesuai dengan hasil perhitungan. Pengujian model dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dengan persyaratan sesuai dengan *rules* yang ada. Hal yang akan dicek dari hasil pengujian merupakan tegangan dan tegangan geser maksimum dari *side lock system*. Kondisi pengujian dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Kondisi pengujian *side lock system*.

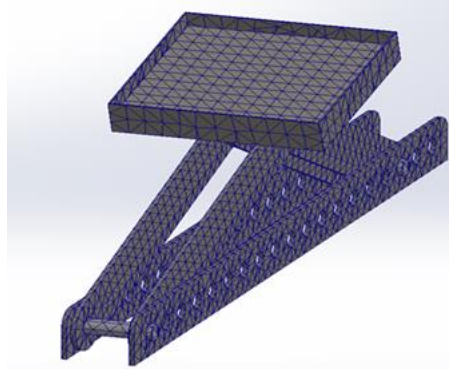
Panah warna hijau menggambarkan kondisi batas dari simulasi yaitu tumpuan jepit. Karena *side lock system* direncanakan akan dilakukan pengelasan di atas *cradle*, maka bagian bawah *side lock system* memiliki kondisi batas tumpuan jepit. Untuk beban yang diterima oleh *side lock system* digambarkan dengan panah berwarna ungu dan merah. Panah berwarna ungu menggambarkan beban akibat angin pada *side block* sesuai dengan kondisi pembebanan dan panah berwarna merah menggambarkan gaya gravitasi.

Pengujian teknis *side locking system* dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga. Sebelum dapat dilakukan pengujian untuk masing-masing kondisi perlu dilakukan konvergensi model yang telah dibuat. Konvergensi model dilakukan untuk menentukan jumlah elemen atau ukuran elemen yang akan digunakan dalam simulasi nantinya. Hal tersebut dilakukan dengan menguji model dengan berbagai ukuran elemen dan jumlah elemen dengan model dan beban yang sama. Hasil dari pengujian tersebut dicatat dan digambarkan dengan grafik seperti pada Gambar 17 untuk pengujian *side locking system*:



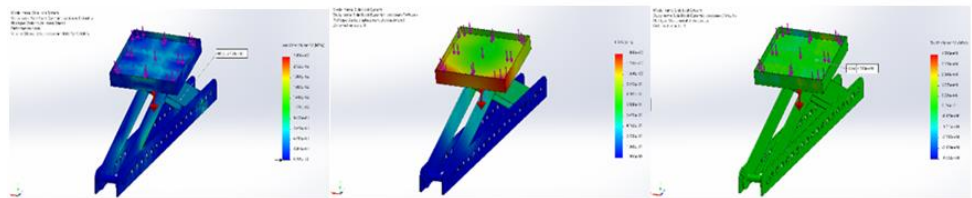
Gambar 17. Grafik konvergensi model *side lock system*.

Dari grafik tersebut dapat dilihat dilakukan pengujian konvergensi model dengan ukuran elemen 80 mm hingga 40 mm. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat untuk hasil tegangan maksimum mulai konvergen dari ukuran 45 mm hingga 40 mm. Dari hasil tersebut dipilih ukuran elemen 42.5 mm untuk melakukan pengujian selanjutnya seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Meshing pada *side lock system*.

Setelah dilakukan pengujian dengan metode elemen hingga untuk masing-masing kondisi, diperoleh hasil seperti pada Gambar 19.



Gambar 19. Contoh hasil simulasi *side lock system* kondisi 4.

Dari gambar tersebut dapat dilihat hasil simulasi model *side lock system* berupa tegangan, deformasi, dan tegangan geser yang dihasilkan. Hasil tegangan dan tegangan geser diambil dan dibandingkan dengan tegangan izin dari rules untuk mengecek apakah desain sudah memenuhi kriteria atau belum. Hasil pengujian pada setiap kondisi dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil simulasi *side lock system*.

KONDISI	SYARAT	HASIL (MPa)	RULES (Mpa)	CHECK
Kondisi 1	Tegangan	24,72	167,5	OK
	Tegangan Geser	4,445	100,5	OK
Kondisi 2	Tegangan	32,67	187,5	OK
	Tegangan Geser	5,905	112,5	OK
Kondisi 3	Tegangan	157,5	212,5	OK
	Tegangan Geser	29,3	127,5	OK
Kondisi 4	Tegangan	235,8	250	OK
	Tegangan Geser	43,93	150	OK

Dapat dilihat bahwa tegangan yang dialami oleh model untuk masing-masing kondisi sudah berada dibawah tegangan izin. Oleh karena itu pengujian dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya.

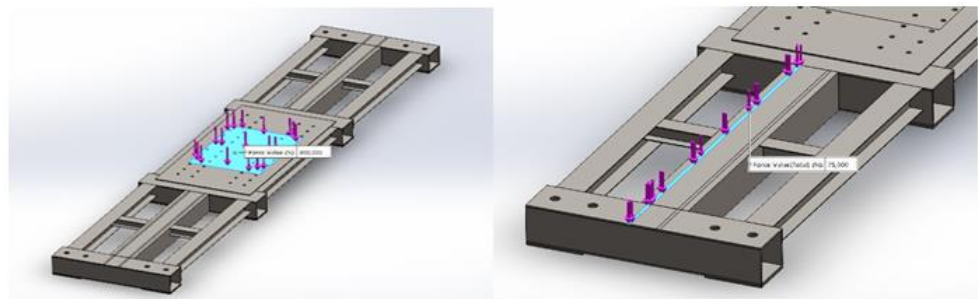
Selain memperoleh hasil tegangan dan tegangan geser dari model, didapatkan juga gaya reaksi yang diterima oleh tumpuan jepit untuk salah satu kaki. Gaya reaksi ini nantinya akan digunakan sebagai gaya yang disalurkan dari side lock system ke *cradle bogies*. Gaya reaksi berbeda-beda sesuai dengan kondisi yang digunakan dengan hasil pada Tabel 10.

Tabel 10. Gaya reaksi *side lock system*.

KONDISI	KEEL BLOCK (kN)	SIDE BLOCK (kN)		
		x	y	z
1	195,836	0,319	7,924	1,922
2	195,836	0,418	10,337	2,563
3	195,836	1,775	48,942	12,928
4	293,754	2,650	73,063	19,389

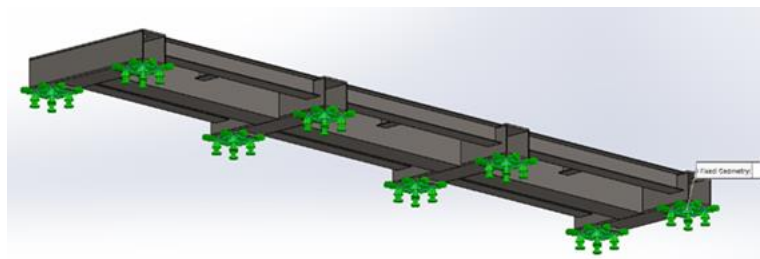
3.4. Cradle Bogies

Berdasarkan hasil pengujian sebelumnya, diperoleh beban yang akan digunakan untuk pengujian selanjutnya. Seperti yang telah dijelaskan bahwa *cradle bogies* menerima beban dari dua poin. Kedua hal tersebut adalah dari airbag dan dari *side locking system*. Pembebanan yang diterima *cradle bogies* dapat dilihat pada Tabel 11. Pembebanan akan disesuaikan dengan posisi dari masing-masing beban yang diterima sesuai dengan Gambar 20. Gambar sebelah kiri menunjukkan pembebanan akibat airbag dan gambar sebelah kanan menunjukkan pembebanan akibat side lock system.



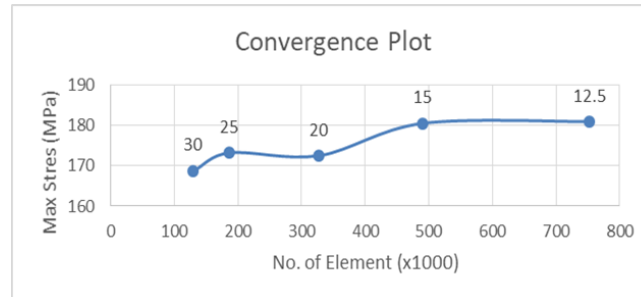
Gambar 20. Contoh pembebanan *cradle bogies*.

Untuk kondisi batas dari pengujian akan berfungsi sebagai pengganti roda yang akan nantinya menyalurkan beban tersebut yaitu terletak di bawah masing-masing konstruksi memanjang dari *cradle bogies* seperti pada Gambar 21.



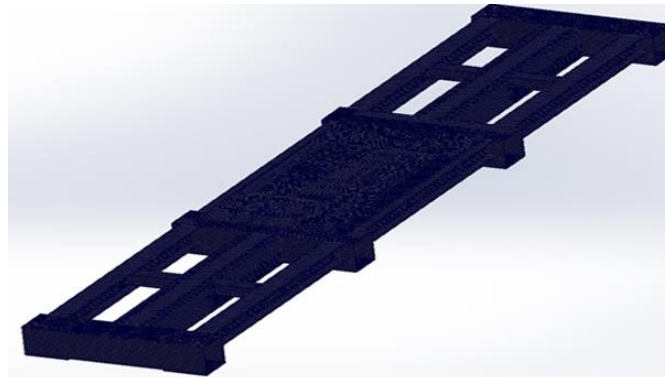
Gambar 21. Kondisi batas *cradle bogies*.

Seperti pada pengujian sebelumnya, diperlukan adanya pengecekan konvergensi model. Pada model *cradle bogies* dilakukan pengujian konvergensi pada kondisi 4 dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 22 sebagai berikut.



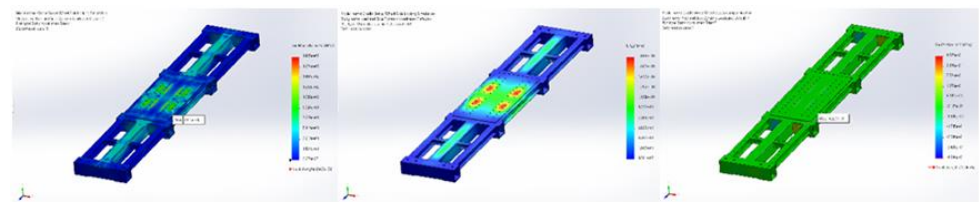
Gambar 22. Grafik konvergensi *cradle bogies*.

Dalam pengecekan konvergensi dilakukan pengecekan tegangan maksimum model pada elemen berukuran 30 mm hingga 12,5 mm. Berdasarkan pada grafik konvergensi tersebut ditentukan bahwa model mulai konvergen dimulai pada ukuran 15 mm.



Gambar 23. Mesh pada *cradle bogies*.

Untuk kedepannya akan dilakukan pengujian pada ukuran elemen 12.5 mm seperti dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 24. Contoh hasil simulasi *cradle bogies* kondisi 4.

Hasil dari pengujian tersebut menghasilkan gambar seperti pada Gambar 24. Pengujian dilakukan untuk masing-masing kondisi dan hasil dari tegangan, deformasi, dan tegangan geser maksimum dari hasil simulasi dicatat dan dilakukan pengecekan dengan tegangan izin yang diperbolehkan dan hasilnya tertulis dalam Tabel 12.

Tabel 12. Hasil simulasi *cradle bogies*.

KONDISI	SYARAT	HASIL (MPa)	RULES (Mpa)	CHECK
Kondisi 1	Tegangan	121	167,5	OK
	Tegangan Geser	27,99	100,5	OK
Kondisi 2	Tegangan	120,9	187,5	OK
	Tegangan Geser	27,96	112,5	OK
Kondisi 3	Tegangan	120,5	212,5	OK
	Tegangan Geser	28,26	127,5	OK
Kondisi 4	Tegangan	180,5	250	OK
	Tegangan Geser	42,27	150	OK

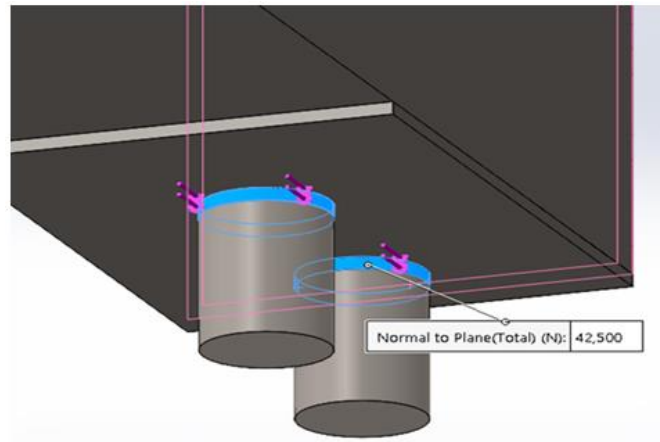
3.5. Cradle Connector

Cradle Connector berfungsi untuk menghubungkan *cradle* satu sama lain. *Cradle connector* menerima beban dari gaya gesek yang dialami oleh roda *cradle*. Gaya gesek yang diterima oleh *cradle* ditentukan berdasarkan dari beban yang diterima dari roda tersebut dan koefisien gesek dari roda tersebut. Untuk besar beban yang diterima roda dapat diperoleh dari pengujian sebelumnya. Sedangkan untuk gaya gesek dari roda akan mengikuti kondisi dari rules yaitu sebesar 1,5% untuk roda dengan *bearing*. Sehingga diperoleh gaya gesek untuk masing-masing connector sebagai dijelaskan pada Tabel 13.

Tabel 13. Pembebanan pada *cradle connector*.

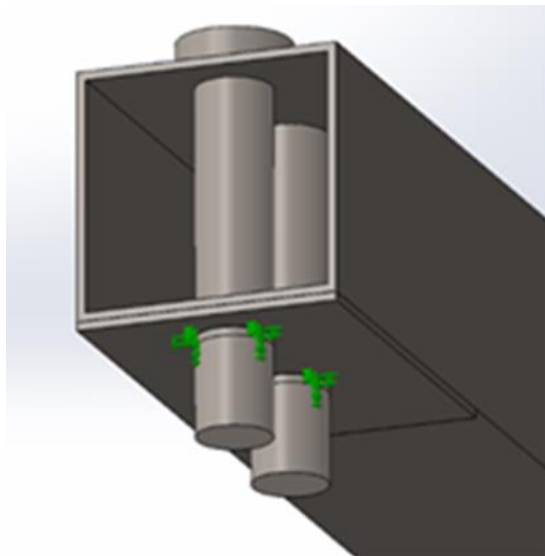
KONDISI	BEBAN TOTAL PADA RODA (kN)			GAYA GESEK (kN)	BEBAN/ CRADLE (kN)	BEBAN/ CONNECTOR (kN)
	RODA TENGAH	RODA SAMPING	BERAT RODA			
1	2125,008	147,164	36,838	34,635	35	17,5
2	2149,632	194,583	36,838	35,715	40	20,0
3	2763,360	949,572	36,838	56,246	60	30,0
4	4114,440	1397,160	36,838	83,226	85	42,5

Pembebanan akan disesuaikan dengan posisi dari masing-masing beban yang diterima sesuai dengan Gambar 25.



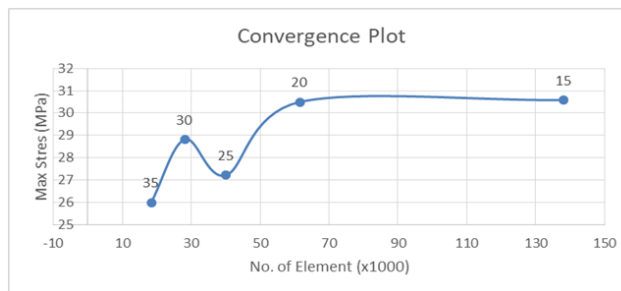
Gambar 25. Contoh Pembebanan *Cradle Connector*.

Untuk kondisi batas dari pengujian akan berfungsi sebagai pengganti *cradle* yang ditarik satu sama lain dengan melalui *cradle connector* seperti pada Gambar 26.



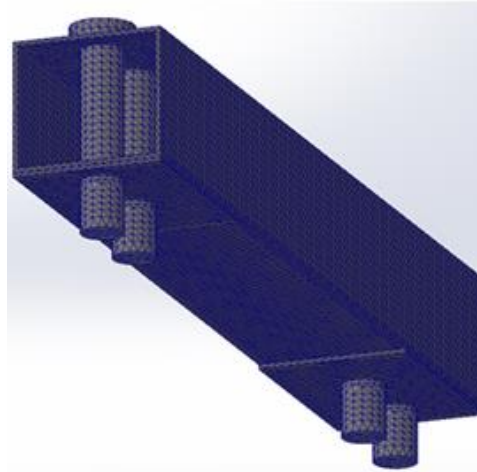
Gambar 26. Kondisi batas *cradle connector*.

Seperti pada pengujian sebelumnya, diperlukan adanya pengecekan konvergensi model. Pada model *cradle connector* dilakukan pengujian konvergensi pada kondisi 4 dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 27 sebagai berikut.

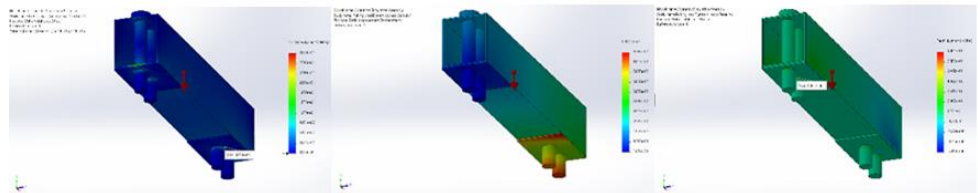


Gambar 27. Grafik konvergensi *cradle connector*

Dalam pengecekan konvergensi dilakukan pengecekan tegangan maksimum model pada elemen berukuran 35 mm hingga 15 mm. Berdasarkan pada grafik konvergensi tersebut ditentukan bahwa model mulai konvergen dimulai pada ukuran 20 mm.



Gambar 28. Mesh pada *cradle connector*.



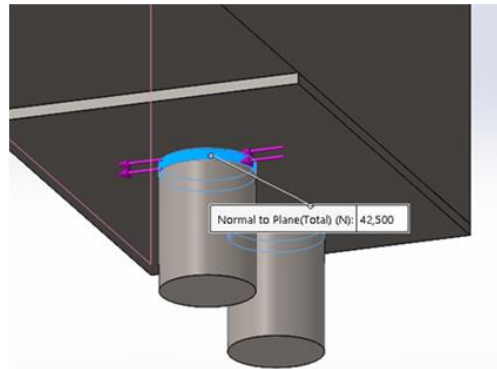
Gambar 29. Contoh hasil simulasi *cradle connector* kondisi 4.

Hasil dari pengujian tersebut menghasilkan gambar seperti pada Gambar 29. Pengujian dilakukan untuk masing-masing kondisi dan hasil dari tegangan, deformasi, dan tegangan geser maksimum dari hasil simulasi dicatat dan dilakukan pengecekan dengan tegangan izin yang diperbolehkan dan hasilnya tertulis dalam Tabel 14.

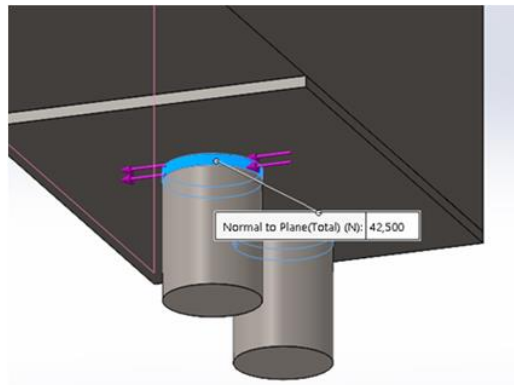
Tabel 14. Hasil simulasi *cradle connector*.

KONDISI	SYARAT	HASIL (MPa)	RULES (Mpa)	CHECK
Kondisi 1	Tegangan	9.043	167,5	OK
	Tegangan Geser	2.957	100,5	OK
Kondisi 2	Tegangan	10.33	187,5	OK
	Tegangan Geser	3.377	112,5	OK
Kondisi 3	Tegangan	15.5	212,5	OK
	Tegangan Geser	5.064	127,5	OK
Kondisi 4	Tegangan	30.5	250	OK
	Tegangan Geser	9.301	150	OK

Selain menerima beban secara memanjang, *cradle connector* juga menerima beban secara melintang. Hal tersebut dapat dikarenakan banyak hal, salah satunya adalah ketika *cradle* ditarik secara melintang. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian untuk *cradle connector* secara melintang. Beban yang digunakan dalam pengujian ini akan disamakan dengan beban secara memanjang, hal ini dilakukan karena beban tersebut merupakan beban gaya gesek roda. Sehingga apabila *cradle* ditarik melintang maka akan memperoleh beban yang sama. Pembebanan akan disesuaikan dengan posisi dari masing-masing beban yang diterima sesuai dengan Gambar 30.

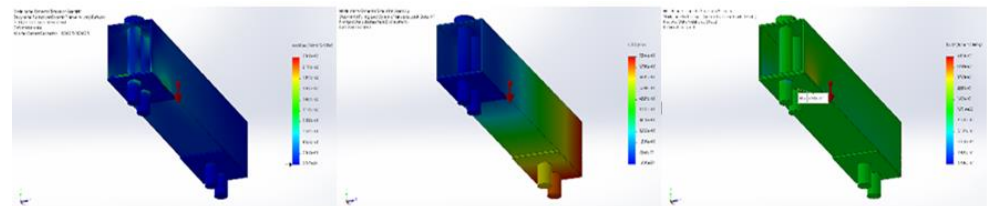


Gambar 30. Contoh pembebanan *cradle connector*.



Gambar 31. Kondisi batas *cradle connector*.

Hasil dari pengujian tersebut menghasilkan gambar seperti pada Gambar 32. Pengujian dilakukan untuk masing-masing kondisi dan hasil dari tegangan, deformasi, dan tegangan geser maksimum dari hasil simulasi dicatat dan dilakukan pengecekan dengan tegangan izin yang diperbolehkan dan hasilnya tertulis dalam Tabel 15.



Gambar 32. Contoh hasil simulasi *cradle connector* kondisi 4.

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh hasil seperti pada Tabel 15.

Tabel 15. Hasil simulasi *cradle connector* melintang.

KONDISI	SYARAT	HASIL (MPa)	RULES (Mpa)	CHECK
Kondisi 1	Tegangan	156,6	167,5	OK
	Tegangan Geser	31,93	100,5	OK
Kondisi 2	Tegangan	152,6	187,5	OK
	Tegangan Geser	29,96	112,5	OK
Kondisi 3	Tegangan	204,4	212,5	OK
	Tegangan Geser	112,1	127,5	OK
Kondisi 4	Tegangan	234,6	250	OK
	Tegangan Geser	61,3	150	OK

4. KESIMPULAN

Hasil simulasi numerik pada desain *Craddle Deck* Dermaga Kapal 150 GT di masing-masing bagian konstruksi seperti bagian *lifting unit*, *platforms*, *side lock system*, *cradle bodies*, dan *cradle connector* secara keseluruhan memenuhi persyaratan tegangan ijin sesuai kriteria Biro Klasifikasi Indonesia dengan persyaratan pemenuhan batasan tegangan dan tegangan geser maksimum dibawah tegangan kritis yang diijinkan. Oleh karena itu, desain *cradle* dapat dinyatakan aman dengan simulasi numerik beban statis yang dilakukan untuk mengangkut kapal dengan ukuran 150 GT sesuai dengan desain perencanaan.

PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) serta Departemen Teknik Perkapalan ITS telah mendukung dana riset dalam skema penelitian Dana Departemen Tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ARIF, M.S., PRIBADI, S.R.W., PUTRA, W.H.P., “*Design and Production of FRP Catamaran Boat for Better River Transportation in Randuboto Village, Sedayu District, Gresik Regency*”, In *Proceedings of the 6th International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management (Scitepress)*, pp. 82–86, Surabaya, January, 2020.
- [2] SUJIATANTI, S.H, YULIANTO, T, PUTRA, W.H.P., “*Influence of the Cut-out Shape on the Fatigue Ship Structural Detail*”, In *Proceedings of the 6th International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management (Scitepress)*, pp. 111-115, Surabaya, January, 2020.
- [3] HASANUDIN, “*Modifikasi Kapal Purse Seine 30 Gt Dengan Menambahkan Cadik Untuk Meningkatkan Survival Of Intact Stability*”, *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, v. 10, n. 2, pp. 205-213, November, 2019.
- [4] ARIESTA, R. C, ALIFFRANANDA, M.H.N., RIYADI, S., “*An Investigation into the Justification of the Service Speed of Ro-Ro Ferry with Block Coefficient 0.8 Based on the Resistance and Seakeeping Performance*”, *International Conference on Ship and Offshore Technology (ICSOT)*, pp. 19–20, Surabaya, November, 2021.

- [5] KEMENPERIN, Kemenperin Pacu Peran Industri Perkapalan. <https://www.kemenperin.go.id/artikel/19815/Kemenperin-Pacu-Peran-Industri-Perkapalan-Topang-Sektor-Migas>. Diakses: September 2021.
- [6] RAHARJO, R, “Desain Manufaktur *Bracket* Aluminium”, *Rekayasa Mesin*, v. 9, n. 2, pp. 119–125, Agt. 2018.
- [7] MISBAH, M. N., SUJIATANTI, S.H., SETYAWAN, D., “*Structural analysis on the block lifting in shipbuilding construction process*”, *MATEC Web Conference*, v. 177, pp. 1–6, 2018.
- [8] YULIANTO, T, “Analisis Kekuatan Shaft Propeller Kapal *Rescue* 40 Meter dengan Metode Elemen Hingga”, *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan.*, v. 16, n. 3, pp. 100–105, 2019.
- [9] ISMAIL, A, “*Study of Sandwich Panel Application on Side Hull of Crude Oil Tanker*,” *Journal. Applied Engineering Sciences*, v.19, n. 4, pp. 1090-1098, 2021.
- [10] PRATAMA, P. D, "Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangunan *Self Propeller Floating Dock* sebagai Penunjang Bisnis Reparasi Kapal Ikan 150 GT di Kawasan Pesisir Indonesia Timur," *Jurnal Teknik ITS*, v. X, n. Y, pp. 1-6, 2020.
- [11] ARIESTA, R.C, “Identifikasi Kerusakan pada Pelat *Sandwich* Lambung Sisi Menggunakan Metode Elemen Hingga”, *Wave: Jurnal Ilmu Teknologi Maritim*, v. 14, n. 2, pp. 83–90, 2020.
- [12] FELANI, D. H, “Analisis Statis Konstruksi Dan *Lance Tube Sootblower Tipe Motorised Rotary* Menggunakan *Software Solidworks 2016*”, *Rekayasa Mesin*, v. 12, n. 2, pp. 243 – 250, Agt. 2021
- [13] KKP, Jumlah Kapal, <https://statistik.kkp.go.id/home.php?m=kapal&i=5>. Diakses: Agustus 2021.
- [14] LOGAN, D. L, *A first course in the finite element method*, 4 ed., Canada, Chris Carson, 2007.
- [15] TUSWAN, T “*A numerical evaluation on nonlinear dynamic response of sandwich plates with partially rectangular skin / core debonding*”, *Curved Layered Structure*, v. 9, n. 1, pp. 25–39, 2022.
- [16] BKI, "*Rules for Hull Volume 2*", 2021 ed., Indonesia, Biro Klasifikasi Indonesia, 2021.