

Studi Perancangan Sistem Konstruksi Kapal *Liquefied Natural Gas* (LNG) 30.000 CBM

Zamzamil Huda

Abstrak

Sering kali dalam perancangan dan pembuatan kapal baru mengalami kelebihan dan pengurangan berat konstruksi kapal. Akibatnya berpengaruh pada biaya pembuatan kapal itu sendiri, maka untuk mengurangi penggunaan biaya yang sangat tinggi bisa dilakukan dengan cara memperbaiki kualitas desain. Pada penelitian sebelumnya telah dibuat desain *hullform* kapal LNG 30.000 CBM yang sesuai dengan karakteristik di perairan Indonesia, tetapi kapal tersebut belum memiliki sistem konstruksi. Berdasarkan kondisi ini, penelitian difokuskan pada desain sistem konstruksi kapal LNG 30.000 CBM. Metode elemen hingga dilakukan untuk analisis teknis terhadap kekuatan dari desain yang diusulkan yaitu desain dengan jarak gading 0,6 m dan 0,8 m. *MSC Patran* digunakan untuk membuat model elemen hingga serta menentukan berat konstruksi dari kedua desain. Berdasarkan hasil analisis kedua desain yang diusulkan, desain dengan jarak gading 0,8 m memiliki berat konstruksi lebih ringan serta memiliki tegangan maksimum yang lebih rendah dibandingkan desain dengan jarak gading 0,6 m. Namun berdasarkan kriteria regulasi, kedua desain yang diusulkan layak dan aman untuk digunakan sebagai alternatif sistem konstruksi pada kapal LNG 30.000 CBM.

Kata kunci : desain sistem konstruksi, kapal LNG 30.000 CBM, metode elemen hingga

1. Pendahuluan

Selama pengembangan kapal *Liquefied Natural Gas* (LNG) telah didesain berbagai macam tipe tangki yang digunakan untuk menyimpan LNG. Tujuan utama dari sistem pengemasan barang (*Cargo Containment System*) ini untuk menjaga agar gas tetap berada pada kondisi dibawah titik penguapan serta menjamin proses insulasi yang memadai.

Dalam perancangan dan pembuatan kapal baru sering mengalami kelebihan dan pengurangan berat konstruksi kapal. Akibatnya berpengaruh pada biaya pembuatan kapal itu sendiri, maka untuk mengurangi penggunaan biaya yang

sangat tinggi bisa dilakukan dengan cara memperbaiki kualitas desain. Selain itu, elemen dasar yang sangat penting yang harus dimiliki kapal yaitu kekuatan kapal. Kapal yang dibangun terlalu kuat akan menjadi sangat berat, lamban dan membutuhkan biaya yang lebih besar sedangkan kapal yang dibangun dan dirancang terlalu lemah akan sangat beresiko tinggi mengalami kegagalan struktur karena struktur tidak mampu menahan beban atau load yang bervariasi bila kapal berlayar, baik beban dari dalam maupun dari luar kapal, sehingga hal terburuk yang mungkin terjadi adalah tenggelamnya kapal.

Hullform kapal LNG 30.000 CBM yang sesuai dengan karakteristik di perairan Indonesia dan kebutuhan alat transportasi LNG dari *gas field* ke tiap-tiap terminal LNG telah didesain. Bentuk lambung yang dihasilkan memiliki karakteristik hambatan *,seakeeping* dan stabilitas yang baik tetapi kapal tersebut belum memiliki sistem konstruksi untuk digunakan.

Pada jurnal ini akan menjelaskan tentang perancangan sistem konstruksi pada kapal LNG 30.000 CBM. Metodologi penelitian ini dimulai dari pembuatan layout sistem konstruksi lalu menentukan dimensi sistem konstruksi kapal LNG 30.000 CBM kemudian dilakukan pembuatan FE model pada *MSC Patran* dari desain yang diusulkan. Model dilakukan *Loading* dan *Boundary Condition* selanjutnya dilakukan *running analisis* di *MSC. Nastran*. Hasil analisis akan menunjukkan tegangan maksimum yang terjadi. Jika hasil analisis tidak sesuai kriteria tegangan ijin dari *CSR Oil tanker* maka dilakukan modifikasi desain, tetapi jika sudah sesuai maka desain telah selesai dan diterima.

2. Standard Penilaian Kekuatan Struktur Berdasarkan *Common Structural Rules* (CSR) Oil Tanker

IACS (*International Association of Clasification Society*) merupakan Induk dari 13 badan Klasifikasi Dunia Ternama yang bekerjasama dengan IMO (*International Marine Organization*) yang bertanggung jawab terhadap Keselamatan Pelayaran dan Pencemaran yang terjadi di lautan sebagai akibat dari aktifitas pelayaran.

Sedangkan CSR merupakan badan Riset IACS yang bertugas mengupdate *rules* serta memberikan

kajian-kajian baru terhadap suatu konstruksi kapal yang optimal dan mengutamakan faktor keselamatan., *CSR for Oil Tanker* dibentuk khusus dan terus dikembangkan demi meminimalisir titik kelemahan kapal khususnya pada struktur kapal tanker.

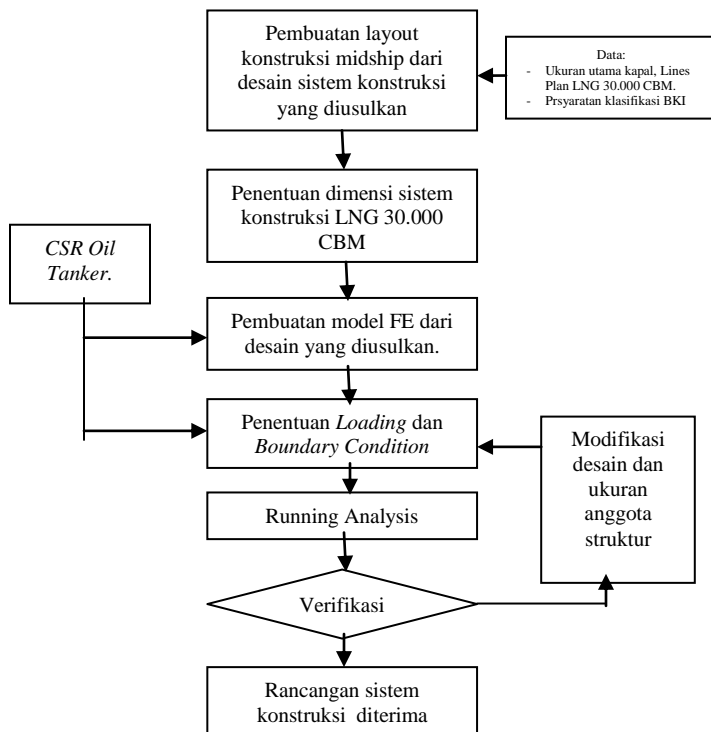
CSR juga mengarahkan pada proses-proses analisa seperti *direct strength analysis, buckling analysis dan fatigue analysis* dimana didalamnya di tetapkan prosedur-prosedur dalam melakukan pengujian, seperti pemvariasian pembebanan yang terjadi serta mengacu pada material-material yang digunakan.

Untuk analisa seperti *direct strength analysis, buckling analysis dan fatigue analysis* dapat dilihat pada lampiran B. Pada bab tersebut dijelaskan bahwa penilaian Finite Element (FE) dikeluarkan untuk memverifikasi kekuatan struktur lambung khususnya pada daerah tanki ruang muat seperti *longitudinal hull girder structural members, primary supporting structural members*, dan *transvers bulkhead*. Untuk penilaian kekuatan yang diberikan dilampiran ini tidak berlaku untuk *forward transverse collision bulkhead, engine room transverse bulkhead*, dan *slop tank transverse bulkheads*.

Tujuan penilaian FE struktur daerah tanki ruang muat untuk menilai kerangka dari *long hull girder structural members, primary supporting structural member* dan *transverse bulkheads*.

3. Metodologi Penelitian

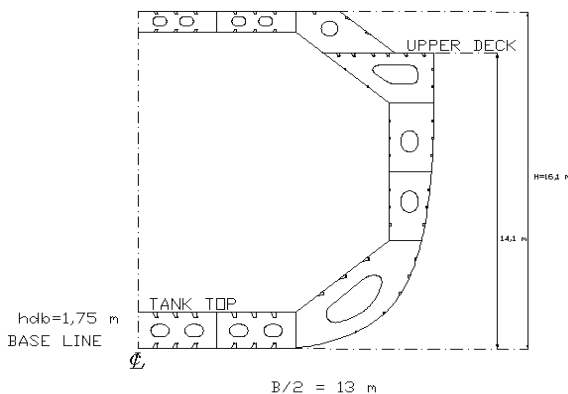
Metodologi penelitian dimulai dari pembuatan layout konstruksi midship sampai analisis FE model terhadap kekuatan dari desain konstruksi yang diusulkan. Diagram alir metodologi penelitian dapat dilihat pada *gambar 3.1*



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

3.1 Pembuatan layout dan penentuan dimensi sistem konstruksi LNG 30.000 CBM.

Layout dari struktur kapal yang akan dirancang terlebih dahulu di gambarkan di software CAD sebelum melakukan perhitungan – perhitungan konstruksi. Pada gambar dibawah ini merupakan layout dari rancangan sistem konstruksi kapal LNG 30.000 CBM yang nantinya akan diusulkan.



Gambar 3.2. Layout struktur LNG yang diusulkan

Sesuai tujuan utama dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan rancangan sistem konstruksi yang efektif dan efisien digunakan pada kapal LNG 30.000 CBM, maka perlu adanya berbagai variasi model yang nantinya akan dibandingkan, setelah itu dipilih desain yang dijadikan sebagai rekomendasi. Pada kali ini, divariasikan dua model berdasarkan perbedaan jarak gading dari layout yang sama seperti gambar 3.2. Desain yang pertama memiliki jarak gading sebesar 0.6 m sedangkan desain yang kedua memiliki jarak gading 0.8 m. Dari kedua variabel yang telah direncanakan selanjutnya dilakukan perhitungan- perhitungan konstruksi sesuai rules *BKI vol II*.

Dari hasil perhitungan didapatkan ukuran tebal plat, modulus penampang dan dimensi konstruksi pada desain sistem konstruksi yang diusulkan sebagai berikut:

Tabel 3.1. Tebal plat dan modulus penampang yang dihasilkan

Plate & Profil	Frame Spacing 0,6 m	Frame Spacing 0,8 m
Side Plating	10 mm	10 mm
Deck Plating	8 mm	8 mm
Bottom Plating	10 mm	11 mm
Inner bottom Plating	8 mm	10 mm
Bulkhead	8 mm	10 mm
Deck Longitudinal	W=70,17cm ³	W=83,1694 cm ³
Deck transverse	W=280,665cm ³	W=332,67cm ³
Side Logitudinal A	W=16,014 cm ³	W=37,95 cm ³
Side Logitudinal B	W=48,2323 cm ³	W=87,88 cm ³
Side Transverse	W=415,199 cm ³	W=1344,79cm ³
Bottom Longitudinal	W=257,4756 cm ³	W=469,13 cm ³

Tabel 3.2. Dimensi sistem konstruksi yang dihasilkan

Plate & Profil	Frame Spacing 0,6 m	Frame Spacing 0,8 m
Deck Longitudinal	L 100X75X7	L 130X65X10
Deck transverse	T 220X36X10	T 260X99X13
Side Logitudinal A	L 60X40X5	L 65X50X9
Side Logitudinal B	L 75X55X9	L 100X75X9
Side Transverse	T260X42X10	T 340X42X13
Bottom Longitudinal	L 180X90X10	L 250X90X12

3.2 Pembuatan FE model dari desain yang diusulkan.

FE model yang akan digunakan sesuai dengan *CSR Oil tanker* untuk kriteria penerimaan kekuatan. Berdasarkan *CSR Oil Tanker*, FE model yang akan ditentukan memiliki karakteristik:

- tiga tanki ruang muat dibagian midship.
- 4 Sekat melintang dimodelkan.
- Profil yang digunakan dimodelkan dalam bentuk *beam*.
- Plat dimodelkan dalam bentuk *shell*.
- Opening tidak dimodelkan

Tipe elemen yang digunakan untuk model elemen hingga dari struktur utama Kapal LNG ini meliputi :

- Elemen luas (*shell*) untuk memodelkan hull, struktur, dan wrang.
- Elemen garis (*beam*) untuk memodelkan *beam*, *girder*.

3.3. Penentuan *Boundary Condition*

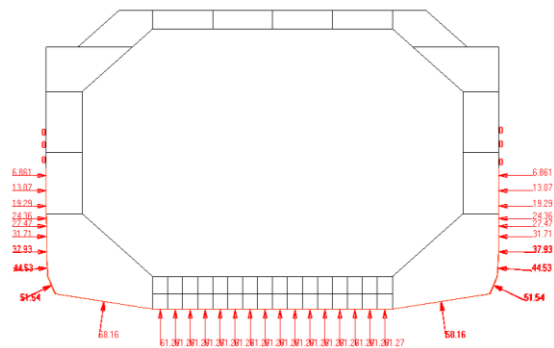
Boundary Conditions diterapkan pada ujung depan dan ujung belakang pada model elemen hingga sebagai titik tumpu saat dilakukan analisa, titik-titik node pada ujung depan dan ujung belakang masing – masing terhubung secara *rigid* / kaku terhadap *independent point* yang bisa juga didefinisikan sebagai Titik berat kapal. hal ini dilakukan agar kombinasi beban-beban maupun hasil dari respon tegangan yang terjadi bisa di lakukan dengan maksimal. Untuk pemberian *boundary condition* pada model LNG ini dapat dilihat pada *tabel 3.3*.

Tabel 3.3. *Rigid-link* dan *independent point* pada model.

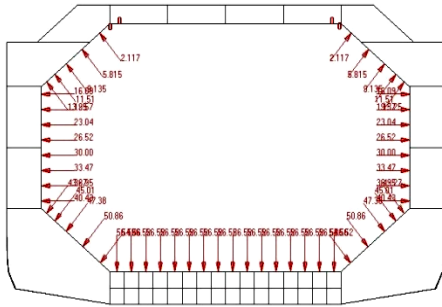
Location	Translation			Rotation		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
Aft End						
Aft end (all longitudinal elements)	RL	-	-	-	RL	RL
Independent Point aft end, see Figure B.2.13	Fix	-	-	-	M_{y-end}	M_{z-end}
Deck, inner bottom and outer shell	-	Springs	-	-	-	-
Side, inner skin and longitudinal bulkheads	-	-	Springs	-	-	-
Fore End						
Fore end (all longitudinal elements)	RL	-	-	-	RL	RL
Independent point fore end, see Figure B.2.13	-	-	-	-	M_{y-end}	M_{z-end}
Deck, inner bottom and outer shell	-	Springs	-	-	-	-

3.4. Penentuan *Loading Condition*

Pembebanan ini dilakukan untuk melihat kekuatan struktur suatu model terhadap beban *hydrostatic load* dan *cargo load*. Lihat *gambar 3.3*. dan *gambar 3.4*. *Loading Condition* yang akan digunakan sesuai dengan *CSR Oil tanker* untuk kriteria penerimaan kekuatan. Untuk kondisi pembebanan statis yang digunakan yaitu kondisi *Harbour* dan *tank testing* dengan variasi kasus pada *tabel 3.4*



Gambar 3.3. *Hydrostatic Load model*



Gambar 3.3. Cargo Load model

Tabel 3.4. Kasus pembebanan statis kondisi *harbour and tank testing*

Loading Pattern	Figure	Still Water Loads			Dynamic load cases		
		Draught	Perm. SWBM ⁽²⁾	Perm. SWSF ⁽²⁾	Strength assessment (1a)	Strength assessment against hull girder shear loads (1b)	
					Midship region	Forward region	Midship and aft regions
Design load combination S (Harbour and tank testing load cases)							
1		1/3T _{st}	100% (Sag)	100% (+ve fwd) See note 5	Applicable to strength assessment of midship region (see 1(a)) and strength assessment against hull girder shear loads (see 1(b))		
2		T _{st}	100% (Hog)	100% (-ve fwd) See note 5	Applicable to strength assessment of midship region (see 1(a)) and strength assessment against hull girder shear loads (see 1(b))		

- a. Kasus 1 : Menunjukkan bahwa pembebanan diberikan pada tanki tengah dengan muatan sebesar 1/3 dari sarat kapal, untuk kondisi ballast seluruhnya kosong.
- b. Kasus 2 : Tanki tengah kosong sedangkan tanki 1 dan 3 diisi muatan sebesar sarat penuh kapal. untuk kondisi ballast seluruhnya kosong.

3.5. Running analisis

Model yang telah ditentukan *loading* dan *boundary condition* nya, selanjutnya dilakukan *running model* pada *MSC Nastran*. Analisis statis dipilih untuk menyelesaikan berbagai kasus yang telah ditentukan. Data yang dihasilkan berupa: besarnya tegangan stress yang terjadi, letak titik kritis akibat pembebanan, deformasi *plate* dan *bar*. *MSC Patran* juga digunakan dalam

menentukan beratnya konstruksi desain yang diusulkan pada menu *mass properties*. Hasilnya Berat konstruksi dari desain jarak gading 0,8 m lebih ringan dibandingkan desain jarak gading 0,6 m dengan perbedaan sekitar 0,01 %.

Dari hasil keseluruhan analisa permodelan tersebut nantinya akan ditentukan kriteria penerimaan kekuatan kapal ini menggunakan kriteria-kriteria yang telah tersedia , dalam hal ini kriteria yang akan digunakan adalah kriteria penerimaan kekuatan kapal dari *CSR Oil Tanker*.

4. Analisa Hasil

Kriteria penerimaan tegangan yang tertera pada FE analysis menggunakan *MSC Patran* dan *Nastran* yang hasilnya tidak boleh melebihi dari tegangan maksimum yang diijinkan dimana hal tersebut telah diatur dalam *CSR Oil Tanker*, lihat tabel 4.1.

Tabel 4.1. Tegangan ijin maksimum berdasarkan *CSR Oil Tanker*.

Structural component	Yield utilisation factor
Internal structure in tanks	
Plating of all non-tight structural members including transverse web frame structure, wash bulkheads, internal web, horizontal stringers, floors and girders. Face plate of primary support members modelled using plate or rod elements	$\lambda_y \leq 1.0$ (load combination S + D) $\lambda_y \leq 0.8$ (load combination S)
Structure on tank boundaries	
Plating of deck, sides, inner sides, hopper plate, bilge plate, plane and corrugated cargo tank longitudinal bulkheads. Tight floors, girders and webs	$\lambda_y \leq 0.9$ (load combination S + D) $\lambda_y \leq 0.72$ (load combination S)
Plating of inner bottom, bottom, plane transverse bulkheads and corrugated bulkheads.	$\lambda_y \leq 0.8$ (load combination S + D) $\lambda_y \leq 0.64$ (load combination S)
Where:	
λ_y	yield utilisation factor
	= $\frac{\sigma_{sm}}{\sigma_{pl}}$ for plate elements in general
σ_{sm}	von Mises stress calculated based on membrane stresses at element's centroid, in N/mm ²
σ_{pl}	specified minimum yield stress of the material, in N/mm ² , but not to be taken as greater than 315 N/mm ² for load combination S + D in areas of stress concentration ⁽²⁾

Sesuai tabel diatas perhitungan tegangan ijin yang akan digunakan yaitu standard maksimum tegangan untuk beban yang statis meliputi:

- Internal structure in tanks $\lambda_y \leq 0.8$
- Structure on tank boundaries $\lambda_y \leq 0.72$
- Plating of inner bottom, bottom, plane transverse bulkheads and corrugated bulkheads. $\lambda_y \leq 0.64$

Hasil analisis kekuatan dari desain sistem konstruksi kapal LNG 30.000 CBM yang diusulkan ini menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang muncul untuk desain dengan jarak gading 0,6 m sebesar $3,67 \times 10^7 \text{ N/m}^2 = 36,7 \text{ Mpa}$ pada kondisi 1 sedangkan desain dengan jarak gading 0,8 m sebesar $3,66 \times 10^7 \text{ N/m}^2 = 36,6 \text{ Mpa}$ pada kondisi 1 pula. lihat gambar 4.1 dan gambar 4.2. Berdasarkan kriteria tegangan ijin yang dikeluarkan oleh CSR Oil Tanker, tegangan maksimum yang muncul dari kedua desain tersebut masih memenuhi kriteria dan layak untuk digunakan.

$$\sigma_{vm}(0,6 \text{ m}) = 36,6 \text{ Mpa dan } 36,7 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{vm}(0,8 \text{ m}) = 36,5 \text{ Mpa dan } 36,6 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{yd} = 235 \text{ Mpa}$$

$$\lambda_y = \frac{\sigma_{vm}}{\sigma_{yd}}$$

$$\lambda_y = \frac{36,5 \text{ Mpa}}{235 \text{ Mpa}}$$

$$\lambda_y = 0,1553$$

$$\lambda_y = \frac{36,6 \text{ Mpa}}{235 \text{ Mpa}}$$

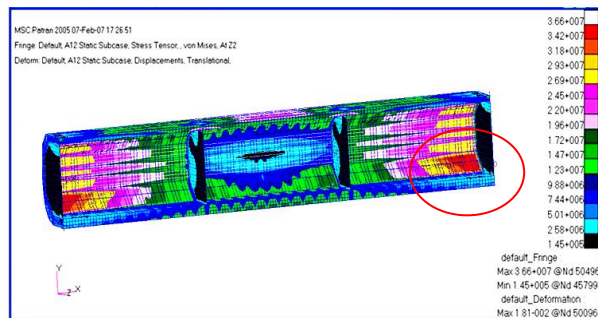
$$\lambda_y = 0,1557$$

$$\lambda_y = \frac{36,7 \text{ Mpa}}{235 \text{ Mpa}}$$

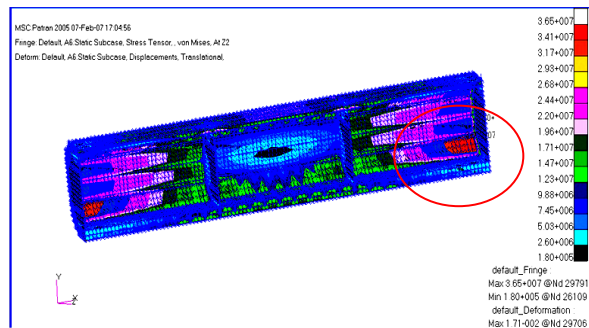
$$\lambda_y = 0,156$$

Tabel 4.2. Verifikasi penerimaan tegangan ijin berdasarkan CSR Oil Tanker

Cases	Max Stress Tensor (Mpa)		Criteria			Verification
	Design 0,6 m	Design 0,8 m	1	2	3	
1	36,6	36,5	$\lambda_y \leq 0.8$	$\lambda_y \leq 0.72$	$\lambda_y \leq 0.64$	Accepted
2	36,7	36,6	$\lambda_y \leq 0.8$	$\lambda_y \leq 0.72$	$\lambda_y \leq 0.64$	Accepted



Gambar 4.1. Kasus 1 pada kapal kapal LNG 30.000 CBM (0,6 m)



Gambar 4.2. Kasus 1 pada kapal kapal LNG 30.000 CBM (0,8m)

5. Kesimpulan

Dari studi perancangan sistem konstruksi pada kapal LNG (*Liquified Natural Gas*) 30.000 CBM dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah diusulkan desain sistem konstruksi pada kapal LNG 30.000 CBM berdasarkan variasi jarak gadingnya yaitu 0,6 m dan 0,8 m.

Dengan layout konstruksi yang sama, kedua jarak gading tersebut dipilih berdasarkan ketentuan yang dikeluarkan oleh *BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) vol II section 9* yaitu jarak gading minimum yang digunakan sebesar 0,6 m, sedangkan dalam perhitungan jarak gading kapal LNG 30.000 CBM ini hasilnya 0,8 m.

2. Berat konstruksi pada kapal LNG 30.000 CBM dengan desain jarak gading 0,8 m lebih ringan dibandingkan dengan desain jarak gading 0,6 m.

Diketahui bahwa desain konstruksi dengan jarak gading 0,8 m memiliki berat konstruksi sebesar $4,68 \times 10^6$ kg sedangkan desain konstruksi dengan jarak gading 0,6 m 0,01% lebih berat dengan berat konstruksi sebesar $4,76 \times 10^6$ kg. Hal tersebut terjadi karena semakin rapat jarak gadingnya, semakin banyak pula konstruksi yang harus ditambahkan sehingga beratnya juga bertambah. Dari segi efisiensi jelas mempengaruhi biaya yang harus dikeluarkan karena bertambahnya konstruksi yang diperlukan.

3. Tegangan maksimum yang terjadi pada desain sistem konstruksi kapal LNG 30.000 CBM dengan jarak gading 0,6 m lebih tinggi dibandingkan dengan jarak gading 0,8 m.

Desain konstruksi dengan jarak gading 0,8 m memiliki tegangan maksimum sebesar $3,66 \times 10^7$ N/m² = 36,6 Mpa sedangkan desain konstruksi dengan jarak gading 0,6 m memiliki tegangan maksimum 0,01 % lebih tinggi sebesar $3,67 \times 10^7$ N/m² = 36,7 Mpa. Semua tegangan maksimum yang muncul terjadi pada kasus 1 pada daerah *inner side* (sisi miring). Untuk deformasi

maksimum pada desain jarak gading 0,6 m sebesar 18 mm dimana nilai ini juga 0,01 % lebih besar dibandingkan deformasi maksimum pada desain jarak gading 0,8 m sebesar 17,1 mm. Meskipun memiliki jarak gading yang lebih rapat hal ini terjadi karena desain konstruksi dengan jarak gading 0,6 m memiliki dimensi sistem konstruksi yang lebih kecil sehingga mempengaruhi harga momen inersia yang makin kecil pula.

Berdasarkan kriteria tegangan ijin yang dikeluarkan oleh *CSR Oil Tanker*, tegangan maksimum yang muncul dari kedua desain tersebut masih memenuhi kriteria dan layak untuk digunakan. Akan tetapi dilihat dari segi efektif dan efisien, desain dengan jarak gading 0,8 m lebih baik untuk direkomendasikan sebagai konstruksi kapal ini karena memiliki berat konstruksi lebih ringan serta tingkat tegangan maksimum yang lebih rendah dibandingkan dengan desain jarak gading 0,6 m.

8. Daftar Pustaka

Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. 2006. *Rules for The Classification and Contruction of Sea Going Stell Ship Volume II: Rules for Hull edition 2006*. Biro Klasifikasi Indonesia. Jakarta.

Dwi Pangestu, Baiquni .2013.” *Studi Karakteristik Bentuk Lambung Untuk Kapal Lng 30.000 Cbm Dengan Cargo Containment Tipe Membran Bentuk Prismatik*”, Universitas Diponegoro, Semarang.

IACS, 2012. “Common Structural Rules for Oil Tanker”, London.

Juanda, Effly .2013.”*Analisa Kekuatan Kapal Patroli Type 42 Meter Pada Sambungan Bimetal di Bagian Main Deck dan Superstructure Dengan Metode Finite Element*”, Universitas Diponegoro, Semarang.

Popov,E.P. [1996]. “Mekanika Teknik ed.2”.Jakarta:Erlangga