

ESTIMASI PENURUNAN BERAT KAPAL dengan APLIKASI STRUKTUR SANDWICH pada DOUBLE HULL TANGKER 5704 DWT

Heni Siswanti¹, Siti Ahdiatun Nur Zanuba¹, M. Musta'in¹

¹Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Negeri Madura
Sampang, Jawa Timur, Indonesia 69281

Email: henisiswanti31@gmail.com, heni@poltera.ac.id

Abstrak

Penggunaan double hull pada kapal tanker merupakan sebuah keharusan, sebagai upaya dalam menjaga lingkungan dari efek tumpahan minyak dari kebocoran kapal. Akan tetapi penggunaan double hull ini menghasilkan struktur yang berat, sehingga mengurangi kapasitas angkut muatan (*payload*). Selama beberapa dekade desainer melakukan upaya untuk menurunkan berat struktur salah satunya dengan pemanfaatan *lightweight material* berupa *polyurethane-steel sandwich*. Penggunaan *faceplate* baja yang kuat dengan *core* polyurethane berdensitas rendah menjanjikan pengurangan berat yang signifikan. Meskipun demikian kekuatan struktur tetap menjadi pertimbangan utama dalam desain struktur *sandwich*. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi penurunan berat struktur pada penggantian struktur konvensional plat baja berpenegar dengan struktur *sandwich* pada double hull kapal tanker 5704 DWT. Penelitian ini juga menganalisis kekuatan struktur dengan metode elemen hingga. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan struktur *sandwich* pada double hull kapal tanker dapat menurunkan berat struktur cukup signifikan, tanpa menurunkan kekuatan struktur. Hal ini membuktikan bahwa aplikasi struktur *sandwich* potensial untuk menaikkan *payload* kapal.

Kata Kunci: double hull, *sandwich*, berat, kekuatan, *payload*

Abstract

Double hulls on tankers are a must to protect the environment from the oil spill effects of ship leakage. However, a double hull structure produces a heavy structure, reducing the *payload*. For decades, designers have tried reducing the structure's weight by applying lightweight material such as polyurethane-steel *sandwich*. Strong steel faceplates with a low-density polyurethane core promise significant weight reduction. Nevertheless, structural strength remains a major consideration in the design of *sandwich* structures. This study evaluates the structural weight reduction of replacing a conventional stiffened plate structure with a *sandwich* structure on a double hull tanker 5704 DWT. It also analyzes the structural strength using the finite element method. The results show that applying a *sandwich* structure on a double-hull tanker significantly reduced the structure's weight without decreasing structural strength. It is proven that the application of *sandwich* structure potentially increases ship *payload*.

Keywords: double hull, *sandwich*, weight, strength, *payload*

1. PENDAHULUAN

Risiko kebocoran lambung kapal pada operasional kapal tanker menjadi perhatian khusus, terutama untuk perairan internasional. Kasus kecelakaan besar kapal tanker Exxon Valdes di perairan Prince William Sound, Alaska pada 24 Maret 1989 menumpahkan 40 juta liter minyak yang menyebabkan kerusakan ekosistem laut bahkan hingga puluhan tahun setelah kejadian [1]. Pada tahun 1992 MARPOL mewajibkan kapal tanker 5000 DWT untuk dilengkapi dengan lambung ganda (*double hull*), atau desain alternatif yang disetujui oleh *International Maritime Organization* (IMO). Peraturan ini harus diadopsi oleh operator kapal tanker

terutama yang beroperasi di perairan internasional.

Pelestarian lingkungan hidup aturan ini memberikan dampak positif, karena dapat mencegah *oil spill* terbuang langsung ke laut ketika terjadi kebocoran lambung kapal [2]. Akan tetapi dari sudut pandang operator kapal, *double hull* ini memberikan konsekuensi pada penurunan kapasitas angkut muatan (*payload*) akibat adanya peningkatan berat struktur kapal (*lightweight*). Studi tentang konversi tanker 3557 DWT *single hull* menjadi *double hull* menyatakan bahwa penambahan berat struktur *inner hull* adalah sekitar 2-3% DWT [3]. Jika diterapkan pada kapal yang lebih besar tentunya penambahan berat struktur ini bisa semakin besar.

Penggunaan *lightweight* material seperti plat *sandwich* menjadi alternatif bagi desainer kapal untuk mengupayakan penurunan berat struktur [4, 5]. Study terdahulu menyatakan bahwa *steel based hybrid sandwich* dapat digunakan untuk menggantikan struktur konvensional pada kapal baja [6]. Aplikasi plat *sandwich* pada lambung kapal tanker menunjukkan penurunan berat struktur yang cukup signifikan [7, 8, 9]. Demikian juga aplikasi pada struktur kapal jenis lain [10, 11]. Efek penurunan berat struktur juga terjadi ketika plat *sandwich* diaplikasikan pada struktur jembatan [12]. Penggunaan *faceplate* baja dan *core polyurethane elastomeric* berdensitas rendah memberikan efek kenaikan momen inersia penampang plat *sandwich*, sehingga meningkatkan kekakuan (*stiffness*) dengan penambahan berat struktur yang tidak signifikan [13]. Analisis kekuatan struktur *sandwich* pada beberapa bagian kapal dengan metode elemen hingga menunjukkan bahwa meskipun berat struktur turun, tapi kekuatan struktur kapal dapat dipertahankan bahkan lebih baik [14, 15, 16, 17]. Sehingga penggunaan struktur *sandwich* ini menjanjikan untuk digunakan sebagai alternatif desain yang dapat menurunkan berat struktur kapal.

Untuk membuktikan hal tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan estimasi penurunan berat struktur kapal, dengan mengaplikasikan struktur *sandwich* pada *double hull* kapal tanker 5704 DWT. Selain itu juga dilakukan evaluasi terhadap kekuatan struktur *double hull* dengan aplikasi desain struktur *sandwich*.

2. METODE

Objek studi ini adalah kapal jenis *product oil tanker* 5704 DWT, dengan ukuran utama Loa 96 m; Lpp 90,05 m; B 22 m; H 6,10 m dan T 5,10 m. Kapal ini memiliki 7 tangki muat di sisi *starboard* dan *portside*, dengan panjang masing-masing tangki muat 9 m. Secara garis besar metodologi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan plat *sandwich*

Pada penelitian ini struktur konvensional plat berpenegar pada bagian *double hull* kapal tanker 5704 DWT seperti yang ditunjukkan pada *midship section* Gambar 1. Struktur plat berpenegar pada *double hull* ini diganti dengan struktur *sandwich* seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Struktur ini menggunakan plat *sandwich* yang terdiri dari *faceplates* dan *core*, dengan *secondary stiffener* berupa pembujur dihilangkan, sedangkan penegar pada arah melintang tetap dipertahankan. Komponen struktur dari satu tangki muat pada kapal ini dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen Struktur

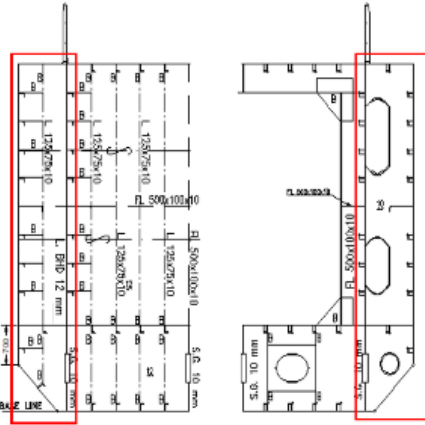
No	Komponen Konstruksi	Jumlah	Struktur Konv (mm)	Struktur Sandwich (mm)
1	<i>Side sheel (outer)</i>	1	12	N/A
2	<i>Faceplates</i>	1	N/A	4
3	<i>Core</i>	1	N/A	16
4	<i>Side Longitudinal (outer)</i>	8	125 x 75 x 10	N/A
5	<i>Side sheel (inner)</i>	1	12	N/A
6	<i>Faceplates</i>	1	N/A	4
7	<i>Core</i>	1	N/A	16
8	<i>Side Longitudinal (inner)</i>	7	125 x 75 x 10	N/A
9	<i>Stringer</i>	4	500 x 10	500 x 10

Perhitungan tebal plat *sandwich* mengacu pada aturan di Lloyd's Register yang mengatur aplikasi *sandwich* pada struktur kapal. Tebal plat *sandwich* didasarkan pada nilai *Strength Index* (R), dimana R harus bernilai sama dengan atau kurang dari 1 ($R \leq 1$) [18]. Persamaan yang digunakan adalah

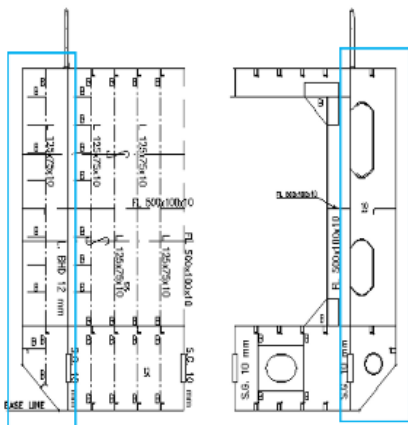
$$R = 0.01A_R \left[0.1 \frac{b^2}{a(t_1+t_2)} + 11.7 \left(\frac{bt}{a^2} \right)^{1.3} \right] kP_{eq,R}$$

Dengan nilai masing-masing *thickness allowance* adalah t_{aR} 1,0; t_{a1} 0,0; dan t_{a2} 1,0;

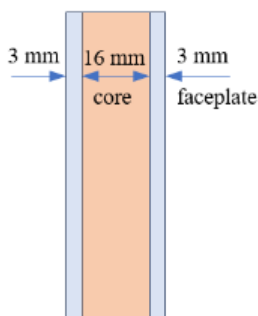
maka pada struktur ini didapatkan tebal spesifik plat sandwich yaitu tebal *faceplate* masing-masing 3 mm, dan tebal *core* 16 mm. Konfigurasi tersebut memberikan nilai *strength index* (R) 0,76. Konfigurasi tebal plat sandwich ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 1. Struktur konvensional *double hull*



Gambar 2. Struktur *sandwich double hull*

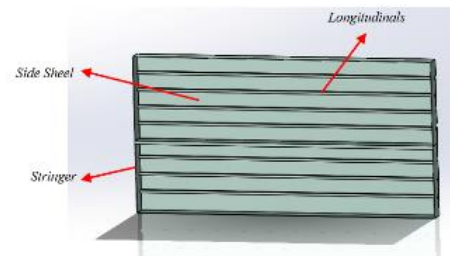


Gambar 3. Konfigurasi tebal plat *sandwich*

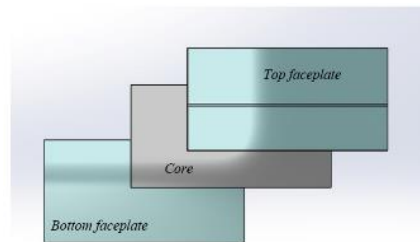
2. Pembuatan model struktur *double hull*

Pembuatan model dari kedua struktur tersebut dilakukan menggunakan *software solidwork*, dengan langkah sebagai berikut:

a. Pembuatan *sketch* komponen struktur



Gambar 4. Struktur konvensional *double hull*



Gambar 5. Struktur konvensional *double hull*

Material properties yang digunakan pada model numerik struktur kapal ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Material Properties

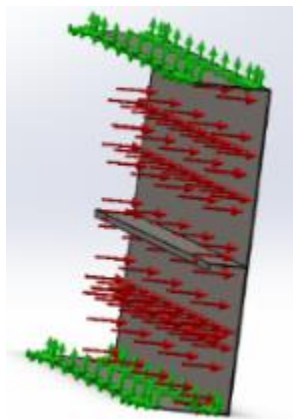
Struktur	Material	Density	E	v	Yield Stress
		Kg/m ³	Gpa		
Konv	Side Sheel	7850	200	0.32	235
Sandwich	Faceplates	7850	200	0.32	235
	Core	1150	0.248	0.36	34.5

b. *Fixture & Load*

Langkah selanjutnya adalah memberikan *fixture* dan *load* pada model struktur yang telah di *sketch*. *Fixture* bertujuan untuk menentukan kondisi batas (*boundary condition*) dari daerah yang akan dianalisis. Pada model ini *fixture* yang digunakan yaitu *fix geometry*. Model ini dibuat sepanjang satu ruang muat, sehingga batas atas adalah plat geladak, batas bawah adalah plat *bottom* dan batas kedua ujung horizontal adalah struktur sekat melintang kecap.

Langkah selanjutnya adalah memberikan beban (*load*) yang bekerja pada

struktur *double hull* yang dianalisis. Beban yang mengenai struktur plat sisi bagian luar (*outer*) diasumsikan sebagai gaya hidrostatis dari air tenang sebesar 11,74 kN. Sedangkan beban yang mengenai plat sisi bagian dalam (*inner*) adalah gaya yang berasal dari muatan yaitu sebesar 6,93 kN. Kedua beban itu adalah *static load* yang berasal dari luar struktur (*external load*). Gambaran *fixture* dan *load* pada pemodelan struktur ini dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Fixture* dan *load* pada model struktur

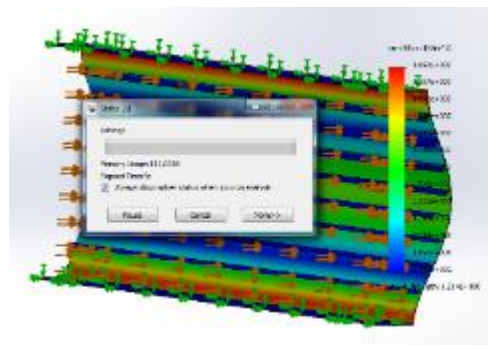
C. *Meshing*

Prinsip dasar penyelesaian masalah dalam metode elemen hingga adalah membagi sebuah sistem menjadi elemen-elemen kecil dengan jumlah terhingga, dan penyelesaian atau analisis dilakukan pada tiap-tiap elemen tersebut [19]. Proses pembagian menjadi elemen-elemen ini disebut *meshing*. Sebagian besar waktu yang diperlukan dalam pemodelan numerik dengan elemen hingga adalah menentukan jenis dan ukuran *mesh* yang tepat, sehingga memberikan hasil analisis yang akurat. Hasil akurat dapat dicapai jika *meshing* model telah mencapai kondisi konvergen. Pada model ini jenis *mesh* yang digunakan adalah *solid mesh* (*tetrahedral*) dan *shell mesh* tergantung bentuk geometry struktur yang dimodelkan yaitu plat dan profil. Proses analisis konvergensi model dilakukan dengan melakukan *running* model dengan beberapa ukuran *mesh* yang berbeda. Pada model ini konvergensi model dicapai dengan ukuran

mesh 150 mm. Pemilihan ukuran *mesh* ini selain memperhatikan keakuratan hasil analisis juga mempertimbangkan kemampuan komputasi dari *hardware* yang digunakan.

3. Analisis kekuatan struktur *double hull*

Hasil analisis kekuatan struktur dinyatakan dalam tegangan dan deformasi akibat pembebanan yang diberikan pada struktur. Proses penyelesaian secara numerik untuk analisis kekuatan model struktur ini dapat disebut dengan istilah *running*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Proses ini dilaksanakan pada *job module* dari perangkat lunak yang digunakan untuk analisis.



Gambar 7. Proses analisis kekuatan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Estimasi Penurunan Berat Struktur

Untuk melihat perubahan berat struktur karena aplikasi *sandwich* maka dilakukan perbandingan antara berat struktur konvensional plat berpenegar dan struktur *sandwich*. Fokus perhitungan berat dilakukan pada 7 tangki muat *starboard* dan *portside*, karena perubahan bentuk struktur hanya terjadi pada bagian ini saja, sementara pada bagian lain diasumsikan tidak ada perubahan struktur. Perbandingan berat dari kedua jenis struktur tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Berat Struktur

Struktur	Berat	Selisih	
	(ton)	(ton)	(%)
Konvensional	795,90		
<i>Sandwich</i>	691,91	103,99	-13,7

Dari Tabel 3 diketahui bahwa penggunaan struktur *sandwich* untuk menggantikan struktur konvensional plat berpenegar pada *double hull* kapal ini dapat menurunkan berat struktur sekitar 13,7%. Dengan demikian maka penggunaan struktur *sandwich* pada bagian tersebut memberikan beberapa dampak positif, diantaranya adalah:

- a) Berpotensi menaikkan *payload*, yaitu sebesar 103,99 ton. Artinya jika diasumsikan *displacement* (Δ) kapal ini tetap maka kapal dapat menambah daya angkut muatan sebesar berat tersebut.
- b) Jika operator memilih untuk tidak menambah kapasitas angkut cargo maka akan ada potensi penurunan *resistance*/tahanan kapal akibat dari turunnya *displacement* kapal. Sehingga jika kapal beroperasi pada kecepatan tetap maka akan berpotensi menurunkan konsumsi bahan bakar dan menurunnya emisi gas buang. Kemungkinan lain adalah penambahan kecepatan kapal tanpa perlu penambahan daya motor penggerak dan konsumsi bahan bakar.
- c) Karena terjadi pengurangan berat struktur di sisi kapal maka ada potensi letak titik VCG (*vertical center of gravity*) dari kapal ini akan turun. Hal ini memberikan keuntungan dari sisi stabilitas kapal. Nilai pasti penurunan posisi VCG ini perlu dihitung secara detail sesuai dengan kaidah perhitungan stabilitas kapal.

3.2 Perbandingan Kekuatan Struktur

Kekuatan struktur dinyatakan dengan memperhatikan nilai tegangan struktur *double hull* dari kapal ini. Tegangan yang dimaksud adalah tegangan *von misses* yang merupakan ukuran tegangan ekuivalen yang dialami suatu material. Pada struktur dengan bahan ulet (*ductile*) yang menunjukkan perilaku tarik dan tekan relatif sama seperti material baja, *von misses* lebih cocok digunakan untuk memprediksi kegagalan. Hal ini disebabkan *von misses* telah memperhitungkan tegangan normal dan tegangan geser yang mengenai

sebuah bidang material atau struktur. Sehingga untuk struktur kapal baja ini nilai kekuatan dinyatakan dalam nilai tegangan *von misses*.

Tabel 4. Perbandingan Tegangan Struktur

Kode	Struktur	Bagian	σ Max (<i>Von Misses</i>)
			Mpa
A-1	Konvensional	<i>Side Sheel (outer)</i>	168
A-2		<i>Side Sheel (inner)</i>	108
B-1	<i>Sandwich</i>	<i>Side Sheel (outer)</i>	159
B-2		<i>Side Sheel (inner)</i>	102

Berdasarkan Tabel 4 diketahui bahwa tegangan dari struktur *sandwich* lebih kecil daripada struktur konvensional plat berpenegar, hal ini terjadi baik pada struktur *double hull* bagian sisi luar (*outer*) maupun dalam (*inner*). Prosentase penurunan tegangan pada bagian plat sisi luar adalah adalah sekitar 5,4% dan pada sisi dalam adalah 3,8%. Hal ini senada dengan penelitian sebelumnya yang juga menyatakan bahwa penggunaan struktur *sandwich* dapat menurunkan tegangan struktur [7, 6, 8, 9].

Pada struktur kapal dengan material baja maka biasanya batas kekuatan struktur didasarkan pada nilai *yield* material. Misalnya Rules BKI menyatakan nilai *yield* material untuk struktur kapal adalah 235 Mpa [20]. Akan tetapi pada prakteknya nilai tersebut tidak langsung digunakan akan tetapi masih memperhatikan faktor keselamatan (*safety factor*). Sehingga dalam aturan struktur kapal dikenal adanya tegangan ijin, dimana tegangan struktur tidak boleh melampaui nilai tegangan ijin tersebut. Semakin tinggi faktor keselamatan, maka semakin rendah nilai tegangan ijin dari struktur tersebut. Beberapa rules menyatakan bahwa nilai tegangan ijin adalah 70% dari *yield*, yaitu sekitar 170 Mpa. Berdasarkan nilai tersebut maka tegangan struktur *sandwich* yang diaplikasikan pada *double hull* kapal ini berada jauh dibawah

tegangan ijin, sehingga memenuhi kriteria kekuatan yang disyaratkan oleh Rules. Dengan demikian aplikasi struktur *sandwich* pada double hull kapal ini dapat meningkatkan rasio kekuatan dan berat, sebagaimana penelitian yang sebelumnya [4].

Dalam analisis perilaku mekanis dari material atau struktur, selain memperhatikan nilai tegangan juga harus memperhatikan deformasi yang terjadi pada struktur tersebut. Deformasi ini menyatakan bagaimana suatu material akan berubah bentuk atau rusak ketika dikenai beban.

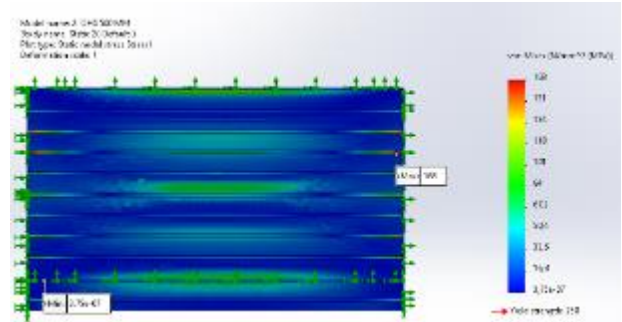
Tabel 5. Perbandingan Deformasi Struktur

Kode	Struktur	Bagian	Deformasi Max
			mm
A-1	Konvensional	Side Sheel (outer)	17,4
A-2		Side Sheel (inner)	11,7
B-1	Sandwich	Side Sheel (outer)	18,3
B-2		Side Sheel (inner)	11,9

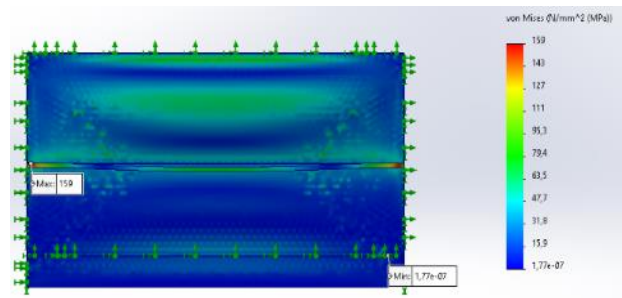
Berdasarkan Tabel 5 diketahui bahwa deformasi pada struktur *sandwich* lebih besar daripada struktur konvensional. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya *secondary stiffener* berupa pembujur (*longitudinals*) pada struktur double hull kapal ini. Meskipun demikian kenaikan deformasi akibat dihilangkannya pembujur pada bagian tersebut tidak signifikan, yaitu sebesar 1,7% pada bagian dalam dan 5% pada *side sheel* bagian luar. Kenaikan deformasi ini relative sangat kecil dan tidak berpengaruh terhadap kekuatan struktur secara keseluruhan.

3.3 Kontur Tegangan dan Deformasi

Selain mendapatkan nilai kekuatan struktur, analisis kekuatan dengan metode elemen hingga juga dapat menggambarkan kontur tegangan dan deformasi yang terjadi pada struktur yang dianalisis.



Gambar 8. Tegangan maksimum di side sheel (outer) struktur konvensional

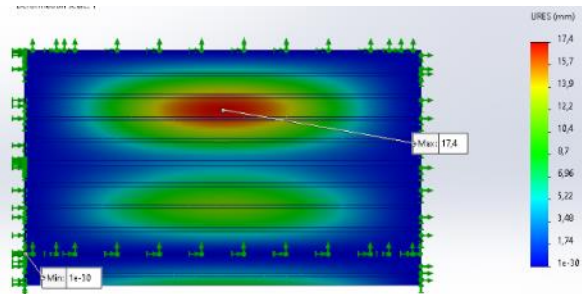


Gambar 9. Tegangan maksimum di side sheel (outer) struktur sandwich

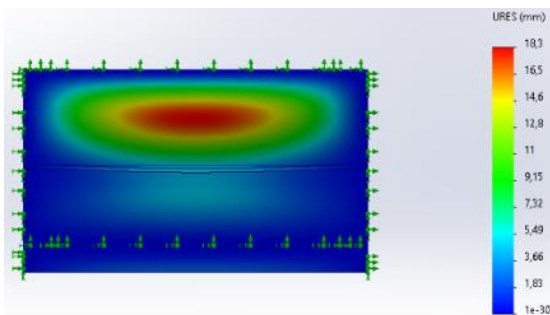
Penggunaan *polyurethane core* yang tebal diantara kedua lembar *faceplate* pada panel struktur yang luas akan mengurangi energi regangan, sehingga dapat mengurangi potensi konsentrasi tegangan. Dapat dilihat pada Gambar 8 bahwa pada struktur kapal konvensional pada ujung-ujung sambungan pembujur dengan sekat akan menjadi posisi tegangan maksimum dan di lokasi tersebut terjadi konsentrasi tegangan. Sedangkan pada struktur *sandwich* yang ditunjukkan pada Gambar 9, konsentrasi tegangan di posisi tersebut tidak ada karena tidak adanya pembujur-pembujur. Konsentrasi tegangan hanya tersisa di ujung-ujung senta/stringer saja, dengan nilai tegangan maksimum yang lebih kecil daripada struktur konvensional plat berpenegar.

Kontur deformasi yang terjadi pada struktur plat sisi bagian luar (outer) ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11. Pada struktur bagian ini aplikasi struktur *sandwich* menurunkan konsentrasi tegangan di bagian bawah struktur, meskipun tanpa adanya pembujur-pembujur. Hanya saja nilai deformasi masih lebih tinggi daripada struktur

konvensional. Oleh karena itu mungkin menjadi pertimbangan desainer untuk tetap memasang pembujur pada bagian ini akan tetapi dengan jarak interval yang lebih jauh daripada yang dipasang pada struktur konvensional plat berpenegar.

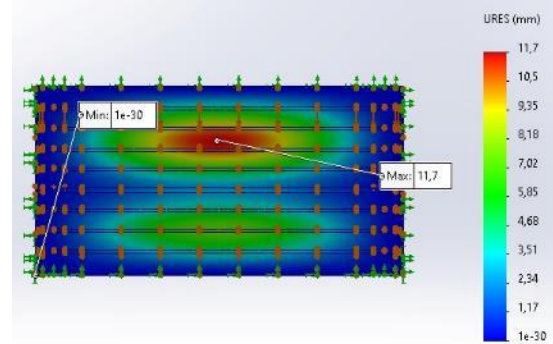


Gambar 10. Kontur Deformasi di side sheel (outer) struktur konvensional

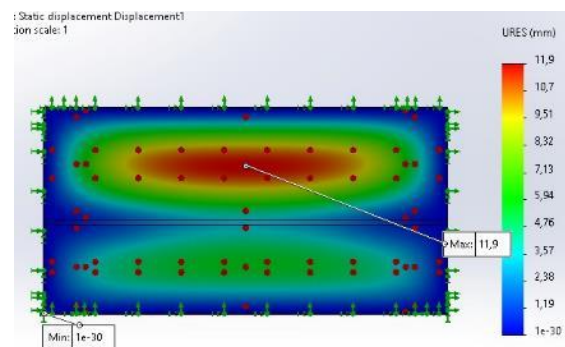


Gambar 11. Kontur Deformasi di side sheel (outer) struktur *sandwich*

Kontur deformasi yang terjadi pada struktur plat sisi bagian dalam (*inner*), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13. Pada bagian struktur ini kontur deformasi pada model *sandwich* justru menunjukkan area deformasi tinggi yang lebih luas daripada struktur konvensional. Hal ini sebagai akibat dari tidak adanya pembujur-pembujur pada struktur *sandwich*. Seperti pada struktur plat sisi bagian luar, pemasangan beberapa pembujur dapat dipertimbangkan untuk menurunkan nilai deformasi dan memperbaiki kontur deformasi pada bagian ini.



Gambar 12. Kontur Deformasi di side sheel (inner) struktur konvensional



Gambar 13. Kontur Deformasi di side sheel (inner) struktur *sandwich*

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisis maka dapat disimpulkan bahwa: Aplikasi struktur *sandwich* pada *double hull* kapal tanker 3704 DWT menurunkan berat struktur sebesar 13%. Penurunan berat struktur ini berpotensi untuk meningkatkan *payload* kapal. Selain itu juga ada potensi keuntungan dari sisi penurunan hambatan kapal (*resistance*) dan stabilitas kapal, yang dapat diteliti lebih lanjut secara detail. Aplikasi struktur *sandwich* dengan menghilangkan pembujur sisi pada struktur *double hull* kapal tanker 3704 DWT tidak mengakibatkan penurunan kekuatan struktur. Aplikasi struktur *sandwich* pada *double hull* tanpa penggunaan *secondary stiffener* (pembujur) memang meningkatkan nilai deformasi, akan tetapi peningkatan tersebut tidak signifikan sehingga tidak membahayakan integritas struktur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Iman, Q. A. Ganaie dan G. Saini, "The Exxon Valdez Oil Spill: A review," *International Journal of Technical Innovation in Modern Engineering & Science*, vol. 5, no. 4, pp. 220-223, 2019.
- [2] D. Mantoju, "Ananalysis of MARPOL Implementation based on Port State Control Statistics," *Journal of International Maritime Safety, Environment Affairs, and Shipping*, vol. 5, no. 3, pp. 132-145, 2021.
- [3] Zulaila dan H. Siswanti, "Perhitungan Konstruksi Kapal Tanker Single Hull Menjadi Double Hull (Studi Kasus MT. Dewi Sri 3557 DWT)," *Jurnal Techno Bahari*, vol. 5, no. 2, pp. 25-30, 2018.
- [4] K. Ramakrishnan dan P. Kumar, "Application of Sandwich Plate System for Ship Structures," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, pp. 83-90, 2016.
- [5] P. Kujala dan A. Klanac, "Steel Sandwich Panel in Marine Applications," *BRODOGRADNJA*, vol. 56, no. 4, pp. 305-314, 2005.
- [6] A. Ismail, A. Zubaydi, B. Piscesa dan E. Panangian, "A comparative study of conventional and sandwich plate side-shell using finite element method," dalam *2nd International Conference on Mechanical Engineering Research and Application (iCOMERA 2020)*, 2020.
- [7] M. Brooking dan S. Kennedy, "The performance, safety and production benefits of SPS structures for double hull tankers," dalam *Proceedings of the RINA Conference on Double Hull Tankers*, London, UK, 2004.
- [8] A. Ismail, A. Zubaydi, B. Piscesa dan Tuswan, "Study of Sandwich Panel Application On Side Hull Of Crude Oil Tanker," *Journal of Applied Engineering Science*, 2021.
- [9] N. Momcilovic dan M. Motok, "Estimation of ship lightweight reduction by means of application of sandwich plate system," *FME Trans vol. 37, no. 3*, p. 123–128, 2009.
- [10] J. Kortenoeven, B. Boon dan A. De Bruijn, "Application of sandwich panels in design and building of dredging ships," *J. Sh. Prod.*, vol. 24, no. 3, p. 125–134, 2008 .
- [11] S. J. Kennedy, J. Bond, D. Braun dan N. P. G., "An Innovative "No Hot Work" Approach to Hull Repair in In-Service FPSOs Using Sandwich Plate System Overlay," *Offshore Technology Conference*, 2003.
- [12] H. V. Mahajan dan S. R. Parekar, "Sandwich Plate System in Bridge Deck- A Review," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 5, no. 4, pp. 552-554, 2018.
- [13] C.-o. A. SANDCORE, "Best Practice Guide for Sandwich Structures in Marine Applications," University of Newcastle upon Tyne, New Castle, 2013.
- [14] A. Ismail, A. Zubaydi, B. Piscesa dan E. Panangian, "A strenght analysis of conventional and sandwich plate deck using Finite Element Method," dalam *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol 1034*, 2020.

- [15] Tuswan, K. Abdullah, A. Zubaydi dan A. Budipriyanto, "Finite-element analysis for structural strength assessment of marine *sandwich* material on ship side-shell structure," dalam *Materials Today: Proceedings*, vol. 13, no. 1, 2019.
- [16] G. Palomba, G. Epasto dan V. Crupi, "Lightweight *sandwich* structures for marine applications: a review," *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 2021.
- [17] Tuswan, A. Zubaydi, A. Budipriyanto dan S. Sujiatanti, "Comparative study on ferry ro-ro's car deck structural strength by means of application of *sandwich* materials," dalam *The 3rd International Conference on Marine Technology vol. 1*, 2018.
- [18] Lloyd's-Register, Rules for the Application of *Sandwich* Panel Construction to Ship Structure, Lloyd's Register, 2020.
- [19] D. L. Logan, A First Course in the Finite Element Method, 4th penyunt., Thomson, 2007.
- [20] BKI, Rules for the Classification and Construction of Seagoing Steel Ship, Vol II (Rules for Hull), Biro Klasifikasi Indonesia, 2020.