

ANALISIS TEGANGAN DAN DEFORMASI PADA PELAT SANDWICH STRUKTUR KAPAL YANG MENGALAMI KERUSAKAN RETAK PADA CORE MATERIAL

Stress And Deformation Analysis on Sandwich Plate of Ship Structure with Crack Damaged on Core Material

Heni Siswanti^{1,a} dan Muhammad Musta'in¹

¹Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Negeri Madura, Jl. Raya Camplong Km. 4, Sampang, Indonesia

e-mail: ^ahenisiswanti31@gmail.com

Diterima : 02 Agustus 2022; Direvisi: 13 Oktober 2022; Disetujui: 03 November 2022

Abstrak

Penggunaan pelat *sandwich* pada struktur kapal semakin meluas. *Steel based hybrid sandwich* banyak digunakan sebagai alternatif pengganti pelat baja berpenegar. Pelat *sandwich* ini terdiri dari *faceplate* berupa baja dan *core material* berupa matriks *polyurethane elastomer*. Perbedaan karakteristik pada dua material penyusun pelat *sandwich* tersebut menyebabkan beberapa permasalahan. Salah satu permasalahan yang mungkin terjadi adalah kerusakan retak pada *core material*, yang menyebabkan lepasnya *faceplate* dari *core*-nya. Hal ini terjadi karena *core material* yang berupa matriks *polyurethane* relatif getas (*brittle*), sehingga rentan mengalami kerusakan ketika terkena pembebanan lebih atau berulang. Pada penelitian ini dilakukan analisis *stress* dan deformasi pada pelat *sandwich* struktur geladak kapal. Pelat *sandwich* tersebut memiliki kerusakan retak pada *core*, yang menyebabkan *faceplate* lepas dari *core material* (*debonding*). Kerusakan *core* ini diasumsikan merepresentasikan retak mode I pada mekanika kepecahan. Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga dengan bantuan *software* komputer. Beberapa model dengan variasi panjang keretakan dianalisis, untuk melihat pengaruh panjang keretakan terhadap tegangan, deformasi dan faktor intensitas tegangan pada model tersebut. Serta dievaluasi nilai panjang retak minimal saat mulai terjadinya perambatan retak. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum (*von misses*) mengalami kenaikan secara linear dan signifikan terhadap kenaikan panjang keretakan. Tegangan maksimum pada kondisi utuh terjadi pada ujung-ujung kondisi batas jepit (*fixed*), sementara pada model dengan kerusakan berada pada sisi yang tidak mengalami keretakan. Deformasi juga mengalami kenaikan yang linear dan signifikan seiring dengan kenaikan panjang retak. Posisi deformasi maksimum berada pada ujung retakan. Nilai *critical stress intensity factor* (K_{IC}) pada model adalah 6,90 dan panjang retak retakan (a_f) adalah 12,2 mm. Artinya perambatan retak akan terjadi ketika panjang retak mencapai 12,2 mm.

Kata kunci: retak; model; tegangan; deformasi; faktor intensitas tegangan

Abstract

The use of sandwich plates in ship structures is increasingly widespread. Steel-based hybrid sandwiches are widely used to replace stiffened plate structures. This sandwich plate consists of steel faceplates and polyurethane elastomer matrix core material. The differences in the characteristic properties of the two materials caused several problems. One of the problems is cracked damage in the core material, which causes the faceplate to detach from the core. This happens because the polyurethane core material is brittle, so it is prone to damage when exposed to over or cyclic loading. In this study, stress and deformation analysis was carried out on the sandwich plate of the ship's deck structure, which had crack damage on the core. The damage

caused the delamination of the faceplate from the core material. This core failure is assumed to represent a mode I crack in fracture mechanics. The analysis was carried out using the finite element method with computer software. Several models with variations in the length of damage were analyzed to see the effect of length of damage on stress, deformation, and stress intensity factors in these models. Next, the minimum crack length when crack propagation begins is evaluated. The results of the analysis showed that the maximum stress (von misses) increased linearly and significantly with the increase in the crack length. The maximum stress in the intact condition occurs at the ends of the fixed boundary condition, while in the damaged model occurs on the side that does not crack. Deformation is also linear and significant increases along with the increase in crack length. The maximum deformation position is at the crack tip. The value of the model's critical stress intensity factor (K_{IC}) is 6,90 and the length of the failure crack (a_f) is 12,2 mm. This means that crack propagation will occur when the crack length reaches 12,2 mm.

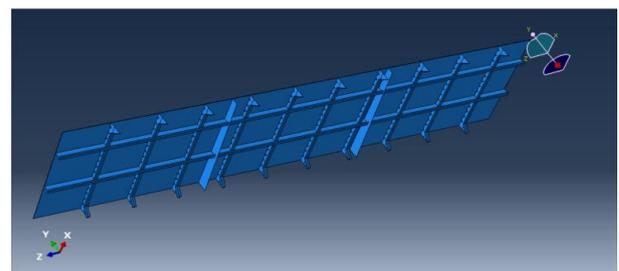
Keywords: crack; model; stress; deformation; stress intensity factor

PENDAHULUAN

Penggunaan pelat *sandwich* pada struktur kapal semakin meluas. *Steel-based hybrid sandwich* banyak digunakan sebagai alternatif pengganti pelat baja berpenegar (Utomo, et al., 2016). Panel *sandwich* digunakan pada struktur kapal untuk meningkatkan kekakuan lentur terhadap rasio berat (Ramakrishnan & Kumar, 2016). Berdasarkan penelitian terdahulu penerapan pelat *sandwich* juga dikatakan dapat mengurangi berat konstruksi kapal, sehingga dapat meningkatkan berat muatan (*payload*) (Momcilovic & Motok, 2009). Hasil studi numerik tentang penggunaan pelat *sandwich* pada beberapa bagian konstruksi kapal, seperti pada geladak (Sujiatanti, et al., 2018), sisi kapal (Ismail, et al., 2021), *car deck* (Tuswan, et al., 2018), *double hull tanker* (Brooking & Kennedy, 2004) dan *ramp door* (Tuswan, et al., 2020) menunjukkan bahwa *stress* pada struktur *sandwich* lebih kecil daripada struktur pelat berpenegar dan memenuhi syarat *allowable stress*.

Pelat *sandwich* ini terdiri dari *faceplate* berupa baja dan *core material* berupa matriks *polyurethane elastomer*. *Faceplate* umumnya memiliki kekakuan yang tinggi, sedangkan material inti memiliki kekuatan, kekakuan dan kepadatan yang rendah (Abdullah, dkk., 2018; Ardhyanta, et al., 2019). Perbedaan karakteristik pada dua material penyusun pelat *sandwich* tersebut menyebabkan beberapa permasalahan. Salah satu permasalahan yang mungkin terjadi adalah kerusakan retak pada *core*

material, yang menyebabkan lepasnya *faceplate* dari *core* (Palomba, et al., 2021). Analisis *fatigue* dan *fracture* pada material *core* yang dikenai beban statis maupun *cyclic* sebelumnya telah dilakukan pada panel *sandwich* komposit. Penelitian tersebut menganalisis kasus *debonding* yang dianggap merepresentasikan kombinasi *crack mode I* dan *mode II* pada *fracture mechanics* (Baharin, et al., 2022). *Finite Element Analysis* (FEA) juga telah dilakukan untuk melihat karakteristik *fatigue* dan *fracture* dari beberapa jenis dan konfigurasi *core material* baik *foam core* maupun *laminare core* (Farshidi, et al., 2022; Baharin, et al., 2022; Ghimire & Chen, 2020).



Gambar 1. Aplikasi panel *sandwich* pada struktur geladak kapal

Pada penelitian ini dilakukan analisis *stress* dan deformasi yang terjadi pada *steel-based hybrid sandwich* yang diaplikasikan pada struktur geladak kapal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pelat *sandwich* tersebut diilustrasikan memiliki kerusakan *core shear* berupa retak yang menyebabkan lepasnya

lapisan *faceplate* dari *core* material sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi kerusakan *core* pada pelat *sandwich* (Palomba, et al., 2021)

Kerusakan *core* ini diasumsikan merepresentasikan retak *mode I* pada mekanika kepecahan. Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga dengan bantuan *software* komputer. Beberapa model dengan variasi panjang kerusakan dianalisis, untuk melihat pengaruh panjang kerusakan terhadap stress, deformasi dan faktor intensitas tegangan pada model tersebut. Serta dievaluasi nilai panjang retak minimal saat mulai terjadinya perambatan retak.

METODE

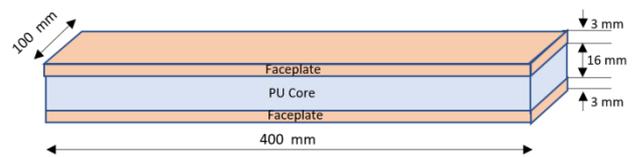
Pada penelitian ini model yang digunakan adalah *hybrid sandwich* dengan *faceplate* baja dan *core* material berupa *polyurethane elastomer*. Properties kedua material tersebut sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Properties karekteristik bahan

Bagian	<i>Faceplate</i>	<i>Core</i>
Jenis Material	Steel A 36	<i>Polyurethane Elastomer</i>
Tebal (mm)	3	16
Densitas (Kg/m ³)	7850	1124
<i>Yield Strength</i> (Mpa)	250	
<i>Young's Modulus</i> (Gpa)	206	0,348
<i>Poisson's Ratio</i>	0,3	0,360

Model yang digunakan memiliki ukuran 400 x 100 mm, dengan tebal 21 mm yang terdiri dari tebal *faceplate* masing-masing 3 mm dan tebal *core* 16 mm. Model ini diasumsikan sebagai potongan dari bagian pelat geladak, dengan arah horisontal. Model geometri numerik diilustrasikan seperti pada Gambar 3.

Pembebanan yang mengenai bagian tersebut diasumsikan sebaga beban geladak (P_D), sebesar 10 Mpa dengan arah vertikal ke bawah (tegak lurus arah pelat). Terdapat 4 model dengan variasi panjang retak sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Prosedur simulasi numerik dengan FEA dimulai dari tahap pra-proses yang meliputi pemodelan geometri pelat *sandwich*, *assembling* matriks kekakuan dan *meshing*. Kemudian dilanjutkan dengan langkah proses analisis untuk mendapatkan nilai *stress* dan deformasi.



Gambar 3. Model geometri

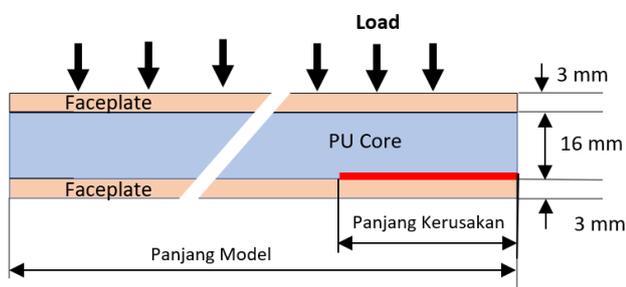
Tabel 2. Tabel variasi model numerik

No	Model	Rasio Panjang Retak	Panjang Retak
			(mm)
1	A	0%	0
2	B	10%	40
3	C	15%	60
4	D	25%	100

Kerusakan Retak Mode I (*Opening Mode*)

Kerusakan dibuat dengan memotong *core* material dengan tebal 0,5 mm yang diasumsikan sebagai kerusakan retak yang menyebabkan lepasnya *faceplate* dari *core* (*debonding*). Pada kasus ini kerusakan *debonding* berada pada antarmuka antara *PU core* dengan *faceplate* bagian atas. Kerusakan diasumsikan berupa diskontinuitas atau *cavity* pada bagian *core* di daerah *interface* antara dua lapisan. Masing-masing model memiliki perbedaan panjang retak, seperti yang dijelaskan pada Tabel 2. Ilustrasi arah pembebanan dan panjang retak ditunjukkan pada Gambar 4. Beban pada model diasumsikan sebagai beban yang terdistribusi merata yang diterima oleh seluruh permukaan. Kerusakan tersebut juga diasumsikan sebagai retak *mode I* (*opening mode*)

dalam *fracture mechanics*. Retak ini diakibatkan oleh tegangan tarik arah tegak lurus terhadap arah perambatan retak, sehingga arah *displacement* tegak lurus bidang retak. Elemen solid 8 *brick node* (C3D8) digunakan untuk memodelkan *core*, sementara elemen *shell 4 node* digunakan untuk memodelkan *faceplate*. Interaksi antara *faceplate* dan *core* menggunakan *surface to surface tie constraint* sebagai interaksi kohesif. *Fixed boundary condition* diterapkan pada kedua sisi panjang model. Pada model ini dipilih ukuran *mesh* 2 mm, dengan metode *structural mesh*.



Gambar 4. Ilustrasi arah beban dan panjang retak

Tegangan

Konsep dasar dalam mekanika bahan adalah tegangan normal dan regangan normal. Tegangan adalah gaya (P) dibagi dengan luas penampang A dari batang/benda seperti pada persamaan (1).

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Jika suatu batang mengalami beban tarik aksial atau tekan aksial, maka selain mendapatkan tegangan juga akan mengalami regangan. Regangan adalah pertambahan panjang dibagi dengan panjang mula-mula.

Stress Intensity Factor (SIF)

Stress Intensity Factor (SIF) adalah parameter desain yang dapat digunakan untuk memperhitungkan sisa umur dari struktur yang mengalami kerusakan. Nilai SIF dipengaruhi oleh geometri struktur, ukuran dan lokasi retakan serta distribusi beban yang terjadi pada struktur. Dengan

persamaan SIF ditunjukkan pada persamaan (2). Persamaan SIF yang digunakan adalah pendekatan untuk material isotropik homogen, karena kerusakan pelat *sandwich* ini diasumsikan terjadi pada *core* polyurethane di lokasi antarmuka yang berbatasan dengan *faceplate*.

$$K_I = F\sigma\sqrt{\pi\alpha} \quad (2)$$

K_I adalah *stress intensity factor* ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$); σ adalah nominal *stress* (MPa); α adalah panjang retak (mm); dan F adalah 1,12 untuk retak dipinggir.

Retak yang terjadi pada material akan merambat (*propagate*) jika nilai SIF telah melewati nilai kritisnya. *Critical stress intensity factor* ini dikenal dengan notasi K_{IC} yang dapat dihitung dengan persamaan (3).

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{B}{2,5}} \sigma_{yield} \quad (3)$$

K_{IC} adalah *critical stress intensity factor* ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$); σ_{yield} adalah *yield stress* (MPa); dan B adalah tebal pelat/material (m).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tegangan (Stress)

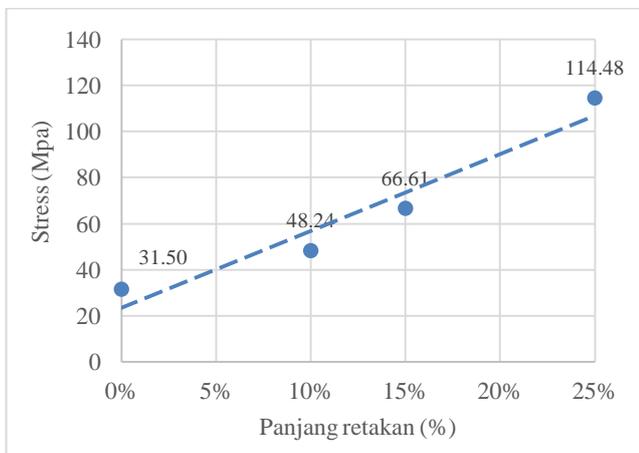
Berdasarkan hasil *running* dari tiap-tiap model yang telah dilakukan konvergensi, didapatkan hasil nilai tegangan pada setiap model. Tegangan yang diperoleh dibandingkan dengan persyaratan yang diberikan oleh kelas. Apabila tegangan yang dihasilkan lebih kecil dari yang disyaratkan Lloyd's Register maka tegangan dianggap memenuhi persyaratan. Rasio tegangan ijin maksimum adalah 0,72, oleh karena itu jika nilai rasio tegangan ijin dianggap memenuhi jika nilainya kurang dari 0,72 (Lloyd's-Register, 2020). Nilai *Von Misses stress* pada pelat *sandwich* dibandingkan dengan nilai stress dari material *faceplate* yaitu baja. Hasil tegangan, deformasi, rasio tegangan ijin dan persentase kenaikannya ditunjukkan pada Tabel 3.

Nilai perubahan tegangan maksimum (*Von Misses*) dengan grafik pada Gambar 5. Dari grafik

tersebut dapat dilihat bahwa tegangan mengalami kenaikan secara linear dan signifikan terhadap kenaikan panjang keretakan. Hal ini menunjukkan bahwa lepasnya *faceplate* dari *core material* (*debonding*) menyebabkan kenaikan tegangan pada struktur. Kenaikan tegangan ini menjadi indikasi menurunnya kekuatan struktur tersebut.

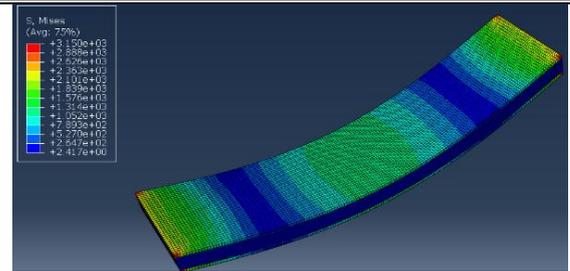
Tabel 3. Hasil analisis tegangan dan deformasi

Model	Von Misses	Deformasi	Rasio tegangan ijin (σ_i)	Kenai-kan tegangan	Kenai-kan deformasi
	Mpa	mm	$\frac{\sigma_{von\ misses}}{\sigma_{yield}}$	%	%
A	31,50	3,43	0,126		
B	48,24	5,43	0,193	53,1	58,2
C	66,61	8,24	0,266	111,5	
D	114,48	14,40	0,458	263,4	319,7

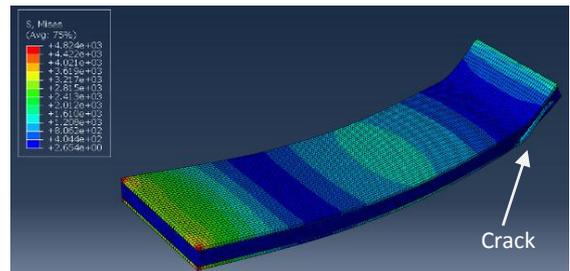


Gambar 5. Grafik tegangan maksimum (*Von Misses*)

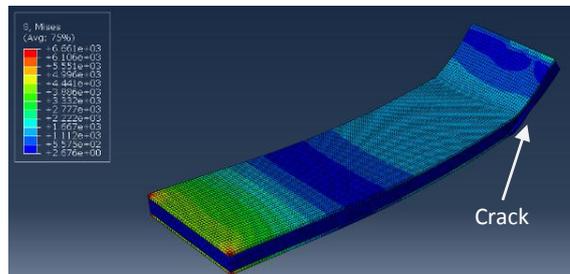
Distribusi tegangan juga dapat diamati pada model numerik, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Posisi tegangan maksimum pada gambar ini ditunjukkan dengan warna merah pada kontur tegangan. Gambar 6 menunjukkan bahwa tegangan maksimum (*Von Misses stress*) pada kondisi utuh terhadid pada ujung-ujung kondisi batas jepit (*fixed*), sementara pada model dengan kerusakan, bergeser ke arah sisi yang tidak mengalami keretakan.



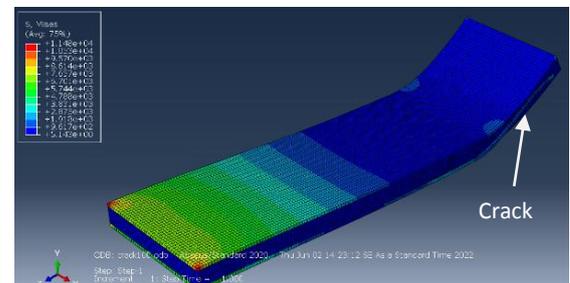
(a)



(b)

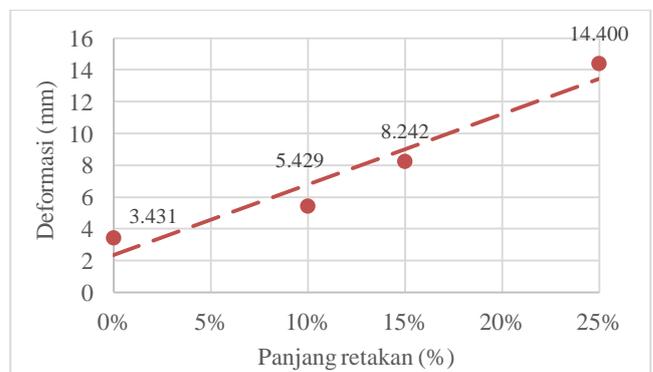


(c)



(d)

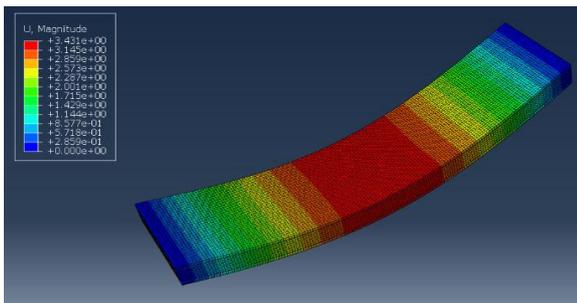
Gambar 6. Distribusi tegangan model dengan panjang retak; (a) 0% (*intact*); (b) 10%; (c) 15%; (d) 25%



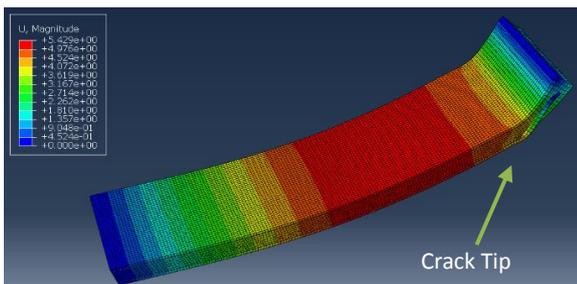
Gambar 7. Grafik perbandingan deformasi model *intact* dan model dengan kerusakan

Deformasi

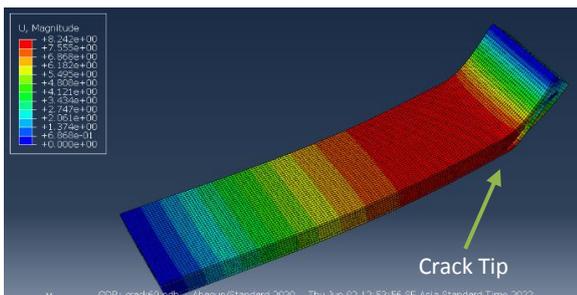
Hasil deformasi pada keempat model ditampilkan dalam bentuk grafik, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Sama seperti kondisi tegangan, deformasi juga mengalami kenaikan yang linear dan signifikan pada model seiring dengan kenaikan panjang kerusakan. Akibat adanya kerusakan pola distribusi tegangan pada model berubah, jika dibandingkan dengan model *intact*.



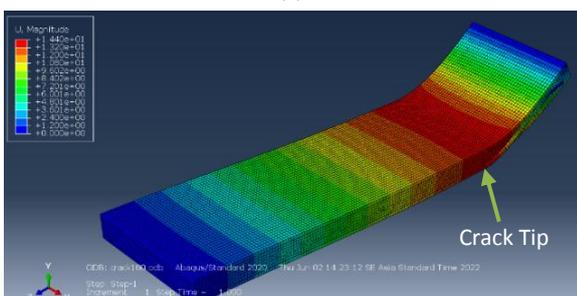
(a)



(b)



(c)

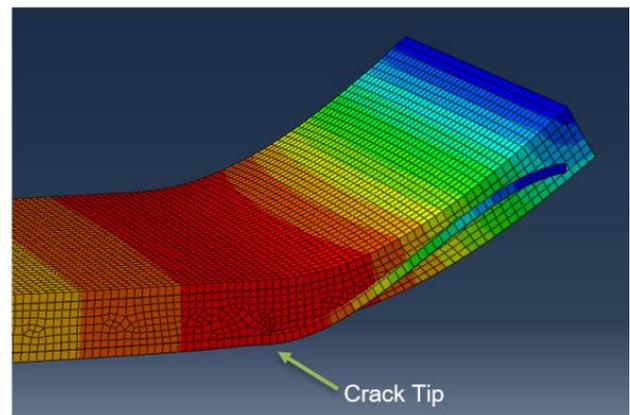


(d)

Gambar 8. Perbandingan pola arah deformasi pada model utuh dan model dengan kerusakan

Sementara itu kontur posisi struktur yang mengalami deformasi pada model *intact* dan model dengan kerusakan ditunjukkan pada Gambar 8. Pada model *intact* deformasi maksimum terjadi di $\frac{1}{2} L$ model (simetris). Sedangkan pada model dengan kerusakan maka deformasi maksimum tidak lagi simetris akan tetapi bergeser ke arah sisi yang mengalami kerusakan. Semakin panjang kerusakan maka posisi deformasi maksimum semakin bergeser mendekati sisi yang mengalami kerusakan.

Titik posisi yang mengalami deformasi maksimum berada pada ujung retakan (*crack tip*), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Struktur dengan kondisi seperti ini jika mengalami beban berlebih atau beban berulang maka dapat menyebabkan kerusakan yang lebih besar.



Gambar 9. Posisi deformasi maksimum pada model berada di ujung retakan (*crack tip*)

Stress Intensity Factor (SIF)

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *stress intensity factor*/faktor intensitas tegangan pada pelat *sandwich* tersebut. *Stress Intensity Factor* (K_I) menggambarkan keadaan *stress* di ujung retak, terkait dengan laju pertumbuhan retak dan digunakan untuk menetapkan kriteria kegagalan karena patah. K_I merupakan salah satu parameter yang paling mendasar dalam *fracture mechanics*. K_I ini adalah kekuatan pendorong untuk kerusakan di ujung retak, yang menunjukkan ukuran ketahanan retak material (*fracture toughness*). Nilai K_I untuk masing-masing panjang kerusakan yang terjadi adalah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

Nilai kritis dari *stress intensity factor* disebut K_{IC} atau *Critical Fracture Toughness*. K_{IC} menyatakan ketangguhan retak kritis dari pelat *sandwich* tersebut. Jika nilai ketangguhan retak pelat melampaui K_{IC} artinya telah terjadi perambatan retak. Nilai K_{IC} dari pelat *sandwich* pada model ini adalah $6,90 \text{ Mpa.m}^{-2}$. Dari Tabel 4 dapat diketahui bahwa dengan panjang retak mulai 40 mm (10%) nilai K_I telah melampaui K_{IC} , artinya perambatan retak telah terjadi. Semakin panjang keretakan yang terjadi maka nilai K_I juga semakin besar. Semakin besar nilai K_I maka laju perambatan retak semakin besar. Sehingga peningkatan nilai K_I secara signifikan pada panjang retak yang lebih besar menandakan bahwa semakin panjang retak maka laju pertumbuhan retak semakin besar, atau dapat dikatakan bahwa retak semakin cepat merambat.

Tabel 4. Tabel SIF masing-masing panjang kerusakan

Panjang kerusakan		Model	(SIF) K_I
(mm)	% panjang		Mpa.m^{-2}
0	0%	A	0
40	10%	B	19,16
60	15%	C	32,40
100	25%	D	71,88

Dengan persamaan yang sama dapat dihitung panjang retak gagal (a_f). Panjang retak gagal dari geometri model diatas adalah 0,0122 m atau 12,2 mm. Artinya perambatan retak akan terjadi jika panjang retak telah mencapai 12,2 mm. Dengan memperhatikan *S-N curve* dari material maka nilai K_I dan K_{IC} ini dapat digunakan dalam memprediksi sisa umur dari pelat *sandwich* yang mengalami kerusakan.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan maksimum (*Von Mises*) mengalami kenaikan secara linear dan signifikan terhadap kenaikan panjang kerusakan akibat *debonding*. Tegangan maksimum pada kondisi

utuh terjadi pada ujung-ujung kondisi batas jepit (*fixed*), sementara pada model dengan kerusakan, berpusat pada sisi yang tidak mengalami kerusakan. Deformasi mengalami kenaikan yang linear dan signifikan pada model seiring dengan kenaikan panjang kerusakan. Pada model utuh deformasi maksimum terjadi di $\frac{1}{2} L$ model, sedangkan pada model dengan kerusakan deformasi maksimum bergeser ke arah sisi yang mengalami kerusakan dan berada pada ujung retakan. Nilai *critical stress intensity factor* (K_{IC}) model adalah 6,90, panjang retak gagal (a_f) adalah 12,2 mm. Artinya perambatan retak akan terjadi ketika panjang retak mencapai 12,2 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., Zubaydi, A. dan Budipriyanto, A. (2018). Aplikasi Sandwich Plate System Berbahan Core Limbah Cangkang Kerang pada Geladak Kapal. *Jurnal Wave*, Vol. 12(2): 1-8.
- Ardhyananta, H., Sari, E. N., Wicaksono, S. T., Ismail, H., Tuswan, and Ismail, A. (2019). Characterization of Vinyl Ester Bio-resin for Core Material Sandwich Panel Construction of Ship Structure Application: Effect of Palm Oil and Sesame Oil. *AIP Conference Proceedings* 2202, 020051, pp. 1-5.
- Baharin, M. S., Abdullah, S., Singh, S. S. K. and Faidzi, M. K. (2022). Computational Fatigue Failure Analysis of Magnesium Alloy Core Structure Inside the Metal Sandwich Panels Under Constant Spectrum Loadings. *Engineering Failure Analysis*. Volume 136: 1-16.
- Brooking, M. A. and Kennedy, S. J. (2004). The Performance, Safety and Production Benefits of SPS Structures for Double Hull Tankers. *Proceedings of the RINA Conference on Double Hull Tankers*.
- Farshidi, A., Berggreen, C. and Carlsson, L. A. (2022). Low Temperature Mixed-Mode Debond Fracture and Fatigue Characterisation of Foam Core Sandwich. *Journal of Sandwich Structures*

-
- & Materials*, Vol 22(4): 1039-1054.
- Ghimire, S. & Chen, J. (2020). Predicting Fracture Mechanisms in Synthetic Foam Sandwiches with Multi-Layered Cores using Extended Cohesive Damage Model. *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 223: 1-12.
- Ismail, A., Zubaydi, A., Piscesa, B., Tuswan and Ariesta, R. C. (2021). Study of *Sandwich* Panel Application on Side Hull of Crude Oil Tanker. *Journal of Applied Engineering Science*, Vol. 19(4): 1090-1098.
- Lloyd's Register. (2020). *Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*. Lloyd's Register, London.
- Momcilovic, N. and Motok, M. (2009). Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of Application of Sandwich Plate System. *FME Transactions*, Vol. 37(3): 123-128.
- Palomba, G., Epasto, G. and Crupi, V. (2021). Lightweight *Sandwich* Structures for Marine Applications: a Review. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*.
- Ramakrishnan, K. V. and Kumar, P. S. (2016). Application of Sandwich Plate System for Ship Structures. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, pp. 83-90.
- Sujatanti, S. H., Zubaydi, A. and Budipriyanto, A. (2018). Finite Element Analysis of Ship Deck Sandwich Panel. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 874: 134-139.
- Tuswan, Zubaydi, A., Budipriyanto, A. and Sujatanti, S. H. (2018). Comparative Study on Ferry Ro-Ro's Car Deck Structural Strength by Means of Application of Sandwich Materials. *Proceedings of the 3rd International Conference on Marine Technology (SENTA 2018)*, pp. 87-96.
- Tuswan, Zubaydi, A., Piscesa, B. and Ismail, A. (2020). Dynamic Characteristic of Partially Debonded *Sandwich* of Ferry Ro-Ro's Car Deck: a Numerical Modeling. *Open Engineering*, Vol. 10(1): 424-433.
- Utomo, E., Zubaydi, A., dan Pratisna, P. (2016). Study of Core Material Sandwich Panel in Ship Construction. *The 2nd International Seminar on Science and Technology*, pp. 93-98.