

# Analisis *Crack* pada *Transverse Corrugated Bulkhead* Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga

Matthew Majesta Raihan Aldi Gunawan, Achmad Zubaydi, Septia Hardy Sujiatanti,  
dan Rizky Chandra Ariesta

Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail*: zubaydi@na.its.ac.id

**Abstrak**—Salah satu bagian dari konstruksi kapal adalah sekat. Sekat digunakan untuk membatasi/ melokalisir bahaya kebakaran atau kebocoran, membagi bagian-bagian kapal, dan memperkuat konstruksi kapal. Kelelahan dapat dialami oleh bagian sekat yang terkena beban. Dilakukan analisis perhitungan tegangan *buckling* pada sekat bergelombang yang diakibatkan oleh adanya retak permulaan. Tujuan dilakukan penelitian adalah mengetahui tegangan kritis setiap variasi panjang retak mula-mula. Data kapal penelitian ini didapatkan penelitian sebelumnya. Variasi panjang retak yang digunakan yaitu panjang 50 mm, 75 mm, 100 mm, 150 mm, 175 mm, dan 200 mm. setelah dilakukan simulasi pada setiap variasi, dilakukan analisis dan perhitungan untuk mendapatkan tegangan kritis setiap variasi. Tegangan kritis terbesar terjadi pada variasi model sekat bergelombang dengan panjang retak 50 mm yaitu sebesar 207.6 MPa. Sementara tegangan kritis terkecil terjadi pada variasi model panjang retak 200 mm yaitu sebesar 207.39 MPa.

**Kata Kunci**—*Buckling*, Retak, Sekat Bergelombang, Tegangan Kritis.

## I. PENDAHULUAN

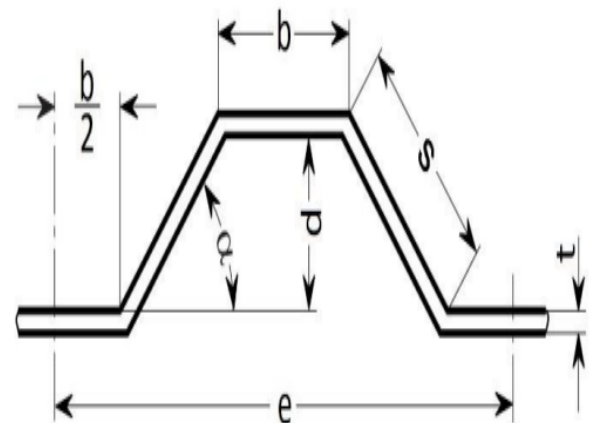
SALAH satu bagian dari konstruksi kapal adalah sekat. Sekat berguna untuk membatasi/ melokalisir bahaya kebakaran atau kebocoran, membagi bagian-bagian kapal, dan memperkuat konstruksi kapal. Terdapat dua jenis sekat yang digunakan pada konstruksi kapal yaitu sekat bergelombang (*corrugated bulkhead*) dan sekat berpenegar. Kelebihan sekat bergelombang adalah lebih mudahnya sekat bergelombang dibersihkan dari pada sekat berpenegar. Selain itu, penggunaan sekat bergelombang lebih mudah untuk pemeliharaan, lebih ringan, dan lebih mudah dalam menyelesaikan masalah korosi.

Sekat yang terkena beban terus menerus akan mengalami kelelahan baik permulaan retak, perambatan retak, maupun patah. Retak permulaan ditandai pada kondisi cacat las tertentu yang memicu perambatan retak. Adanya retak (*crack*) permulaan pada sekat akan memengaruhi kekuatan konstruksi sekat. Semakin besar retak permulaan pada sekat, kekuatan konstruksi sekat akan semakin berkurang. Oleh karena itu, diperlukannya analisis pengaruh *crack* pada sekat bergelombang untuk mengetahui seberapa besar sekat bergelombang mampu menahan besarnya beban.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Sekat Bergelombang

Sekat bergelombang (*corrugated bulkhead*) biasanya digunakan sebagai sekat ruang muat kapal. Beberapa jenis kapal yang biasanya menggunakan sekat bergelombang yaitu



Gambar 1. Elemen sekat bergelombang.

*oil tanker*, *bulk carrier*, dan *chemical tankers*. Penggunaan sekat bergelombang pada kapal bertujuan agar memudahkan perawatan dan proses bongkar muat. Pada satu panel sekat bergelombang, sudut kemiringan minimum yaitu  $45^\circ$  [1].

Sekat bergelombang dibagi menjadi dua berdasarkan arah lekuknya, yaitu lekuk vertikal dan lekuk horizontal. Sekat bergelombang dibuat dari pelat paralel dan pelat miring yang menjadi penghubung pelat paralel. Selain terbuat dari dua pelat, sekat bergelombang juga dapat dibuat dari satu lembar pelat dengan proses *bending*.

### B. Modulus Penampang Sekat Bergelombang

Modulus penampang sekat bergelombang dihitung berdasarkan aturan Biro Klasifikasi Indonesia Volume II Tahun 2021 Section 11 B.4. Perhitungan modulus sekat dihitung menggunakan Persamaan (1). Elemen sekat bergelombang ditampilkan pada Gambar 1.

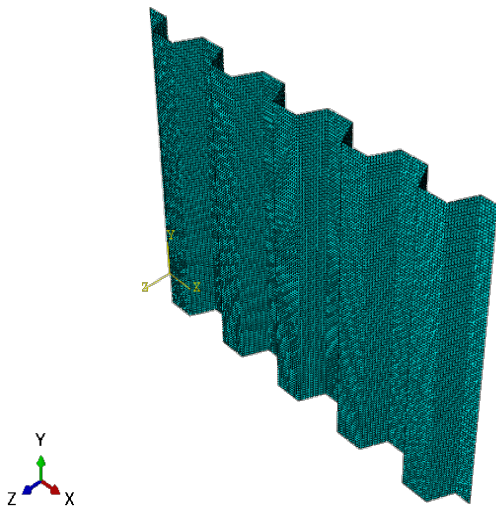
$$W = t \times d(b + s/3) \quad (1)$$

Diketahui:

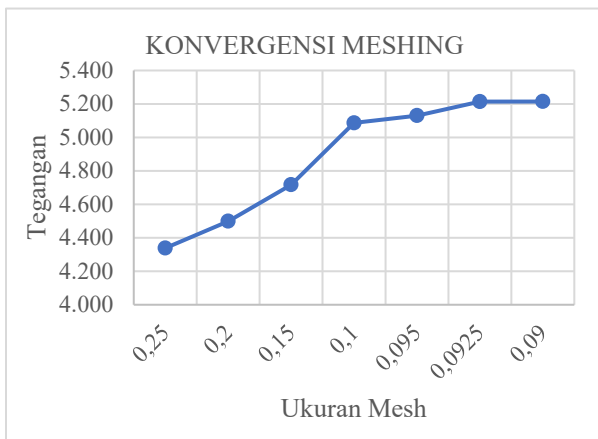
- $W$  = modulus sekat ( $\text{cm}^3$ )
- $t$  = tebal pelat (cm)
- $d$  = jarak antara pelat hadap (cm)
- $b$  = lebar pelat hadap (cm)
- $s$  = lebar pelat bilah (cm)

### C. Beban Aksial

Bila sepasang gaya tekan aksial menekan suatu batang, akibatnya batang ini cenderung untuk mempendek atau menekan batang tersebut. Oleh karena itu, gaya tarik aksial yang terjadi akan menimbulkan tegangan pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap



Gambar 2. Model sekat bergelombang.



Gambar 3. Hasil konvergensi sekat bergelombang model existing.

sumbunya.

**D. Metode Elemen Hingga**

Metode elemen hingga (*finite element method*) adalah metode numerik yang digunakan dalam penyelesaian masalah dan menemukan solusi di bidang rekayasa. Metode elemen hingga dapat menyelesaikan permasalahan seperti analisis tegangan, perpindahan panas, elektromagnet, dan aliran fluida. Metode elemen hingga menggunakan pendekatan integral dalam menghasilkan sistem persamaan aljabar. Metode elemen hingga menggunakan fungsi kontinu sebagian dalam mendeteksi kuantitas yang tidak diketahui [2].

Metode elemen hingga digunakan untuk menemukan solusi dalam permasalahan rekayasa. Sebagai contoh, pada saat perhitungan biasa sulit untuk digunakan akibat bentuk geometri yang rumit. Prinsip dari metode elemen hingga yaitu membagi objek benda menjadi beberapa substruktur berhingga yang disebut dengan *meshing*. Beberapa substruktur tersebut disebut dengan elemen. Elemen-elemen bagian dari objek dihubungkan oleh *node*. Terdapat beberapa jenis elemen yang digunakan pada metode elemen hingga yaitu elemen garis, elemen dua dimensi, dan elemen tiga dimensi. Elemen garis terdiri dari batang (kolom) yang memiliki 2 hingga 3 *node* dari ujung ke ujungnya. Elemen dua dimensi memiliki bentuk *triangular* dan *quadrilateral*. Elemen tiga dimensi memiliki bentuk *tetrahedral* dan *hexahedral* [3].

Tabel 1. Variasi Model.

Ukuran Utama	
<i>Length overall</i> (LOA)	157,5 m
<i>Length Between Perpendicular</i> (LBP)	149,5 m
Lebar Moulded (B)	27,7 m
Tinggi Moulded (D)	12 m
<i>Draft</i> (T)	7 m
Kecepatan Dinas	13 knots
<i>Deadweight</i> (DWT)	17500 LT

Tabel 2. Variasi Model.

Lebar Retak (mm)	Panjang Retak (mm)
5	50
5	75
5	100
5	150
5	175
5	200

Tabel 3. Hasil Konvergensi Meshing.

Konvergensi Meshing			
<i>Meshing</i> (mm)	Jumlah Elemen	Tegangan (MPa)	Selisih
0,25	1922	4338,41	
0,2	3198	4498,87	3,699%
0,15	6344	4716,72	4,842%
0,1	12956	5086,77	7,845%
0,095	15272	5130,01	0,850%
0,0925	15581	5213,82	1,634%
0,09	16008	5214,43	1,646%

**E. Eigen Value**

*Eigen Value* atau Nilai Eigen adalah sebuah nilai dari matriks  $n \times n$ . Langkah prediksi *buckling eigen value* mendefinisikan pola pembebanan inkremental. Apabila beban diaplikasikan ke suatu struktur, besar beban tersebut tidak berpengaruh karena adanya *eigen value* yang akan menskalakan beban yang diprediksi dalam analisis *buckling* [4].

**F. Kekuatan Buckling**

Pada analisis *eigen value buckling*, umumnya bertujuan untuk menentukan *critical buckling load* dari suatu struktur. Struktur tersebut menahan beban desain dan beban aksial. Perhitungan *critical buckling load* ditunjukkan pada persamaan (2) [5].

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \tag{2}$$

Dimana:

$P$  = Modulus elastisitas

$I$  = Inersia penampang

$L$  = Panjang efektif kolom

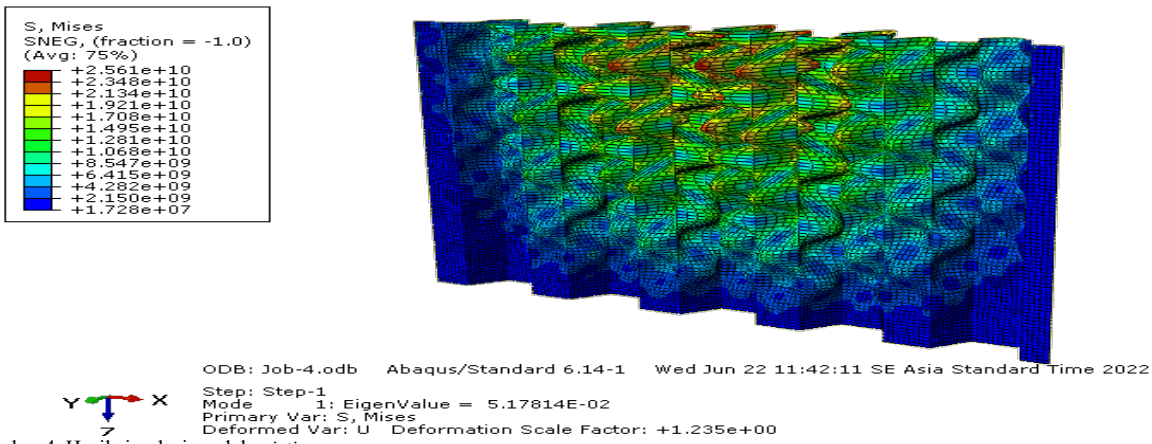
Pada fenomena *buckling*, terjadi kelengkungan pada pelat. Kelengkungan pelat mengakibatkan adanya tegangan yang terjadi. Perhitungan fleksibilitas lengkung ditunjukkan pada persamaan (3) [6].

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \tag{3}$$

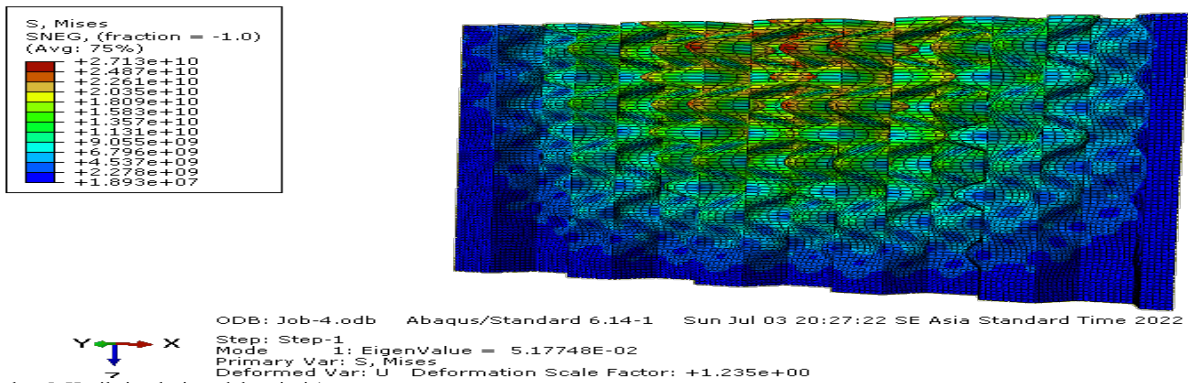
Dimana:

$E$  = Modulus elastisitas

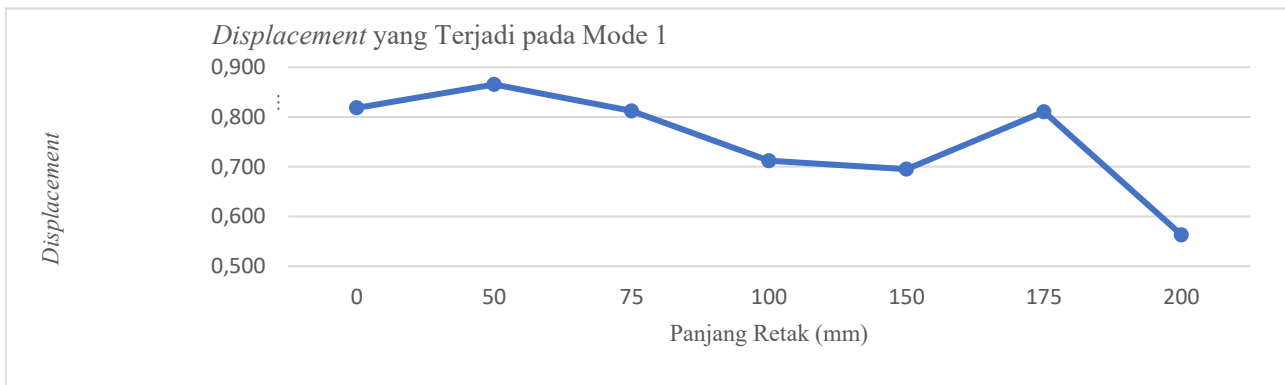
$t$  = Merupakan tebal pelat



Gambar 4. Hasil simulasi model existing.



Gambar 5. Hasil simulasi model variasi 1.



Gambar 6. Grafik displacement mode 1 setiap model variasi.

$\nu$  = Rasio poisson

G. Retak Permulaan

Adanya kerusakan pada struktur disebut dengan *defect*. Berdasarkan proses terbentuknya, *defect* dibagi menjadi dua kelompok yaitu cacat saat fabrikasi dan cacat saat struktur dalam masa operasi. Cacat pada saat proses fabrikasi dapat disebabkan oleh proses pengerjaan material misalnya saat pengelasan atau pemotongan material. Selain itu, cacat saat fabrikasi dapat disebabkan oleh metode pengerjaan material yang salah dan desain material yang tidak akurat. Adanya cacat saat fabrikasi menyebabkan kekuatan struktur untuk menampung beban berkurang. Semakin besar cacat yang terjadi, semakin lemah kekuatan struktur tersebut [7].

H. Pemodelan Sekat Bergelombang dan Simulasi Beban Buckling Menggunakan Finite Element Software

Proses pemodelan *Finite Element Software* dijalankan melalui sekelompok perintah yang dikumpulkan masing-masing dalam sejumlah modul, setiap modul berisi perintah

dan alat yang melayani tugas-tugas tertentu dalam proses pemodelan. Terdapat 11 modul pada *software* yaitu, *Part Module, Property Module, Assembly Module, Step Module, Interaction Module, Load Module, Mesh Module, Optimization Module, Job Module, Visualization Module, dan Sketch Module*. Semua bagian yang disimulasikan dievaluasi terlebih dahulu untuk mengetahui apakah model akan mengalami deformasi yang signifikan atau dapat mengabaikan deformasi dan menganggapnya sebagai benda tegar.

III. METODOLOGI

A. Studi Literatur

Pada penelitian tugas akhir ini, diperlukan studi literatur dalam analisis retak pada sekat bergelombang. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi terkait analisis retak pada sekat bergelombang kapal tanker. Selain itu, literatur yang digunakan pada penelitian ini terkait dengan

Tabel 4.  
Hasil Displacement pada Setiap Model Variasi.

Mode	Displacement (m)						
	Variasi Panjang Retak						
	0 mm	50 mm	75 mm	100 mm	150 mm	175 mm	200 mm
1	0,818	0,865	0,812	0,712	0,70	0,81	0,56
2	0,851	0,484	0,834	0,800	0,57	0,80	0,67
3	0,735	0,761	0,865	0,774	0,57	0,78	0,72
4	0,801	0,753	0,821	0,859	0,35	0,84	0,67
5	0,727	0,761	0,841	0,737	0,78	0,80	0,84

Tabel 5.  
Eigen Value pada Model Existing.

Mode	Lebar Penampang (m)	Load (N/m)	Eigen Value
1	17,0693	56165000	0,0517814
2	17,0693	56165000	0,0522111
3	17,0693	56165000	0,052425
4	17,0693	56165000	0,0528702
5	17,0693	56165000	0,0529601

Tabel 6.  
Eigen Value pada Model Variasi 1.

Mode	Lebar Penampang (m)	Load (N/m)	Eigen Value
1	17,0693	56165000	0,0517748
2	17,0693	56165000	0,052198
3	17,0693	56165000	0,0524252
4	17,0693	56165000	0,0528699
5	17,0693	56165000	0,0529469

Tabel 7.  
Hasil Perhitungan Critical Buckling Load Model Existing.

Mode	Critical Buckling Load (N)
1	49642685
2	50054637
3	50259703
4	50686515
5	50772701

kelelahan & kepecahan dan metode elemen hingga. Referensi literatur didapatkan dari berbagai sumber yang dapat dipertanggungjawabkan.

**B. Pengumpulan Data**

Proses pengumpulan data pada penelitian Tugas Akhir ini didapatkan dari sumber yang dapat dipertanggungjawabkan. Sehingga, data yang dikumpulkan untuk penelitian Tugas Akhir ini merupakan data sekunder. Data yang dikumpulkan dan digunakan pada penelitian ini yaitu ukuran utama kapal, rencana umum, dan penampang melintang sekat bergelombang. Ukuran utama kapal ditunjukkan pada Tabel 1.

**C. Penentuan Variasi**

Pada penelitian tugas akhir ini, ditentukan beberapa variasi panjang retak mula-mula pada sekat bergelombang kapal tanker. Variasi dibuat 6 macam dengan panjang retak mula-mula yaitu 50 mm, 75 mm, 100 mm, 150 mm, 175 mm, dan 200 mm. Analisis pada penelitian Tugas Akhir ini dilakukan dengan pemodelan ketiga variasi dan satu model existing (tanpa retak mula-mula). Konstruksi *Upper stool* dan *lower stool* tidak termasuk dalam pemodelan karena konstruksi tersebut tetap. Variasi dapat dilihat pada Tabel 2.

**D. Pemodelan Sekat Bergelombang**

Pembuatan model sekat bergelombang dilakukan

menggunakan perangkat lunak. Hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 2.

**E. Analisis Hasil Running Model**

Model yang telah melalui proses perhitungan komputasi pada tahap *module Job* akan memberikan hasil visualisasi maupun data dari pembebanan dan kondisi batas yang diberikan kepada model. Untuk mengetahui *critical buckling load* perlu mengalikan nilai *eigen* tiap mode dengan beban yang diberikan kepada model sekat bergelombang. Kemudian untuk mengetahui tegangan *buckling* dapat dilakukan pembagian dari *critical buckling load* dengan luas penampang model.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Konvergensi Model**

Konvergensi *meshing* dilakukan agar didapatkan ukuran *mesh* yang optimum agar hasil analisis mendekati nilai yang sebenarnya. Pada penelitian Tugas Akhir ini, konvergensi *meshing* dilakukan dengan membandingkan *eigen value* dari setiap ukuran *mesh*. Ukuran *mesh* pertama yaitu 0.25 mm dan dilanjutkan dengan pengurangan ukuran *mesh* hingga konvergen. Konvergensi dilakukan hingga selisih *eigen value* kurang dari 0.1%. Hasil konvergensi *meshing* ditunjukkan pada Tabel 3.

Berdasarkan data Tabel 3 kemudian dibuat grafik untuk memudahkan melihat perubahan tegangan akibat ukuran *mesh* yang berbeda. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan data hasil *running* variasi sekat bergelombang Model Existing dapat diketahui bahwa pada ukuran *mesh* 0.09 dmiliki *margin error* sebesar 0.06%. Sehingga ukuran *mesh* yang digunakan sebesar 0.09.

**B. Displacement**

Setelah model disimulasikan pada perangkat lunak, model mengalami deformasi. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.

Setelah model disimulasikan pada perangkat lunak, model mengalami deformasi. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.

Pada gambar 4, ditunjukkan hasil simulasi model existing atau tanpa adanya retak permulaan. Hasil simulasi model dengan adanya retak permulaan yaitu model variasi 1 ditunjukkan pada Gambar 5.

Model sekat bergelombang mengalami perubahan bentuk setelah disimulasikan. Perubahan bentuk secara spesifik ditunjukkan pada data *displacement* Tabel 4.

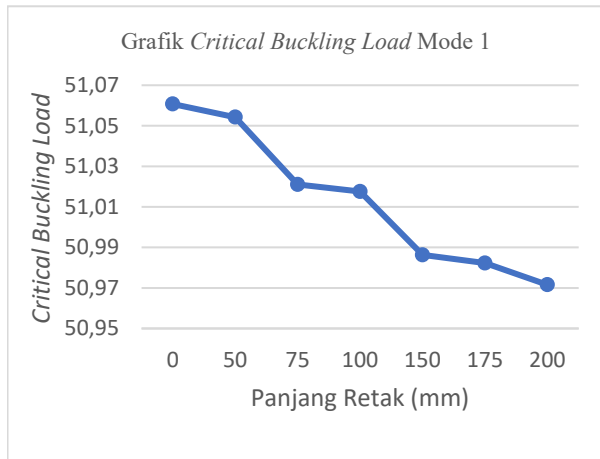
Pada Tabel 4, ditunjukkan deformasi dari setiap model yang disimulasikan dari model existing hingga model variasi 1, variasi 2, variasi 3, variasi 4, variasi 5, dan variasi 6. Besaran *displacement* yang dihasilkan yaitu dari kelima mode. Pada setiap mode, besara *displacement* berubah tidak teratur seiring kenaikan variasi model. Perubahan *displacement* ditunjukkan grafik pada Gambar 6.

**C. Eigen Value**

Model disimulasikan pada perangkat lunak. Simulasi pada perangkat lunak menghasilkan *eigen value*. *Eigen Value* merupakan nilai skala untuk menentukan beban kritis kondisi *buckling*. *Eigen value* yang dihasilkan dari perangkat lunak kemudian akan digunakan untuk perhitungan *critical*

Tabel 9.  
Hasil Perhitungan Critical Buckling Load Model Variasi 1.

Mode	Critical Buckling Load (N)
1	49636357,58
2	50042078,25
3	50259894,26
4	50686226,92
5	50760046,61



Gambar 8. Critical buckling load setiap variasi mode 1.

buckling load dan tegangan kritis. *Eigen value* pada model *existing* dan model variasi 1 yaitu panjang retak 50 mm dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

#### D. Critical Buckling Load

Model disimulasikan menggugurkan beban aksial yang didapatkan dari *yield strength material* dikali dengan luas penampang tiap variasi model. Proses simulasi variasi sekat bergelombang menghasilkan tegangan kritis dan *critical buckling load*. Perhitungan *critical buckling load* dilakukan dengan mengalikan *eigen value*, lebar penampang sekat bergelombang, dan beban yang diberikan. Hasil perhitungan *critical buckling load* pada model *existing* ditunjukkan pada Tabel 7.

Dapat dilihat pada Tabel 7, nilai *critical buckling load* pada model *existing* mengalami kenaikan setiap *mode*. Hasil perhitungan *critical buckling load* model variasi 1 ditunjukkan pada Tabel 8.

Setelah dilakukan perhitungan *critical buckling load* pada setiap variasi model, hasil perhitungan seluruh variasi ditunjukkan grafik pada Gambar 7.

Setelah mendapat hasil perhitungan *critical buckling load*, dilakukan perhitungan tegangan kritis pada setiap variasi panjang retak. Perhitungan *critical stress* dilakukan dengan membagi nilai *critical buckling load* dengan luas penampang yang terbebani. Hasil perhitungan tegangan kritis ditunjukkan pada Tabel 9.

Setelah dilakukan perhitungan tegangan kritis, dibuat grafik untuk menunjukkan perubahan tegangan kritis yang terjadi pada setiap variasi. Grafik nilai tegangan kritis ditunjukkan pada Gambar 8.

Berdasarkan Gambar 5 dapat diketahui bahwa semakin besar panjang retak pada sekat bergelombang, maka tegangan kritis pada model akan menurun. Nilai *critical stress* mengalami penurunan dari kondisi *existing* (tanpa retak) hingga model variasi retak 50, 75, 100, 150, 175, dan 200 mm. Terjadinya penurunan nilai tegangan seiring bertambahnya panjang retak karena nilai *critical buckling*

Tabel 8.  
Perhitungan Tegangan Kritis Model Setiap Variasi.

Analisis Mode 1	
Panjang Retak (mm)	Tegangan Kritis (MPa)
0	207,71
50	207,68
75	207,55
100	207,53
150	207,41
175	207,39
200	207,35



Gambar 7. Tegangan kritis variasi model sekat bergelombang.

*load* yang semakin menurun. Semakin panjang retak yang terjadi, semakin berkurangnya nilai *critical buckling load* pada kondisi *buckling*. Menurunnya nilai beban *buckling* disebabkan oleh berkurangnya *load capacity* atau kekuatan struktur dari sekat bergelombang. Sehingga tegangan kritis sekat bergelombang akibat *crack* terbesar terjadi pada model variasi 1 panjang retak terkecil yaitu 50 mm sebesar 207.6 MPa.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa: (1) Adanya beban aksial yang menekan sekat bergelombang kapal tanker berpengaruh kepada kekuatan struktur dari sekat berbelombang. Sekat bergelombang yang diberikan beban akan mengalami deformasi. (2) Adanya *crack* pada sekat bergelombang kapal tanker mengakibatkan menurunnya kekuatan struktur dan tegangan yang terjadi pada sekat. Semakin panjang retak mula-mula maka kekuatan struktur sekat semakin berkurang. (3) Tegangan kritis yang terjadi pada sekat bergelombang kapal tanker untuk variasi panjang retak 50 mm yaitu 207.6MPa, panjang retak 75 mm yaitu 207.548 MPa, panjang retak 100 mm yaitu 207.529 MPa, panjang retak 150 mm yaitu 213.4 MPa, panjang retak 175 mm yaitu 207.39 MPa, dan panjang retak 200 mm 207.35 MPa.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S.-H. Shin and D.-E. Ko, "A study on minimum weight design of vertical corrugated bulkheads for chemical tankers," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 180–187, Mar. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2017.06.005>.

- [2] S. Moaveni, *Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS*, 3rd ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007.
- [3] D. L. Logan, *A First Course in the Finite Element Method*, 4th ed. United States: Chris Carson, 2007.
- [4] E. Giner, N. Sukumar, J. E. Tarancón, and F. J. Fuenmayor, "An abaqus implementation of the extended finite element method," *Eng Fract Mech*, vol. 76, no. 3, pp. 347–368, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.engfracmech.2008.10.015.
- [5] D. Dwi, N. Choirudin, A. Fauzan Zakki, and R. Good, "Analisa fatigue crude oil tanker 306507 dwt berdasarkan common structural rules ( csr ) oil tanker," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 3, no. 1, Jan. 2015.
- [6] O. F. Hughes and J. K. Paik, *Ship Structural Analysis and Design Knovel Library*. Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2010.
- [7] Y. Bai and W.-L. Jin, *Marine Structural Design*, 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2015.