

Analisis Kekuatan Konstruksi Alas Kapal Akibat *Grounding*

Iqbal Permana, Dony Setyawan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, 60111
e-mail: iqbal.permana15@mhs.na.its.ac.id, dony@na.its.ac.id

Abstrak—Jumlah kecelakaan kapal di dunia, sejak tahun 2007 hingga tahun 2016, sebanyak 1186 kasus dengan 249 kasus berada di Lautan China, Indonesia, dan Phillipines. Dari semua kasus kecelakaan yang terjadi, kecelakaan yang terjadi akibat karam sebanyak 598 kasus dan akibat *grounding* sebanyak 244 kasus. *Grounding* merupakan salah satu penyebab kecelakaan yang sering terjadi pada kapal. Oleh karena itu penelitian ini akan menganalisis tegangan yang diterima konstruksi alas kapal akibat *grounding*. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan studi kasus konstruksi alas kapal tanker 17500 tonnes deadweight. Pemodelan dilakukan dengan software Finite Element Method (FEM). Hasil yang didapatkan berupa nilai tegangan von mises dan deformasi. Simulasi dilakukan dengan 3 skenario yaitu saat karang menabrak *solid floor*, *open floor*, dan *watertight floor*. Lokasi tempat karang mengenai konstruksi alas saat terjadinya *grounding* memengaruhi besar tegangan yang dihasilkan. Maka respon setiap komponen utama konstruksi alas akan berbeda. Besar tegangan maksimum dan deformasi maksimum global, *bottom plate*, *side girder*, *transverse construction* pada waktu 0,02 detik untuk skenario 1; skenario 2; dan skenario 3 adalah 1050 MPa; 965 MPa; dan 645 MPa, 62,1 MPa; 696 MPa; dan 94,4 MPa, 268 MPa; 366 MPa; dan 337 Mpa, 1050 MPa; 965 MPa; dan 645 Mpa dan 16,2 mm; 15,3 mm; dan 13,5 mm, 9 mm; 11,7 mm; dan 13,3 mm, 7 mm; 9,15 mm dan 6,98 mm, 16,2 mm; 15,3 mm dan 11,6 mm. Konstruksi alas kapal tidak mampu menerima beban akibat *grounding* dikarenakan tegangan yang dihasilkan pada respon konstruksi alas melebihi *ultimate tensile strength*.

Kata Kunci—FEM, *Ship Bottom Crushing*, *Ship Grounding*

I. PENDAHULUAN

JUMLAH kecelakaan kapal di dunia sebanyak 1186 kasus dengan lautan China, Indonesia, dan Phillipines menempati peringkat pertama wilayah yang mengalami kecelakaan kapal paling banyak, yaitu sebesar 249 kasus. Adapun tipe kapal yang paling banyak mengalami kecelakaan adalah kapal kargo, yaitu sebanyak 481 kapal. Dari semua kasus kecelakaan yang terjadi, *grounding*, ledakan/kebakaran, tubrukan, dan kerusakan mesin merupakan penyebab utamanya. Kecelakaan yang terjadi akibat *grounding* sebanyak 244 kasus. Dengan demikian *grounding* merupakan salah satu penyebab kecelakaan yang sering terjadi pada kapal [1].

Grounding merupakan salah satu penyebab kecelakaan yang sering terjadi pada kapal. Selain itu *grounding* berdampak langsung pada kekuatan konstruksi alas kapal sehingga apabila *grounding* terjadi pada kapal pembawa zat berbahaya seperti *oil tanker*, LNG/LPG dapat menyebabkan kerusakan lingkungan

yang cukup serius. Untuk mengurangi resiko kerusakan kapal dan polusi lingkungan, sangat penting untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya tubrukan/karam dan konsekuensi yang disebabkan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu desain konstruksi struktur kapal yang mampu menerima beban akibat tubrukan dan karam.

Grounding dapat disebabkan oleh karang atau benda lain yang ditabrak oleh bagian lambung alas kapal. Oleh karena itu penelitian ini akan menganalisis tegangan yang diterima konstruksi alas kapal akibat *grounding*. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan studi kasus konstruksi alas kapal tanker 17500 tonnes deadweight. Pemodelan dilakukan dengan software *Finite Element Method* (FEM). Hasil yang didapatkan berupa nilai tegangan von mises dan deformasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Konstruksi Alas

Biasanya semua kapal berukuran lebih kecil menggunakan konstruksi alas *single bottom*, karena tidak memerlukan dasar ganda untuk menahan muatan kargo. Pada kapal ini *plate floors* berfungsi sebagai penyangga dari pelat alas. *Plate floors* tersebut merupakan lempengan yang melintang pada setiap jarak antar bingkai. Tetapi, hampir semua kapal yang berlayar di laut memiliki konstruksi *double bottom*. Dalam susunannya, *tank top* berada diatas plat dan *bracket floors*. *Bracket floors* memiliki sedikit perbedaan dengan *plate floors*. Konstruksi *double bottom* memiliki *struts* atau *stiffener* untuk menyangga dari plat alas dalam [2].

B. *Grounding*

Grounding merupakan fenomena yang kompleks melibatkan jumlah dari *energy absorb mechanisms*. Lalu respon dari struktur tergantung dari posisi kapal dengan benda yang tertabrak atau bagaimana benda mengenai dari lambung kapal itu sendiri, dari bentuk dan kekerasan benda. Kerusakan kapal saat *grounding* tidak berhenti pada saat fase kapal bergerak mengenai benda yang tertabrak, tetapi kapal juga mengalami kerusakan saat kapal sudah berhenti pada karang atau benda yang ditabraknya [3].

C. Tegangan Von-Mises

Format Tegangan *von mises* adalah kombinasi dari semua tegangan diantaranya adalah tegangan normal pada tiga arah dan juga tegangan geser yang bereaksi pada tempat tertentu.

Jika tegangan *von mises* yang dihasilkan melebihi *yield strength*, maka material akan memberikan kekuatan sebesar *yield strength*, dan jika tegangan *von mises* yang dihasilkan melebihi *ultimate strength* maka akan pecah. Tegangan *von mises* dirumuskan sebagai berikut.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_x)^2 - (\sigma_x\sigma_y) + (\sigma_y)^2 + 3(\tau_{xy})^2} \tag{1}$$

Dimana σ_{vm} adalah tegangan von mises, σ_x dan σ_y adalah tegangan normal elemen, dan τ_{xy} tegangan geser [4].

D. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah sebuah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisis sebuah struktur untuk mendapatkan solusi pendekatan dari suatu masalah. Pada dasarnya, langkah awal pada setiap simulasi menggunakan elemen hingga adalah membagi (*to discretize*) geometri dari struktur sesungguhnya menggunakan sekumpulan elemen-elemen yang berhingga. Sekumpulan titik nodal dan suatu elemen hingga disebut dengan *mesh*. Banyaknya elemen per satuan panjang, area, atau pada suatu *mesh* disebut dengan *mesh density*. Pada suatu analisis statik mekanika benda padat (*solid*), perpindahan (*displacements*) dari titik nodal adalah variabel dasar yang akan dikalkulasi oleh analisis (dengan bantuan perangkat lunak). Tegangan, regangan, gaya dalam, serta gaya luar dapat ditentukan setelah perpindahan pada setiap titik nodal diketahui [5].

III. METODOLOGI

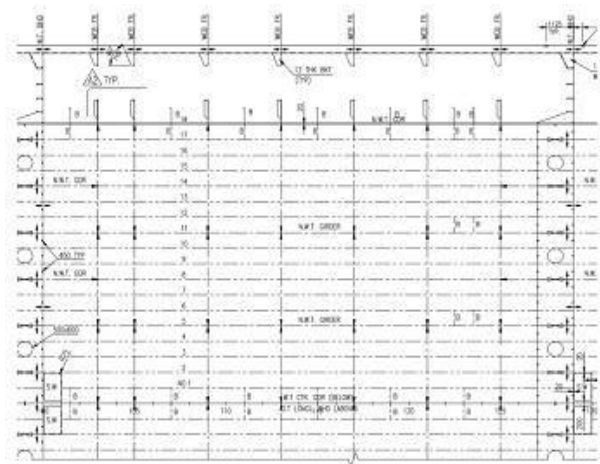
A. Pengumpulan Data

Kapal yang digunakan sebagai bahan penelitian ini adalah kapal *Oil Tanker 17500 LTDW*. Data yang digunakan diantaranya adalah data ukuran utama dari kapal.

Tabel 1.
Data kapal tanker yang digunakan

Deskripsi	Ukuran	Satuan
Displacement (Δ)	17500	ton
Length Overall (LOA)	157.50	m
Length Construction (LPP)	149.50	m
Breadth Moulded (B)	27.70	m
Depth Moulded (H)	12.00	m
Draft (T)	7.00	m
Service Speed (Vs)	13	knots

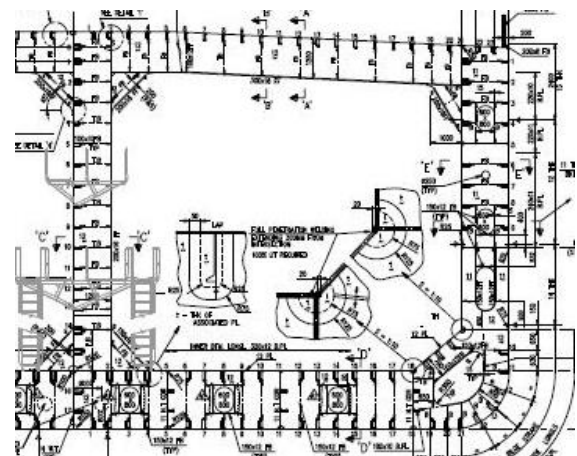
Data lain yang diperlukan untuk menyelesaikan penelitian ini adalah data konstruksi alas dari *Oil Tanker 17500 LTDW*. Data ini terdapat pada *construction profile* pada *tank top* dan *construction profile* pada alas kapal tersebut, juga diperlukan penampang melintang dari konstruksi kapal *Oil Tanker 17500 LTDW* yaitu *midship section*. Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mencari data yang akan dianalisis keterkaitannya dengan rumusan masalah dan tujuan.



Gambar 1. Construction Profile Kapal Tanker 17500 LTDWT pada Tank Top



Gambar 2. Construction Profile Kapal Tanker 17500 LTDWT pada Bottom



Gambar 3. Midship section kapal tanker 17500 LTDW bagian starboard pada parallel midle body

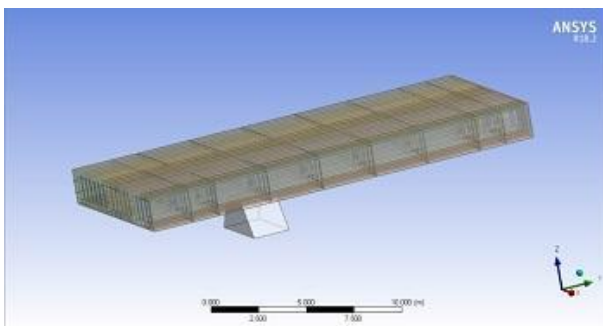
Tabel 3.
Material Properties pada Material Baja A36

Deskripsi	Ukuran
Massa jenis	7850 kg/m3
Modulus Young	200 GPa
Poisson's ratio	0,3
Shear modulus	79,3 GPa
Bulk Modulus	140 GPa
Compressive Yield Strength	152 MPa
Tensile Strength, Yield	250 MPa (Reh)
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa

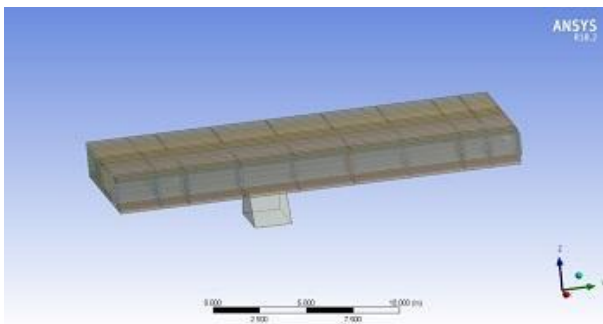
B. Pemodelan Elemen Hingga

Pertama dibuat model konstruksi alas pada software 3d *geometry*. Konstruksi alas dibuat berdasarkan data *midship section* dan *construction profile*. Lokasi ruang muat yang dijadikan permodelan adalah ruang muat dari frame 100 sampai 129 yang merupakan *parallel middle body kapal* dengan panjang permodelan 21,75 m dan selebar setengah dari lebar kapal dari *center girder* sampai *side girder* terluar kapal dengan alasan untuk mempersingkat waktu pada saat analisis dengan *software FEM*. *Geometry* karang dibuat dengan asumsi menyerupai bentuk prisma trapesium dengan luasan karang yang *contact* dengan *bottom plate* seluas 2 m².

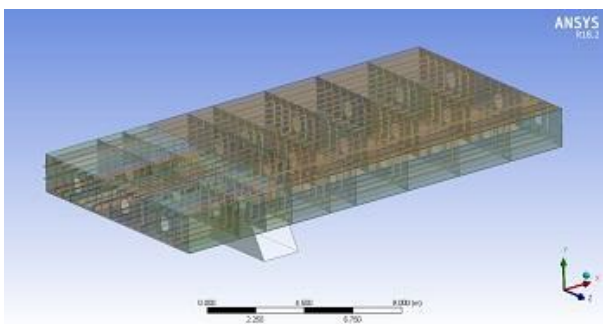
Lalu pada *software* pemodelan elemen hingga dipastikan material properties sesuai dengan material properties yang telah disebutkan sebelumnya, dan *geometry* harus terbaca seluruhnya sebagai part solid. Analisis dilakukan pada 3 skenario lokasi kapal menabrak karang.



Gambar 4. *Input Geometry* pada Skenario 1 saat kapal menabrak karang pada *Solid Floor*



Gambar 5. *Input Geometry* pada Skenario 2 saat kapal menabrak karang pada *Open Floor*



Gambar 6. *Input Geometry* pada Skenario 3 saat kapal menabrak karang pada *Watertight Floor*

C. Konvergensi Model

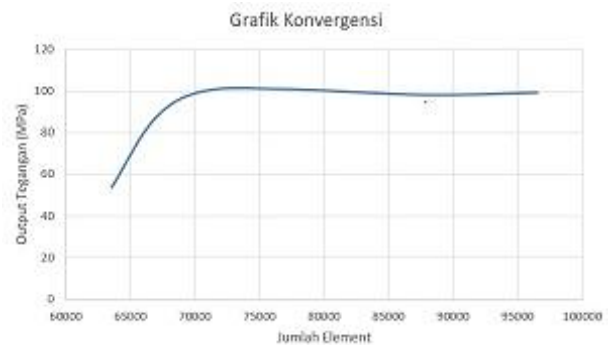
Konvergensi merupakan salah satu cara untuk menentukan ukuran elemen yang tepat dalam proses analisis model sehingga model dapat menghasilkan nilai analisis yang valid. Konvergensi dilakukan dengan membandingkan beberapa hasil analisis tegangan dengan ukuran elemen yang berbeda hingga mencapai hasil paling stabil pada tiap ukuran elemen. Tujuan konvergensi tersebut adalah menguji ketelitian dari *software* yang digunakan.

Untuk penentuan *sizing element*, terdapat beberapa pilihan *size function* seperti *adaptive*, *curvature*, *proximity*, dan *uniform*. Berdasarkan hasil *running*, *size function adaptive* dipilih dikarenakan keakuratan hasil tegangan dan tidak adanya *error* yang ditimbulkan saat dilakukannya proses *running* juga hal ini dikarenakan karna tidak adanya perubahan cukup ekstrim pada ukuran *element* di daerah *manhole*, dan *scallop*. Distribusi tegangan yang dihasilkan dari *size function adaptive* lebih akurat.

Berdasarkan hasil konvergensi yang dilakukan pada model didapatkan hasil konvergensi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4.
Konvergensi Ukuran Meshing Model

Ukuran	Elemen (n)	Tegangan (MPa)
0,4	63544	53,65
0,35	66903	86,71
0,3	70673	99,782
0,25	77131	100,72
0,2	87779	97,98
0,19	96494	99,05



Gambar 7. *Grafik Konvergensi Ukuran Meshing*

Terlihat konvergensi tercapai pada ukuran meshing antara 0,25 m sampai 0,19 m. Dari hasil konvergensi diambil ukuran *meshing* 0,2 m dengan nilai tegangan sebesar 97,98 MPa.

Ukuran element tidak dapat dicekiklan lagi dikarenakan pada *software FEM* tidak dapat mengatur *time step*, oleh karena itu *time step* akan menjadi sangat kecil berbanding lurus dengan ukuran *meshing*. Semakin kecil *time step* menyebabkan *error time step too small* [6].

D. Kondisi Batas

1) Connections

Perlu didefinisikan koneksi antar *geometry* yang terjadi untuk setiap bagian dari *geometry* yang terjadi untuk setiap bagian dari *geometry* konstruksi alas yang dibuat. Koneksi yang terdapat pada konstruksi alas adalah berupa las – lasan pada

keadaan sebenarnya. Digunakan koneksi berupa bonded untuk dapat diaplikasikan pada model struktur.

2) *Fixed Support*

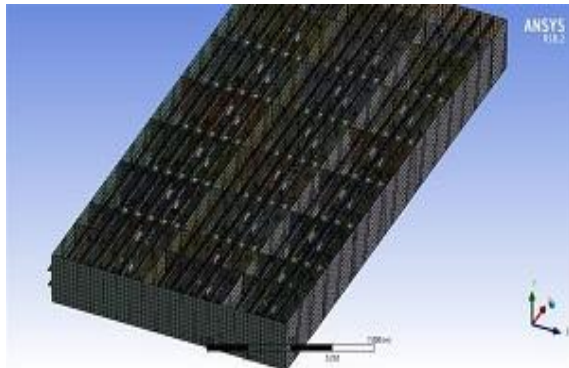
Jenis tumpuan berupa jenis tumpuan jepit, yang dimana didefinisikan sebagai *Fixed Support*. Setiap *Fix Support* diberikan pada setiap *face* terluar dari bagian terluar *geometry* konstruksi alas.

3) *Rigid Body*

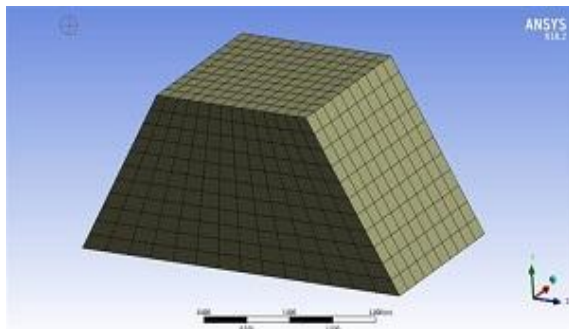
Pada *geometry* karang ditentukan sebagai *Rigid Body* agar struktur dari karang tidak mengalami *deformasi* yang dikarenakan dari efek terjadinya *grounding*. Hal ini ditentukan agar saat analisis energi yang diserap oleh struktur konstruksi alas kapal sebesar 100%.

4) *Meshing*

Meshing dilakukan dengan ketentuan *meshing* yang telah konvergen, dengan ukuran sebesar 0,2 m. Metode yang digunakan untuk tahap *meshing* adalah *adaptive* dan mengatur dari *size function* pada proses *meshing*, dan terdapat dua macam *meshing* yaitu *tetrahedron* dan *hex dominant* dikarenakan keakuratan hasil tegangan dan tidak adanya *error* yang ditimbulkan saat dilakukannya proses analisis juga hal ini dikarenakan karna tidak adanya perubahan cukup ekstrim pada ukuran element di daerah *manhole*, dan *scallop*. Distribusi tegangan yang dihasilkan lebih akurat.



Gambar 8. *Meshing* pada Konstruksi Alas



Gambar 9. *Meshing* pada Karang

5) *End Time*

End time adalah lama waktu yang diinginkan untuk melihat proses analisis konstruksi alas saat mengalami *grounding*. Nilai *end time* dicari dengan asumsi saat kapal menabrak dengan karang tidak mengalami perubahan kecepatan. Dengan harapan karang dapat merusak kapal dengan jarak tempuh sebesar satu jarak gading. Jarak gading kapal yang ingin ditempuh sebesar 3 meter, maka waktu yang dibutuhkan adalah 0,448 detik. Tetapi

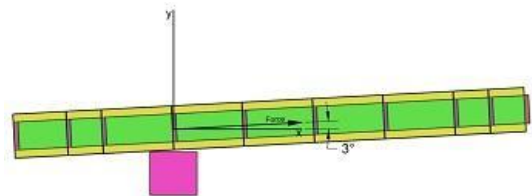
dikarenakan keterbatasan spesifikasi komputer dan mempersingkat waktu analisis maka *end time* ditentukan menjadi sebesar 0,02 detik. Untuk menganalisis satu skenario *grounding* dengan *end time* 0,02 detik dibutuhkan waktu *running* ±8 jam.

E. *Pembebanan*

Beban yang digunakan pada analisis ini adalah beban eksternal yang disebabkan oleh konstruksi alas kapal 17500 LTDWT dengan kecepatan dinas sebesar 13 knot. Kondisi pembebanan dianggap beban eksternal serta kapal dianggap *even keel*. Namun untuk membuat kapal menghantam karang dibuat pada saat *running* karang bergerak menghantam konstruksi alas kapal dengan kecepatan 13 knot dan berkemiringan sebesar 3 derajat, yang nantinya kecepatan akan di proyeksikan ke sumbu x dan sumbu y.

F. *Analisis*

Analisis dilakukan terhadap respon struktur konstruksi alas kapal yang terjadi akibat *grounding* pada saat kapal menabrak karang. Variabel yang menjadi pengamatan adalah tegangan dan deformasi yang terjadi pada konstruksi alas. Tegangan yang dimaksud adalah tegangan *von mises* yang terjadi pada struktur konstruksi alas kapal. Tegangan ini merupakan resultan dari semua tegangan yang terjadi pada struktur konstruksi alas kapal.



Gambar 10. Proyeksi *Force* pada Sumbu x dan Sumbu y

G. *Bagan Alir*



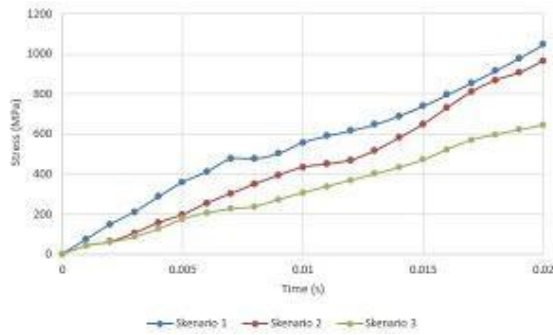
Gambar 11. Diagram alir pengerjaan penelitian. Untuk analisis struktur digunakan pendekatan *finite element method*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

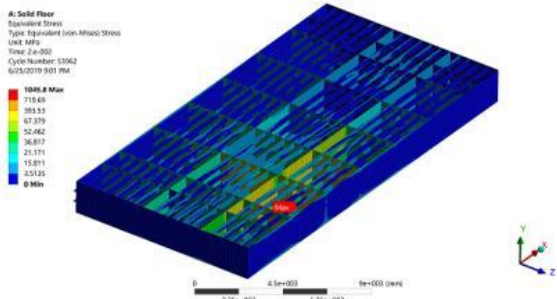
A. Tegangan

Pada ketiga skenario dari hasil simulasi dinamis didapatkan tegangan terbesar terdapat pada daerah *scallop* dikarenakan adanya konsentrasi tegangan yang tinggi. Analisis tegangan terhadap seluruh model (Global), dan komponen konstruksi utama (*Bottom Plate, Side Girder, Transverse Construction*).

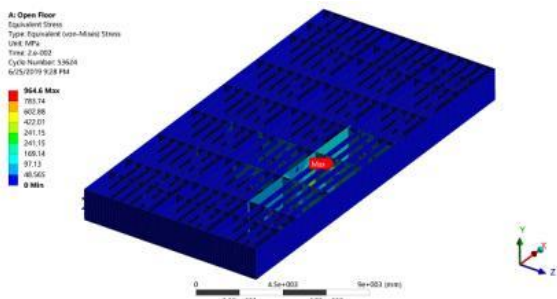
1) Tegangan Global



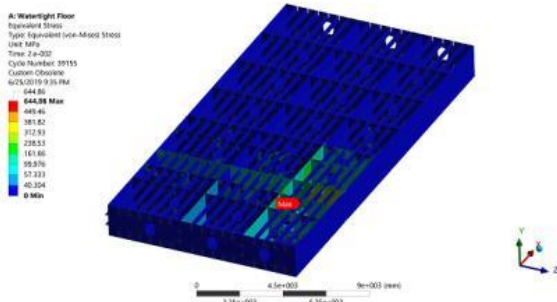
Gambar 12. Kurva *Time-Stress Global*, maksimum terjadi pada skenario 1



Gambar 13. Hasil Tegangan *Global* (Skenario 1) maksimum pada scallop



Gambar 14. Hasil Tegangan *Global* (Skenario 2) maksimum pada scallop

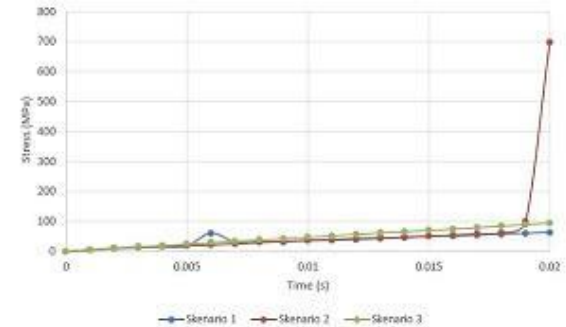


Gambar 15. Hasil Tegangan *Global* (Skenario 3) maksimum pada scallop

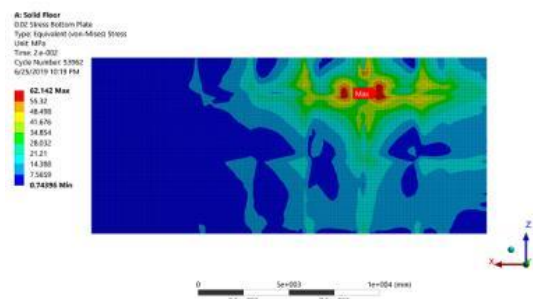
Berdasarkan hasil tersebut didapatkan hasil tegangan global saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor*

(skenario 3). Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 1 saat rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* langsung menyangga *bottom plate* dan mendapatkan konsentrasi tegangan yang sangat tinggi, oleh karena itu pada skenario 2 dan skenario 3 pada rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* tidak menyangga langsung yang menyebabkan konsentrasi tegangan yang tidak setinggi pada skenario 1. Tegangan nantinya akan ditinjau langsung pada tiap komponen utama konstruksi alas.

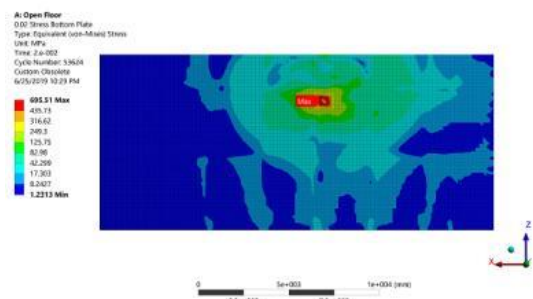
2) Tegangan pada Bottom



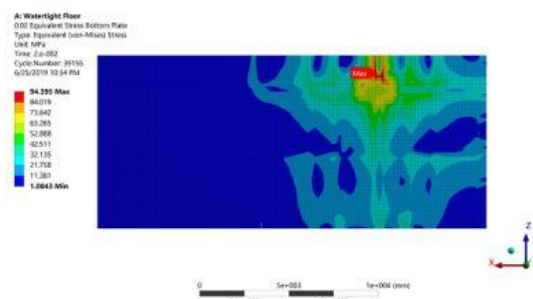
Gambar 16. Kurva *Time-Stress* pada *Bottom Plate*, terlihat pada skenario 2 tegangan mengalami kenaikan drastis dikarenakan sudah memusat pada satu titik terlihat pada hasil gambar tegangan.



Gambar 17. Hasil Tegangan pada *Bottom Plate* (Skenario 1)



Gambar 18. Hasil Tegangan pada *Bottom Plate* (Skenario 2)

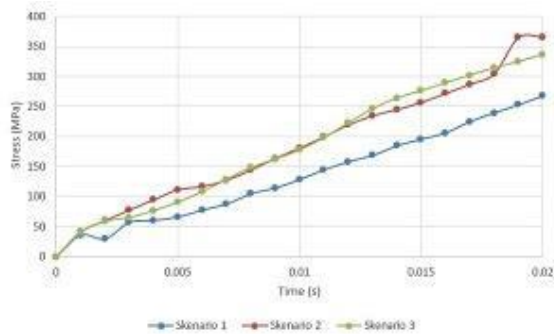


Gambar 19. Hasil Tegangan pada *Bottom Plate* (Skenario 3)

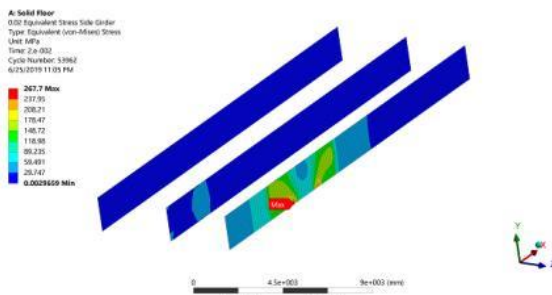
Berdasarkan hasil tersebut didapatkan hasil tegangan pada saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) paling

besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 2 saat rentang waktu 0,02 detik konstruksi dibelakang *bottom plate* yang menyangga langsung tidak dapat menyangga lagi, dapat dilihat pada Gambar 16 tegangan pada *bottom plate* saat 0,02 detik mengalami kenaikan drastis. Kenaikan drastis tersebut tidak dialami oleh skenario 1 dan skenario 3 yang dimana konstruksi dibelakang *bottom plate* yang menyangga langsung masih lebih dapat menangani beban pada saat mengalami *grounding*.

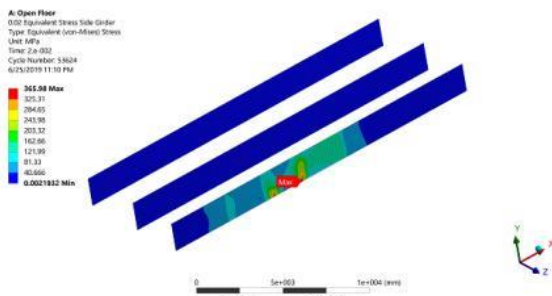
3) Tegangan pada Side Girder



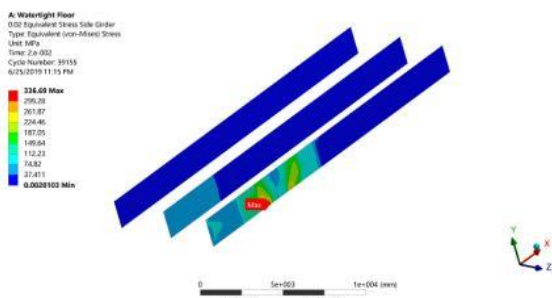
Gambar 20. Kurva Time-Stress pada Side Girder, terlihat pada skenario 2 mendapati nilai maksimum tegangan tertinggi



Gambar 21. Hasil Tegangan pada Side Girder (Skenario 1)



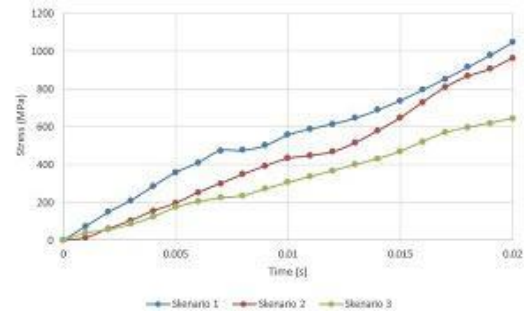
Gambar 22. Hasil Tegangan pada Side Girder (Skenario 2)



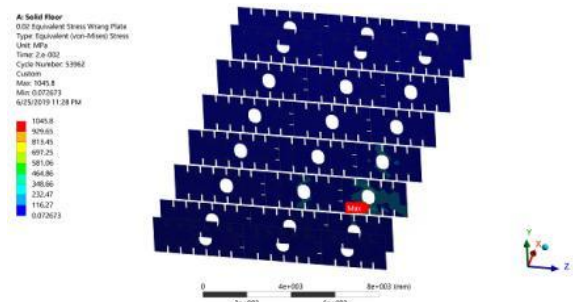
Gambar 23. Hasil Tegangan pada Side Girder (Skenario 3)

Berdasarkan hasil tersebut didapatkan hasil tegangan pada saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 2 saat rentang waktu 0,02 detik aliran tegangan dibagikan lebih sedikit kepada *wrang plate* maupun *watertight floor*, lain halnya pada skenario 1 dan skenario 2 yang terdapat *wrang plate* maupun *watertight floor* yang menyangga langsung dibelakang *bottom plate* yang menyebabkan aliran tegangan lebih terbagi kepada *side girder*, *wrang plate*, dan *watertight floor*.

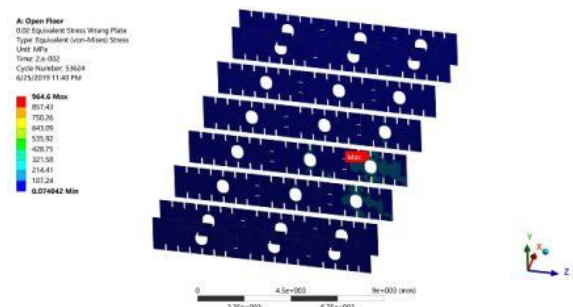
4) Tegangan pada Transverse Construction



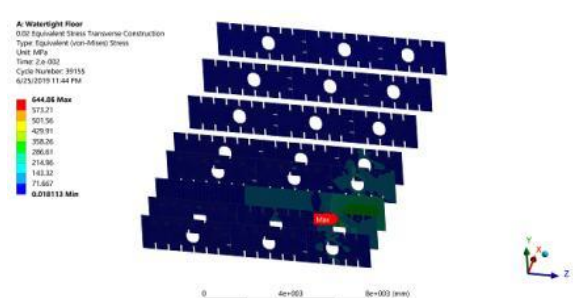
Gambar 24. Kurva Time-Stress pada Transverse Construction, terlihat selama 0,02 detik skenario 2 mengalami tegangan yang paling tinggi



Gambar 25. Hasil Tegangan pada Transverse Construction (Skenario 1)



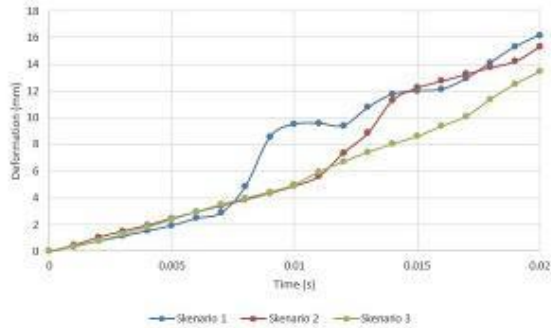
Gambar 26. Hasil Tegangan pada Transverse Construction (Skenario 2)



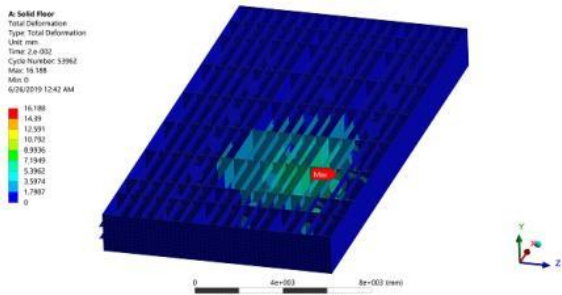
Gambar 27. Hasil Tegangan pada Transverse Construction (Skenario 3)

Berdasarkan hasil tersebut didapatkan hasil tegangan *transverse construction* saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 1 saat rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* langsung menyangga *bottom plate* dan mendapatkan konsentrasi tegangan yang sangat tinggi, oleh karena itu pada skenario 2 dan skenario 3 pada rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* tidak menyangga langsung yang menyebabkan konsentrasi tegangan yang tidak setinggi pada skenario 1.

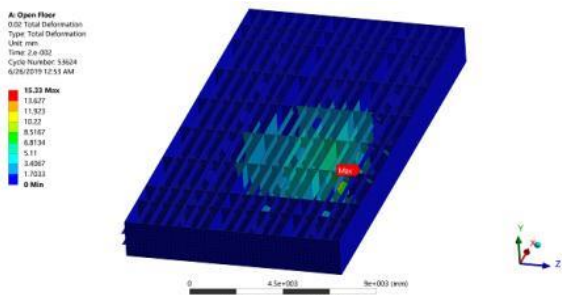
B. Deformasi



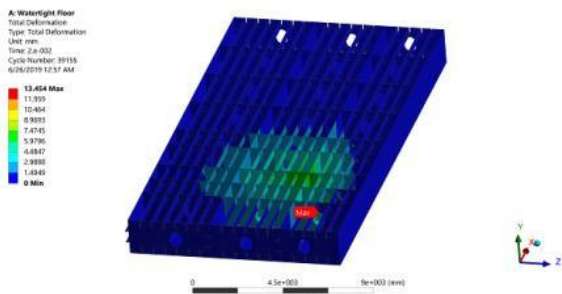
Gambar 28. Kurva *Time-Deformation Global*, terlihat selama 0,02 detik skenario 2 mengalami tegangan yang paling tinggi



Gambar 29. Hasil *Deformasi Global* (Skenario 1)



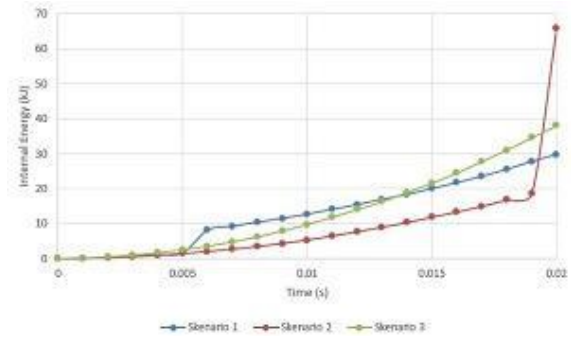
Gambar 30. Hasil *Deformasi Global* (Skenario 2)



Gambar 31. Hasil *Deformasi Global* (Skenario 3)

Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 1 saat rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* langsung menyangga *bottom plate* dan mendapatkan konsentrasi tegangan yang sangat tinggi, oleh karena itu pada skenario 2 dan skenario 3 pada rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* tidak menyangga langsung yang menyebabkan konsentrasi tegangan yang tidak setinggi pada skenario 1. Oleh karena itu deformasi yang dihasilkan pada skenario 1 juga lebih tinggi.

C. Internal Energy

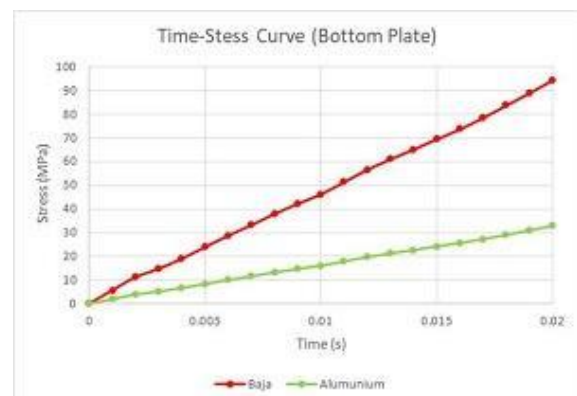


Gambar 32. Kurva *Internal Energy*

Dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa *internal energy* relatif naik. Selain itu, *internal energy* akhir paling besar diserap oleh konstruksi alas pada saat skenario 2. Terlihat pada saat 0.02 detik menyebabkan tegangan pada skenario 2 naik drastis saat *energy* yang diserap atau *internal energy* juga mengalami kenaikan yang drastis.

D. Analisis Pengaruh Berat

Pada simulasi grounding dengan FEM, berat benda yang yang dimodelkan dapat memengaruhi hasil. Apabila kapal dimodelkan keseluruhan maka hasil tegangan, deformasi, internal energy, dan gaya yang dihasilkan akan berbeda dengan kapal yang dimodelkan pada bagian konstruksi alas saja. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan berat pada model. Pengaruh berat terhadap hasil dibuktikan pada simulasi tambahan dengan mengubah material yang digunakan oleh model konstruksi alas. Terdapat perbedaan tegangan yang signifikan antara konstruksi alas baja dan konstruksi alas aluminium. Oleh karena itu pada penelitian ini hasil yang didapatkan hanya diakibatkan oleh berat model konstruksi alas kapal saja.



Gambar 33. Kurva Tegangan pada Material yang Berbeda

V. KESIMPULAN

Pada kondisi grounding, alas kapal mengalami tegangan pada seluruh konstruksi alas kapal. Lokasi tempat karang mengenai konstruksi alas saat terjadinya grounding memengaruhi besar tegangan yang dihasilkan. Maka respon setiap komponen utama konstruksi alas akan berbeda. Besar tegangan maksimum global, *bottom plate*, *side girder*, *transverse constructio* pada waktu 0,02 detik untuk skenario 1; skenario 2; dan skenario 3 adalah 1050 MPa; 965 MPa; dan 645 MPa, 62,1 MPa; 696 MPa; dan 94,4 MPa, 268 MPa; 366 MPa; dan 337 Mpa, 1050 MPa; 965 MPa; dan 645 Mpa.

Hasil deformasi juga ditentukan dari lokasi karang mengenai konstruksi alas dan respon setiap komponen utama konstruksi alas, sama halnya dengan hasil tegangan. Besar deformasi maksimum global, *bottom plate*, *side girder*, *wrang plate* pada waktu 0,02 detik untuk skenario 1; skenario 2; dan skenario 3 adalah 16,188 mm; 15,330 mm; dan 13,454 mm, 9 mm; 11,722

mm; dan 13,336 mm, 6,996 mm; 9,147 mm dan 6,979 mm, 16,188 mm; 15,330 mm dan 11,647 mm.

Internal Energy yang diserap oleh konstruksi alas kapal pada waktu 0,02 detik untuk skenario 1; skenario 2; dan skenario 3 adalah 29,840 kJ; 65,771 kJ; dan 38,107 kJ.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Allianz Global Corporate & Specialty, "Safety and Shipping Review," 2017.
- [2] D. Eyres, *Ship Construction*. United Kingdom: Butterworth-Heinemann., 2006.
- [3] M. Samuelides, *Studies on The Behaviour of Bottom Structures During Grounding*. Greece: National Technical University of Athen, 2007.
- [4] IACS, *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*. IACS, 2014.
- [5] E. Popov, *Mechanics of Material*. New Jersey: Prentice-Hall, 1978.
- [6] K. Niklas, *Numerical Calculations of Behaviour of Ship Double-Bottom Structure During Grounding*. Gdańsk: Gdańsk University of Technology, 2008.