

Analisis Tegangan Lambung Kapal Tanker Akibat Tubrukan

Sholichatul Ilmiah dan Achmad Zubaydi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, 60111
e-mail: sholichatul15@mhs.na.its.ac.id, zubaydi@na.its.ac.id

Abstrak—Ketika suatu kapal mengalami tubrukan, struktur lambung ganda dari kapal yang bertabrakan dapat mengalami deformasi plastik yang besar dan fraktur. Maka dari itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai tubrukan yaitu respon kapal terhadap beban tubrukan serta kemungkinan – kemungkinan jika tubrukan terjadi di titik yang berbeda. Analisis dilakukan dengan *finite element method*. Cakupan analisis yaitu konstruksi *wing tank* yang diberi beban eksternal oleh konstruksi haluan kapal yang menubruk dengan kecepatan dinas. Tubrukan disimulasikan terjadi di dua lokasi, yaitu di antara *web frame* (skenario 1) dan tubrukan pada *web frame* (skenario 2). Hasil yang didapatkan berupa tegangan *von mises*, deformasi, *internal energy* dan *kinetic energy*. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan *von mises* maksimum global; pelat *contact (side plate)*; *web frames*; *longitudinal* pada waktu 0,02 s untuk skenario 1 dan skenario 2 (tubrukan di *web frame*) adalah 653 MPa dan 2130 MPa; 653 MPa dan 591 MPa; 176 MPa dan 2130 MPa; 192 MPa dan 293 MPa. Nilai deformasi maksimum global; pelat *contact (side plate)*; *web frames*; *longitudinal* pada waktu 0,02 s untuk skenario 1 dan skenario 2 adalah 105 mm dan 224 mm; 105 mm dan 46,9 mm; 4,77 mm dan 224 mm; 15,6 mm dan 18 mm. Energi yang diserap (*internal energy*) oleh konstruksi *wing tank* pada waktu analisis 0,02 detik untuk skenario 1 dan skenario 2 adalah 42,4 kJ dan 251 kJ. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan *von mises* maksimum pada skenario 1 lebih besar dari skenario 2 untuk tinjauan pelat *contact* namun untuk tinjauan global, *web frames* dan *longitudinal* nilai pada skenario 1 lebih kecil dari skenario 2. Hal ini juga terjadi pada deformasi maksimum pada tiap – tiap tinjauan. *Internal energy* akibat tubrukan menunjukkan nilai yang lebih besar untuk skenario 2.

Kata Kunci—*Finite Element*, Tegangan Von Mises, Deformasi, *Internal Energy*, Global, Pelat *Contact*, *Web Frames*, *Longitudinal*.

I. PENDAHULUAN

KETIKA suatu kapal mengalami tubrukan, struktur lambung ganda dari kapal yang bertabrakan dapat mengalami deformasi plastik yang besar dan fraktur. Salah satu contoh dampak dari kegagalan struktur tersebut adalah bocornya muatan kapal tanker Iran pada tahun 2018. Kapal tersebut mengangkut 136 ribu ton muatan akibat bertabrakan dengan kapal kargo China. Kejadian ini merupakan kejadian terbesar semenjak tahun 1991. Dampak yang ditimbulkan cukup besar terutama dari aspek lingkungan. Bocoran minyak tersebut mengancam ekosistem laut China Timur yang dikenal kaya akan biota laut [1]. Maka dari itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai tubrukan yaitu respon kapal terhadap beban tubrukan serta kemungkinan – kemungkinan jika

tubrukan terjadi di titik yang berbeda. Hal ini berkaitan dengan analisis tegangan akibat tubrukan, serta energi yang diserap selama proses tubrukan. Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk analisis adalah *Finite Element Method*. Tinjauan analisis yaitu konstruksi *wing tank* yang diberi beban eksternal oleh konstruksi haluan kapal yang menubruk dengan kecepatan dinas.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Desain Konstruksi

Oil tanker yang mengangkut *heavy grade oil* (HGO) dengan kapasitas lebih dari sama dengan 5,000 tons *dwt* diharuskan memakai *double hull* setelah tanggal regulasi (5 April 2005) serta untuk *single-hull oil tankers* dengan kapasitas 600 tons *dwt* - 5,000 tons *dwt* diharuskan memakai *double hull* sebelum *anniversary* dari tanggal pengiriman di 2008 [2].

B. Tegangan Von Mises

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.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \quad (1)$$

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$I_2 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xz} - \tau_{yz} - \tau_{xy}$$

Dimana, nilai σ adalah tegangan normal, τ adalah tegangan geser [3].

C. Deformasi

Deformasi terjadi sebagai respon dari material yang mendapatkan beban. Selama proses deformasi berlangsung, terjadi penyerapan energi oleh material yang dikenai gaya sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Besar gaya yang bekerja memberi efek pada perubahan bentuk dan dimensi suatu material. Perubahan bentuk secara fisik pada benda dibagi menjadi dua, yaitu deformasi plastis dan deformasi elastis [4].

D. Metode Elemen Hingga

Persoalan perancangan dapat diselesaikan dengan cara matematis dan numeris. Penyelesaiannya akan sulit menggunakan cara matematis untuk benda-benda yang

mempunyai bentuk yang tidak teratur (elemen isoparametrik), sehingga perlu digunakan cara numerik. Cara numerik dalam perkembangannya disebut sebagai metode elemen hingga (*Finite Elements Method*) [5].

III. METODOLOGI

A. Pengumpulan Data

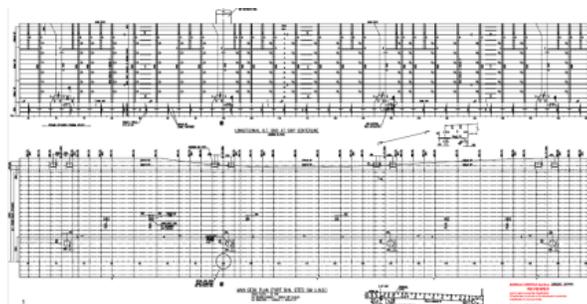
Kapal yang digunakan sebagai bahan penelitian ini adalah kapal *Oil Tanker 17500 LTDW (struck ship)* dan *Oil tanker 3500 LTDW (striking ship)*. Data yang diperlukan untuk tugas akhir ini adalah data dari 2 kapal yang diperlukan untuk permodelan *wing tank* dari *striking ship* serta haluan dari *struck ship*. Rincian data yang diperlukan adalah ukuran utama *construction profile*, *centeline profile*, *frame section*, *midship section* serta *mechanical properties*.

Tabel 1.
Data kapal tanker yang ditabrak (*struck ship*)

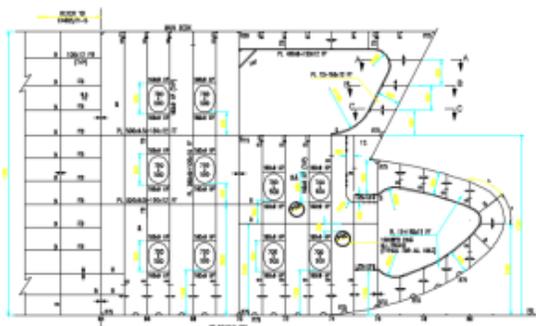
Deskripsi	Ukuran	Satuan
<i>Displacement (Δ)</i>	17500	ton
<i>Length Overall (LOA)</i>	157,50	m
<i>Length Construction (LPP)</i>	149,50	m
<i>Breadth Moulded (B)</i>	27,70	m
<i>Depth Moulded (H)</i>	12	m
<i>Draft (T)</i>	7	m
<i>Service Speed (Vs)</i>	13	knots

Tabel 2.
Data kapal tanker yang menabrak (*striking ship*)

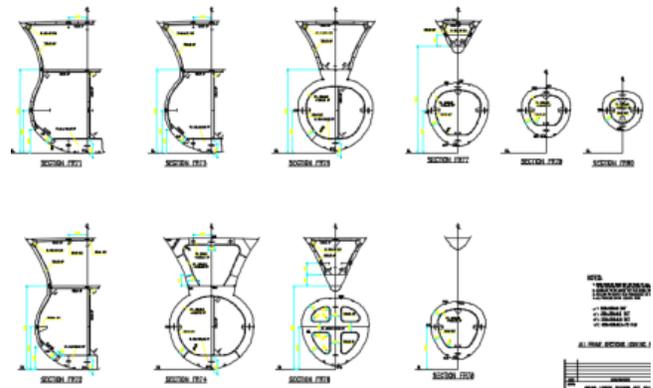
Deskripsi	Ukuran	Satuan
<i>Displacement (Δ)</i>	3500	ton
<i>Length Overall (LOA)</i>	90	m
<i>Length Construction (LPP)</i>	84	m
<i>Breadth Moulded (B)</i>	15,2	m
<i>Depth Moulded (H)</i>	7,2	m
<i>Draft (T)</i>	5	m
<i>Service Speed (Vs)</i>	11	knots



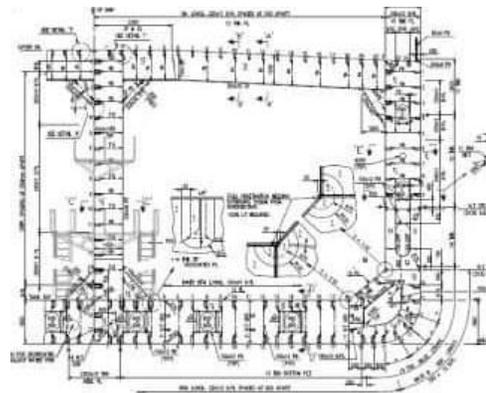
Gambar 1. *Construction Profile* kapal tanker 17500 LTDW pada frame 100 sampai 129



Gambar 2. *Centerline Profile* Haluan Kapal Tanker 3500 LTDW



Gambar 3. *Frame Section* Haluan Kapal Tanker 3500 LTDW



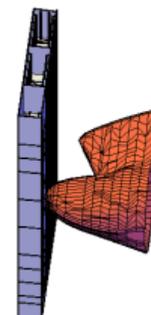
Gambar 4. *Midship Section* Kapal Tanker 17500 LTDW

Tabel 3.
Mechanical Properties baja A36

Deskripsi	Ukuran	Satuan
Massa jenis	3500	ton
Modulus Young	200 GPa	
Poisson's ratio	0,26	
Shear modulus	79,3 GPa	
Bulk Modulus	140 GPa	
Compressive Yield Strength	152 MPa	
Tensile Strength, Yield	250 MPa	
Tensile Strength, Ultimate	400 MPa	knots

B. Pengerjaan Geometry

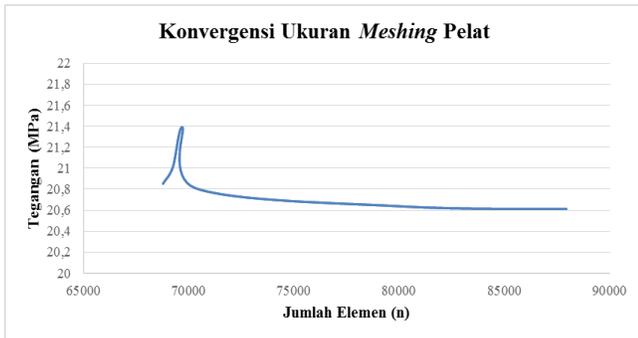
Konstruksi yang dimodelkan adalah konstruksi *wing tank* dan haluan kapal. *Wing tank* dibuat berdasarkan data *midship section* dan *construction profile*. Lokasi ruang muat yang dijadikan permodelan adalah ruang muat dari frame 100 sampai 129 yang merupakan *parallel middle body* kapal dengan panjang permodelan 21,750 m. Geometri haluan dibuat berdasarkan data *centerline profile* serta *frame section*. Jenis haluan yang dipakai dalam analisis ini adalah *ram bow*.



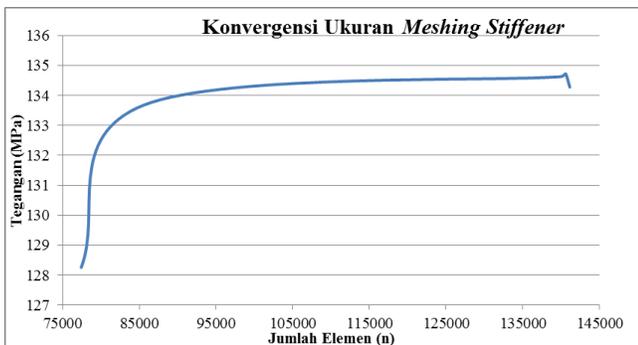
Gambar 5. Geometri skenario 1

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. Hal ini dilakukan dalam rangka menghemat waktu *running*.



Gambar 6. Dasar pemilihan ukuran *meshing* 0.2 meter dengan jumlah elemen 70329 sebagai ukuran *meshing* geometri pelat



Gambar 7. Dasar pemilihan ukuran *meshing* 0.22 meter dengan jumlah elemen 139922 sebagai ukuran *meshing* geometri *stiffener*

D. Kondisi Batas

1) Geometry

Pendefinisian *rigid body* pada *geometry* haluan *striking ship*. Hal ini dimaksudkan agar analisis terpusat pada *struck ship* dikarenakan terdistribusinya tegangan secara penuh hanya pada *wing tank*. Kapal yang menabrak diasumsikan benar – benar kaku. Terdapat 2 file geometri yaitu geometri skenario 1 (posisi haluan di antara 2 *web frame*) dan geometri skenario 2 (posisi haluan di antara 2 *web frame*).

2) Connection

Pada 2 geometri (*bodies*) yang saling berinteraksi, permukaan (*face*) dari geometri (*body*) dipastikan tersambung (*bonded*).

3) Analysis Setting

Analisis tubrukan dilakukan selama 0,02 s.

4) Fixed Support

Pendefinisian tumpuan jepit dilakukan pada ujung – ujung *geometry* yang merupakan ujung – ujung kompartemen (*cargo hold*) dan bagian bawah *wing tank*. Pendefinisian ini didasarkan pada kondisi aktual bahwa pada ujung – ujung kompartemen tersebut terjadi penyambungan dengan komponen *bulkhead*

pada kondisi asli kapal dan pendefinisian pada bagian *wing tank* didasarkan pada kondisi aktual bahwa terjadi sambungan antara *wing tank* dan bilga pada daerah tersebut.

E. Pembebanan

Beban yang digunakan pada analisis ini adalah beban eksternal yang disebabkan oleh haluan kapal 3500 LTDW yang menubruk dengan kecepatan sebesar 11 knot. Kondisi pembebanan dianggap beban eksternal serta kapal dianggap *even keel*.

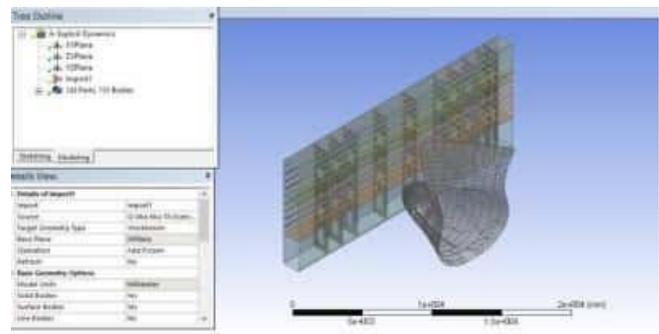
F. Pengaturan pada Dynamic Finite Element

1) Geometry

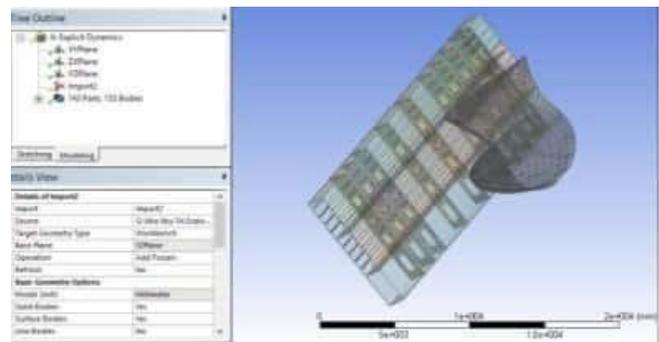
Untuk mengatur *material properties* pada *software*, dilakukan perubahan variabel pada modul *engineering data*.

2) Input data geometry

Geometri dimasukkan ke dalam *software* berbasis *dynamic finite element* dan dipastikan tidak bermasalah (seluruh komponen terdefinisi sebagai *solid object*).



Gambar 8. Input Geometry Skenario 1



Gambar 9. Input Geometry Skenario 2

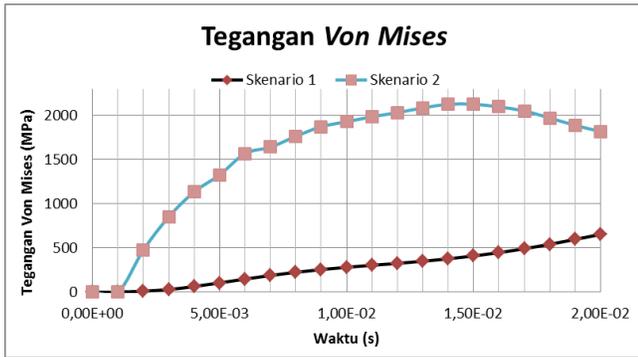
IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis dan pembahasan dilakukan dengan membandingkan hasil *running* skenario 1 dan skenario 2 untuk tiap – tiap tinjauan yaitu global, pelat *contact*, *web frames* dan *longitudinal*.

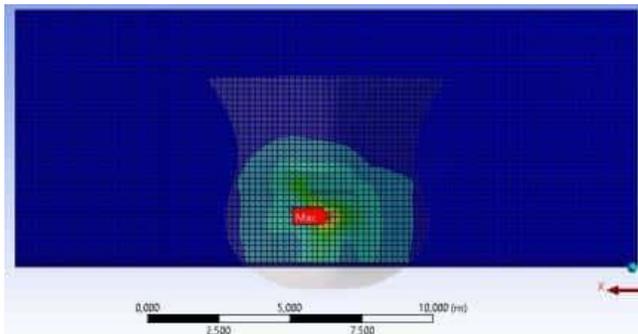
Dari Gambar 10, dapat dilihat bahwa sampai waktu analisis berakhir, nilai tegangan *von mises* global pada skenario 1 mengalami kenaikan nilai sampai mencapai nilai maksimum sebesar 653 MPa, sedangkan pada skenario 2 mengalami penurunan nilai setelah mencapai angka 2130 MPa. Secara global, tegangan *von mises* skenario 2 pada akhir analisis mempunyai nilai yang lebih besar daripada skenario 1. Hal ini dikarenakan adanya *stress concentration* pada skenario 2 yang terletak pada *web frame*. Persebaran tegangan secara global

pada skenario 1 dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12 serta Gambar 13 dan Gambar 14 untuk skenario 2.

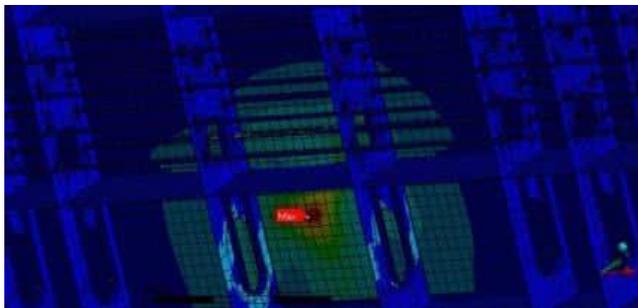
A. Analisis dan Pembahasan Tegangan Von Mises Global



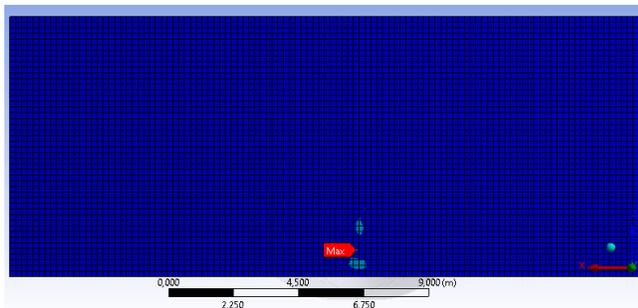
Gambar 10. Grafik Tegangan VM Global



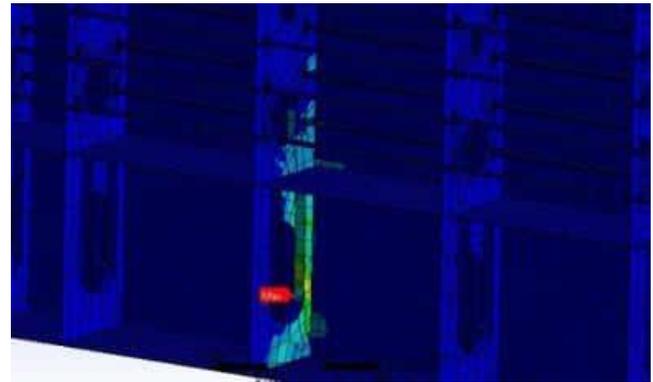
Gambar 11. Tegangan Von Mises Global pada Skenario 1 (Tampak Luar Wing Tank)



Gambar 12. Tegangan Von Mises Global pada Skenario 1 (Tampak Dalam Wing Tank)

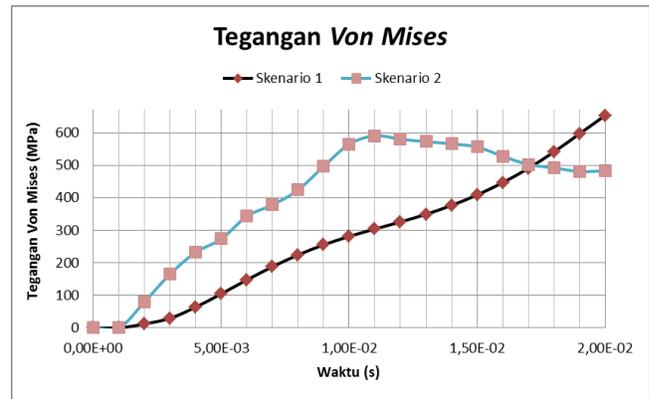


Gambar 13. Tegangan Von Mises Global pada Skenario 2 (Tampak Luar Wing Tank)

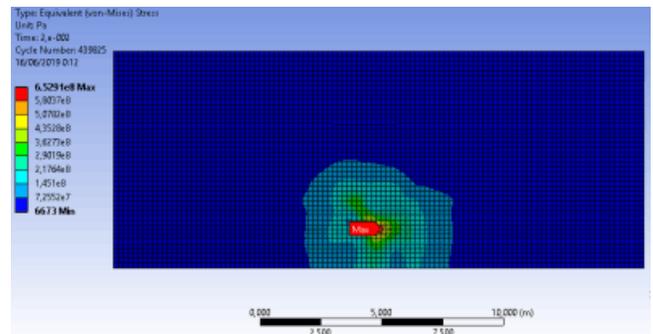


Gambar 14. Tegangan Von Mises Global pada Skenario 2 (Tampak Dalam Wing Tank)

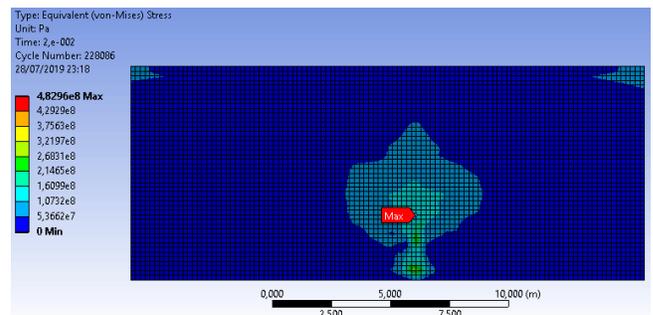
B. Analisis dan Pembahasan Tegangan Von Mises Pelat Contact



Gambar 15. Grafik Tegangan VM Pelat



Gambar 16. Tegangan Von Mises Lokal Skenario 1 (Plate)

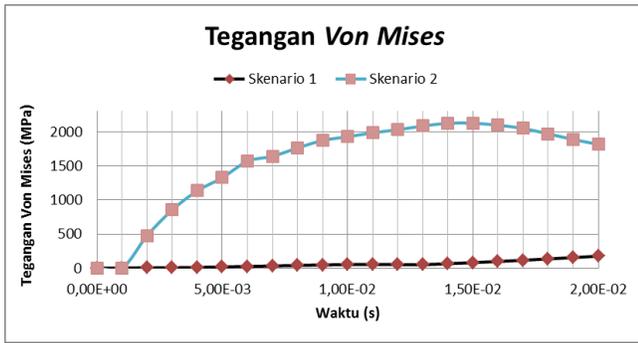


Gambar 17. Tegangan Von Mises Lokal Skenario 2 (Plate)

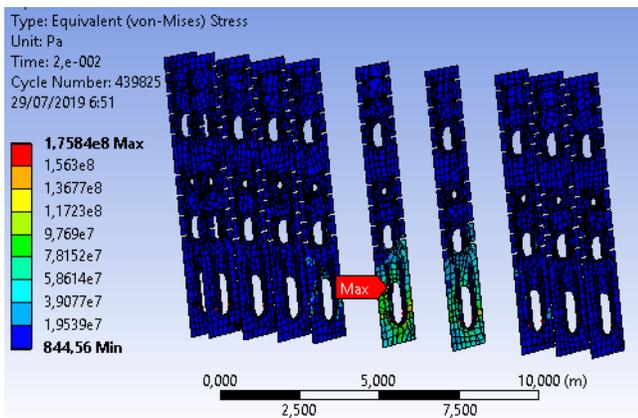
Dari Gambar 15 dapat dilihat bahwa tegangan pada pelat contact skenario 2 mengalami kenaikan nilai sampai detik ke 0,011 dengan nilai 591 MPa dan mengalami penurunan nilai seiring waktu analisis setelahnya. Hal ini terjadi karena

pengaruh adanya *web frame* yang menguatkan struktur pelat tersebut yaitu *web frame* 113. Struktur pelat dengan penguat di belakangnya mempunyai modulus yang lebih besar sehingga reaksi terhadap beban yang didapat menghasilkan tegangan yang relatif lebih kecil daripada yang terjadi pada skenario 1 yaitu sebesar 653 MPa. Persebaran tegangan *von mises* lokal (*plate*) pada skenario 1 dapat dilihat pada Gambar 16 serta Gambar 17 untuk skenario 2.

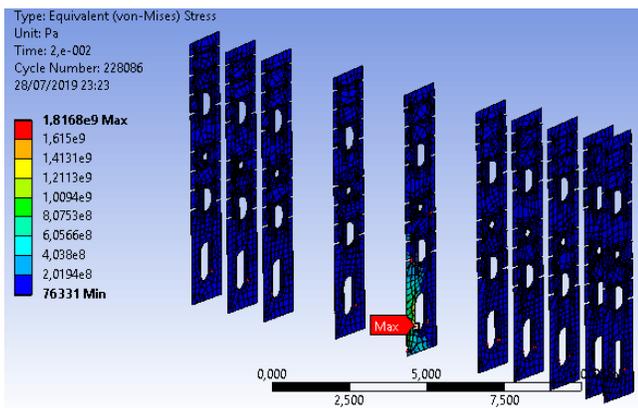
C. Analisis dan Pembahasan Tegangan Von Mises Web Frames



Gambar 18. Grafik Tegangan VM Web Frames



Gambar 19. Tegangan Von Mises Lokal Skenario 1 (Web Frames)

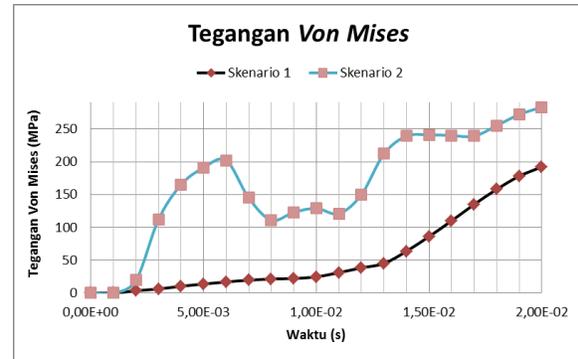


Gambar 20. Tegangan Von Mises Lokal Skenario 2 (Web Frames)

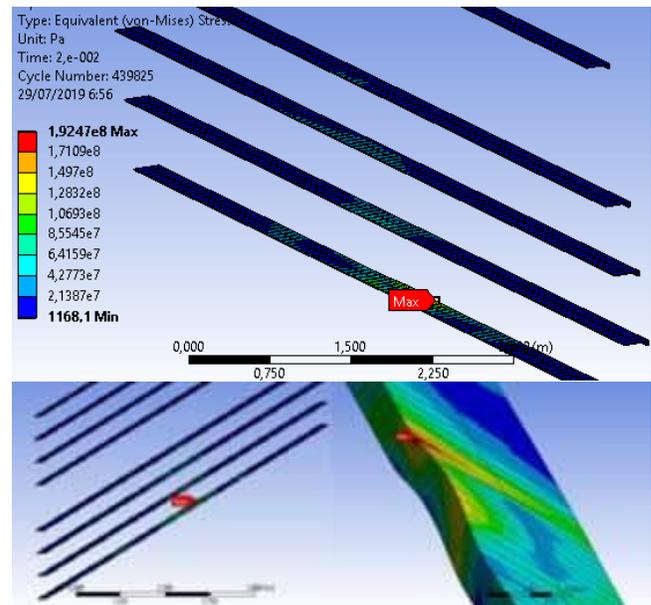
Dari Gambar 18 dapat dilihat bahwa sampai waktu analisis berakhir, nilai tegangan *web frames* pada skenario 1 mengalami kenaikan nilai dan mencapai nilai maksimum pada akhir waktu analisis dengan nilai 176 MPa. Sedangkan pada skenario 2 mengalami penurunan nilai setelah sebelumnya mengalami kenaikan sampai waktu analisis 0,015 dengan nilai 2130 MPa.

Tegangan *von mises* pada akhir waktu analisis untuk skenario 2 adalah 1817 MPa. Persebaran tegangan *von mises* lokal (*web frames*) pada skenario 1 dapat dilihat pada Gambar 19 serta Gambar 20 untuk skenario 2.

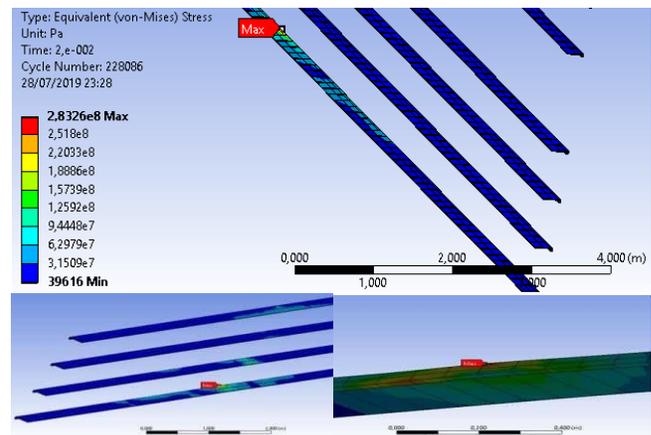
D. Analisis dan Pembahasan Tegangan Von Mises Longitudinal



Gambar 21. Grafik Tegangan VM Longitudinal



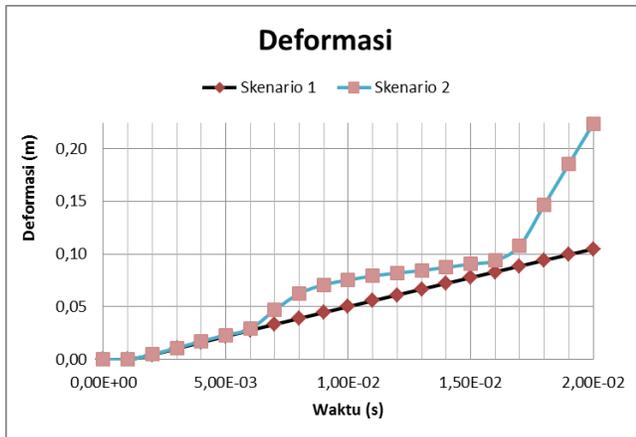
Gambar 22. Longitudinal yang terpasang pada pelat *contact* tubrukan (skenario 1)



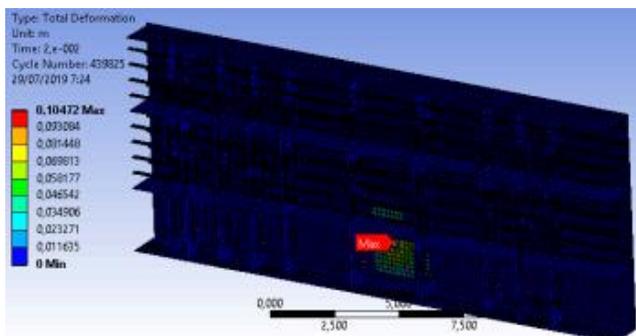
Gambar 23. Longitudinal yang terpasang pada pelat *contact* tubrukan (skenario 2)

Tinjauan selanjutnya yaitu pada komponen *longitudinal* yang dipasang pada pelat *wing tank* yang mengalami *contact* tubrukan. Tegangan maksimum pada *longitudinal* skenario 1 terjadi pada akhir waktu analisis yaitu sebesar 192 MPa. Tegangan ini terjadi pada *longitudinal* yang terpasang paling dekat dengan lokasi tubrukan oleh haluan (*bulbous bow*), sedangkan tegangan maksimum pada *longitudinal* skenario 2 terjadi pada akhir waktu analisis yaitu sebesar 283 MPa. Grafik tegangan *von mises longitudinal* dapat dilihat pada Gambar 21, sedangkan persebaran tegangan secara global pada skenario 1 dan skenario 2 dapat dilihat pada Gambar 22 dan Gambar 23.

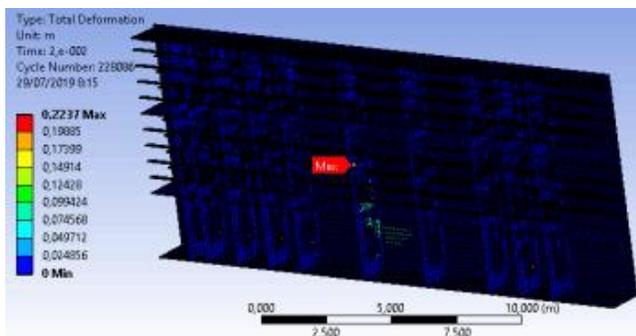
E. Analisis dan Pembahasan Deformasi Global



Gambar 24. Grafik Deformasi Global



Gambar 25. Deformasi Global Skenario 1

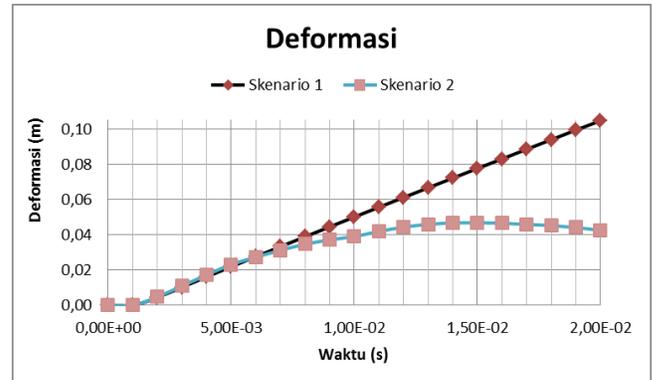


Gambar 26. Deformasi Global Skenario 2

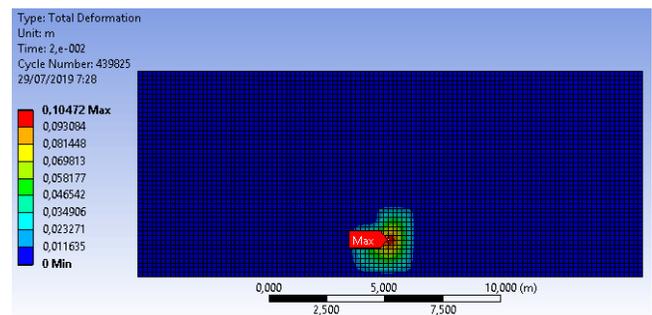
Deformasi global pada skenario 2 atau pada saat *bulbous bow* menabrak daerah pelat yang diperkuat *web frame* 113 lebih besar dibandingkan skenario 1 yaitu pada saat daerah tubrukan berada di antara *web frame* 113 dan 117. Hasil maksimum yang didapatkan pada deformasi global sama dengan deformasi pada

web frame 113 yaitu pada *scallop* dan sambungan las – lasan dimana bagian – bagian tersebut merupakan *stress concentration* dan menyebabkan deformasi yang lebih tinggi. Hal tersebut terlihat pada Gambar 24 untuk skenario 1 dan Gambar 25 untuk skenario 2. Grafik deformasi global dapat dilihat pada Gambar 26.

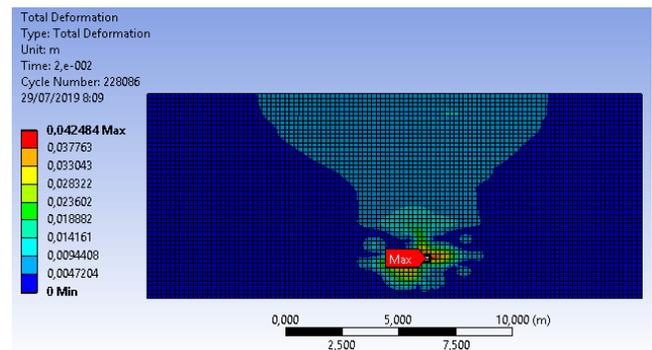
F. Analisis dan Pembahasan Deformasi Pelat Contact



Gambar 27. Grafik Deformasi Pelat



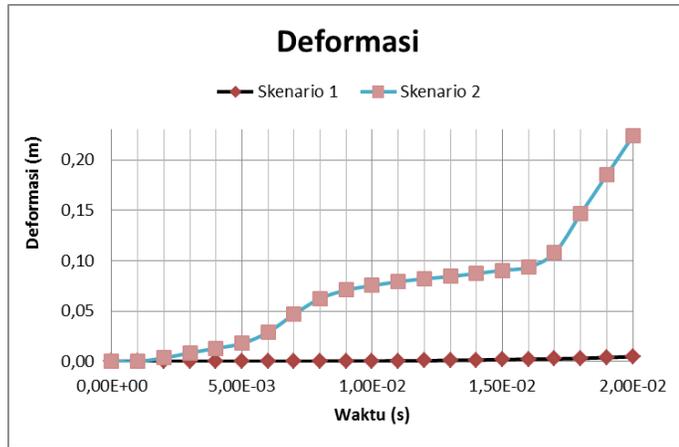
Gambar 28. Deformasi Lokal Skenario 1 (Plate)



Gambar 29. Deformasi Lokal Skenario 2 (Plate)

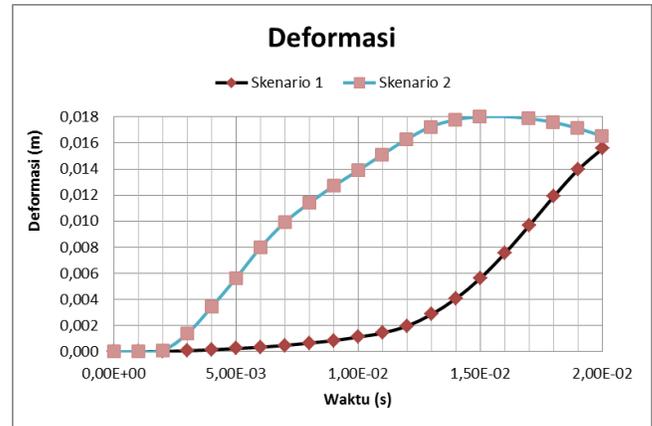
Deformasi maksimum pada pelat *contact* skenario 1 lebih besar dibandingkan skenario 2. Pada skenario 2, terjadi kenaikan nilai deformasi sampai waktu analisis mencapai 0,015 detik lalu deformasi mengalami penurunan. Hal ini karena pelat *contact* diperkuat oleh *web frame* 113 yang menegarkan strukturnya. Grafik deformasi pelat *contact* dapat dilihat pada Gambar 27 sedangkan persebaran deformasi pada skenario 1 dan skenario 2 dapat dilihat pada Gambar 28 dan Gambar 29.

G. Analisis dan Pembahasan Deformasi Web Frames

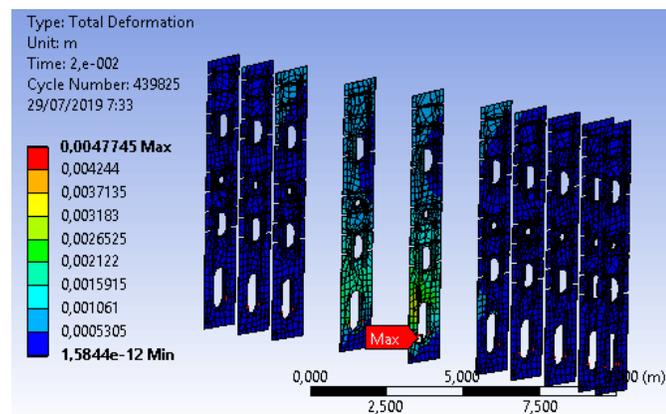


Gambar 30. Grafik Deformasi Lokal Skenario (Web Frames)

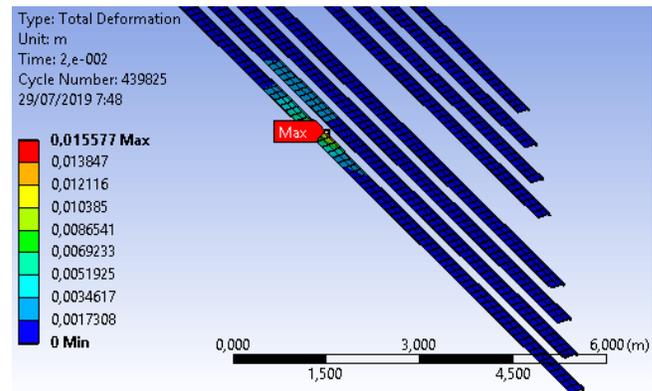
H. Analisis dan Pembahasan Deformasi Longitudinal



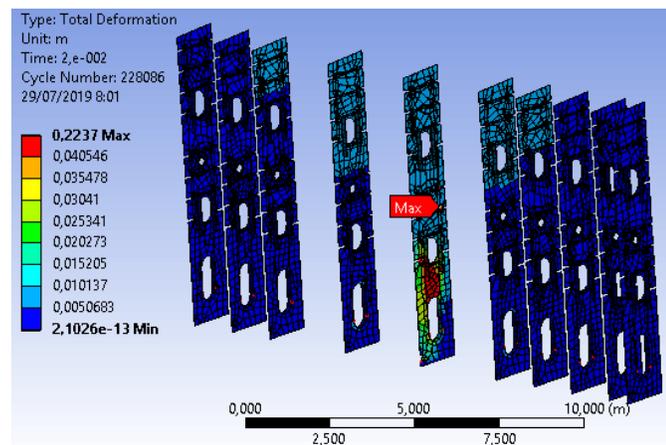
Gambar 33. Grafik Deformasi Lokal Skenario (Longitudinal)



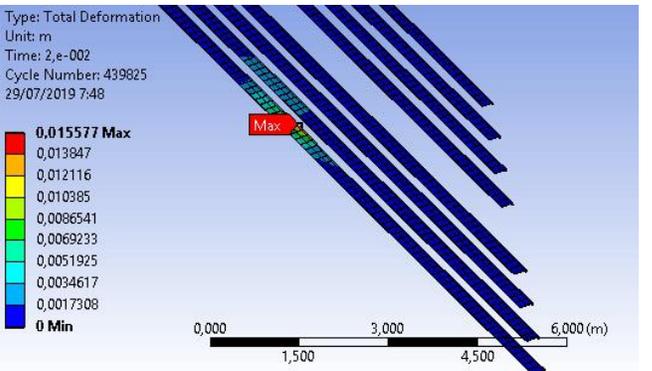
Gambar 31. Deformasi Lokal Skenario 1 (Web Frames)



Gambar 34. Deformasi Lokal Skenario 1 (Longitudinal)



Gambar 32. Deformasi Lokal Skenario 2 (Web Frames)



Gambar 35. Deformasi Lokal Skenario 2 (Longitudinal)

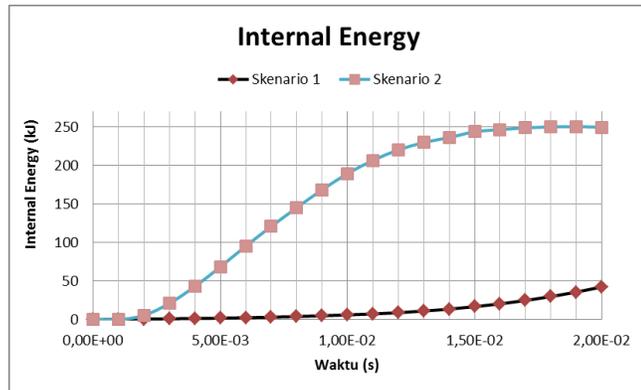
Deformasi pada *web frames* dengan skenario 2 lebih besar dibandingkan skenario 1. Hal ini terjadi karena pada skenario 2, *web frames* mengalami beban langsung karena lokasi tubrukan tepat pada lokasi *web frame*. Beban terdistribusi lebih besar pada skenario 2. Sedangkan pada skenario 1, *web frame* berada pada jarak tertentu dari lokasi tubrukan. Grafik deformasi *web frames* dapat dilihat pada Gambar 30, sedangkan persebaran deformasi pada skenario 1 dan skenario 2 dapat dilihat pada Gambar 31 dan Gambar 32.

Deformasi *longitudinal* pada skenario 1 mengalami kenaikan nilai dan mencapai nilai maksimum pada akhir waktu analisis. Sedangkan pada skenario 2 mengalami fluktuasi nilai deformasi maksimum. Hal ini sesuai dengan kecenderungan grafik yang terjadi pada analisis tegangan pada IV.D. Grafik deformasi *longitudinal* dapat dilihat pada Gambar 33, sedangkan persebaran deformasi pada skenario 1 dan skenario 2 dapat dilihat pada Gambar 34 dan Gambar 35.

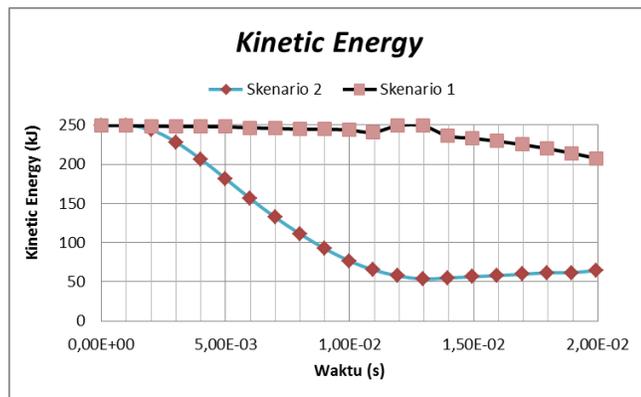
I. Analisis dan Pembahasan Internal Energy, Kinetic Energy

Konstruksi *struck ship* yang ditumbuk oleh *striking ship* menerima transfer energi kinetik dari *striking ship*. Hasil transfer energi kinetik dari *striking ship* berubah menjadi *internal energy*. *Internal energy* inilah yang mengakibatkan perubahan susunan molekul pada bahan *struck ship*. Hal inilah

yang disebut sebagai deformasi. Ketika energi kinetik *striking ship* secara penuh ditransfer kepada *struck ship*, maka yang terjadi adalah deformasi maksimum pada *struck ship*. *Internal energy* merepresentasikan kekakuan suatu struktur. Dalam kasus pelat berpenegar yang diberi beban eksternal, grafik *internal energy* akan membentuk cekungan ke atas (kecenderungan peningkatan nilai) apabila beban mengenai penegar.



Gambar 36. Grafik *Internal Energy* Global



Gambar 37. Grafik *Kinetic Energy* Global

Dari grafik – grafik pada Gambar 36 dan Gambar 37 ditunjukkan bahwa pada skenario 1 maupun skenario 2, konstruksi *wing tank* menyerap energi yang merupakan transfer dari *kinetic energy*. Hal ini dapat dilihat dari penurunan kurva nilai *kinetic energy* dan kenaikan kurva nilai *internal energy*.

Nilai dari *internal energy* struktur skenario 2 lebih besar daripada skenario 1. Konstruksi tersebut mendapatkan transfer energi yang lebih besar, hal ini dikarenakan pada skenario tersebut konstruksi berusaha mempertahankan kekakuannya dengan adanya *web frame* 113 di belakang pelat *contact* tubrukan. Implikasi dari fenomena tersebut adalah nilai deformasi yang mengalami kenaikan terhadap fungsi waktu.

V. KESIMPULAN

Respon setiap komponen konstruksi *wing tank* berbeda untuk tiap skenario. Besar tegangan maksimum global; pelat *contact (side plate)*; *web frames*; longitudinal pada waktu 0,02 s untuk skenario 1 dan skenario 2 adalah 653 MPa dan 2130 MPa; 653 MPa dan 591 MPa; 176 MPa dan 2130 MPa; 192 MPa dan 293 MPa. Tegangan pada skenario 1 (tubrukan di antara *web frame*) lebih besar dari skenario 2 (tubrukan di *web frame*) untuk tinjauan pelat *contact* namun tegangan pada skenario 1 lebih kecil dari skenario 2 untuk tinjauan global, *web frames* dan *longitudinal*.

Besar deformasi maksimum global; pelat *contact (side plate)*; *web frames*; *longitudinal* pada waktu 0,02 s untuk skenario 1 dan skenario 2 adalah 105 mm dan 224 mm; 105 mm dan 46,9 mm; 4,77 mm dan 224 mm; 15,6 mm dan 18 mm. Deformasi pada skenario 1 (tubrukan di antara *web frame*) lebih besar dari skenario 2 (tubrukan di *web frame*) untuk tinjauan pelat *contact* namun deformasi pada skenario 1 lebih kecil dari skenario 2 untuk tinjauan global, *web frames* dan *longitudinal*.

Energi yang diserap (*internal energy*) oleh konstruksi *wing tank* pada waktu analisis 0,02 detik untuk skenario 1 dan skenario 2 adalah 42.4 kJ dan 251 kJ.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] VOA, “Tanker Iran yang Terbakar Meledak di Laut China Timur,” *VOA Indonesia*, 2018. [Online]. Available: <https://www.voaindonesia.com/a/tanker-iran-yang-terbakar-meledak-di-laut-china-timur/4207152.html>.
- [2] International Maritime Organization, *International Convention for the Safety of Life at Sea*. London: IMO Publishing, 1974.
- [3] K. N. Hoque, “Analysis of Structural Discontinuities in Ship Hull using Finite Element Method,” Bangladesh University, 2016.
- [4] R. C. Hibeller, *Mechanics of Material*, 3rd ed. New Jersey, 1997.
- [5] D. L. Logan, *A First Course in The Finite Element Method*. Stamford: Global Engineering, 2011.