

# STUDI KERUSAKAN LAMBUNG KAPAL KAYU PERIKANAN 30 GT AKIBAT TUBRUKAN DENGAN BALOK KAYU YANG MENGAPUNG

Maulayas Shadak Sedayun<sup>1)</sup>, Ahmad Fauzan Zakki<sup>1)</sup>, Muhammad Iqbal<sup>1)</sup>  
<sup>1)</sup>Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Email: [maulayas@gmail.com](mailto:maulayas@gmail.com)

## Abstrak

Tubrukan kapal memberi dampak yang cukup signifikan terhadap kekuatan struktur kapal yang erat hubungannya dengan keamanan kapal. Sesuai data statistik yang ada pada *Lloyed Register* (1995), hampir setengah data tenggelamnya kapal diakibatkan tubrukan dan kandasnya kapal. Tubrukan kapal ini menyebabkan terjadinya deformasi hingga robeknya lambung kapal yang mengakibatkan kerugian materi hingga timbulnya korban jiwa serta merusak ekosistem laut akibat tumpahnya muatan kapal. Banyaknya kasus tubrukan yang terjadi sehingga di lakukannya studi kerusakan lambung kapal perikanan 30 GT akibat tubrukan dengan balok kayu yang mengapung dengan analisa numerik menggunakan *dynamic FEM* pada satu ruang muat. Dengan 3 variasi sudut tubrukan dan variasi kecepatan kayu 2 knot, 3 knot dan 4 knot pada *software ANSYS LS DYNA* agar dapat mengetahui pada posisi dan kecepatan berapa yang menimbulkan kerusakan pada lambung kapal pada saat terjadinya tubrukan. Dari hasil studi, lambung ruang muat kapal hanya mengalami deformasi pada kecepatan kayu 2 knot terhadap ruang muat sedangkan dengan kecepatan 4 knot struktur mengalami kehancuran. Posisi tubrukan yang berpotensi menimbulkan kerusakan yang cukup signifikan dan sangat parah adalah ketika suatu kayu mendapatkan posisi yang tegak lurus terhadap lambung kapal dan permukaan dari kayu sepenuhnya mengenai target dari kayu itu sendiri.

Kata Kunci: *Kapal Perikanan 30 GT, Balok Kayu, Tubrukan*

## ABSTRACT

*Ship collision impact significantly on the strength of the ship's structure is closely related to the security of the ship. According to statistics exist on Lloyed Register (1995), almost half of data due to the collision and sinking of the ship wreck of the ship. This ship collision caused a deformation up to tearing of the hull which resulted in material losses until the emergence of casualties and damage to marine ecosystems due to spillage of cargo ships. The number of cases of collisions that occur so conducted a study hull damage fishing boats 30 GT due to collision with a block of wood that floats by using dynamic FEM numerical analysis in the load space. With three variations angle of collision and variations in wood speed of 2 knots, 3 knots and 4 knots in software ANSYS LS DYNA in order to know the position and the speed to create the damage in the hull at the time of collision. From the results of the study, gastric load space ship only deformed at a wood speed of 2 knots to the load space at a speed of 4 knots while experiencing structural destruction. Position collision that could potentially create a damage so significant and severe are when a pestle get a position perpendicular to the surface of the target wood and pestle entirely on it self the target of a wood.*

*Keywords: Fishing Boat 30 GT, Wood Beams, Collisions*

## 1. PENDAHULUAN

Tubruk kapal memberidampak yang cukup signifikan terhadap kekuatan struktur kapal yang erathubungannya dengan keamanan kapal. Insiden ini pada umumnya menyebabkan terjadinya deformasi hingga robeknya pelat lambung kapal yang menyebabkan tumpahnya isi muatan kapal ke laut yang menyebabkan tercemarnya ekosistem laut, kerugian materi hingga timbulnya korban jiwa akibat tenggelamnya kapal seperti yang terjadi wilayah perairan Tanjung Perak kapalkontainer KM Journey dan kapal penumpang KM Lambelu pada 1 April 2014 yang mengakibatkan tumpahnya sekitar 131 kontainer ke laut [7]. Kecelakaan laut terjadi di Sungai Sesayap, Kecamatan Sesayap Ilir, Kabupaten Tana Tidung, Kalimantan Utara (Kaltara). Speedboat dengan nama Berkat Usaha ini dilaporkan menabrak batang kayu dan tenggelam, speedboat ini membawa 27 penumpang. 21 penumpang selamat, tiga penumpang ditemukan dalam kondisi meninggal dunia, dan tiga penumpang dinyatakan hilang,” kata Mujiono, Senin (1/6/2015)[3]. 05 Mei 2011 kapal kayu tradisional yang biasa digunakan untuk penyeberangan di Sungai Bengawan Solo, di Bojonegoro, Jawa Timur berkapasitas 40 orang penumpang, 4 sepeda motor dan puluhan sepeda angintenggelam di akibatkan kapal tersebut menabrak sebuah balok kayu yang mengakibatkan 30 orang hanyut terbawa arus dan 10 orang belum di temukan keberadaannya[6]. Dengan terjadinya kasus-kasus tersebut, sehingga dilakukan kajian yang bertujuan untuk memprediksi kerusakan lambung kapal yang terjadi dengan kondisi tubrukan yang berbeda dan kecepatan yang berbeda pula.

Kajian studi menggunakan simulasi analisa numerik dengan dinamika *FEM* menggunakan software *ANSYSLS-DYNA* yang memodelkan ruang muat kapal kayu perikanan 30 GT kemudian di tubruk oleh balok kayudengan parameter kecepatan 2 knot, 3 knot dan 4 knot. Posisi tubrukan di variasikan dengan 3 kondisi dan tubrukan terjadi selama 0.3 detik.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. *Dinamika Eksternal dan Mekanika Internal tubrukan*

Dinamika eksternal digunakan sebagai

prosedur untuk menganalisa impuls dan energi yang hilang akibat tubrukan melalui persamaan gerak dan momentum

$$Vb = \frac{M_B V_B}{M_A + M_B + \delta m_A} \quad (1)$$

Dimana,  $M_A$  dan  $M_B$  merupakan massa kapal yang ditubruk dan kapal penumbuk,  $\delta m_a$  adalah koefisien penambahan massa yang besarnya 0.4  $M_A$ , sedangkan  $\phi$  merupakan sudut tubrukan.  $V_b$  adalah kecepatan akhir tubrukan. Maka besarnya energi kinetik yang hilang ditentukan dengan persamaan:

$$\frac{M_B (M_A + \delta m_A)}{2(M_A + M_B + \delta m_A)} (Vb \sin \phi)^2 \quad (2)$$

Mekanika internal menganalisa respon yang dialami struktur berupa deformasi, *stress*, fraktur serta gesekan. Besarnya energi internal menurut Minorsky dirumuskan dengan:

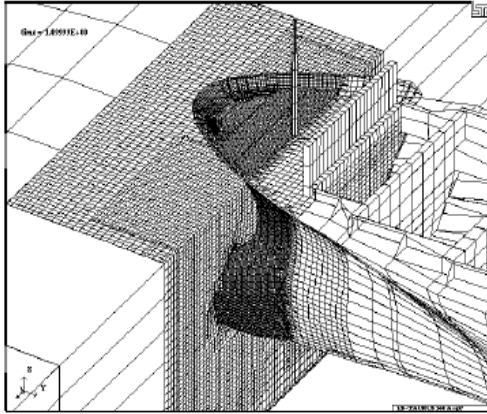
$$E = 47,2R_T + 32,7 \quad (3)$$

$$R_T = \sum P_N L_N t_N + \sum P_n L_n t_n \quad (4)$$

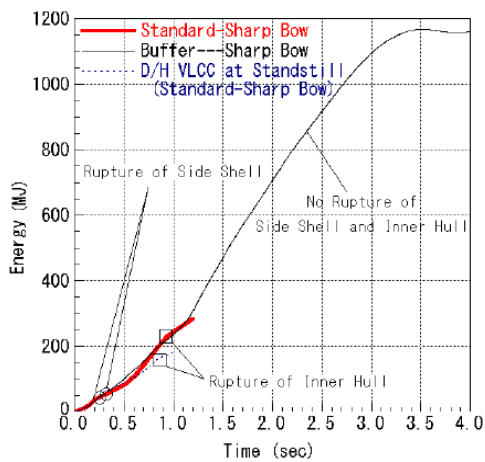
Dimana,  $E$  adalah energi yang diserap oleh struktur,  $R_T$  adalah besarnya tahanan tubrukan.  $P_N$  dan  $P_n$  adalah lebar kerusakan pada kapal penubruk dan kapal yang ditubruk.  $L_N$  dan  $L_n$  adalah panjang kerusakan pada kapal penubruk dan kapal yang ditubruk.  $t_N$  dan  $t_n$  adalah tebal kerusakan pada kapal penubruk dan kapal yang ditubruk. [8]

### 2.2. *Finite Element Method*

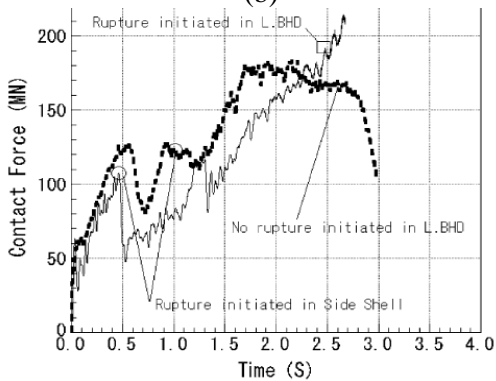
Penggunaan pada tahun 2001, Kitamura menggunakan metode elemen hingga untuk menganalisa gaya dan energi tubrukan antara kapal tanker VLCC dengan kapal muatan nuklir terhadap waktu. Keakuratan hasil model sangat bergantung pada besarnya *meshing* pada yang dimodelkan. ntum [4].



(a)



(b)



(c)

Gambar1.(a) Pemodelan *FEM* oleh kitamura pada tahun 2001, (b) Grafik energi terhadap waktu, (c) Grafik gaya terhadap waktu pada simulasi tubrukan antara kapal nuklir dengan tanker [4].

### 2.3. Elemen Hingga Dinamis Eksplisit

Dalam beberapa tahun terakhir, metode elemen hingga dinamis eksplisit telah banyak digunakan di bidang dampak tabrakan dan memiliki serta menunjukkan

keuntungan yang kuat dalam menangani masalah kontak skala besar. ANSYS / LS-DYNA adalah nonlinear eksplisit umum software dinamis sistem elemen hingga, yang dapat memecahkan berbagai masalah nonlinear, seperti kontak nonlinear highspeed, tabrakan, ledakan, dan logam yang terbentuk di threedimensional struktur nonlinear, dampak beban non-linear dan masalah nonlinear bahan [5].

Tabrakan merupakan ketidak tetapan proses fisik yang kompleks, yang memiliki masalah dinamika Non-linear. Dinamika eksplisit metode elemen hingga di LS-DYNA terutama digunakan dalam memecahkan masalah tabrakan [1]. Beberapa tahun terakhir, metode elemen hingga yang dinamis eksplisit telah banyak digunakan di bidang akibat tabrakan dan menunjukkan keuntungan yang kuat di suatu urusan dengan masalah kontak skala besar. Berbeda dengan statis implisit satu, metode elemen hingga eksplisit dinamis tidak perlu membangun matriks kekakuan dan menghitung Operasi terbalik, tetapi menggunakan perbedaan pusat eksplisit metode untuk memecahkan persamaan elemen hingga secara efektif dapat menghindari masalah konvergensi yang disebabkan karena masalah nonlinear. Kecepatan memecahkan masalah akan meningkat, melalui satu titik integrasi Gauss dan kualitas terpusat, yang memiliki keuntungan dari menghemat waktu perhitungan dan ruang penyimpanan, serta mudah untuk menangani [2].

Eksplisit dinamis hingga teori analisis elemen khusus adalah sebagai berikut:

- 1) Persamaan Dinamika, seperti pada (1):

$$M\dot{U} + C\dot{U} + KU = F \quad (1)$$

Dimana,  $M$  adalah matriks massa struktur,  $C$  adalah matriks redaman,  $K$  adalah matriks kekakuan,  $F$  eksternal diterapkan untuk memuat vektor, dan  $U$  adalah struktur perpindahan vektor.

- 2) Jika Pemandangan kecepatan dan percepatan dari  $t_0, t^1, t^2, \dots, t^n$  diketahui, dan respon struktural pada saat  $t_n + 1(t + \Delta t)$  adalah untuk ditentukan. Perbedaan pusat digunakan untuk menggantikan

percepatan, kecepatan perbedaan pusat derivatif, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\dot{U}_t = \frac{1}{2\Delta t} \{-U_{t-\Delta t} + U_{t+\Delta t}\} \quad (2)$$

$$\dot{U}_t = \frac{1}{2\Delta t} \{-U_{t-\Delta t} + U_{t+\Delta t}\} \quad (3)$$

- 3) pergantian persamaan (2) & (3) ke dalam persamaan (1), dan kita mendapatkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \hat{M}U_{t+\Delta t} &= \hat{R}_t \\ \hat{M} &= \frac{1}{\Delta t^2}M + \frac{1}{2\Delta t}C \\ \hat{R}_t &= F_t - \left(K - \frac{2}{\Delta t^2}M\right)U_t - \left(\frac{1}{\Delta t^2}M - \frac{1}{2\Delta t}C\right)U_{t-\Delta t} \end{aligned} \quad (4)$$

- 4) Dimana,  $\hat{R}_t$  adalah vector payload (beban),  $M$  adalah matriks massa efektif,  $F_t$  adalah vektor beban struktural. Memecahkan persamaan linear (4), mungkin mendapatkan vektor perpindahan  $U_{t+\Delta t}$  pada saat  $t+\Delta t$ . Mengganti  $U_{t+\Delta t}$  ke dalam persamaan keseimbangan dinamika elasto (5) & (6), kita bisa mendapatkan stres sel dan regangan pada saat  $t+\Delta t$ . Persamaan geometris:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{ij} + u_{ji}) \quad (5)$$

Persamaan fisika:

$$\begin{aligned} \delta_{ij} &= \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \\ \sigma_{kk} &= (3\lambda + 2\mu)\varepsilon_{kk} = 3K\varepsilon_{kk} \end{aligned} \quad (6)$$

- 5) Memecahkan persamaan dengan metode beda sentral dengan larutan berulang, sampai kondisi penutupan untuk memenuhi komputasi. Metode Perbedaan utama adalah algoritma eksplisit, namun kondisinya stabil, yang berarti bahwa ketika menggunakan metode ini untuk memecahkan masalah, ukuran langkah waktu harus kurang dari batas yang ditentukan oleh sifat persamaan pemecahan masalah. Jika tidak, algoritma tidak stabil, dan langkah waktu  $\Delta t$  puas dengan:

$$\Delta t \leq \Delta t^{crit} = \frac{2}{\omega_{max}} \quad (7)$$

Dimana,  $\omega_{max}$  adalah frekuensi sudut maksimum alami.

Untuk masalah sementara, analisis eksplisit dalam ukuran langkah waktu kecil. Oleh karena itu, masalah studi kerusakan lambung kapal perikanan 30 GT akibat tubrukan dengan balok kayu menggunakan dapat metode elemen hingga dinamis eksplisit.

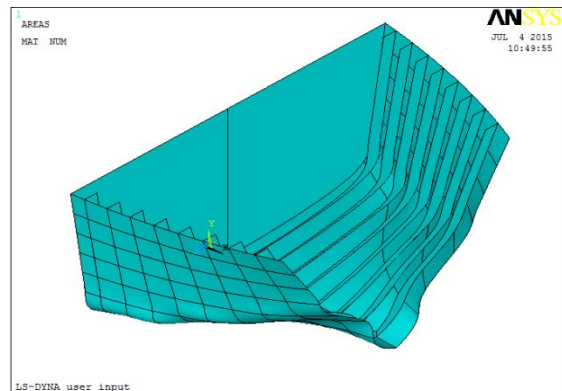
### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini mensimulasikan ruang muat / ruang freezer kapal kayu perikanan 30 GT. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisa menggunakan *software* berbasis *dynamic finite element* yaitu *ANSYSLS-DYNA* dengan pembuatan geometri model ruang muat / ruang freezer dan balok kayu dengan kriteria sebagai berikut:



Gambar 3. Lines Plan Kapal Perikanan 30 GT

Pada gambar 4 berikut menunjukkan gambar dari ruang muat / ruang freezer kapal kayu perikanan 30 GT yang di simulasikan dan di modelkan dalam *ANSYS LS DYNA*. Sedangkan pada tabel.1 menjelaskan spesifikasi ukuran tebal profil, kulit lambung serta *element type* yang di gunakan pada *ANSYS LS DYNA*.

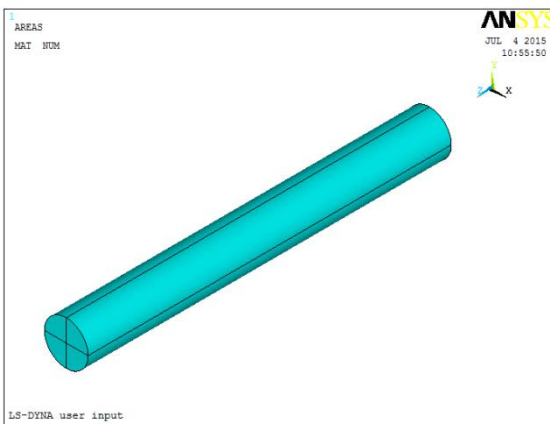


Gambar 4. Model Kapal

Tabel.1 Parameter Model Kapal

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| Element Type            | Thin Shell |
| Tebal Profil (m)        | 0.04       |
| Tebal Sekat (m)         | 0.04       |
| Tebal Kulit Lambung (m) | 0.03       |

Pada gambar 5 berikut menunjukkan gambar penumbuk / kayu yang di simulasikan dan di modelkan dalam ANSYS LS DYNA. Sedangkan pada tabel.2 menjelaskan spesifikasi dimensi dari kayu serta *element type* yang di gunakan pada ANSYS LS DYNA.



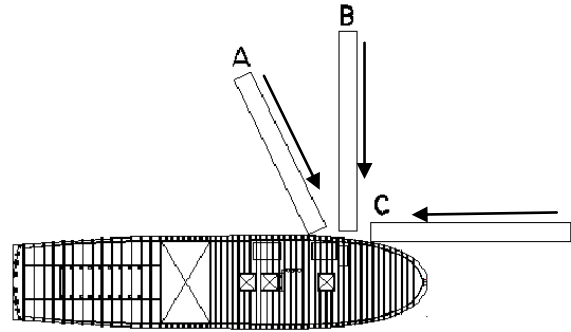
Gambar 5. Balok Kayu

Tabel.2 Parameter Model Kayu

|              |                 |
|--------------|-----------------|
| Element Type | Solid Shell 164 |
| Panjang (m)  | 5               |
| Diameter (m) | 0.6             |
| Massa (ton)  | 6.9             |

### 3.1. Skenario Tubrukan yang di Simulasikan

Skenario yang di simulasikan dalam penelitian ini di buat dalam 3 kondisi tubrukan. Seperti pada gambar 6 menunjukkan kondisi tubrukan dan arah datangnya kayu. Pada kayu A adalah tubrukan dengan 45°, pada kayu B adalah tubrukan dari samping kapal dan pada kayu C adalah tubrukan dari depan kapal.



Gambar 6. Skenario Tubrukan Dan Arah Datang Kayu

### 3.2. Material Models

Dari penelitian tugas akhir ini *material model* yang di pilih dalam ANSYS LS DYNA adalah *Plastic Kinematic* untuk model kapal dan *Rigid* untuk model kayu.

Tabel.3 Plastic Kinematic Material definition

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Density (Kg/m <sup>3</sup> ) | 7.85 |
| Young Modulus (GPA)          | 210  |
| Poisson ratio                | 0.3  |
| Yield Stress (MPA)           | 44.0 |
| Tangent Modulus              | 625  |
| Hardening Parm               | 0    |
| Strain Rate C                | 3200 |
| Strain Rate P                | 5    |
| Failure Strain               | 0.20 |

Tabel.4 Rigid Material Definition

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| Density (Kg/m <sup>3</sup> ) | 9749.7 |
| Young Modulus (GPA)          | 10.60  |
| Poisson ratio                | 0.033  |

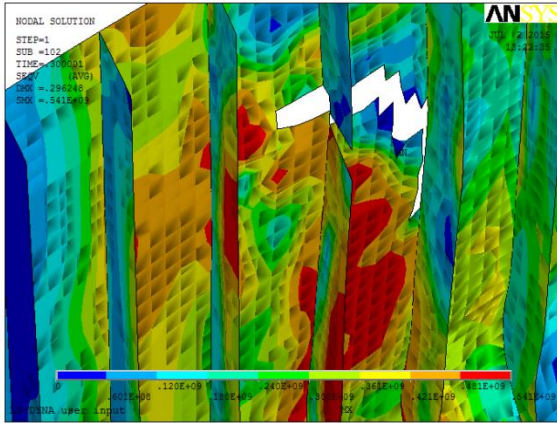
## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam hasil dan pembahasan berikut akan menunjukkan tingkat kerusakan lambung kapal yang di simulasikan tubrukan dengan balok kayu atas 3 kondisi dan variasi 3 kecepatan dan grafik *DOF Solution* akibat terjadinya tubrukan.

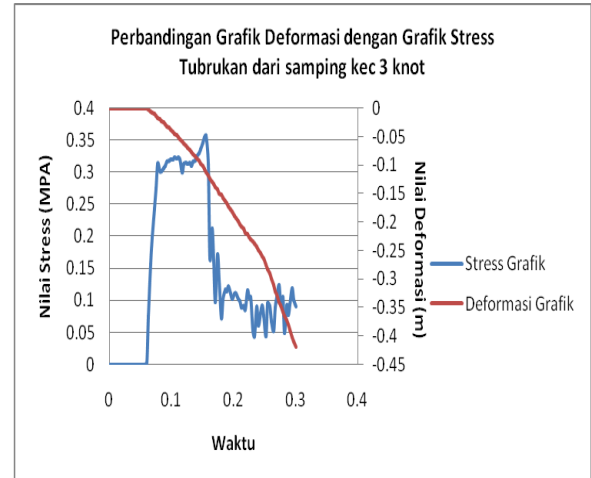
### 4.1. Tubrukan Dari Samping Kapal

Berikut merupakan hasil *solve ANSYS LS DYNA* dengan kondisi tubrukan dari samping kapal dimulai dari kecepatan 2 knot sampai 4 knot

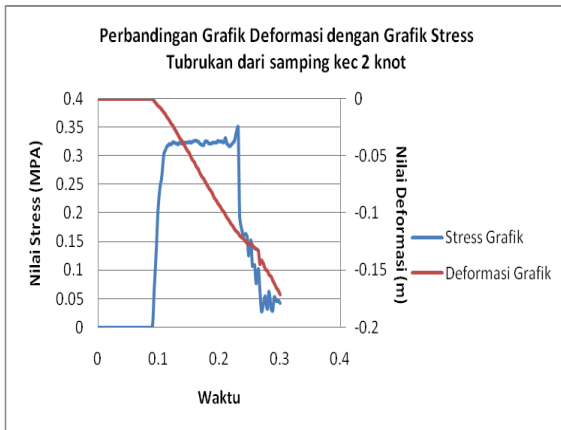




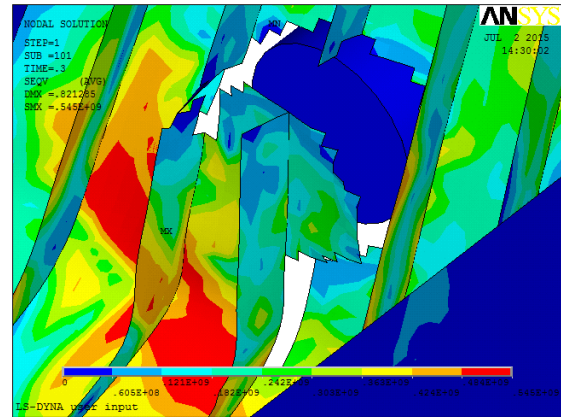
Gambar 8. Stress yang di hasilkan akibat tubrukandari sampingdengan kecepatan 2 knot



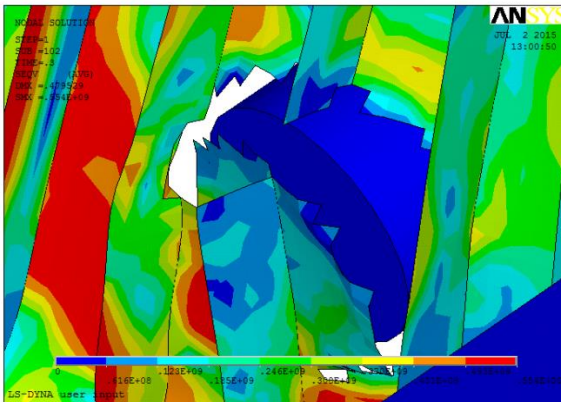
Gambar 11. Grafik Perbandingan Nilai deformasi dengan Nilai *Stress* Tubrukan dari samping kec 3 knot



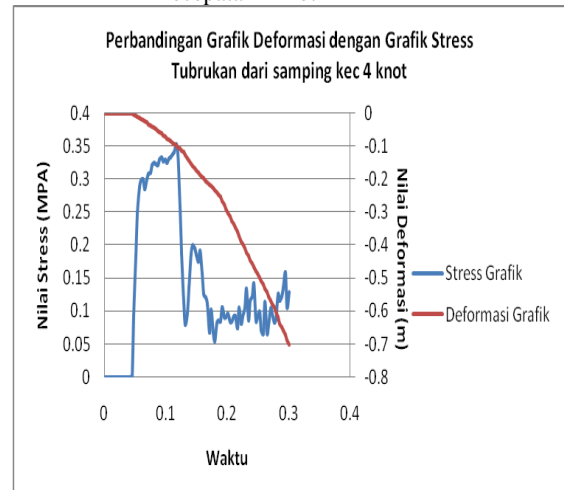
Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai deformasi dengan Nilai *Stress* Tubrukan dari samping kec 2 knot



Gambar 12. Stress yang di hasilkan akibat tubrukan dari sampingdengan kecepatan4 knot



Gambar 10. Stress yang di hasilkan akibat tubrukan dari samping dengan kecepatan3 knot

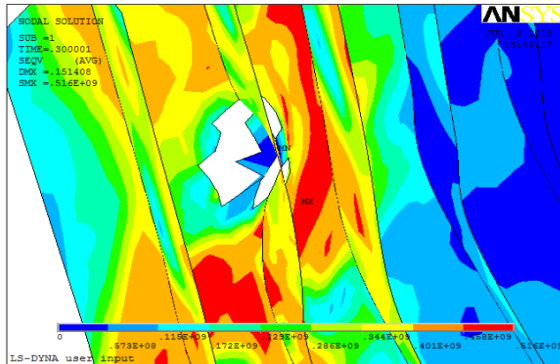


Gambar 13. Grafik Perbandingan Nilai deformasi dengan Nilai *Stress* Tubrukan dari samping kec 4 knot

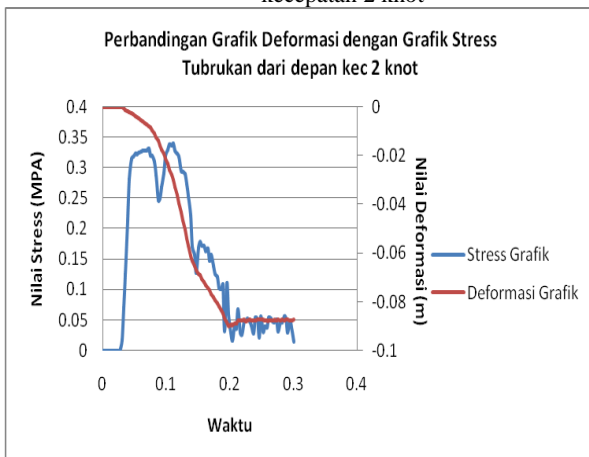
## 4.2 Tubrukan Dari Depan Kapal

Berikut merupakan hasil *solve ANSYS LS*

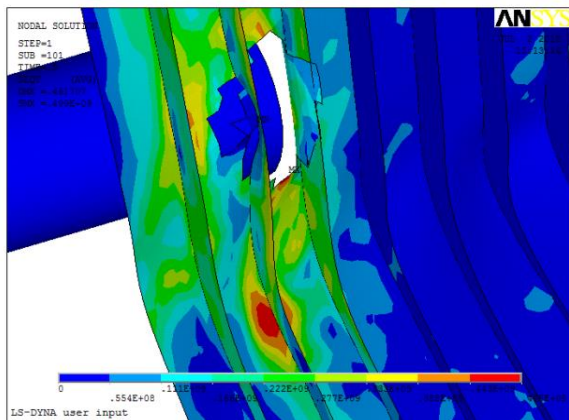
DYNA dengan kondisi tubrukan dari samping kapal dimulai dari kecepatan 2 knot sampai 4 knot



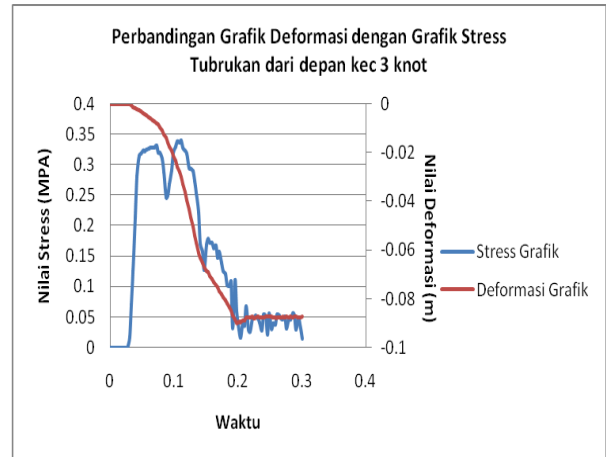
Gambar 15. Stress yang di hasilkan akibat tubrukan dari depan dengan kecepatan 2 knot



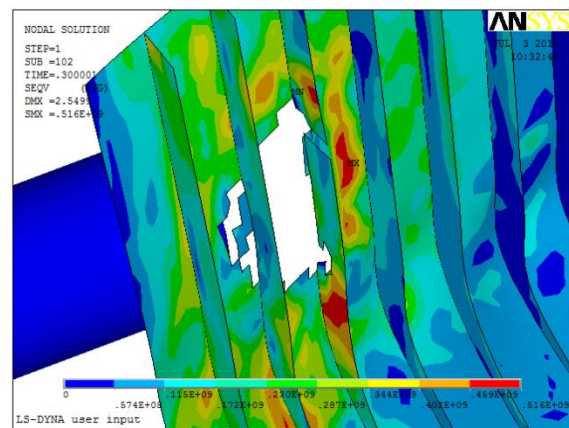
Gambar 16. Grafik Perbandingan Nilai deformasi dengan Nilai Stress Tubrukan dari depan kec 2 knot



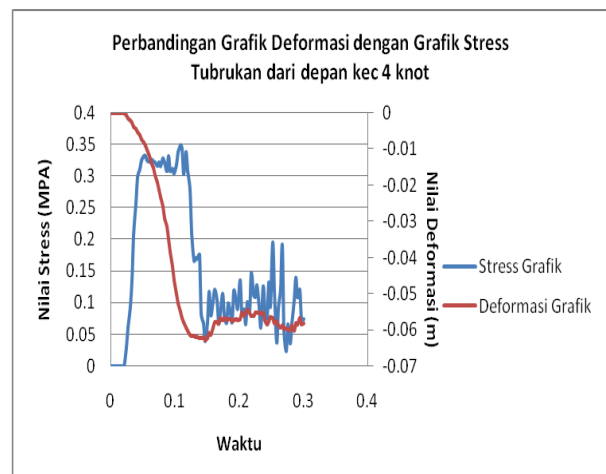
Gambar 17. Stress yang di hasilkan akibat tubrukan dari depan dengan kecepatan 3 knot



Gambar 18. Grafik Perbandingan Nilai deformasi dengan Nilai Stress Tubrukan dari depan kec 3 knot



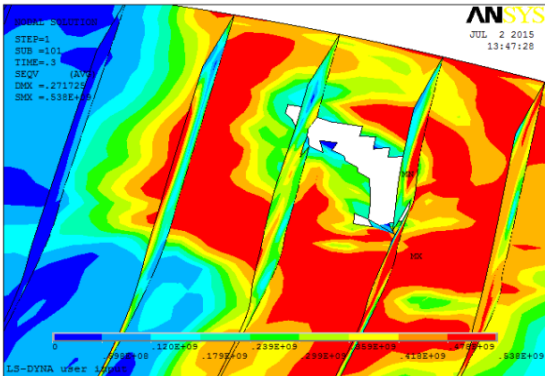
Gambar 19. Stress yang di hasilkan akibat tubrukan dari depan dengan kecepatan 4 knot



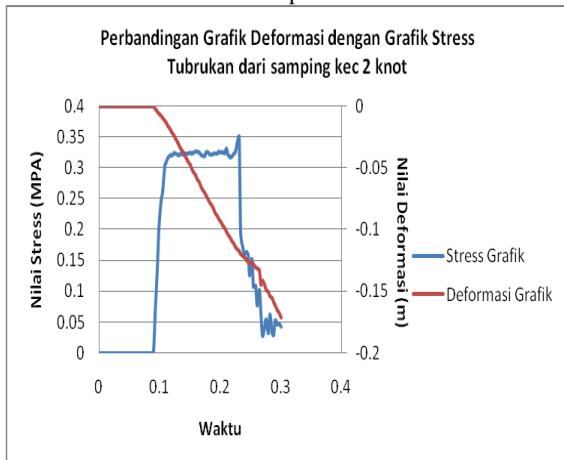
Gambar 20. Grafik Perbandingan Nilai deformasi dengan Nilai Stress Tubrukan dari depan kec 4 knot

### 4.3 Tubrukan Dengan Kemiringan 45° Berikut merupakan hasil solve

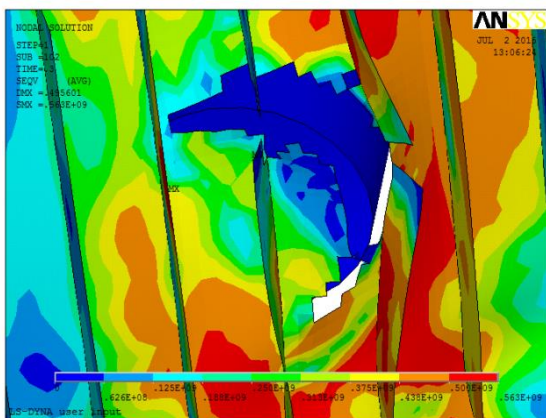
ANSYS LSDYNA dengan kondisi tubrukan darisamping kapal dimulai dari kecepatan 2knot sampai 4 knot



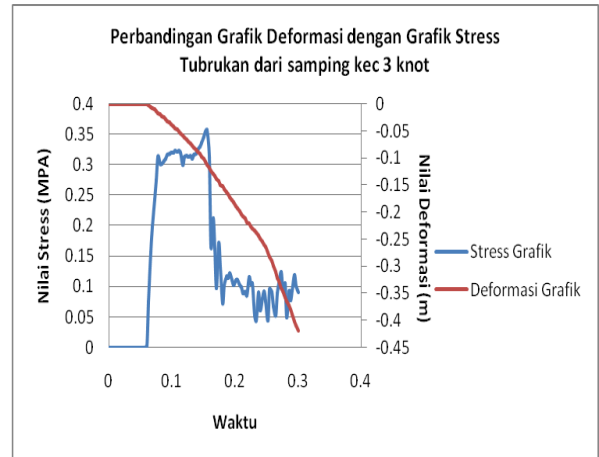
Gambar 22. Stress yang di hasilkan akbibat tubrukan dengankemiringan 45° kecepatan 2 knot



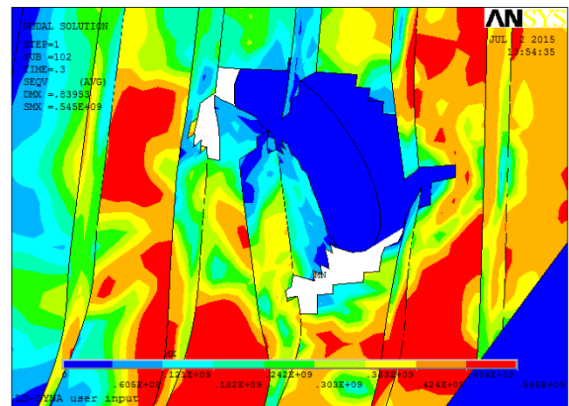
Gambar 23. Grafik Perbandingan Nilai deformasi dengan Nilai Stress Tubrukan dengan 45° kec 2 knot



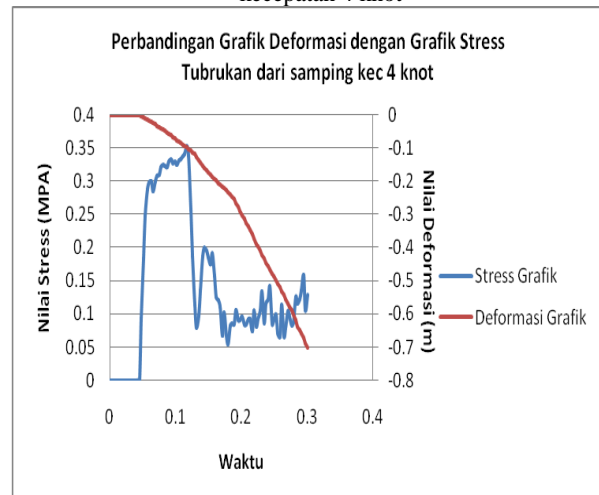
Gambar 24. Stress yang di hasilkan akbibat tubrukan dengankemiringan 45° kecepatan 3 knot



Gambar 25. Grafik Perbandingan Nilai deformasi dengan Nilai Stress Tubrukan dengan 45° kec 3 knot



Gambar 26. Stress yang di hasilkan akbibat tubrukan dengankemiringan 45° kecepatan 4 knot



Gambar 27. Grafik Perbandingan Nilai deformasi dengan Nilai Stress Tubrukan dengan 45° kec 4 knot

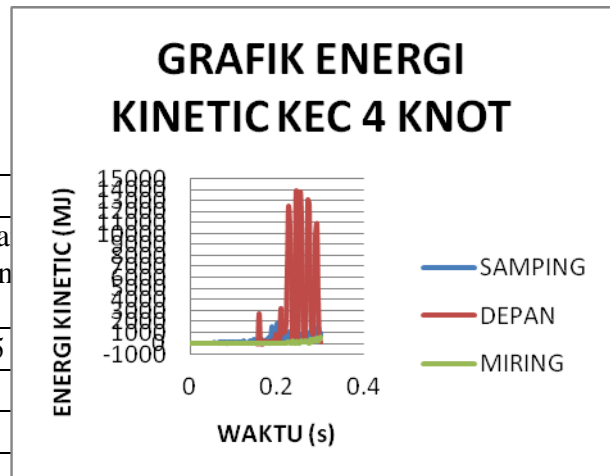
Dari hasil analisa di atas maka dapat kita lihat perbandingan nilai deformasi untuk setiap



kondisi tubrukan terhadap kecepatan yang sama seperti yang di tunjukan oleh tabel dan berikut.

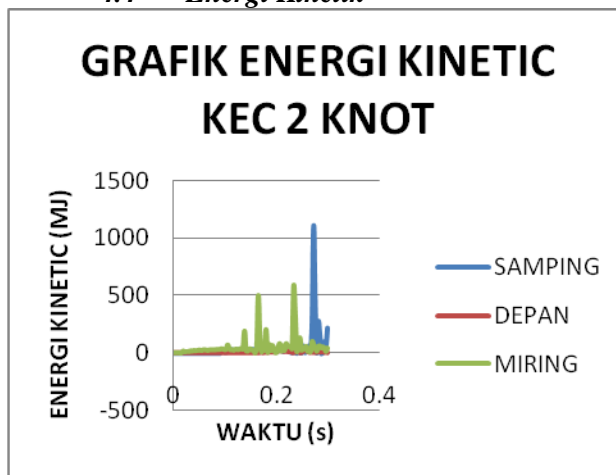
Tabel.4 Perbandingan Deformasi Setelah dilakukannya Analisa

| Kecepatan | Nilai Deformasi       |                     |                    |
|-----------|-----------------------|---------------------|--------------------|
|           | Tubrukan Dari Samping | Tubrukan Dari Depan | Tubruka Dengan 45° |
| 2         | -0.2                  | -0.1                | -0.225             |
| 3         | -0.28                 | -0.18               | -0.45              |
| 4         | -0.5                  | -0.2                | -0.56              |



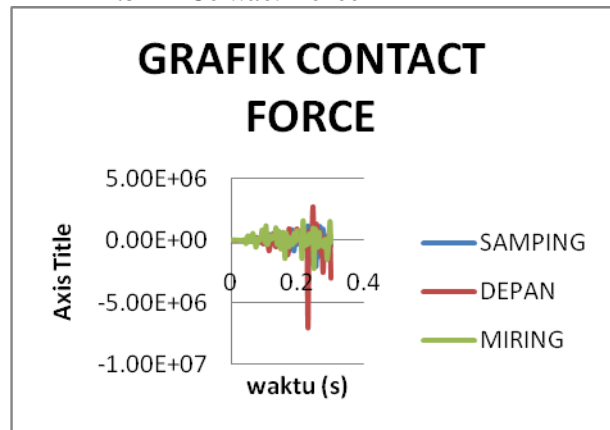
Gambar 30. Grafik Energi Kinetik pada Kecepatan 4 knot

#### 4.4 Energi Kinetik

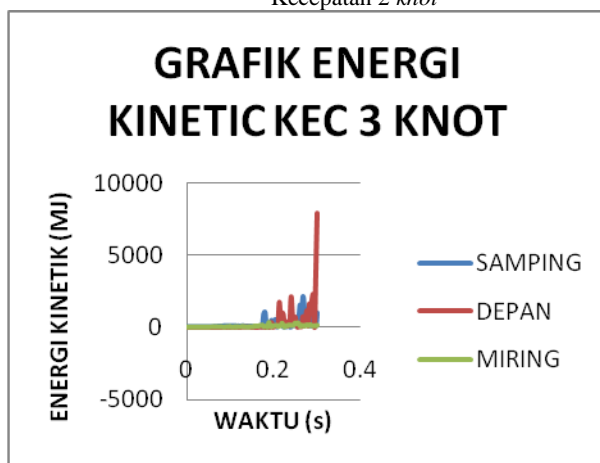


Gambar 28. Grafik Energi Kinetik pada Kecepatan 2 knot

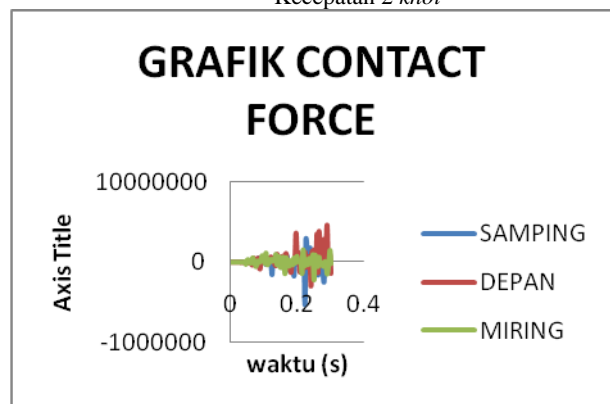
#### 4.5 Contact Force



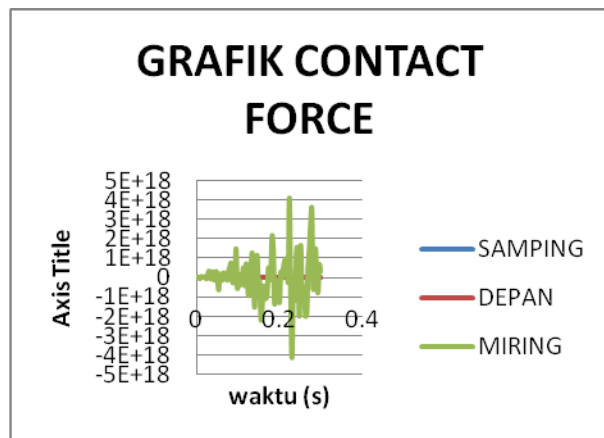
Gambar 31. Grafik Contact Force pada Kecepatan 2 knot



Gambar 29. Grafik Energi Kinetik pada Kecepatan 3 knot



Gambar 32. Grafik Contact Force pada Kecepatan 3 knot



Gambar 33. Grafik Contact Force pada Kecepatan 4 *knot*

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis tubrukan di ANSYS LS DYNA yang telah dilakukan dengan berbagai macam kondisi tubrukan dan kecepatannya maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- 1) Kondisi lambung akibat tubrukan yang di simulasikan dengan ANSYS LS DYNA memiliki tingkat kehancuran yang berbeda pada tiap kondisi dan kecepatan akibat tubrukan itu sendiri. Dan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel.5 Kondisi Tubrukan dari Samping

|               | Lambung | Profil |
|---------------|---------|--------|
| 2 <i>Knot</i> | Robek   | Patah  |
| 3 <i>Knot</i> | Robek   | Patah  |
| 4 <i>Knot</i> | Robek   | Patah  |

Tabel.6 Kondisi Tubrukan dari Depan

|               | Lambung | Profil    |
|---------------|---------|-----------|
| 2 <i>Knot</i> | Robek   | Deformasi |
| 3 <i>Knot</i> | Robek   | Deformasi |
| 4 <i>Knot</i> | Robek   | Patah     |

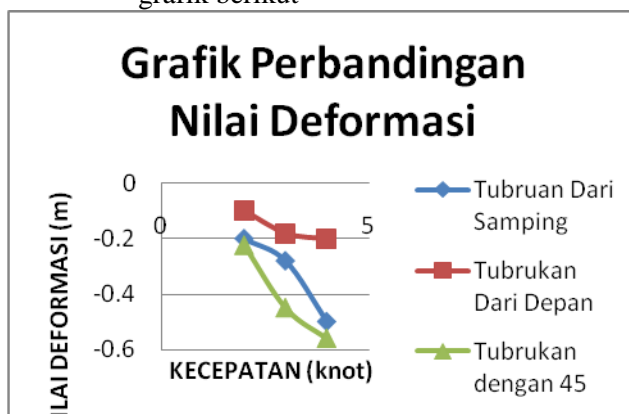
Tabel.7 Kondisi Tubrukan dengan 45°

|               | Lambung | Profil |
|---------------|---------|--------|
| 2 <i>Knot</i> | Robek   | Patah  |
| 3 <i>Knot</i> | Robek   | Patah  |
| 4 <i>Knot</i> | Robek   | Patah  |

Dan beberapa hal yang sangat berpengaruh terhadap tubrukan antara lain adalah

- Massa
- Kecepatan
- Srtuktur
- Posisi Tubrukan

- 2) Kondisi tubrukan yang berpotensi menimbulkan kerusakan yang cukup signifikan dapat di lihat pada gambar grafik berikut



Gambar 34. Grafik perbandingan nilai *DOF* Terhadap kondisi tubrukan

Sehingga dapat di simpulkkkan kondisi tubrukan yang memberikan dampak kerusakan yang cukup signifikan dan palingg besar diantara kondisi lain berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dengan *software ANSYS LS DYNA* adalah kondisi tubrukan dengan 45°.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bai Jinze, LS - DYNA3D theory foundation and case analysis, Beijing:Science Press, 2005.
- [2] Huang Qiao, Li Zhonglong, and Sha Xuejun, "Strain sensor-based wireless measurement system for bridge," vol. 10, pp. 1322-1325, 2007
- [3] Jalil Awaluddin. (2015, 01 Juni). "Tabrak Kayu Speedboat Terbalik 3 Penumpang Tewas". <http://daerah.sindonews.com/read/1007804/174/tabrak-kayu-speedboat-terbalik-3-penumpang-tewas-1433169535> (diakses tanggal 1 Juli 2015)
- [4] Kitamura, O. (2001). FEM approach to simulate of collision and grounding damage, *The Second International Conference on*

*Collision and Grounding of the Ships*

- [5] Shang Xiaojiang, and Su Jianyu, Ansys/ls-dyna dynamic analysis method and engineering examples, Beijing: China WaterPower Press, 2008.
- [6] Ubey M Alham. (2011, 2 Mei). “Perahu Tenggelam di Bojonegoro, 30 Orang Hanyut” <http://www.okezonenews.com/regional/2011/05/02/perahu-tenggelam-di-bojonegoro-30-orang-hanyut> (diakses tanggal 20 Januari 2015)
- [7] Zabur Anjasfianto. (2013, 9 Desember). “Tabrakan Tabrakan antara kapal kargo kontainer KM Journey dan kapal penumpang KM Lambelu”. <http://www.tribunnews.com/regional/2014/04/01/tabrakan-dua-kapal-tidak-ganggu-pelayaran-di-tanjung-perak> (diakses tanggal 10 September 2014)
- [8] Zhang S. The mechanics of ship collisions, Ph.D. thesis. DTU; 1999.