

## ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR “TANK DECK” KAPAL LCT AT 117 M TNI AL

### Ganding Sitepu dan Hamzah

Dosen Program Studi Teknik Perkapalan  
Jurusan Perkapalan - Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin  
Jl. Poros Malino, Bontomarannu, Kabupaten Gowa  
Telp. 0411-585637, email: g.sitepu@unhas.ac.id

### Widya Nimbo

Marine superintend  
email: widyanimbo@gmail.com

### Abstrak

Kekuatan struktur konstruksi sangat berpengaruh pada tingkat keselamatan kapal baik pada kondisi laut yang tenang, bergelombang bahkan di atas dok. LCT (landing craft tank) adalah jenis kapal laut yang dirancang untuk mengangkut tank dan unit konstruksi berbobot ekstrim per unitnya. Konstruksi geladak tank menerima beban baik statis dan dinamis yang dipengaruhi oleh percepatan akibat dinamika kapal. Penelitian ini bertujuan mengetahui beban yang bekerja pada tank deck, menganalisis respon struktur geladak terhadap beban serta mengetahui umur struktur geladak tersebut. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan Ansys<sup>TM</sup>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan izin tercapai pada percepatan 17,6 m/s<sup>2</sup> yang terletak di ujung pelat yang merupakan kontak antara pelat dek dengan pelat sekat melintang dengan panjang 600 mm. Pada percepatan 17,6 m/s<sup>2</sup>, struktur geladak akan mengalami kelelahan pada umur 7,882 tahun.

### Kata Kunci

Deformasi, elemen hingga, kekuatan, kelelahan, LCT.

## PENDAHULUAN

Kekuatan struktur konstruksi merupakan salah satu aspek teknis yang turut mempengaruhi tingkat keselamatan kapal baik di kondisi laut yang tenang, bergelombang bahkan di atas dok. Struktur konstruksi kapal akan mengalami berbagai beban antara lain beban internal yang disebabkan oleh pembebanan yang ada di kapal dan beban eksternal seperti gelombang laut serta posisi kapal terhadap gelombang itu sendiri dan juga angin [1, 2]. Tolak ukur yang dapat menjamin kekuatan struktur kapal adalah tegangan (*stress*).

LCT AT 117 M TNI AL adalah kapal milik TNI AL yang sedang dibangun di PT Dok & Perkapalan Kodja Bahari Galangan II. Kapal ini dibangun dengan sistem konstruksi kombinasi. Konstruksi geladak secara melintang ditumpu oleh balok geladak (*deck beam*) dan secara memanjang ditumpu oleh *deck girder*.

## Analisis Kekuatan Struktur “Tank Deck” Kapal LCT AT 117 M TNI AL

---

Kapal dirancang memuat 10 (sepuluh) unit tank jenis tank *Leopard 2A4*, 2 *Transporter* dan 1 *Panzer* dan 84 perwira pada geladak kendaraannya. Tank *Leopard 2A4* memiliki bobot 60 ton, *Transporter* dengan berat @15,5 ton dan 1 *Panzer* dengan berat @55 ton yang dikhawatirkan akan sangat membebani struktur geladak kapal ditambah lagi dengan adanya 84 perwira pada geladak yang sama.

### Konstruksi Geladak

Geladak adalah kumpulan komponen-komponen konstruksi mendatar yang terdiri dari balok geladak (sistem konstruksi melintang), pembujur geladak (sistem konstruksi memanjang), penumpu geladak dan pelat geladak yang dibatasi oleh lambung di sekelilingnya [3, 4].

Pembebanan pada geladak adalah [1]:

$$w_t = m_t \times (g + a) \dots \dots (N) \quad (1)$$

$$A = l \times b \dots \dots (mm^2) \quad (2)$$

$$P = \frac{w_t}{A} \dots \dots (N/mm^2) \quad (3)$$

### Tegangan

Tegangan didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada suatu satuan luas [5]. Secara matematis definisi tersebut dapat ditulis sebagai:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4)$$

dengan:

- $\sigma$  = tegangan ( $N/mm^2$ )
- $P$  = gaya yang bekerja atau beban (N)
- $A$  = luas penampang ( $mm^2$ )

### Regangan

Regangan dinyatakan sebagai pertambahan panjang per satuan panjang. Hukum Hooke menyatakan bahwa dalam batas-batas tertentu, tegangan pada suatu bahan adalah berbanding lurus dengan regangan [5, 1]. Regangan dapat ditulis sebagai berikut:

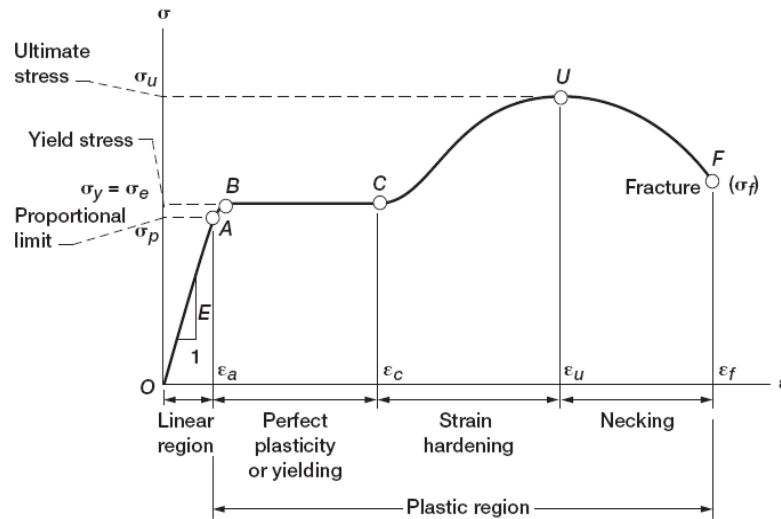
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (5)$$

dengan:

- $\varepsilon$  = regangan
- $\Delta L$  = pertambahan panjang total (mm)
- $L$  = panjang mula – mula (mm)

### Hubungan Tegangan dan Regangan

Pengujian untuk baja lunak menunjukkan hubungan tegangan dan regangan seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.**  
Diagram Tegangan-Regangan  
(Sumber [5])

### Umur Struktur

Formulasi umur kelelahan struktur diberikan sebagai [6]:

$$\Delta\sigma = 2 \times \sigma \quad (6)$$

$$D = \frac{V_0 T_d}{\bar{\alpha}} p_{full} q_{full}^m \Gamma \left( 1 + \frac{m}{h} \right) \quad (7)$$

$$V_0 T_d = \frac{20.365.24.3600}{4 \log_{10}(L)} \quad (8)$$

$$\Gamma \left( 1 + \frac{m}{h} \right) \quad (9)$$

$$q_{full} = \frac{\Delta\sigma_0}{(\ln n_0)^{\frac{1}{h}}} \quad (10)$$

$$T = \frac{D_{life}}{D} \quad (11)$$

*Fatigue* adalah salah satu jenis kerusakan/kegagalan yang diakibatkan oleh beban berulang. Ada 3 fase di dalam kerusakan akibat *fatigue* yaitu retak awal (*crack initiation*), perambatan retak (*crack propagation*) dan patah statik (*fracture*). Formasi dipicu oleh inti retak yang dapat berawal dari lokasi yang paling lemah kemudian terjadi pembebanan bolak balik yang

## Analisis Kekuatan Struktur “Tank Deck” Kapal LCT AT 117 M TNI AL

---

menyebabkan lokal plastisitas sehingga terjadi perambatan retak hingga mencapai ukuran retak kritis dan akhirnya gagal [6].

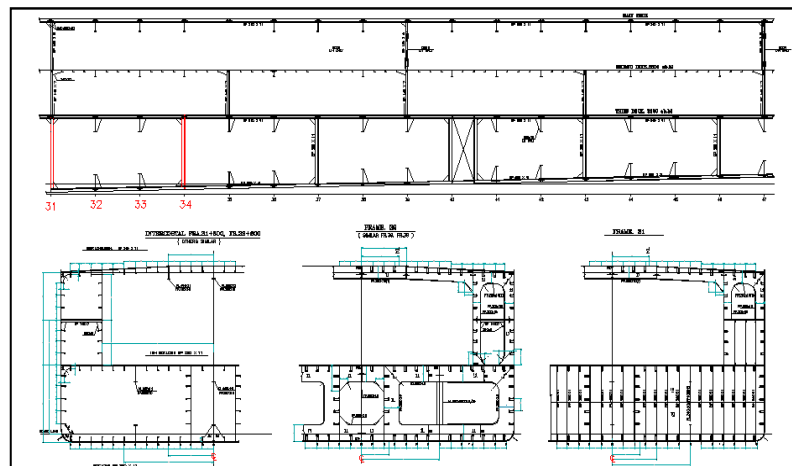
Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah salah satu metode numerik untuk menyelesaikan berbagai problem rekayasa, seperti mekanika struktur, mekanika tanah, mekanika batuan, mekanika fluida, hidrodinamika, aerodinamik, medan magnet, perpindahan panas, dinamika struktur, mekanika nuklir, aeronautika, akustik, mekanika kedokteran dan sebagainya [7, 8].

Tujuan utama analisis dengan menggunakan metode elemen hingga adalah memperoleh pendekatan tegangan dan peralihan (*displacement*) yang terjadi pada suatu struktur [9].

### Ukuran Utama Kapal

LCT AT 117 M TNI AL adalah jenis kapal LCT yang sedang di bangun yang dirancang untuk mengangkut tank di geladak. Dimensi utama kapal adalah: panjang  $L_{OA} = 117,00$  m;  $L_{BP} = 109,77$  m; lebar  $B = 16,40$  m; tinggi  $H = 7,80$  m, sarat  $T = 3,30$  m. Kapal ini mempunyai kecepatan jelajah  $V = 16$  knots dengan motor penggerak utama diesel  $2 \times 3970$  hp.

Gambar 2 menunjukkan struktur penampang tengah kapal. Kapal ini mempunyai dasar ganda dan ruang di bawah geladak tank merupakan ruang kosong. Struktur kapal ini tergolong masif dengan dimensi balok dan penumpu relatif besar, sesuai untuk muatan kendaraan berat (tank) militer.



**Gambar 2.**  
Konstruksi *Profile & Midship*  
(Sumber: PT Dok Perkapalan Kodja Bahari, 2015)

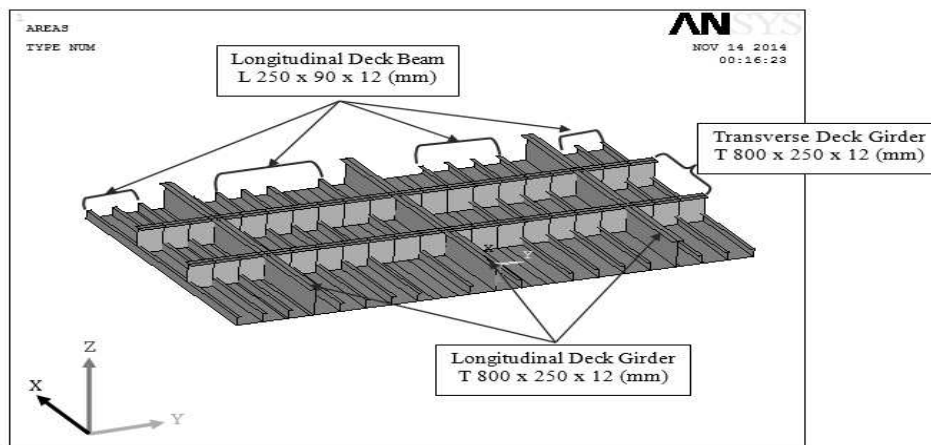
### Pemodelan Struktur Geladak

Komponen-komponen struktur geladak yang dimodelkan yaitu:

- a. Pelat geladak dengan ukuran  $7.200 \times 12.000$  (mm)
- b. *Longitudinal deck beam* (BP 260 x 11 mm) sebanyak 16 buah

- c. *Longitudinal deck girder* (T 800 x 250 x 12 mm) sebanyak 3buah
- d. *Transverse deck girder* (T 800 x 250 x 12 mm) sebanyak 2 buah.

Gambar 3 menunjukkan model numerik struktur yang di analisis yang dibangun dengan bantuan Ansys™. Dengan bantuan Ansys™, kalkulasi respons struktur dalam tiga dimensi dapat diperoleh. Pengekangan struktur model dibuat dengan mensimulasi kondisi tumpuan dan keterhubungan sistem konstruksi di sekeliling model.

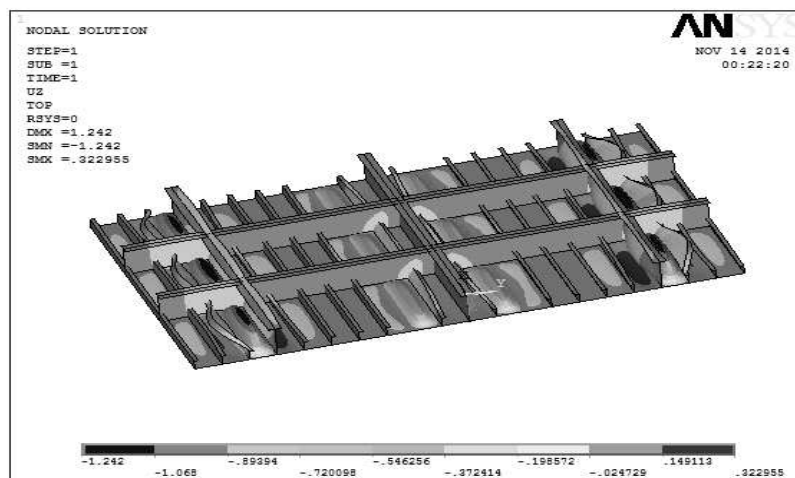


**Gambar 3.**  
Pemodelan Struktur Geladak

## HASIL DAN ANALISA

### Deformasi

Dari hasil menggunakan Ansys™, deformasi pada struktur yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.



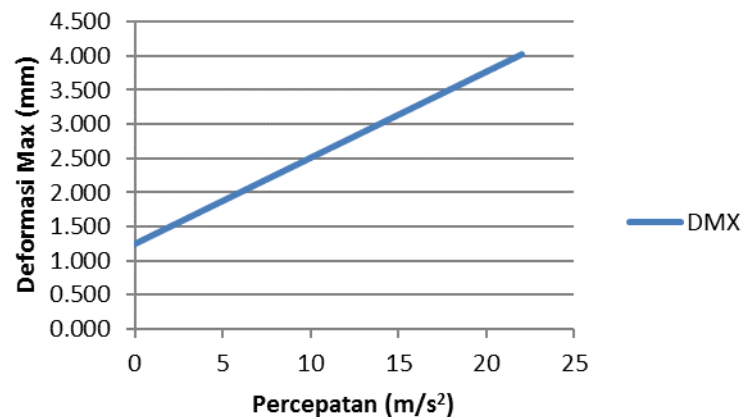
**Gambar 4.**  
Gradasi Deformasi

## Analisis Kekuatan Struktur “Tank Deck” Kapal LCT AT 117 M TNI AL

---

Area terjadinya deformasi maksimum pada Gambar 4, terjadi pada pelat geladak antara balok geladak memanjang T dan balok geladak memanjang L yang merupakan kontak area ban. Deformasi pada area kontak ban yang jauh dari *center line* lebih besar dibanding area kontak ban yang dekat dari *center line*. Ini disebabkan oleh sekat memanjang yang ada pada jarak 1.200 mm dari *center line* yang diwakilkan dengan adanya pengekangan dan tepat di atas sekat tersebut ada roda *tank* yang menjadi beban geladak sedangkan pada area yang jauh dari *center line*, tidak ada sekat memanjang melainkan *longitudinal deck beam*, beban pada balok tersebut juga tidak tepat berada di atasnya melainkan lebih banyak area beban berada di antara *longitudinal deck beam* dan *longitudinal deck girder*, sehingga deformasi pada area ini menjadi besar.

Deformasi yang terjadi pada struktur geladak meningkat secara linear pada setiap perubahan percepatan yang berpengaruh terhadap perubahan beban pada geladak, Gambar 5 adalah grafik hubungan nilai deformasi maksimum dengan percepatan.



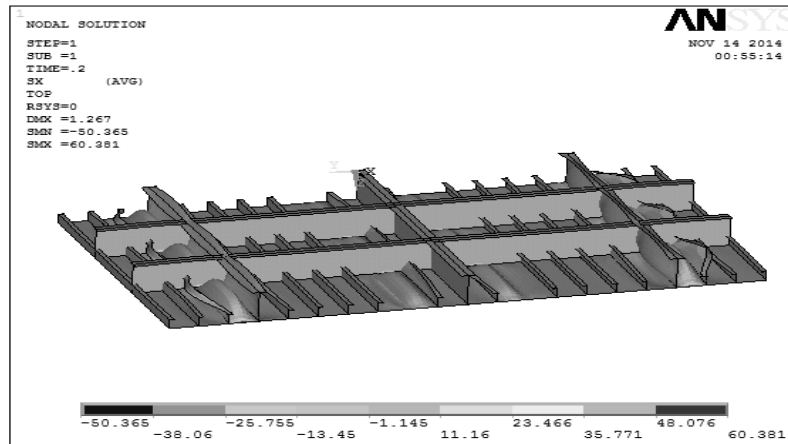
**Gambar 5.**  
Deformasi dan Percepatan Gerak Kapal

### Tegangan

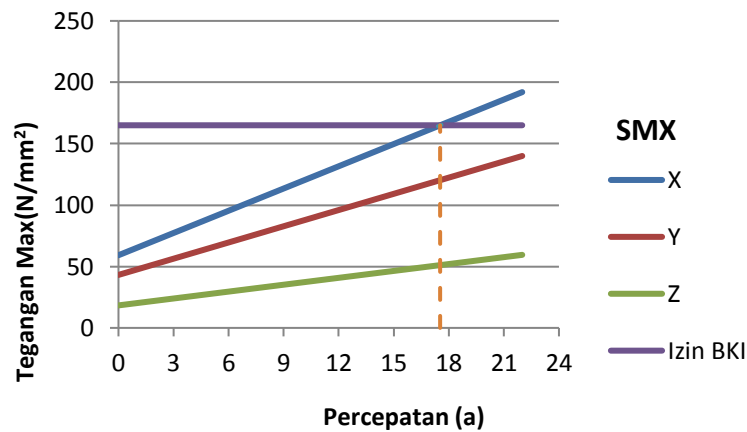
Tegangan terbesar pada arah x terletak di ujung pelat yang merupakan kontak antara pelat deck dengan pelat sekat melintang (*transverse bulkhead*), yang tepat berada di daerah kontak ban, sedangkan untuk tegangan minimum terletak pada ujung balok pembujur geladak yang merupakan titik sambungan dengan sekat melintang kapal. Tegangan maksimum yang terjadi dapat ditandai pada daerah yang berwarna merah sedangkan tegangan minimum ditandai dengan warna biru. Perubahan warna dari biru menjadi merah memiliki rentang nilai tegangan yang berbeda-beda (Gambar 6). Hal ini dapat dilihat pada tabel warna yang ada di bagian bawah model.

Dari kurva pada Gambar 7 dapat diketahui bahwa tegangan akan meningkat secara linear dengan pertambahan percepatan gerak kapal. Dengan kata lain, tegangan berbanding lurus dengan percepatan gerak kapal. Hal ini berkesesuaian dengan teori pertambahan beban akibat adanya percepatan massa. Tank yang berada di atas geladak akan mengalami percepatan gerak sama dengan gerak dinamika kapal. Percepatan gerak ini yang lain berpengaruh adalah

percepatan arah vertikal. Dalam penelitian ini diasumsikan gerak percepatan vertikal merupakan akumulasi dari kombinasi gerak kapal dalam enam derajat kebebasan.



**Gambar 6.**  
 Gradasi Tegangan pada Arah X



**Gambar 7.**  
 Tegangan dan Percepatan Gerak kapal

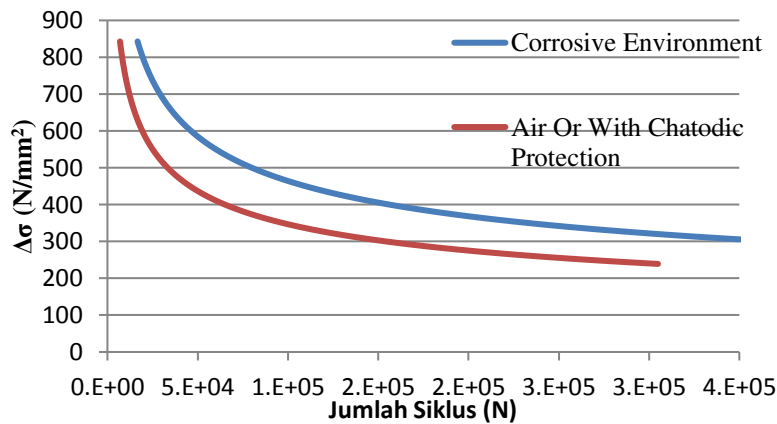
### Kelelahan

Analisa kelelahan struktur ini, berpedoman pada contoh perhitungan kelelahan struktur oleh salah satu badan klasifikasi yaitu *Det Norske Veritas* (DNV). Berdasarkan contoh tersebut, maka struktur geladak dianalisa pada kriteria:

- Air or with cathodic protection*, pada kriteria ini, struktur yang dianalisa dilengkapi dengan perlindungan katodik
- Corrosive environment*, pada criteria ini, struktur yang dianalisa adalah daerah yang korosi.

## Analisis Kekuatan Struktur “Tank Deck” Kapal LCT AT 117 M TNI AL

Untuk analisis ini digunakan pendekatan empiris dengan bantuan *S-N Curve*, yaitu kurva yang menunjukkan hubungan antara jumlah rentang tegangan yang terjadi dengan jumlah siklus hingga bahan mengalami kelelahan.

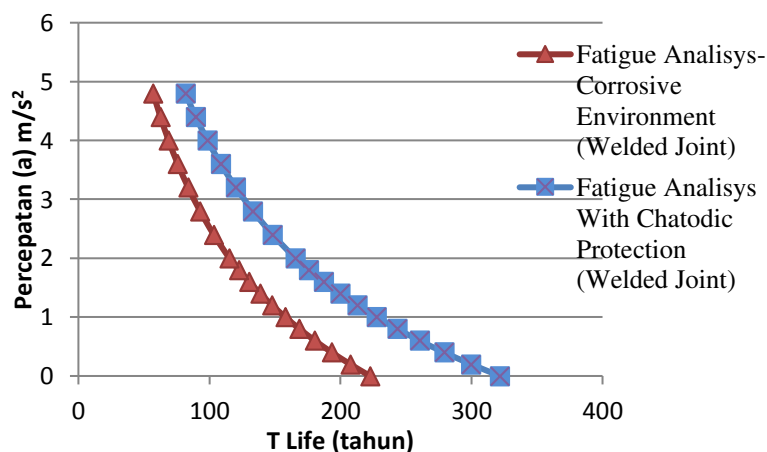


**Gambar 8.**  
Kurva Tegangan dan Jumlah Siklus

Dari Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa pada kriteria *air or with cathodic protection* setiap kenaikan tegangan, akan membuat jumlah siklus semakin sedikit. Pada saat  $\Delta\sigma$  600-800N/mm<sup>2</sup> jumlah siklus akan berkurang secara tajam dengan jumlah siklus berada di bawah 19.000 kali.

Untuk kriteria *corrosive environment* pada setiap kenaikan tegangan juga akan membuat jumlah siklus semakin sedikit. Pada saat  $\Delta\sigma$  600-800N/mm<sup>2</sup> jumlah siklus akan berkurang secara tajam dengan jumlah siklus berada di bawah 46.000 kali.

### *Fatigue Analysis*



**Gambar 9.**  
Grafik Hubungan Umur-Percepatan



Gambar 9 memperlihatkan perbedaan umur antara kriteria perlindungan katodik dengan lingkungan yang menyebabkan korosi. Dari gambar tersebut, dapat disimpulkan bahwa umur struktur akan lebih panjang apabila dilengkapi dengan perlindungan katoda dibandingkan dengan daerah yang menyebabkan korosi.

## **SIMPULAN**

Beban yang bekerja pada geladak akan semakin bertambah seiring dengan penambahan percepatan. Namun beban tersebut tidak memberikan dampak yang begitu besar terhadap deformasi geladak. Dari analisa ini deformasi terbesar mencapai 8,841 mm pada percepatan  $60 \text{ m/s}^2$  dengan beban sebesar 2.094.000 N. Struktur geladak akan aman pada percepatan  $\leq 17,6 \text{ m/s}^2$  karena pada percepatan ini, tegangannya belum melewati batas tegangan yang diizinkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia, namun pada percepatan  $> 17,6 \text{ m/s}^2$ , struktur geladak tidak lagi aman untuk menerima beban karena tegangan pada percepatan ini sudah melewati batas tegangan yang diizinkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia. Berdasarkan tegangan puncak (*ultimate strength*) material yang digunakan pada struktur geladak, maka besarnya beban yang dapat mengakibatkan gagal struktur (*collapse*) pada struktur geladak yaitu 1.992.000 N pada percepatan  $56,6 \text{ m/s}^2$ . Berdasarkan perhitungan kelelahan struktur, dapat diketahui bahwa umur struktur geladak akan lebih panjang apabila menggunakan perlindungan katoda dibandingkan yang mengalami kerusakan akibat korosi. Pada percepatan  $0 \text{ m/s}^2$  umur struktur geladak adalah 321,75 tahun jika menggunakan katoda, sedangkan yang mengalami kerusakan akibat korosi hanya berumur 222,56 tahun. Sebagai tindak lanjut penelitian ini disarankan analisis pengaruh pembebanan terhadap kondisi sarat dan stabilitas serta analisis yang lebih pada kondisi plastis.

**Analisis Kekuatan Struktur “Tank Deck”  
Kapal LCT AT 117 M TNI AL**

---

**DAFTAR PUSTAKA**

- Shama, Mohamed, *Buckling of Ship Structures*, Springer, New York, 2013.
- Rosyid, Daniel Mohamad dan Setyawan, Dony, *Kekuatan Struktur Kapal*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 2000.
- Biro Klasifikasi Indonesia, Volume II, *Rules For The Clasification And Construction Seagoing Steel Ship*, Jakarta, 2014.
- Sumartojo, *Konstruksi Kapal I dan II*, Institut Teknologi 10 Nopember, Surabaya, 1978.
- Patnaik, Surya, Hopkins Dale, *Strength of Materials*, USA. Butterworth. Heinemann, 2004.
- Det Norske Veritas, *Fatigue Assessment Of Ship Structures*, Norway, 2003.
- Katili, Irwan, *Metode Elemen Hingga Untuk Skeleetal*, Raja Grafindo Persada, Jakarta, 2008.
- Susatio, Yerri, *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2004.
- Allaire, Paul E., *Basics of The Finite Element Method*, Wm. C. Brown Publisher, Iowa, 1985.
- Macdonald, Angus J., *Structure and Architecture – 2nd ed* London: The Architectural Press, 2001.