

ANALISIS FAKTOR INTENSITAS TEGANGAN (SIF)
DENGAN VARIASI PANJANG RETAK PADA PELAT GELADAK UTAMA
KAPAL “MT. Klawotong” DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA (FEM)

Kiryanto*)

Abstract

Crack defect on main deck plate is source of failure ship structure. Small intensity of crack in the future can be to large influence lateral force and bending moment. Crack defect characteristics can be to know shear intensity factor (SIF) on main deck is used mathematics simulation model based on fracture mechanics (FM) and finite element method (FEM). Goal of this research know characteristics main deck plate get a crack with load forces while deck plate start is loading until to crack propagation good stability.

The MT Klawotong is chose in this research . Main deck plate is location as the sample. It is number 3 on cargo oil. Any analysis of data that is to counting of profile constructions, length strength, modeling with ANSYS Version 9.0 and counting of shear intensity factor (SIF).

Research on this structure failure result any substance that is, Sagging condition plate shears 50.34 MPa with safety factor 8,939 crack long maximum is 0.02 m, value of shear intensity factor (SIF) $K_{I\text{ WD. Pilkey}} = 12.615 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $K_{II\text{ WD. Pilkey}} = 0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $K_{I\text{ ANSYS}} = 13,451 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $K_{II\text{ ANSYS}} = 0.693 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Prosentaso of error counting programe $K_I = 0.062\%$, $K_{II} = 1\%$. The ather hand Hoging condition plate shears 15.08 MPa with safety factor 29.841 crack long maximum is 0.3 m, value of shear intensity factor (SIF) $K_{I\text{ WD. Pilkey}} = 14,645 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $K_{II\text{ WD. Pilkey}} = 0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $K_{I\text{ ANSYS}} = 15.585 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $K_{II\text{ ANSYS}} = 0.352 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, Prosentaso of error counting programe $K_I = 0.062\%$, $K_{II} = 1\%$.

Key word: crack, Fracture Mechanics (FM), Finite Element Method (FEM), Shear Intensity Factor (SIF).

Pendahuluan

1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi yang begitu cepat, maka banyak bermunculan penemuan baru. Tidak terkecuali dalam bidang material yang dimulai pada awal zaman batu, zaman perunggu dan zaman besi hingga ditemukannya baja sebagai tindak lanjut dari ketidakpuasan manusia untuk meningkatkan kualitas material yang tidak dapat dicapai oleh material yang ada sebelumnya sehingga memudahkan kehidupan manusia. Namun segala penemuan manusia itu tidaklah ada yang sempurna tak terkecuali material baja.

Adanya cacat retak pada pelat geladak utama merupakan salah satu penyebab kegagalan suatu struktur kapal. Retak sering tidak dihiraukan, apalagi bila retak tersebut kecil dan kurang terlihat oleh mata secara visual. Tanpa kita sadari lambat laun retak tersebut akan melebar karena pengaruh pembebanan dimana pelat memikul gaya-gaya lateral dan momen lentur.

Dengan mempelajari karakteristik retak tersebut dapat diketahui besarnya faktor intensitas tegangan (SIF) pada pelatgeladak utama kapal MT. Klawotong menggunakan matematis disimulasikan dengan model. Dengan demikian, perilaku pelat geladak utama kapal MT. Klawotong yang

mengalami retak dengan gaya pembebanan dapat dipelajari dengan rinci, sejak saat pelat geladak tersebut mulai dibebani sampai mengalami kegagalan. Model ini didasarkan atas mekanika fraktur (FM) dan metode elemen hingga (FEM).

Dengan berbagai macam *software* sekarang ini men-dorong pengkajian secara numerik tentang masalah kegagalan struktur dapat memberikan hasil yang lebih akurat. Namun disini penulis menggunakan *software* ANSYS Ver. 9.0 untuk menentukan berapa nilai faktor intensitas tegangan (SIF) dengan variasi panjang retak menggunakan *Analytical Solutions* dibandingkan dengan hasil perhitungan mekanika fraktur (FM) pada pelat geladak utama kapal MT. Klawotong yang memiliki retak, sehingga dapat diketahui faktor intensitas tengangannya (SIF) hingga akhir batas pada ketangguhan pelat tersebut. Hal ini efektif untuk mengetahui seberapa besar pelat geladak utama kapal MT. Klawotong mampu menahan besarnya beban, beserta gaya-gaya yang bekerja pada pelat tersebut.

2. Perumusan Masalah

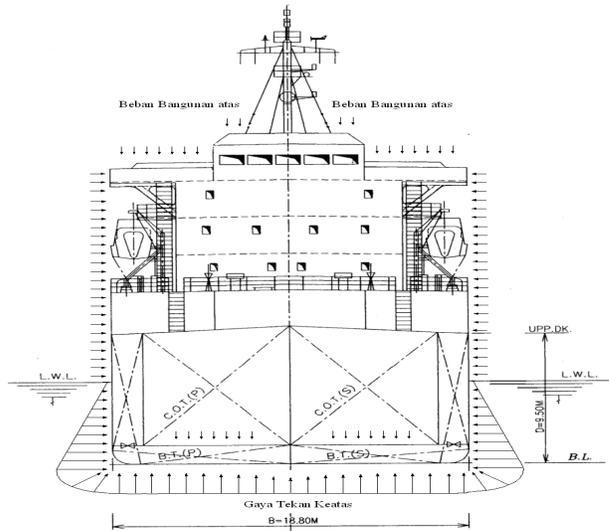
Permasalahan yang akan dibahas di dalam penelitian ini adalah retak pada pelat geladak utama kapal MT. Klawotong. Dimana dengan menggunakan pemo-delan diharapkan akan diperoleh faktor intensitas tegangan (SIF) yang bekerja.

Dan agar tidak terlalu jauh dari kajian masalah yang penulis paparkan, maka pada penelitian ini

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Undip

- pembahasan akan dibatasi pada hal-hal berikut ini:
- a. Prosedur perhitungan nilai faktor intensitas tegangan (SIF) pada ujung retak pelat geladak utama kapal MT. Klawotong.
 - b. Pengaruh faktor intensitas tegangan (SIF) terhadap kekuatan.
 - c. Analisa menggunakan program ANSYS Ver. 9.0.
3. Batasan Masalah
- Untuk menjelaskan permasalahan yang akan dibahas di dalam penelitian ini, dan agar tidak terlalu jauh dari kajian masalah yang penulis paparkan, maka pada penelitian ini pembahasan akan dibatasi pada hal-hal berikut ini:
- a. Material pelat diasumsikan *isotropic*.
 - b. Pembebanan yang terjadi pada pelat geladak utama kapal MT. Klawotong *Cargo Oil 3* diaki-batkan oleh muatan bersifat lateral.
 - c. Dengan asumsi analisa pembebanan dilakukan hanya pada pelat geladak utama kapal MT. Klawotong didaerah *Cargo Oil 3*.
 - d. Pelat mengikuti hukum Hooke dan elastisitas linear.
 - e. Perhitungan faktor intensitas tegangan (SIF) hanya pada pelat geladak utama kapal MT. Klawotong didaerah *Cargo Oil 3*.
 - f. Modelisasi struktur pelat dibatasi pada pelat geladak utama kapal MT. Klawotong didaerah *Cargo Oil 3* sesuai dengan gambar teknik kapal MT. Klawotong yang didapat dari Jasa Marina Indah dan peraturan BKI (CSR).
4. Tujuan
- Adapun maksud dan tujuan penyusunan penelitian ini yaitu:
- a. Mengetahui nilai faktor intensitas tegangan (SIF) maksimum yang terjadi pada pelat geladak utama kapal MT. Klawotong didaerah *Cargo Oil 3*.
 - b. Menganalisa dan membandingkan nilai perhitungan faktor intensitas tegangan (SIF) *analytical solutions* dengan mekanika fraktur (FM).
5. Manfaat
- Adapun manfaat penyusunan penelitian ini yaitu:
- a. Memberikan kontribusi dan informasi kepada pihak pemilik kapal maupun pihak galangan, daerah yang berpotensi atau rawan terjadinya keretakan pada pelat geladak utama kapal MT. Klawotong didaerah *Cargo Oil 3*.
 - b. Memberikan kontribusi dan informasi kepada pihak civitas akademika bagaimana mengaplikasikan program ANSYS Ver. 9.0 dalam bidang struktur *marine*.
1. Fitrah Reaksi-Reaksi Struktur Pelat Geladak Kapal.
Reaksi komponen struktur pelat geladak kapal terhadap beban-beban aksternal lazim diukur dengan besarnya tegangan ataupun lendutan yang terjadi. Kriteria kinerja struktural dan analisa yang melibatkan tegangan biasa disebut kekuatan (*strength*), Sementara pertimbangan lendutan disebut kekakuan (*stiffness*). Kemampuan sebuah struktur untuk menyangga beban yang diterima dapat diukur dari segi kekuatan maupun kekakuan, ataupun keduanya sekaligus.
 2. Beban - Beban pada Struktur Kapal.
Bebanbeban yang bekerja pada kapal dapat dikelompokkan dalam empat jenis yaitu beban-beban statis, beban-beban dinamis berfrekuensi rendah, beban-beban dinamis frekuensi tinggi, dan beban-beban tumbuk. Beban yang dipakai dalam penelitian ini adalah beban statis kapal. *Beban statis kapal*, yaitu beban-beban yang berubah hanya apabila berat total kapal berubah, sebagai akibat dari kegiatan bongkar muat, pemakaian bahan bakar, atau perubahan pada kapalnya sendiri :
 - a. Berat kapal beserta seluruh isinya.
 - b. Gaya tekan tekan keatas statis saat diam ataupun bergerak.
 - c. Beban-beban suhu (*thermal*) akibat perbedaan suhu *non linier* dalam lambung.
 - d. Beban-beban terpusat akibat *dry docking* dan kandas.
 3. Beban Statis pada Kapal Terapung Diam
Beban statis pada kapal terapung diam terdiri dari dua bagian :
 - a. Gaya tekan ke atas; gaya tekan ke atas adalah resultan dari distribusi tekanan hidrostatis pada bidang luar lambung kapal yang tercelup. Tekanan ini adalah tekanan permukaan yang arahnya dimana-mana tegak lurus dengan lambung kapal. Namun demikian, gaya tekan keatas merupakan resultan gaya ke atas yang tegak lurus permukaan air.
 - b. Gaya berat (gravitasi) kapal; gaya berat adalah gaya ke bawah yang tersebar pada seluruh kapal beserta isinya. Gaya-gaya ini dilukiskan secara skematis dalam gambar dibawah ini :

Tinjauan Pustaka



Gambar.1. Komponen-komponen Beban statis pada *misdhip section*

4. Hukum Hooke

Hubungan antara tegangan dan regangan bias diang-gap berbentuk linier untuk semua bahan. Hal ini menuju kepada idealisasi dan penyamarataan yang berlaku untuk semua bahan, yang dikenal dengan hukum *Hooke*. Hukum *Hooke* dinyatakan dengan persamaan.

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (1)$$

Dimana :

σ : Tegangan

E : Modulus Elastisitas

ε : Regangan

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan, dimana tetapan perbandingan adalah E . Tetapan E ini disebut dengan *modulus elastisitas* atau *modulus Young*. Nilai Modulus elastis merupakan suatu sifat yang pasti dari suatu bahan. Untuk kebanyakan baja, E berharga antara $200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ dan $210 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ atau $E = 210 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$. (popov E.P, 1989).

Keterangan :

σ = Tegangan, intensitas gaya yang tegak lurus dengan bidang potongan (N/mm^2).

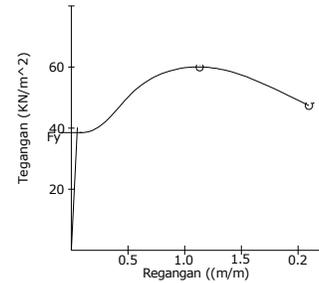
F = gaya yang bekerja tegak lurus terhadap pelat.

A = Luas penampang melintang specimen tarik (m^2); harga ini diasumsikan konstan selama uji dilakukan pengurangan penampang diabaikan.

ε = regangan, perpanjangan persatuan panjang (m/m).

ΔL_0 = perpanjangan atau perubahan panjang antara dua titik acuan pada specimen tarik (m).

L_0 = panjang semula di antara dua titik acuan (da-pat berupa tanda Berlubang) pada specimen tarik sebelum dibebani (m).



Gambar. 2. Diagram tegangan regangan pelat baja struktural

5. Perletakkan (Tumpuan)

Beberapa tumpuan yang biasa digunakan dalam pe-rencanaan disain maupun uji coba konstruksi bangunan :

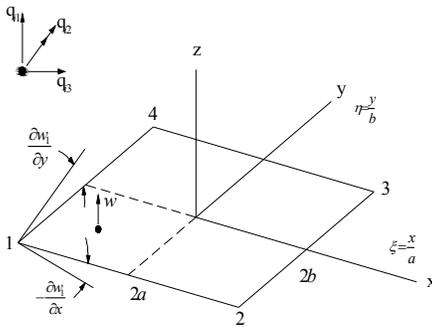
- a. Tumpuan Jepit (kontilever)
- b. Sifat dari tumpuan jepit adalah apabila mem peroleh gaya luar dari segala arah maka suatu benda akan tetap pada kedudukan semula, atau benda dalam keadaan dike-kang.
- c. Tumpuan Sendi
- d. Sifat tumpuan bersendi adalah berotasi tetapi tidak memungkinkan perpindahan hori-sontal ma-upun vertikal.
- e. Tumpuan Roll.

6. Elemen Segiempat

Jenis elemen pelenturan pelat (*plate-bending*) yang paling sederhana memiliki bentuk segi-empat. Ada dua jenis elemen segiempat, yang pertama disebut nonconforming karena elemen ini tidak memiliki kompatibilitas sudut normal pada sisinya. Jenis yang kedua disebut elemen conforming karena memilih sifat komatibilitas tersebut. Bagaimanapun kedua ele-men ini dapat digunakan untuk pemodelkan keadaan regangan konstan pada pelat yang mengalami lenturan, dan elemen-elemen ini memiliki fungsi-fungsi yang seimbang dan lengkap. Oleh karena itu elemen ini akan memberikan hasil yang konvergen.

Sebagai model elemen hingga pada analisa pelat geladak ini diambil tipe geometri elemen *recta-ngular*. Tipe ini adalah yang paling sederhana untuk memodelkan pelat lentur (gambar 2.6). sering pula disebut dengan *MZC rectangle* karena awalnya dikembangkan oleh Mellosch (M), Zienkiewicz (Z), Cheung (C). Elemen ini mempunyai empat titik nodal pada keempat titik sudutnya masing-masing titik nodal elemen pelat lentur hanya ada satu derajat kebebasan transa-

lasi/satu peralihan umum yaitu w (translasi dalam arah z).



Gambar .3 Segi Empat MZC

7. Mekanika Fraktur (*Fracture Mechanics*)

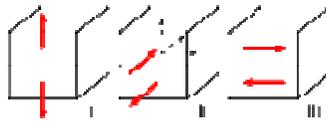
Mekanika fraktur (FM) adalah suatu metode untuk memprediksi kegagalan suatu struktur yang memiliki suatu retakan.

Berikut Informasi diperlukan untuk memprediksi mekanika fraktur (FM):

- Beban yang diterapkan.
- Tekanan bersifat sisa.
- Bentuk dan ukuran tiap bagian.
- Ukuran, bentuk, penempatan, dan orientasi retakan.

Pada umumnya tidak semua informasi ini ada dan asumsi konservatif harus dibuat.

Faktor intensitas tegangan (SIF) digunakan pada mekanik fraktur (FM) untuk menyatakan tegangan (*Stress Intensity*) pada ujung keretakan yang disebabkan sebuah pembebanan yang kecil atau sisa-sisa tegangan pada suatu pelat baja.



Gambar.4. Ilustrasi keadaan retak pada pelat

Didalam mekanika fraktur (FM) dikenal tiga macam pembebanan yaitu:

- Tipe Buka (Opening Mode I).
- Tipe Geser (Shear Mode II).
- Tipe Sobek (Tearing Mode III).

Diujung retak faktor intensitas tegangan (SIF) K_I , K_{II} , dan K_{III} untuk masing-masing tipe dapat dihitung dengan menggunakan peralihan ujung retak (*Crack Tip Displacement*). Apabila faktor intensitas tegangan mencapai nilai kritisnya yaitu: K_{Ic} , K_{IIc} , dan K_{IIIc} , yang disebut dengan ketangguhan fraktur (*fracture toughness*), maka retak pada baja akan menjalar dengan cepat.

Faktor Intensitas Ketegangan (SIF) dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$K = C \sigma \sqrt{\pi a}$$

Dimana Y adalah suatu fungsi menyangkut lebar dan panjangnya retakan suatu daerah diperoleh dari:

$$C\left(\frac{\alpha}{W}\right) = \sqrt{\sec\left(\frac{\pi\alpha}{W}\right)} \quad (2)$$

Karena suatu lembar daerah yang terbatas W berisi suatu retakan yang menenbus ketebalan dengan panjang 2α , atau

$$C\left(\frac{\alpha}{W}\right) = 1,12 - \frac{0,41\left(\frac{\alpha}{W}\right) + 18,7\left(\frac{\alpha}{W}\right)^2}{\sqrt{\pi}} \quad (3)$$

Karena suatu daerah dengan lebar terbatas W berisi suatu retakan yang menenbus ketebalan dengan panjang α Karena insinyur yang terbiasa menggunakan K_{Ic} untuk menandai pertambahan retak, hubungan telah digunakan untuk mengurangi K_{Ic} :

$$K_{Ic} = \sqrt{\frac{B}{2.5}} \sigma_{ys} \quad (4)$$

Dimana:

$$B = \text{tebal pelat} \geq 2.5 \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_{ys}} \right)^2$$

σ_{ys} = tegangan luluh baja = 250 Mpa

Retak pada pelat baja pada kondisi pembebanan dapat berupa *mix mode* (gabungan). Biasanya retak tersebut terjadi dengan mode I dan mode II ini disebabkan karena arah pembebanannya. Jika ini terjadi maka dapat disimpulkan dengan rumus sebagai berikut:

$$K_I = C \sigma \sqrt{\pi a} \cos^2 \beta \quad (5)$$

$$K_{II} = C \sigma \sqrt{\pi a} \cos \beta \sin \beta$$

(Wang C.H., B.Eng, Ph.D, 1996)

8. Aplikasi Perhitungan Menggunakan ANSYS Ver. 9.0

Salah satu program aplikasi yang paling populer dalam dunia disain struktur konstruksi adalah ANSYS Ver. 9.0. Adapun alasan penulis menggunakan program ANSYS Ver. 9.0 dalam pemodelan dan pengolahan data yang telah ada adalah: ANSYS Ver. 9.0 menyajikan *problem solving* dari masalah mekanika fraktur (FM) yang penulis butuhkan untuk memperoleh nilai faktor intensitas tegangan (SIF) yang sejauh ini hanya program ANSYS Ver. 9.0 yang dapat menyajikan.

Secara garis besar perancangan model struktur dengan ANSYS Ver. 9.0 ini akan melalui beberapa tahap dibawah ini :

- Menentukan geometri model struktur.
- Mendefinisikan data-data :

- Jenis dan kekuatan bahan.
 - Dimensi penampang elemen struktur.
 - Macam beban.
 - Kombinasi pembebanan.
- c. Menempatkan (*assign*) data yang sudah didefinisikan kemodel struktur.
- Data penampang dari data kapal MT. Klawotong.
 - Data beban dari data perhitungan kapal MT. Klawotong.
- d. Memeriksa input data.
- e. Analisa Mekanika Teknik.
- f. Desain struktur pelat sesuai dengan gambar teknik pelat geladak kapal MT. Klawotong dan peraturan BKI dan ABS.

Analisis Dan Pembahasan

Analisa Perhitungan Faktor Intensitas Tegangan (SIF) Pelat Geladak Utama Menggunakan Mekanika Fraktur (MF)

Sebelum menghitung besarnya faktor intensitas tegangan kita harus menghitung batasan besarnya nilai dari faktor intensitas tegangan. Kita dapat mengetahuinya dengan cara menghitung besarnya K_{Ic} (*Factor Toughness*) dengan menggunakan rumus:

$$K_{Ic} = \sqrt{\frac{B}{2.5}} \sigma_{ys}$$

Dimana:

$$B = \text{tebal pelat} \geq 2.5 \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_{ys}} \right)^2$$

σ_{ys} = tegangan luluh baja (250 Mpa)

$$K_{Ic} = \sqrt{\frac{0.01}{2.5}} 250$$

$$= 15,81 \text{ Mpa} \sqrt{m}$$

Perhitungan faktor intensitas tegangan (SIF) secara fraktur mekanik (MF) menggunakan rumus dari W. D, Pilkey yaitu:

$$K_I = C \sigma \sqrt{\pi a} \cos^2 \beta$$

$$K_{II} = C \sigma \sqrt{\pi a} \cos \beta \sin \beta$$

Dimana: C =

$$\left(1 - (0,1\eta^2) + (0,96\eta^4) \right) \sqrt{1/\cos(\pi\alpha)}$$

$$\eta = \frac{a}{b}$$

$$a = \text{panjang retak} \geq 2.5 \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_{ys}} \right)^2$$

b = lebar penampang = 2,1 m

σ = tegangan

β = sudut keretakan

1. Kondisi Sagging

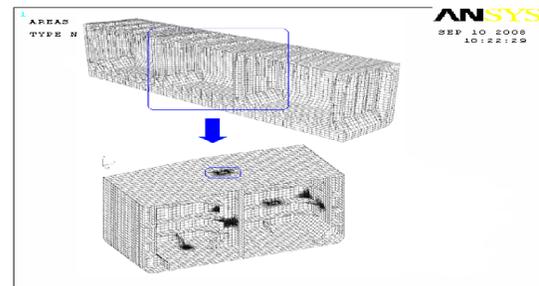
σ (Mpa)	a (m)	η (m)	C	K_I (Mpa \sqrt{m})	K_{II} (Mpa \sqrt{m})
50.34	0.005	0.0003	1.000000	6.308	0
	0.010	0.0005	1.000001	8.920	0
	0.015	0.0008	1.000002	10.925	0
	0.020	0.0011	1.000003	12.615	0

2. Kondisi Hogging

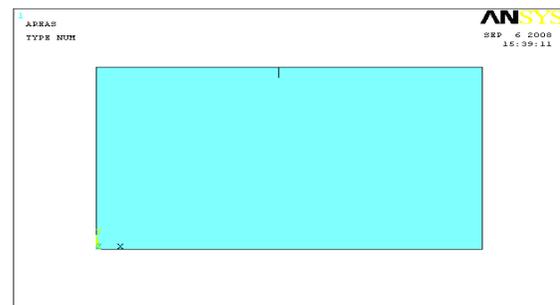
σ (Mpa)	a (m)	η (m)	C	K_I (Mpa \sqrt{m})	K_{II} (Mpa \sqrt{m})
15.08	0.05	0.0027	1.000002	5.975	0
	0.1	0.0053	1.000007	8.451	0
	0.2	0.0106	1.000027	11.954	0
	0.3	0.0160	1.000060	14.645	0

Analisa Perhitungan Faktor Intensitas Tegangan (SIF) Pelat Geladak Utama Menggunakan Software ANSYS ver 9.0

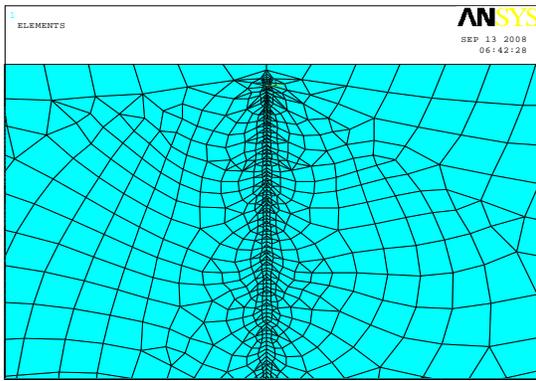
Untuk mendapatkan hasil analisa yang baik tidak harus dengan memodelkan pelat geladak kapal secara keseluruhan, hal ini dibenarkan secara ekonomis lebih menguntungkan. Penulis mengambil daerah yang sekiranya terjadi sesuatu perubahan yang besar, yaitu di daerah *parallel middle body* atau daerah tengah kapal. Karena daerah tengah kapal sering terjadi kegagalan struktur.



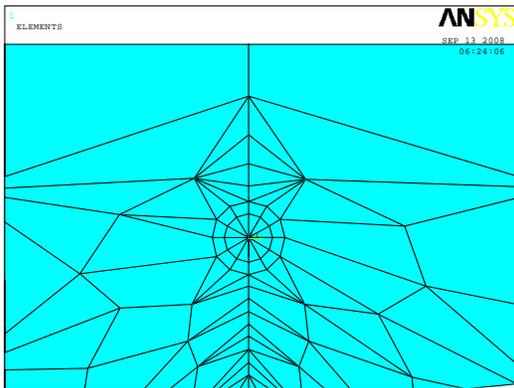
Gambar.4. Gambar Pemodelan Cargo Oil 3 Kapal MT. Klawotong



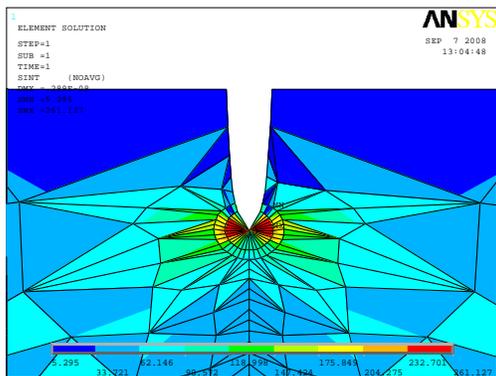
Gambar.5. Gambar Pemodelan Retak Pada Pelat Geladak Utama Cargo Oil 3 Kapal MT. Klawotong



Gambar.6. Persebaran Retak pada Pelat Geladak Utama Cargo Oil 3 Kapal MT. Klawotong



Gambar 7. Persebaran Retak pada Pelat Geladak Utama Cargo Oil 3 Kapal MT. Klawotong



Gambar.8.Pembesaran Nilai Tegangan Permukaan Persebaran Retak pada Pelat Geladak Utama Cargo Oil 3 Kapal MT. Klawotong

1. Kondisi Sagging

a (m)	K_I^{ANSYS} (Mpa \sqrt{m})	K_{II}^{ANSYS} (Mpa \sqrt{m})	σ (Mpa)
0.005	6.308	0.381	50,34
0.010	8.920	0.425	
0.015	10.925	0.576	
0.020	12.615	0.693	

2. Kondisi Hogging

a (m)	K_I^{ANSYS} (Mpa \sqrt{m})	K_{II}^{ANSYS} (Mpa \sqrt{m})	σ (Mpa)
0.05	6.153	0.114	15,08
0.1	8.722	0.186	
0.2	12.532	0.298	
0.3	15.585	0.352	

Keterangan:

Dari gambar 7 dan 8 dapat dibaca bahwa notasi:

a = Panjang Retak (m)

EX = Modulus Elastisitas Young Baja
(N/m²)

NUXY = Poison Rasio Pelat Baja

K_I = Nilai Stress Intensity Factor Mode I
(Mpa \sqrt{m})

K_{II} = Nilai Stress Intensity Factor Mode II
(Mpa \sqrt{m})

Gambar diasumsikan menggunakan Plane Strain dengan *Full Mode Crack Model* dan lima nodal *Axtrapolation Path*

Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kita dapat mengetahui nilai faktor intensitas tegangan (SIF) yang terjadi pada pelat geladak utama daerah *Cargo Oil 3* kapal MT. Klawotong yang memiliki retak baik menggunakan metode mekanika fraktur maupun program ANSYS ver 9.0. dengan ketentuan masih dalam batas *crack propagation* yang stabil.
2. Tingkat prosentase kesalahan perhitungan nilai faktor intensitas tegangan (SIF) dapat diketahui dengan cara membandingkan hasil perhitungan mekanika fraktur manual dengan menggunakan program ANSYS ver.9.0.

$$\varepsilon = \frac{K_I^{ANSYS} - K_I^{W.D.Pilkey}}{K_I^{ANSYS}}$$

a. Kondisi Sagging

a (m)	$K_I^{W.D.Pilkey}$ (Mpa \sqrt{m})	K_I^{ANSYS} (Mpa \sqrt{m})	ε (%)
0.005	6.308	6.623	0.048
0.010	8.920	9.435	0.055
0.015	10.925	11.598	0.058
0.020	12.615	13.451	0.062

a (m)	$K_{II}^{W.D.Pilkey}$ (Mpa \sqrt{m})	K_{II}^{ANSYS} (Mpa \sqrt{m})	ϵ (%)
0.005	0	0.381	1
0.010	0	0.425	1
0.015	0	0.576	1
0.020	0	0.693	1

b. Kondisi *Hogging*

a (m)	$K_I^{W.D.Pilkey}$ (Mpa \sqrt{m})	K_I^{ANSYS} (Mpa \sqrt{m})	ϵ (%)
0.05	5.975	6.153	0.029
0.1	8.451	8.722	0.031
0.2	11.954	12.532	0.046
0.3	14.645	15.585	0.060

a (m)	$K_{II}^{W.D.Pilkey}$ (Mpa \sqrt{m})	K_{II}^{ANSYS} (Mpa \sqrt{m})	ϵ (%)
0.05	0	0.114	1
0.1	0	0.186	1
0.2	0	0.298	1
0.3	0	0.352	1

3. Dapat diketahui dengan perhitungan bahwa faktor keamanan dari pelat setelah dikenai beban:

- Kondisi *Sagging*
 Nilai tegangan akibat beban pada pelat geladak utama = 50,34 Mpa
 Nilai tegangan *ultimate* = 450 Mpa
 Nilai faktor keamanan = nilai tegangan *ultimate* / nilai tegangan pelat geladak
 $= 450 / 50,34$
 $= 8,939$
- Kondisi *Hogging*
 Nilai tegangan akibat beban pada pelat geladak utama = 15,08Mpa
 Nilai tegangan *ultimate* = 450 Mpa
 Nilai faktor keamanan = nilai tegangan *ultimate* / nilai tegangan pelat geladak
 $= 450 / 15,08 = 29,841$

Daftar Pustaka

1. Candrakant and Desain, 1988, Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga, Airlangga, Jakarta.
2. Ghali A and Neville MA, 1990, Analisis Struktur Gabungan Metode Klasik dan Matriks, Erlangga Jakarta.
3. Popov E.P, 1989, Mechanic Of Materials, Erlangga, Jakarta.
4. Rosyid, D.M., and Setyawan, D, 1988, Kekuatan Struktur Kapal, Pradya Paramita, Jakarta.
5. Santoso, IGM, Sudjono, YJ, 1983, Teori Bangunan Kapal, Bagian Proyek Pengadaan Buku Kejuruan Teknologi, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta Utara, PT. Indah Kalam Karya.
6. Szilard, Rudolph, 1989, Teori dan Analisis Pelat, Erlangga, Jakarta.
7. Timosenko P.S dan Goodier N.J, 1986, Teori Elastisitas, Erlangga, Jakarta.
8. Weaver, William, Jr, Paul R. Jhonston, 1986, Elemen Hingga Untuk Analisis Struktur, Gramedia, Jakarta.
9. Weaver, Williem, Jr and Johnston R. Paul, 1972, Finite Element For Structural Analysis, Prentice Hall, Inc, Engewood Cliffs, New Jersey.

