TUGAS AKHIR – TF141581

ANALISIS FENOMENA PERAMBATAN RETAK DUA DIMENSI AKIBAT PENGARUH DISTRIBUSI TEKANAN PADA PELAT *DECK* KAPAL KATAMARAN

HARDIKA ILHAMI
NRP 023116 45000 008

DOSEN PEMBIMBING I
Ir. YERRI SUSATIO, MT.
DOSEN PEMBIMBING II
MOCHAMMAD NURUL MISBAH, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

FINAL PROJECT – TF141581

ANALYSIS OF TWO DIMENSIONAL CRACK PROPAGATION DUE TO THE INFLUENCE OF PRESSURE DISTRIBUTION ON THE CATAMARAN BOAT DECK PLATE

HARDIKA ILHAMI
NRP 023116 45000 008

ADVISOR LECTURE I
Ir. YERRI SUSATIO, MT.
ADVISOR LECTURE II
MOCHAMMAD NURUL MISBAH, ST, MT.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Hardika Ilhami
NRP	: 02311645000008
Departemen/Prodi	: Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas	: Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi	: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Analisis Fenomena Perambatan Retak Dua Dimensi Akibat Distribusi Tegangan Pada Pelat *Deck* Kapal Katamaran" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, Juli 2018
Yang membuat pernyataan,

Hardika Ilhami

ANALISIS FENOMENA PERAMBATAN RETAK DUA DIMENSI AKIBAT PENGARUH DISTRIBUSI TEKANAN PADA PELAT *DECK* KAPAL KATAMARAN

TUGAS AKHIR
Oleh:
Hardika Ilhami
NRP : 023116 45000 008

Surabaya, Juli 2018

Mengetahui/Menyetujui
Pembimbing I

Ir. Yerri Susatio, MT.
NIP. 19541017 198003 1 005

Mengetahui/Menyetujui
Pembimbing II

Mochammad Nurul Misbah, ST, MT.
NIP. 19730404 199702 1 001

Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS

Agus Muhamad Hatta, ST., M.Si., Ph.D.
NIP : 19780902 200312 1 002

ANALISA FENOMENA PERAMBATAN RETAK DUA DIMENSI AKIBAT PENGARUH DISTRIBUSI TEKANAN PADA PELAT *DECK* KAPAL KATAMARAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Getaran dan Akustik
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Hardika Ilhami
NRP. 023116 45000 008

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yerri Susatio, M.T. ..... (Pembimbing I)
2. Mochammad Nurul Misbah, S.T., M.T. ..... (Pembimbing II)
3. Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc. ..... (Ketua Penguji)
4. Dr. Dhany Arifianto, ST., M.Eng. ..... (Penguji I)
5. Dyah Sawitri, ST., M.T. ..... (Penguji II)

SURABAYA
Juli, 2018

ANALISIS FENOMENA PERAMBATAN RETAK DUA DIMENSI AKIBAT DISTRIBUSI TEKANAN PADA PELAT *DECK* KAPAL KATAMARAN

Nama	**: Hardika Ilhami**
NRP	**: 023116 45000 008**
Departemen/Fakultas	**: Teknik Fisika- FTI ITS**
Dosen Pembimbing I	**: Ir. Yerri Susatio, MT.**
Dosen Pembimbing II	**: Mochammad Nurul Misbah ST., MT.**

Abstrak

Kecelakaan kapal masih sering terjadi di Indonesia, tidak terkecuali kapal katamaran. Pembebanan yang terjadi secara terus-menerus akan menimbulkan kelelahan material, dan akan berakibat timbulnya retak. Kepatahan yang terjadi karena adanya retak awal (initial crack) yang dapat memperkecil umur dari kapal tersebut dan berpotensi menyebabkan kerugian jika tidak ditindak lanjuti. Perambatan retak dapat terjadi pada pelat geladak setelah adanya retak awal, tidak terkecuali kapal katamaran yang memiliki luasan geladak lebih lebar dibanding kapal lambung tunggal. Analisa perambatan retak setelah retak awal terjadi dan pengaruhnya terhadap umur lelah pelat geladak dan metode yang digunakan adalah linear-elastic fracture mechanics. Dari hasil perhitungan dengan material Aluminium 5083 pada retak awal sebesar 0,5 mm didapatkan umur lelah selama 10,9 tahun , retak awal 1 mm selama 7,7 tahun, dan retak awal 1,5 mm selama 5,7 tahun. Sedangkan pada pelat berbahan Baja A36 pada retak awal 0,5 mm diperoleh umur lelah selama 70,6 tahun, retak awal 1 mm selama 43,2 tahun, dan retak awal 1,5 mm selama 29,3 tahun.

Kata kunci: Katamaran, Pelat Geladak, Retak Awal, Umur Lelah

ANALYSIS OF TWO DIMENSIONAL CRACK PROPAGATION DUE TO THE INFLUENCE OF PRESSURE DISTRIBUTION ON THE CATAMARAN BOAT DECK PLATE

Name of Student	**:**	**Hardika Ilhami**
Number of Registration	**:**	**023116 45000 008**
Department/Faculty	**:**	**Engineering Physics – FTI-ITS**
Advisor Lecture I	**:**	**Ir. Yerri Susatio, MT.**
Advisor Lecture II	**:**	**Mochammad Nurul Misbah, ST., MT.**

Abstract

Shipwreck are still common in Indonesia, so does catamaran boat. Catamaran is large-bodied vessels boat whose has advantages over the type of single hull ship, which has better stability because it has a larger deck size and also better stability. In Indonesia, the transportation mode accidents are still frequent, so does catamaran boat. The presence of a continuous work load will incur material fatigue, and will result in cracking. Fracture due to initial crack and pressure distributions could reduce the age of deck material and it could be dangerous if left uncheced. For this reason, this final year project conducted analysis of the crack propagation after the initial crack occurs and its effect on the fatigue life of deck plates and the method which used in analysis is linear-elastic fracture mechanics. From the calculation, the Aluminium 5083 who has initial crack of 0,5 mm obtained fatigue life for 10,9 years, at initial crack 1 mm for 7,7 years, and the initial crack at 1,5 mm for 5,7 years. While on the plate made of Steel A36 at the beginning of 0.5 mm crack obtained fatigue life for 70.6 years, at initial crack 1 mm for 43.2 years, and crack who has the initial 1.5 mm for 29.3 years.

Keyword : Catamaran, Deck Plates, Initial Crack, Fatigue Life

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur, penulis panjatkan kepada tuhan yang maha esa, Allah SWT, atas curahan iman, rizki, kesehatan, serta selesainya Tugas Akhir yang berjudul

ANALISA FENOMENA PERAMBATAN RETAK DUA DIMENSI AKIBAT DISTRIBUSI TEKAN PADA *DECK* KAPAL KATAMARAN

Dan tak lupa sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada Baginda Rasulullah, Muhammad SAW.

Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Agus Mochammad Hatta ST., MSi., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika-FTI-ITS.
2. Bapak Ir. Yerri Susatio, MT. dan Bapak Mochammad Nurul Misbah, ST, MT. yang telah sabar dalam memberikan bimbingan dan tuntutan dalam menyelesaikan Tugas Akhir penulis.
3. Bapak dan Ibu tercinta, yang selalu mendoakan dan mendukung baik secara moril maupun materiil.
4. Saudara-saudaraku, Mbah, dan Keluarga tercinta yang selalu memberi dukungan moril.
5. Bapak Ir. Wiranto Argo Asmoro, M.Sc. selaku Ketua Laboratorium Getaran dan Akustik.
6. Bapak Hendra Cordova ST, MT. selaku Dosen Wali yang telah memberikan arahan penulis selama menjalani masa perkuliahan.
7. Bapak/Ibu dosen yang telah menjadi media transfer ilmu sehingga kami dapat merampungkan jenjang perkuliahan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
8. Seluruh staf pegawai Jurusan Teknik Fisika atas semua bentuk kerjasamanya selama masa kuliah.

9. Seluruh komponen laboratorium Teknik Fisika yang telah memfasilitasi saat praktikum.
10. Teman-teman lintas jalur Teknik Fisika 2016 yang selalu saling mendukung satu sama lain.
11. Segala pihak yang membantu atas Tugas Akhir ini, namun tidak mampu penulis sebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih banyak kekurangan baik menyangkut isi maupun bahasa yang digunakan sehingga tidak menutup kemungkinan bagi penulis untuk menerima kritik maupun saran yang membangun demi tersempurnakannya Laporan Tugas Akhir ini. Besar harapan kami semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2018

Salam

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL..... i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME..... iii
LEMBAR PENGESAHAN..... iv
ABSTRAK..... vi
KATA PENGANTAR..... viii
DAFTAR ISI..... x
DAFTAR GAMBAR..... xii
DAFTAR TABEL..... xiii
DAFTAR NOTASI..... xiv

BAB I. PENDAHULUAN
1.1 Latar belakang..... 1
1.2 Peumusan Masalah..... 2
1.3 Batasan Masalah..... 2
1.4 Tujuan Penelitian... 3
1.5 Manfaat Penelitian..... 3
1.6 Metodologi Penelitian..... 3

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Kapal Katamaran..... 5
2.2 Dasar Teori..... 6
2.2.1 *Fracture Mechanics*..... 6
2.2.1.1 LEFM..... 7
2.2.2 Retak..... 8
2.2.3 *Stress Intensity Factor* (SIF)..... 10
2.2.4 Laju Perambatan Retak (*Crack Propagation*). 15
2.2.5 Metode Elemen Hingga..... 17
2.2.5 Perhitungan Umur Kelelahan..... 18
2.2.6 Periode *Encountered*..... 19

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Diagram Alir..... 21

3.2 Studi Pustaka..... 23
3.2.1 Pengumpulan Data..... 23
3.3 Perhitungan *Stress Intensity Factor* (SIF)..... 24
3.4 Perhitungan Perambatan Retak..... 24
3.5 Pemodelan pada *Software*..... 27
3.5.1 Pemodelan Retak..... 28
3.5.2 Kondisi Batas dan Pembebanan..... 29
3.5.3 *Meshing* dan *Running*..... 30
3.5.4 Verifikasi Perhitungan dan Pemodelan..... 32
3.6 Perhitungan Umur Lelah..... 32

BAB IV.HASIL DAN PEMBAHASAN
4.1 Hasil Perhitungan…… 33
4.1.1 Perhitungan *Stress Intensity Factor* Teori..... 33
4.1.2 Perhitungan *Stress Intensity Factor Software*.... 34
4.2 Verifikasi Model..... 35
4.3 Perambatan Retak..... 38
4.3.1 Laju Perambatan Retak..... 38
4.4 Perhitungan N (*Cycle*)..... 42
4.5 Perhitungan Umur Lelah..... 46

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan..... 55
5.2 Saran..... 55

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	KMP. katamaran……..	6
Gambar 2.2	Mode perambatan retak...……	8
Gambar 2.3	Sistem koordinat komponen tegangan di depan ujung retak.....	11
Gambar 2.4	Bentuk arah tegangan tarik …….....	12
Gambar 2.5	Bentuk *surface crack* pada pelat.....	13
Gambar 2.6	Bentuk *surface crack* pada pelat …….....	13
Gambar 2.7	Grafik laju perambatan retak.....	15
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	19
Gambar 3.2	Pemodelan pelat geladak.....……..	28
Gambar 3.3	Pemodelan retak.....	29
Gambar 3.4	Kondisi batas dan pembebanan.....…	30
Gambar 3.5	*Mesh* pada model ..……..	31
Gambar 3.6	*Mesh* pada retak.....	31
Gambar 4.1	Hasil *running* nilai SIF *mode I* pada s*oftware*.....	35
Gambar 4.2	Grafik perbandingan SIF retak awal 0,5 mm persamaan teori dengan model *software*.....	36
Gambar 4.3	Grafik perbandingan perambatan retak teori dan *Software* .....…….....	40
Gambar 4.4	Nilai *cycle* teori dan *software*.....	44
Gambar 4.5	Grafik umur lelah pelat pada retak awal 0,5 mm.....	49
Gambar 4.6	Grafik umur lelah pelat pada retak awal 1 mm.....	50
Gambar 4.7	Grafik umur lelah pelat pada retak awal 1,5 mm.....	50
Gambar 4.8	Grafik umur lelah pelat pada semua variasi (Al 5036).....	51
Gambar 4.9	Grafik umur lelah pelat pada semua variasi (Baja A36).....….....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Material pelat geladak	24
Tabel 3.2	Periode *encountered* .....……..	26
Tabel 3.3	Kondisi batas .....……	30
Tabel 3.4	Pembebanan .....….	30
Tabel 4.1	Hasil nilai SIF untuk retak awal 0,5 mm.....	33
Tabel 4.2	Hasil nilai SIF dari model kedalaman retak 0,5 mm.....	34
Tabel 4.3	Perbandingan perhitungan teori dengan *software.*	36
Tabel 4.4	SIF pada retak awal 0,5 mm hingga retak akhir 1 mm.....	37
Tabel 4.5	Laju perambatan retak pada retak awal 0,5 mm dengan persamaan teori (Al 5083).....	38
Tabel 4.6	Laju perambatan retak pada retak awal 0,5 mm dengan *software* (Al 5083).....	39
Tabel 4.7	Laju perambatan retak pada retak awal 0,5 mm dengan Persamaan Teori (Baja A36).....	39
Tabel 4.8	Laju perambatan retak pada retak awal 0,5 mm dengan *software* (Baja A36).....	40
Tabel 4.9	Nilai *cycle* pelat geladak teori (Al 5083).....	42
Tabel 4.10	Nilai *cycle* pelat geladak *software* (Al 5083)...	43
Tabel 4.11	Nilai *cycle* pelat geladak dengan persamaan teori (Baja A36).....	43
Tabel 4.12	Nilai *cycle* pelat geladak dengan *software* (Baja A36).....	44
Tabel 4.13	Nilai *cycle* pelat geladak.....	45
Tabel 4.14	Nilai periode *encountered*.....	46
Tabel 4.15	Umur lelah pelat geladak katamaran pada retak awal 0,5 mm dengan persamaan teori (Al 5083).	47
Tabel 4.16	Umur lelah pelat geladak katamaran pada retak awal 0,5 mm dengan *software* (Al 5083).....	47
Tabel 4.17	Umur lelah pelat geladak katamaran pada retak awal 0,5 mm dengan persamaan teori (Baja A36).....	48

Tabel 4.18 Umur lelah pelat geladak katamaran pada retak awal 0,5 mm dengan persamaan teori (Baja A36)..... 48
Tabel 4.19 Umur lelah pelat geladak..... 49
Tabel 4.20 Harga pasaran pelat geladak..... 52
Tabel 4.21 Data dimensi kapal..... 53

DAFTAR NOTASI

σ	: Tegangan tarik geladak (N/mm^2)
σ_{ys}	: Tegangan *yield strenght* (N/mm^2)
τxy	: Tegangan geser bidang x arah sumbu y (N/mm^2)
r	: Jarak ujung retak dengan *node* ditinjau (mm)
v	: *Poison ratio*
a_0	: Kedalaman retak awal (mm)
a_f	: Kedalaman retak akhir (mm)
b	: Jarak terdekat retak dengan bidang pelat (mm)
C	: Koefisien perambatan retak material
n	: Parameter perambatan retak material
c	: Setengah panjang retak (mm)
F	: Faktor koreksi *stress intensity factor*
h	: Setengah panjang pelat (mm)
K_I	: *Stress intensity factor* mode I (N/mm$^{3/2}$)
K_{cr}	: *Fracture toughness* material (N/mm$^{3/2}$)
t	: Tebal pipa (mm)
Q	: Parameter cacat retak
da/dN	: Laju perambatan retak (m/*cycle*)
N	: Jumlah *cycle*
M	: Momen *bending* pada pelat (N.m)
θ	: Sudut ujung retak (derajat)
Te	: Periode *encountered* (detik)
Tw	: Periode gelombang
Vw	: Kecepatan gelombang
V	: Kecepatan kapal (m/s)
μ	: Sudut *encountered* (derajat)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, permintaan akan kapal berbadan banyak (*multihulls*) meningkat untuk digunakan sebagai kapal penumpang, penangkap ikan, wisata maupun riset. Kapal berbadan banyak memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan jenis kapal lambung tunggal, yakni memiliki stabilitas lebih baik karena memiliki ukuran geladak (*deck*) yang lebih luas serta tingkat kestabilan yang lebih baik. Salah satu jenisnya adalah kapal katamaran.

Di Indonesia, kecelakaan moda transportasi masih sering terjadi. Seperti yang terjadi di Musi, Banyuasin pada 5 Januari 2018 lalu, yang menyebabkan korban jiwa. Kepatahan yang terjadi karena adanya retak awal (*initial crack*) dapat memperkecil umur dari kapal tersebut dan berpotensi menyebabkan kerugian jika tidak ditindak lanjuti.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Norman Yaseer Arrazi (2015) dilakukan perhitungan tegangan yang terjadi pada KMP. Katamaran pada bagian geladak melintang ketika kapal tersebut bergerak. Namun belum dilakukan perhitungan lebih lanjut tentang perambatan retak yang terjadi pada bagian geladak melintang tersebut. Dalam penelitian ini, analisis kegagalan retak pada struktur kapal dilakukan dengan kedalaman retak yang bervariasi pada material *aluminium alloy* 5083 dan baja ASTM A36 untuk mendapatkan nilai laju perambatan retak dan membandingkan kedua material pelat secara langsung.

Analisis kegagalan retak dilakukan dengan analisa numerik dan empiris menggunakan pendekatan metode *linear-elastic fracture mechanics*. Perambatan retak dikaji pada bagian pelat yang terletak pada bagian geladak yang menghubungkan dua lambung kapal yang memiliki distribusi tegangan tertinggi setelah menerima pembebanan dan dikarenakan adanya retak awal (*initial crack*). Objek studi tugas akhir ini adalah pelat geladak dari KMP.

Katamaran yang berlayar di perairan Kepulauan Seribu. Kapal memiliki kapasitas penumpang 190 orang dan 10 abk. Hasil yang diharapkan adalah memperoleh umur kelelahan dari pelat geladak kapal setelah mengalami retak awal dan pembebanan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang sebelumnya, maka dirumuskanlah permasalahan dalam Tugas Akhir ini yang kemudian berdasarkan metodologi yang ada harus dipecahkan. Adapun untuk rumusan permasalahannya adalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai *Stress Intensity Factor* (SIF) pada pelat geladak KMP. Katamaran setelah mengalami retak awal?
2. Berapa umur kelelahan pada pelat geladak KMP. Katamaran setelah mengalami retak awal?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan *Stress Intensity Factor* (SIF) dilakukan hanya dilakukan pada pelat geladak melintang yang telah mengalami retak awal dengan jenis *surface crack*.
2. Beban yang bekerja pada pelat geladak adalah tegangan tarik (*tension stress*) yang didapat dari pergerakkan kapal ketika berlayar sedangkan beban kearah ketebalan tidak dihitung karena bernilai nol.
3. Material yang digunakan adalah jenis *alluminium alloy 5083* dan baja ASTM A36 yang bersifat isotropik dan tidak terpengaruh *thermal factor*.

1.4 Tujuan penelitian

Dari perumusan masalah diatas, tujuan yang ingin dicapai adalah:

1. Menghitung nilai *Stress Intensity Factor* pada pelat geladak KMP. Katamaran setelah mengalami retak awal.

2. Menghitung umur kelelahan dari perambatan retak pada pelat geladak dengan material *alluminium alloy* 5083 dan baja ASTM A36 setelah mengalami retak awal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penulisan Tugas Akhir ini diharapkan dapat mengetahui umur *fracture failure* pada pelat geladak kapal katamaran akibat adanya distribusi tegangan dan retak awal yang terjadi pada pelat. Sehingga dapat diketahui umur dari masing-masing umur lelah dan dapat dijadikan acuan dalam perbaikan, penggantian serta rekomendasi penggunaan material.

1.6 Sistematika Laporan

Laporan penelitian Tugas Akhir ini akan disusun secara sistematis dibagi dalam beberapa bab, dengan perincian sebagai berikut,

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisikan penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini membahas secara singkat teori-teori yang terkait dalam penulisan Tugas Akhir.

BAB III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai detail tahap yang dilalui untuk mencapai tujuan dan simpulan akhir dari penelitian. Produk akhir dari tahap ini adalah perhitungan dan model yang siap untuk disimulasikan dan dianalisa.

BAB IV Pengujian dan Analisa Hasil Simulasi

Bab ini berisi hasil simulasi yang didapatkan baik berupa grafik maupun tabulasi, kemudian dilakukanlah analisa-analisa serta pembahasan yang berorientasi pada tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh rangakain penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

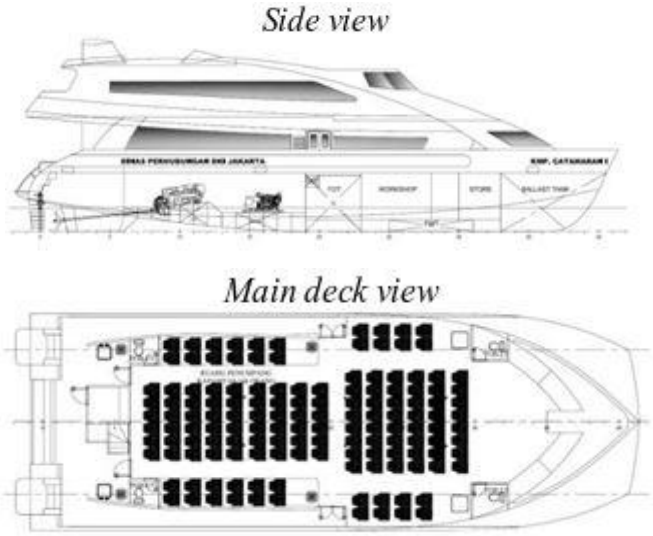
BAB II
TEORI PENUNJANG

2.1 Kapal Katamaran

Seperti yang diketahui, bentuk dan struktur dari *deck* adalah bagian paling vital dari suatu kapal. Berbeda dengan jenis kapal kebanyakan yang memiliki lambung tunggal, struktur *deck* dari kapal katamaran memiliki bentuk seperti kaki dengan penampang melintang (*cross deck*) dibagian tengah kapal. Bentuk tersebut memungkinkan perbedaan distribusi tekanan terjadi paling besar adalah pada penampang melintang *deck* kapal. Meskipun memiliki stabilitas yang lebih baik dibanding kapal berbadan tunggal, distribusi tekanan yang bertumpu pada bagian tengah kapal dinilai menjadi salah satu hal yang perlu dikaji lebih dalam.

Kegagalan struktur akibat adanya kelelahan (*fatigue*) dapat terjadi pada struktur yang mengalami beban fluktuasi yang menyebabkan awal terjadinya retak hingga terus mengalami perambatan dan terjadi kegagalan. Menurut Siswosuwarno (1987), faktor-faktor yang mempengaruhi *fatigue* adalah beban (jenis beban, frekuensi, pola beban dan besar tegangan), kondisi material, proses fabrikasi, dimensi komponen, temperatur operasi, serta kondisi lingkungan.

Kapal Muat Penumpang (KMP) katamaran yang berlayar di perairan Kepulauan Seribu ini dibangun dengan menggunakan material jenis alumunium yang disusun dalam proses fabrikasi dengan teknik pengelasan dimana hal ini merupakan salah satu penyebab terbentuknya cacat awal (*initial damage*) berupa retakan. Penggunaan *high streght material* yang memiliki kekuatan tinggi banyak dipilih untuk mengurangi beban struktur. Namun material ini memiliki ketahanan retak yang rendah sehingga menyebabkan perambatan retak dan penurunan kekuatan terjadi dengan cepat (Broek, 1984). Penentuan muatan dan tegangan pada struktur harus diperhitungkan untuk mengetahui perkiraan panjang umur struktur tersebut (Lassen dan Recho, 2006).



Gambar 2.1 KMP Katamaran

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Fracture Mechanics*

Fracture mechanics (mekanika kepecahan) merupakan salah satu bagian dari mekanika yang membahas tegangan dan regangan pada struktur yang mengandung retak. Metode ini dikembangkan karena ketidakcocokan konsep perencanaan konvensional yang hanya didasarkan pada sifat-sifat umum material seperti kekuatan tarik (*tensile strenght*), batas mulur (*yield strenght*) maupun tegangan mulur (*buckling stress*) dimana konsep tersebut sangat tepat digunakan hanya pada struktur yang tidak memiliki cacat. Teori kepecahan dikelompokkan menjadi dua, yaitu *linear elastic fracture mechanics* (LEFM) dan *elastic fracture mechanics* (EPFM).

2.2.1.1 LEFM

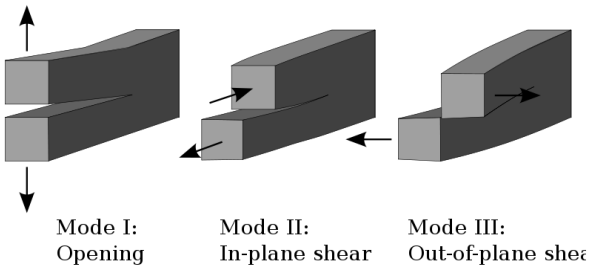
Linear elastic fracture mechanics (LEFM) didasarkan pada prosedur analitis yang menghubungkan besarnya daerah tegangan dan distribusi tegangan elastis di sekitar ujung retak dengan tegangan nominal yang dikenakan pada daerah diskontinuitas, serta bentuk retak dan sifat-sifat material itu sendiri (Barsom dan Rolfe, 1999). LEFM dapat digunakan selama daerah plastis sangat kecil dimana tegangan lebih rendah daripada tegangan kerja material ($\sigma < \sigma_{ys}$) (Broek, 1984). LEFM umumnya digunakan untuk material yang bersifat *brittle* seperti keramik, kaca, atau baja berkekuatan tinggi, dimana daerah *plastic* sangat kecil karena tegangan lebih rendah daripada tegangan kerja.

Metode *linear-elastic* biasanya digunakan untuk material yang bersifat isotropik, dimana material memiliki sifat yang sama ketika mengalami pembebanan dari segala arah. Dalam hal ini, baja ASTM A36 dapat dikatakan isotropik karena bersifat *brittle*. Sedangkan alasan *aluminium alloy* 5083 dianggap isotropik adalah karena perhitungan tegangan kapal dilakukan pada pelat yang sudah terpasang pada geladak kapal sehingga tidak diketahui arah pembebanan yang terjadi pada geladak.

Selain itu, menurut (P.H. Mott dan C.M. Roland, 2009), suatu material dapat dikatakan isotropik jika memiliki nilai *poison ratio* antara $\frac{1}{5} \leq v < \frac{1}{2}$. Dari spesifikasi material pelat yang digunakan, aluminium memiliki *poison ratio* sebesar 0,33 sedangkan material baja ASTM A36 memiliki *poison ratio* sebesar 0,26. Nilai *poison ratio* kedua material tersebut berada pada rentang $\frac{1}{5} \leq v < \frac{1}{2}$ sehingga kedua material dapat dikatakan isotropik. Dengan melihat dua keadaan tersebut, maka metode *linear-elastic* dapat digunakan.

Terdapat tiga tipe pembebanan dimana biasa terjadi retak. Tiga mode retak tersebut yaitu:

1. Mode I, *opening mode*, merupakan struktur dengan pembebanan *principal* yang terjadi akibat adanya tegangan tarik yang tegak lurus terhadap arah atau bidang perambatan retak sehingga cenderung membuka retakan.
2. Mode II, *slidding mode*, merupakan retak yang diakibatkan oleh tegangan geser searah dengan penjalaran retak.
3. Mode III, *tearing mode*, merupakan retak yang diakibatkan karena tegangan geser yang bekerja pada arah melintang dan membentuk sudut dengan arah penjalaran retak.



Gambar 2.2 Mode Perambatan Retak

2.2.2 Retak

Mekanika kepecahan digunakan untuk menganalisis bagaimana perambatan retak jika dikenai beban berulang. Perambatan retak inilah yang nantinya digunakan untuk menentukan umur kelelahan sebelum terjadi kegagalan struktur (Maddox, 1999). Mekanika kepecahan dibagi menjadi dalam beberapa tahap yaitu tahap awal terjadinya retakan (*crack initiation*), tahap perambatan retak (*crack propagation*) dan patah (*final fracture*).

1. *Crack Initiation* (retak awal)

   Retak yang paling awal terjadi pada suatu material. Retak ini terjadi dikarenakan adanya cacat pada saat fabrikasi atau bisa juga timbul karena adanya pembebanan secara terus-menerus pada suatu material.

2. *Crack propagation* (Perambatan retak)
   Struktur mengalam perambatan retak setelah retak awal terjadi akibat pembebanan berulang yang bekerja pada struktur. Perambatan retak ditentukan oleh dua parameter mekanika kepecahan, yaitu ΔK dan K_{max} (Stoycev, 2008). Perambatan retak berbanding lurus dengan jumlah pembebanan. Pada pembebanan normal, perambatan retak terjadi sangat lambat. Dari perhitungan perambatan retak inilah suatu prediksi umur lelah struktur (*fatigue life*) dapat diketahui.
3. *Final Fracture*
   Tahap ini merupakan tahap paling akhir dimana struktur mengalami kerusakan yang mengakibatkan kegagalan. Pada tahap ini, perambatan retak terjadi sangat cepat. Retak yang terjadi pada tahap ini dapat berupa *brittle fracture* (*cleavage*), *ductile fracture* (*rupture*) maupun kombinasi keduannya

Menurut Barsom (1987), dalam perkembangan *fracture mechanics*, ada tiga faktor utama yang dapat mengontrol kemungkinan suatu struktur mengalami *brittle fracture*, yaitu:

1. *Fracture Toughness* (K_c, K_{Ic}, K_{id})
   Fracture toughnees adalah kemampuan suatu material untuk menerima dan menahan intensitas tegangan tertentu pada ujung retak dan menghambat perambatan retak. *Fracture toughness* bisa dideskripsikan sebagai *stress intensity factor* kritis dalam kondisi *plane stress* (K_c) atau *plane strain* (K_{IC}) untuk pembebanan yang lambat atau bersifat linear elastis. Sedangkan K_{id} adalah ukuran ketangguhan kritis material dalam kondisi *constraint* maksimum (*plane strain*) dan pembebanan dinamis.

Fracture toughness dapat digunakan sebagai kriteria perancangan struktur, dimana struktur akan mengalami *fast fracture* ketika $K = K_{IC}$.

2. Ukuran retak (a)
   Diskontinuitas struktur tak hanya dapat mengalami kelelahan karena pembebanan berulang, tetapi juga dapat mengalami cacat sejak proses fabrikasi. Ukuran retak pada diskontinuitas struktur ini memungkinkan struktur mengalami *brittle fracture.*
3. Tegangan
   Tegangan tarik yang bekerja pada struktur, baik tegangan *nominal* maupun *residual* memungkinkan struktur mengalami *brittle fracture.*

2.2.3 *Stress Intensity Factor* (SIF)

Stress Intensity Factor merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk melakukan analisis keretakan. Distribusi tegangan di daerah ujung retak terdiri dari tiga mode, seperti pada penjelasan sebelumnya tentang mode retak.

Pada kondisi nyata, arah perambatan retak umumnya merupakan kombinasi dari ketiga mode diatas. Namun dalam tugas akhir ini hanya akan dibahas perambatan retak mode I, karena retak terjadi pada pelat geladak dan beban yang digunakan adalah beban aksial yang tegak lurus terhadap bidang perambatan retak. Tegangan-tengangan yang terjadi pada mode I adalah sebagai berikut (Barsom dan Rolfe, 1999):

$$Sx = \frac{Ki}{\sqrt{2\pi r}} \cos\frac{\theta}{2}\left[1 - \sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}\right] \qquad (2.1)$$

$$Sy = \frac{Ki}{\sqrt{2\pi r}} \cos\frac{\theta}{2}\left[1 + \sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}\right] \qquad (2.2)$$

$$Sz = v(\sigma x + \sigma y) = 0 \quad (2.3)$$

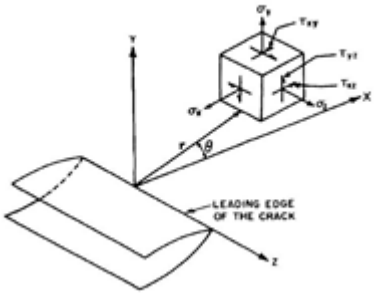
$$\tau xy = \frac{Ki}{\sqrt{2\pi r}} \sin\frac{\theta}{2} cos\frac{\theta}{2} cos\frac{3\theta}{2} \quad (2.4)$$

$$\tau xz = \tau xy = 0 \quad (2.5)$$

Dimana,

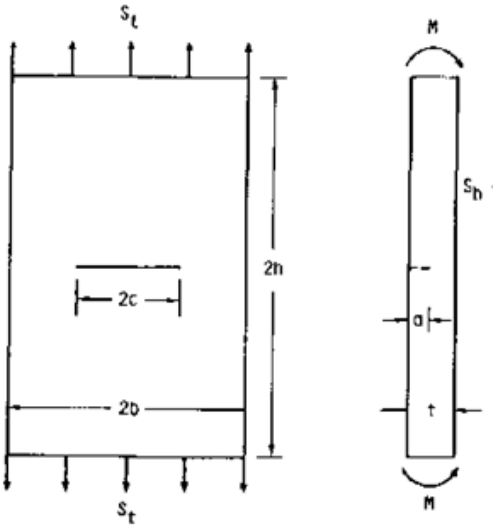
K_I = *Stress Intensity Factor* untuk Mode I
S_X = tegangan normal
τxy = tegangan geser bidang x arah sumbu y
r = jarak *crack tip* dengan *node* yang ditinjau
θ = sudut antara *node* yang ditinjau pada sumbu x
v = *Poisson's ratio*

Komponen tegangan dan koordinat r dan θ dapat dilihat pada Gambar 2.3 dibawah. Notasi K merupakan faktor intensitas tegangan yang bila diketahui, maka medan tegangan di ujung retak akan dapat diketahui. Harga K bergantung pada beban luar, geometri eksternal dan geometri retak (Barsom dan Rolfe, 1999).



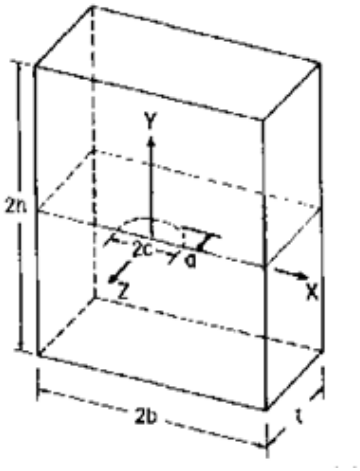
Gambar 2.3 Sistem koordinat dan komponen tegangan di depan ujung retak (Barsom dan Rolfe, 1999)

Pelat geladak merupakan material berbentuk bidang yang memiliki ketebalan tertentu, dengan bentuk yang seperti ini maka arah tegangan, tekanan maupun gaya yang bekerja pada bidang pelat akan bergerak kearah memanjang atau melintang pelat. Berikut adalah deskripsi tegangan tarik (St) dan tegangan *bending* (Sb).



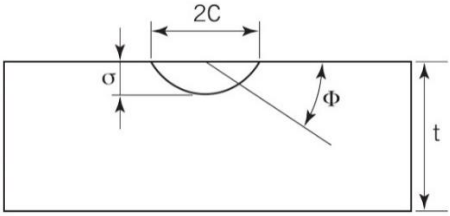
Gambar 2.4 Bentuk arah tegangan tarik (Newman-Raju, 1981)

Pada perhitungan *stress intensity factor* tugas akhir ini, *bending load* tidak disertakan sesuai dengan batasan masalah yang disebutkan sebelumnya. Retak awal terjadi pada bagian tengah pelat. Kondisi retak ini menerima beban berupa tegangan tarik yang tegak lurus dengan panjang retak.



Gambar 2.5 Bentuk *surface crack* pelat (Newman-Raju, 1981)

Persamaan untuk menentukan *stress intensity factor* dipengaruhi oleh panjang retak awal, parameter cacat (Q) serta *tension stress* (tegangan tarik) yang bekerja pada pelat geladak. Formulasi untuk menghitung *stress intensity factor* pada kasus retak yang terjadi pada pelat geladak dengan arah tegangan tarik tegak lurus panjang retak maka digunakan persamaan berikut (Newman Raju, 1981)



Gambar 2.6 Bentuk *surface crack* pelat (Newman-Raju, 1981)

$$Ki = \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} F \quad (2.6)$$

$$Q = 1+1{,}464\ \beta^{1{,}65} \quad (2.7)$$

$$F = [M1 + M2\ \alpha^2 + M3\ \alpha^4].\ f_{\theta}.\ f_w.\ g \quad (2.8)$$

Dimana,

σ = tegangan tarik

a = Kedalaman retak c = Panjang retak

$\alpha = a/t$ $\beta = a/c$

$M_1 = 1{,}13 - 0{,}009\ \beta$

$M_2 = -0{,}54 + 0{,}89 / (0{,}2 + \beta)$

$M_3 = 0{,}5 - 1 / (0{,}68 + \beta) + 14\ (1 - \beta)^{24}$

$f_w = (\sec (\pi/2b * \alpha^{0{,}5}))^{0{,}5}$

b = jarak terdekat dengan pelat

$g = 1 + (0{,}1+0{,}35\ \alpha^2)(1-\sin\theta)^2$

$f\theta = (\beta^2 + \cos^2\theta + \sin^2\theta)^{1/4}$

$H = H2 + (H2-H)\ \sin^{\varphi}\theta$

$p = 0{,}2 + \beta + 0{,}6a$

$H1 = 1 - 0{,}34\ \alpha - 0{,}11\ \alpha\ \beta$

$H = H2 + (H2-H1)\ \sin^{\varphi}\theta$

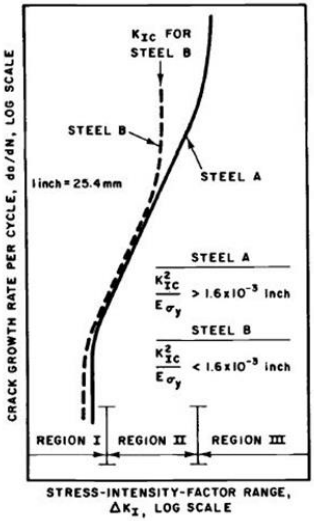
$H2 = 1+G1\ \alpha + G2\ \alpha^2$

$G1 = -1{,}22 - 0{,}12\ \beta$

$G2 = 0{,}55 - 1{,}05\ \beta^{0{,}75} + 0{,}47\ \beta^{0{,}15}$

2.2.4 Laju Perambatan Retak (*Crack Propagation*)

Perambatan retak yang disebabkan oleh kelelahan pada logam dibedakan menjadi tiga daerah seperti pada Gambar 2.7. Region I menunjukkan *fatigue threshold cyclic stress intensity factor fluctuation*, ΔK_{th}, dimana daerah ini terjadi laju perambatan retak yang sangat kecil meskipun struktur dikenai beban siklis yang berfluktuasi. Pada Region II, perambatan retak terjadi karena kelelahan diatas ΔK_{th}, sedangkan pada Region III, laju perambatan retak yang terjadi lebih tinggi dibandingkan Region II.



Gambar 2.7 Grafik laju perambatan retak (Barsom-Rolfe, 1981)

Keterangan:

- *Region I*: perambatan retak *region* ini menunjukkan karakteristik "*fatigue threshold*" yang merupakan fluktuasi kenaikan nilai *stress intensity factor* dengan parameter $\Delta K_{th.}$ Nilai ΔK harus memungkinkan terjadinya

perambatan retak. Nilai da/dN antara *region I* dan *region II* adalah:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K^n - \Delta K + h^n) \quad (2.10)$$

- *Region II*: perambatan-perambatan retak mulai terjadi. Kecepatan perambatan retak dapat dihitung menggunakan hukum Paris-Erdogan:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n \quad (2.11)$$

Nilai da/dN antara *region II* dan *region III* (bila efek R diperhitungkan adalah :

$$\frac{da}{dN} = \frac{C(\Delta K)^n}{(1-R)Kc-\Delta K} \quad (2.12)$$

- *Region III*: perambatan retak yang terjadi lebih cepat daripada *region II*, merupakan awal terjadinya kepecahan. Nilai da/Dn antara *region I, II* dan *III* (bila efek R diperhitungkan) adalah:

$$\frac{da}{dN}\frac{\Delta K^2}{4\pi\sigma yE}\left\{\frac{(\Delta K-\Delta K+h)(1-R)}{(1-R)(Kc-\Delta K)}\right\} \text{^0,5} \quad (2.13)$$

Dimana,

da/dN = kecepatan perambatan retak (m/cycle)
ΔK = range faktor intensitas tegangan (MPa^0,5)
K_I = faktor intensitas tegangan (MPa^0,5)
Kc = harga kritis K (MPa^0,5)
R = rasio tegangan $\sigma min/\sigma max$
C, n = parameter pertumbuhan retak

2.2.5 Metode Elemen Hingga

Elemen hingga adala salah satu metode numerik yang memanfaatkan operasi matrix untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Metode lain yang adalah metode analitik, yang untuk melakukannya diperlukan suatu persamaan matematik yang merupakan model dari perilaku fisik. Semakin rumit perilaku fisiknya (karena kerumitan bentuk geometri, banyaknya interaksi beban, constrain, sifat material, dan sebagainya) maka semakin sulit atau bahkan mustahil di bangun suatu model matematik yang bisa mewakili permasalahan tersebut. Alternatif metodenya adalah dengan cara membagi kasus tadi menjadi bagian-bagian kecil yang sederhana yang mana pada bagian kecil tersebut kita bisa membangun model matematik dengan lebih sederhana. Kemudian interaksi antar bagian kecil tersebut ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang akan diselesaikan. Metode ini dikenal sebagi metode elemen hingga, karena kita membagi permasalahan menjadi sejumlah elemen tertentu *(finite)* untuk mewakili permasalah yang sebenarnya jumlah elemennya adalah tidak berhingga (kontinum) (Susatio, Y. 2004).

Metode Elemen Hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala fisis. Adapun dasar dari metode elemen hingga yaitu, membagi benda kerja menjadi elemen-elemen kecil yang jumlahnya berhingga sehingga dapat menghitung reaksi akibat beban (*load*) pada kondisi batas (*boundary condition)* yang diberikan. Tipe masalah teknis dan matematis fisis yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisa struktur dan kelompok masalah-masalah non-struktur.

Tipe-tipe permasalahan struktur meliputi (Susatio, 2004) :

1. Analisa getaran atau stress, meliputi analisa *Truss* dan *frame* serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan-tegangan yang terkonsentrasi.

2. Buckling
3. Analisa getaran

Problem non-struktur yang dapat dipecahkan dengan metode ini meliputi :

1. Perpindahan panas dan massa
2. Mekanika fluida, termasuk aliran fluida lewat media porus
3. Distribusi dari potensial listrik dan potensial magnet

Pembebanan terhadap struktur yang kompleks, pada umumnya sulit dipecahkan melalui matematika analisis. Hal ini disebabkan karena matematika analisis memerlukan besaran atau harga yang harus diketahui pada setiap titik pada struktur yang dikaji. Penyelesaian analisis dari suatu persamaan differensial suatu geometri yang kompleks, pembebanan yang rumit, tidak mudah diperoleh. Formulasi dari metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini.

2.2.6 Perhitungan Umur Kelelahan

Umur lelah dari suatu material dapat diketahui melalui perhitungan perambatan retak dari persamaan Paris Erdogan. Dengan menguraikannya, dan memasukkan besar retak awal dan retak akhir akan diketahui jumlah batas siklus yang masih aman pada suatu struktur yang memiliki retak. Uraian persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\int_{a0}^{af} dN = \int_{a0}^{af} \frac{da}{C(\Delta K)^n} \tag{2.14}$$

$$N = \int_{a0}^{af} \frac{da}{C(\Delta K)^n} \tag{2.15}$$

Dimana,

da = Pertambahan panjang retak
dN = Pertambahan jumlah siklus dari beban
C, n = Konstanta material berdasarkan empiris
K = SIF

af = Panjang retak setelah pembebanan
a0 = Panjang retak sebelum pembebanan

2.2.7 Periode *Encountered*

Periode *encountered* dapat didefinisikan sebagai fungsi dari gelombang (T), kecepatan kapal (v) dan sudut *encountered* (μ). Periode *encountered* adalah waktu yang diperlukan suatu kapal untuk bergerak dari satu puncak gelombang ke puncak gelombang lainnya. Periode ini menunjukkan bagaimana keadaan kapal berhadapan dengan gelombang dan pengaruh apa yang ditimbulkannya. Pada sebagian besar perhitungan kapal, periode *encountered* digunakan sebagai ganti periode gelombang. Sudut *encountered* (μ) adalah sudut antara gerakan gelombang dengan lintasan kapal, yang diukur dari arah gelombang searah jarum jam.

Persamaan periode *encountered* dinyatakan sebagai berikut:

$$Te = \frac{Lw}{Vw - V\cos\mu} \tag{2.16}$$

Dimana,

$$Tw = \left(2\pi \frac{Lw}{g}\right)^{0,5} \tag{2.17}$$

$$Vw = \frac{Lw}{Tw} \tag{2.18}$$

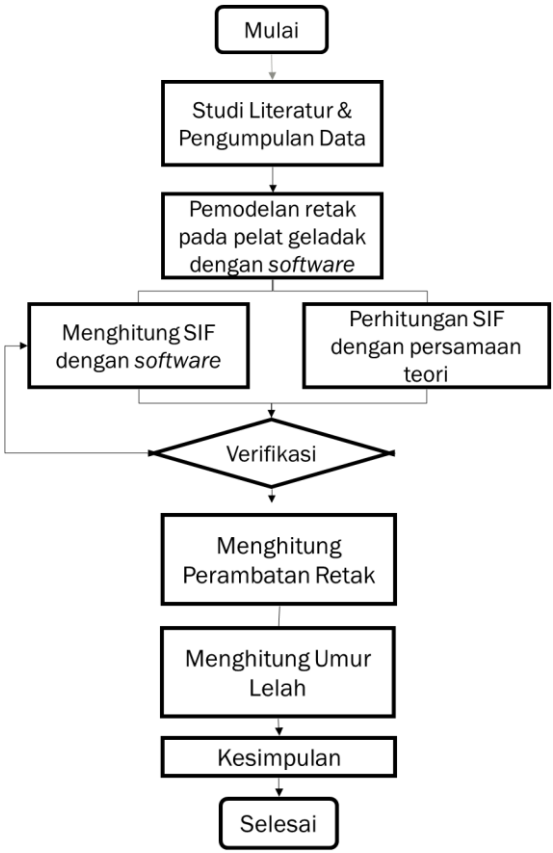
Lw = *Lenght Waterline* (Panjang Kapal)
Tw = Periode gelombang
Vw = Kecepatan gelombang
V = Kecepatan kapal
μ = Sudut *encountered*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, dilakukan beberapa tahapan sesuai dengan diagram alir di bawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan

Penjabaran dari diagram diatas akan dijelaskan pada langkah-langkah dibawah ini:

1. Studi Literatur dan Pengumpulan data
   Data-data yang diperoleh dari berbagai sumber yang sesuai dengan obyek pada tugas akhir ini. Data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah
   a. Data properti dari pelat geladak kapal, merupakan data yang berhubungan dengan dimensi pelat geladak kapal dan properti yang melekat pada pelat geladak kapal. Data tersebut meliput: panjang pelat, lebar pelat, tebal pelat.
   b. Data material dari pelat geladak, meliputi: *fracture toughness*, *yield streght,* dan lain-lain
   c. Data operasional, merupakan data yang digunakan saat beroperasi yang meliput: tegangan tarik kapal, kecepatan kapal dan data lingkungan yang meliputi tinggi ombak, panjang ombak dan lain-lain.
2. Perhitungan Teknis
   Perhitungan teknis meliputi, perhitungan faktor intensitas tegangan (SIF), perhitungan laju perambatan retak dan perhitungan umur kelelahan.
3. Verifikasi
   Verifikasi untuk perbandingan hasil perhitungan secara teknis dari hasil hitung teori dengan hasil pemodelan *software.*
4. Perhitungan *Crack Propagation*
   Melakukan perhitungan umur kelelahan pada pelat geladak dengan menggunakan persamaan Paris-Erdogan.
5. Perhitungan Umur Kelelahan
   Melakukan perhitungan umur kelelahan pada pipa sebagai akibat dari retak yang terjadi pada pelat geladak kapal.

3.2 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk menambah pengetahuan peneliti, selain itu dengan studi pustaka maka akan didapatkan metode untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Dalam studi pustaka juga dilakukan kajian penelitian sebelumnya yang masih berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

3.2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan pengambilan data dari hasil penelitian milik Norman Yassir Arrazi mengenai tegangan pada geladak KMP. Katamaran. Selain itu juga dilakukan pencarian data yang dibutuhkan untuk menunjang tugas akhir ini.

Sesuai penelitian milik Norman Yasser Arrazi, bahwa tegangan maksimum terjadi pada daerah *midship* kapal dengan nilai tegangannya maksimum adalah 224 N/mm^2 dan tegangan minimum adalah 90 N/mm^2 sehingga nilai resultan tegangannya adalah 134 N/mm^2. Tegangan tersebut terjadi karena adanya pergerakkan kapal pada saat berlayar dengan kondisi penumpang penuh. Tegangan ini merupakan tegangan tarik.

Jenis retak awal yang digunakan adalah *semi-elliptical surface crack* dan terletak pada pelat geladak melintang kapal. Jenis retak awal yang digunakan sesuai dengan jurnal milik James C. Newman dan I.S.Raju yang berjudul *An Empirical Stress Intensity Factor Equation for the Surface Crack.*

Material yang digunakan adalah material *alluminium alloy* 5083 yang merupakan material asli dari pelat geladak kapal dan baja ASTM A36 yang digunakan sebagai pembanding dan biasa digunakan pula sebagai pelat geladak kapal, rincian dari spesifikasi dari material dapat dilihat pada **Tabel 3.1.**

Tabel 3.1. Material Pelat Geladak

Material	Tebal (mm)	Yield Strenght (N/mm2)	Tensile Strenght (N/mm2)	E (Gpa)	C	n
Al 5083	6	215	305	71	6,49E-10	2,156
St A36	6	250	550	200	3,60E-10	3

3.3 Perhitungan *Stress Intensity Factor* (SIF atau K_I)

Perhitungan SIF dilakukan menggunakan persamaan Newman karena jenis retak awal yang digunakan sama dengan jurnal milik Newman dan Raju tersebut. Persamaan ini dipilih karena sesuai dengan bentuk retak awal yang digunakan pada model lokal.

$$Ki = \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} F \qquad (3.1)$$

Dimana,

Ki = *Stress intensity factor* mode I (N/mm$^{3/2}$)
σ = Tegangan tarik (MPa)
a = kedalaman retak (mm)
Q = Parameter cacat
F, H = Faktor koreksi

Model yang digunakan dalam perhitungan SIF adalah pelat geladak dengan ukuran 2400 mm *x* 600 mm *x* 6 mm. Model tersebut disesuaikan dengan ukuran pelat kapal kecil (panjang kapal kurang dari 25 m). Gambar model pelat yang digunakan dapat dilihar pada **Gambar 3.1.**

3.4 Perhitungan Perambatan Retak

Perhitungan umur lelah dilakukan setelah nilai *stress intensity factor* diketahui. Persamaan yang digunakan untuk menghitung umur lelah adalah dengan menggunakan persamaan Paris Erdogan pada perambatan retak *region* II sebagai berikut:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n \qquad (3.2)$$

Dimana,

da/dN	= laju perambatan retak (m/siklus)
K	= *stress intensity factor* ($N/mm^{-3/2}$)
C, n	= Konstanta retak material
N	= siklus

Penggunaan persamaan ini didasarkan pada metode *linear-elastic fracture mechanics* yang digunakan pada pelat isotropik. Kedua pelat material, yaitu *aluminium alloy* 5083 dan baja ASTM A36 dikatakan isotropik karena memiliki modulus elastisitas sebesar 0,33 dan 0,26 dimana menurut (P.H Mott dan C.M. Roland, 2009) nilai *poison ratio* dari suatu material yang ada dalam rentang $\frac{1}{5} \leq \nu < \frac{1}{2}$ dapat dikatakan isotropik. Dengan mengacu pada hal tersebut, maka metode *linear-elastic fracture mechanics* digunakan dalam perhitungan.

Secara teori, tahapan retak terbagi menjadi tiga *region.* Dimana *region* I mencerminkan tahap timbulnya retak dari sebelumya tidak ada retak, *region* II adalah tahapan perambatan retak setelah adanya retak awal dan *region* III adalah tahapan dimana retak tersebut sudah memasuki tahap patah atau melewati batas lelah dari pelat material. Pada penelitian ini, perhitungan retak dilakukan setelah terjadinya retak awal pada pelat dan berhenti pada saat retak merambat hingga retak akhir sebelum pelat tersebut patah. Sehingga persamaan Paris-Erdogan yang digunakan adalah persamaan pada *region* II.

Nilai C dan m diambil dari penelitian milik Wartono dan Mochammad Noer Ilman. Persamaan Paris-Erdogan dapat diturunkan untuk menghitung umur lelah yakni dengan mendapatkan nilai N (*cycle*) dan mengalikannya dengan periode *encountered* dari kapal.

Periode *encountered* kapal dihitung dengan menggunakan persamaan milik Bhattacharyya, periode *encountered* adalah periode yang dibutuhkan oleh gelombang air hingga menyentuh kapal ketika berlayar, sehingga beban atau tegangan yang bekerja pada kapal didasarkan pada periode *encountered.* Adapun persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Te = \frac{Lw}{Vw - V cos\mu} \tag{3.3}$$

Dimana,

$$Tw = \left(2\pi \frac{Lw}{g}\right)^{0,5} \tag{3.4}$$

$$Vw = \frac{Lw}{Tw} \tag{3.5}$$

Dari persamaan diatas, didapat nilai periode *encountered* sebagai berikut:

Tabel 3.2 Periode *Encountered*

Lw (m)	g (m/s^2)	Tw	Vw	V (m/s)	μ	cos μ	Te
25,95	9,8	4,08	6,36	12,86	180	-1	1,35

Nilai v (kecepatan kapal) yang digunakan adalah kecepatan maksimum kapal, yaitu 25 knot atau sebesar 12,86 m/s. Nilai Lw (*Lenght Waterline*) yang digunakan adalah panjang badan kapal yaitu sepanjang 25.95 m. Nilai μ merupakan sudut *encountered* atau sudut hadap kapal dengan gelombang, yaitu 180^0. Sedangkan Tw adalah periode gelombang laut, dimana sesuai dengan buku milik (Bhattacharyya, 1978) waktu gelombang dihitung berdasarkan akar pangkat dari panjang kapal (Lw) dibanding dengan gravitasi yang bekerja kemudian dikalikan dengan satu fase lembah dan satu fase bukit gelombang air laut (2π).

Perhitungan nilai N (*cycle*) dilakukan dengan menggunakan persamaan Paris Erdogen berikut:

$$\int_{a0}^{af} dN = \int_{a0}^{af} \frac{da}{C(\Delta K)^n} \quad (3.6)$$

$$N = \int_{a0}^{af} \frac{da}{C(\Delta K)^n} \quad (3.7)$$

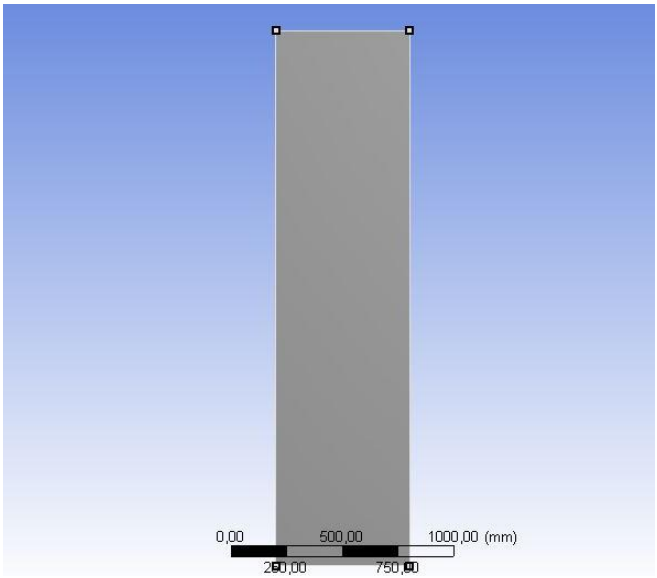
Nilai N dihitung pada tiap tahap perambatan retak. Perambatan retak terdiri dari 9 tahap (N_1, N_2, ..., N_9) untuk retak awal 0,5 mm. Delapan tahap (N_1, N_2, ..., N_8) untuk retak awal 1 mm dan 7 tahap (N_1, N_2, ..., N_7) untuk retak awal 1,5 mm. Tiap tahap perambatan retak berjarak 0,5 mm dari retak sebelumnya hingga mencapai 0,75t atau mencapai 4,5 mm. Nilai N (*cycle*) yang digunakan adalah nilai N_9 atau tahap dimana retak mencapai 4,5 mm.

3.5 Pemodelan pada *Software*

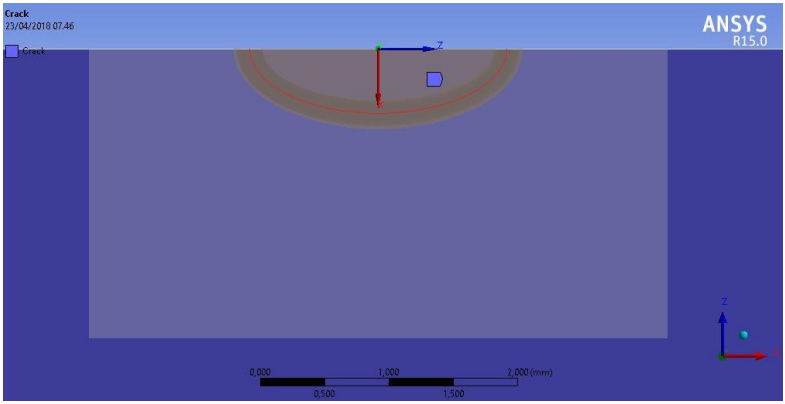
Hasil perhitungan SIF mode I menggunakan persamaan Newman Raju dibandingkan dengan pemodelan menggunakan *software*. Pemodelan retak pada tugas akhir ini merupakan pelat pada bagian geladak kapal. Langkah-langkah dalam pemodelan retak secara umum pada *software* yaitu dengan memodelkan sesuai dengan ukuran pelat sesuai kondisi, kemudian dilakukan *meshing* pada model dengan ukuran sekecil mungkin. Kemudian memberi kondisi batas dan pembebanan. Sebelumnya sudah dimasukkan properti data penunjang lain yakni material isoptropik untuk kemudian dilakukan proses *running* untuk mendapatkan nilai *stress intensity factor* mode I. Pemodelan dilakukan sebanyak dua kali yaitu dengan membuat bentuk pelat geladak terlebih dahulu kemudian membuat retak pada pelat geladak tersebut dengan variasi kedalaman yang berbeda.

3.5.1 Pemodelan Retak

Pemodelan dilakukan dengan mendeskripsikan dimensi pelat terlebih dahulu. Pemodelan dilakukan sebanyak dua kali, yang pertama adalah model global yaitu model geladak kapal yang digunakan hanya untuk menunjukan bentuk dari geladak dan yang kedua adalah pemodelan lokal yakni model lokal pelat geladak yang terdapat retak di dalamnya. Dalam tugas akhir ini, analisa difokuskan pada model lokal pelat geladak kapal. Model dibuat dengan dimensi 600 mm x 2400 mm x6 mm atau sesuai dengan dimensi pelat geladak yang ada diantara dua penagar.



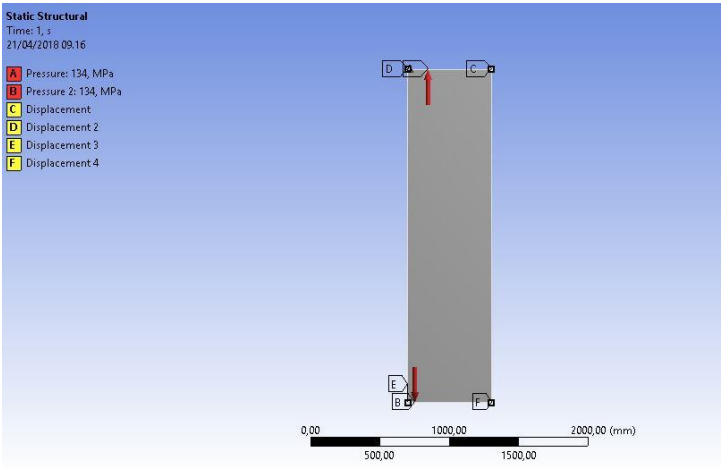
Gambar 3.2 Pemodelan pelat geladak



Gambar 3.3 Pemodelan retak

3.5.2 Kondisi Batas dan Pembebanan

Kondisi batas diberikan setelah model pelat geladak selesai dibuat. Pemberian kondisi batas bertujuan untuk memberikan tumpuan pada model pelat agar kondisi pelat mendekati kondisi pelat pada geladak ketika diberi beban. Setelah pemberian kondisi batas selesai, selanjutnya adalah tahap pembebanan. Beban yang digunakan adalah tegangan yang terjadi pada bagian melintang geladak ketika kapal tersebut berlayar dan merupakan tegangan tarik. Kondisi batas diletakkan pada bagian sudut-sudut pelat, sedangkan pembebanan diberikan dibagian penampang melebar pelat. Rincian kondisi batas dan pembebanan ditunjukkan pada **Tabel 3.3** dan **Tabel 3.4.**



Gambar 3.4 Kondisi batas dan Pembebanan

Tabel 3.3 Kondisi Batas

Titik	X	Y	Z
1	0	Free	0
2	0	Free	0
3	0	Free	0
4	0	Free	0

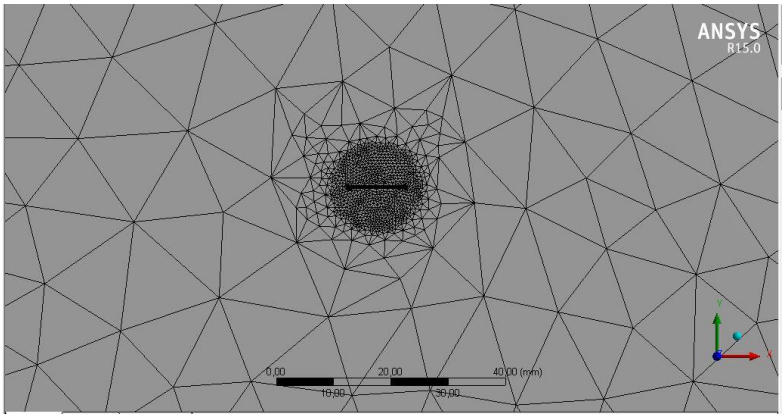
Tabel 3.4 Pembebanan

Titik	Tegangan (N/mm^2)
1	134
2	134

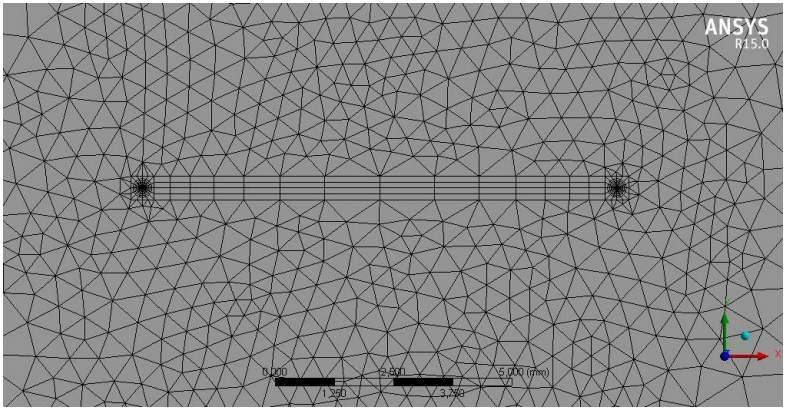
3.5.3 *Meshing* dan *Running*

Meshing adalah proses membagi-bagi model menjadi bagian atau elemen-elemen yang lebih kecil. Dalam model pelat geladak, *meshing* dilakukan sebanyak dua kali. Yang pertama digunakan untuk keseluruhan model yaitu dengan menggunakan

model *tetrahedron.* Serta yang kedua adalah *meshing* pada bagian retak. Pada *meshing* retak, terlebih dahulu dimasukkan panjang retak (2c) dan kedalaman retak (a). Kemudian memasukkan skala kontur dari retak (*mesh countur*) yang telah ditentukan oleh program. *Mesh countur* ini dilakukan untuk membagi retak menjadi skala yang lebih kecil.



Gambar 3.5 *Mesh* pada model



Gambar 3.6 *Mesh* pada retak

3.5.4 Verfikasi Perhitungan dan Pemodelan

Verifikasi pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan menggunakan persamaan teoritis dari jurnal milik Newman dan Raju dengan hasil *running* dari *software* pada tiap titik retak. Dari perbandingan tersebut akan didapatkan nilai kesalahan.

Selain itu dilakukan pula konvergensi elemen untuk mengetahui apakah nilai SIF akan menghasilkan nilai yang konsisten pada jumlah elemen yang berbeda. Atau selisih nilai yang didapatkkan dengan adanya penambahan jumlah elemen tidak terlalu signifikan.

$$Kesalahan = \left|\frac{SIFteori - SIFsoftware}{SIFteori}\right| x\ 100\% \qquad (3.8)$$

3.6. Perhitungan Umur Lelah

Untuk menghitung umur kelelahan pelat geladak dilakuan dengan mengalikan nilai siklus perambatan retak dengan nilai *periode encountered* yang dihitung sesuai dengan persamaan diatas. Hasil kali perhitungan tersebut akan menghasilkan umur lelah pelat dalam satuan detik. Selanjutnya adalah membagi hasil perhitungan tersebut dengan jumlah detik dalam satu tahun. Jumlah detik dalam satu tahun adalah 31536000 detik.

$$Umur = \frac{(N\ x\ Te)}{Jumlah\ detik\ dalam\ 1\ tahun} \qquad (3.9)$$

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menjelaskan tentang simulasi dan perhitungan dari respon perambatan retak terhadap umur kelelahan pelat geladak dari variasi kedalaman retak awal. Parameter internal dari pelat geladak yaitu dimensi pelat, kedalaman retak awal, dan jenis bahan. Sedangkan parameter eksternal yaitu tegangan tarik yang terjadi pada pelat geladak kapal katamaran.

4.1 Hasil Perhitungan

4.1.1 Perhitungan *Stress Intensity Factor* Teori

Pada perhitungan SIF ini dilakukan dengan menggunakan persamaan empiris pada jurnal milik Newman dan Raju yang berjudul *An Empirical Stress-Intensity Factor Equation for The Surface Crack.* Perhitungan dilakukan dengan kedalaman retak awal (a) 0,5 mm dan panjang retak (2c) 2 mm. Berikut adalah hasil perhitungan *stress intensity factor*:

Tabel 4.1 Hasil nilai *stress intensity factor* retak awal 0,5 mm

No	a_0 (m)	SIF Al ($N.mm^{-3/2}$)	SIF Baja ($N.mm^{-3/2}$)
1	0,0005	151,17	151,14
2	0,001	194,51	194,46
3	0,0015	228,63	228,58
4	0,002	259,12	259,06
5	0,0025	287,61	287,55
6	0,003	314,78	314,71
7	0,0035	340,84	340,78
8	0,004	365,82	365,76
9	0,0045	389,46	389,41

Dari hasil perhitungan SIF pada **Tabel 4.1**, dapat diketahui nilai SIF *Alluminium alloy* 5083 terbesar adalah 389,46 N.mm$^{-3/2}$. Nilai tersebut masih berada dibawah *fracture toughness* (K_{IC}) yaitu sebesar 1359,78 N.mm$^{-3/2}$. Begitu juga dengan material Baja A36, dengan nilai SIF terbesar 389,41 N.mm$^{-3/2}$ yang masih berada dibawah nilai *fracture toughness* yaitu sebesar 1941,95 N.mm$^{-3/2}$. Selain hasil perhitungan diatas, dilakukan pula perhitungan retak dengan variasi kedalaman retak awal yang berbeda yaitu 1 mm dan 1,5 mm yang dapat dilihat pada **Lampiran A.**

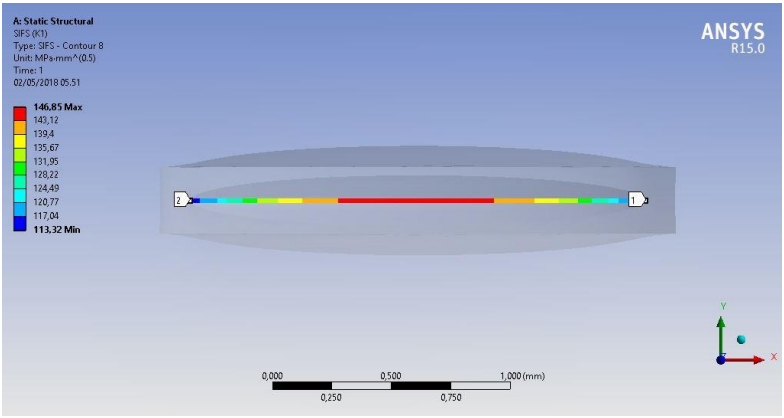
4.1.2 Perhitungan *Stress Intensity Factor* dengan *Software*

Hasil perhitungan yang didapatkan adalah hasil dari perhitungan *software ansys.* Dari perhitungan tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil nilai *stress intensity factor* dari model retak awal 0,5 mm

No	a_0 (m)	SIF *Software* Al (N.mm$^{-3/2}$)	SIF *Software* Baja (N.mm$^{-3/2}$)
1	0,0005	146,85	146,51
2	0,001	190,64	190,91
3	0,0015	223,97	223,97
4	0,002	253,33	253,33
5	0,0025	283,96	283,96
6	0,003	311,32	311,32
7	0,0035	333,04	333,04
8	0,004	364,01	364,01
9	0,0045	395,54	395,56

Dari **Tabel 4.2**, dapat diketahui nilai SIF dari perhitungan model *software* terbesar adalah 395,54 N.mm$^{-3/2}$. Nilai tersebut tidak begitu jauh dengan perhitungan menggunakan persamaan teori milik Newman dan Raju. Nilai tersebut masih memenuhi *fracture toughness* (K_{IC}) atau dengan kata lain masih memenuhi kriteria desain material. Gambar hasil perhitungan SIF *software* pada retak awal 0,5 mm ditunjukkan pada **Gambar 4.1**. Selain itu juga dilakukan pula *running* dengan retak awal 1 mm dan 1,5 mm yang dapat dilihat pada **Lampiran B.**



Gambar 4.1 Hasil *running* nilai *stress intensity factor* mode I pada *software.*

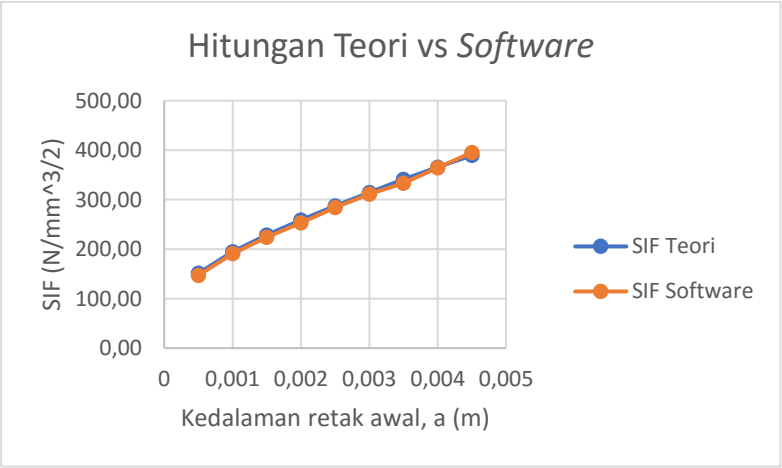
4.2 Verifikasi Model

Verifikasi model retak pelat geladak dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan *stress intensity factor* teori dari persamaan pada jurnal milik Newman dan Raju (1981) dengan hasil perhitungan dari *software*. Perbandingan dihitung dengan menggunakan persamaan (4.1). Hasil perhitungan ditunjukkan pada **Tabel 4.3**:

$$Kesalahan = \left|\frac{SIFteori - SIFsoftware}{SIFteori}\right| x\ 100\% \qquad (4.1)$$

Tabel 4.3 Perbandingan perhitungan teori dengan *software*

No	a_0 (m)	SIF Teoritis ($N.mm^{-3/2}$)	SIF *Software* ($N.mm^{-3/2}$)	Kesalahan (%)
1	0,0005	151,17	146,85	2,94
2	0,001	194,51	190,64	2,03
3	0,0015	228,63	223,97	2,08
4	0,002	259,12	253,33	2,29
5	0,0025	287,61	283,96	1,29
6	0,003	314,78	311,32	1,11
7	0,0035	340,84	333,04	2,34
8	0,004	365,82	364,01	0,50
9	0,0045	389,46	395,54	1,54



Gambar 4.2 Grafik perbandingan *stress intensity factor* retak awal 0,5 mm persamaan teori dengan model *software*.

Menurut Newman dan Raju (1981), untuk semua parameter perhitungan dengan nilai a/t kurang dari 0,8. Hasil perhitungan *stress intensity factor* persamaan Newman Raju dengan hasil perhitungan *software* memiliki nilai kesalahan kurang lebih 5%. Dari hasil diatas, selisih terendah perhitungan *software* dengan perhitungan menggunakan persamaan Newman Raju adalah 0,50% dan selisih tertinggi adalah 2,94%. Dari hasil tersebut, maka dapat dikatakan model pelat geladak valid.

Selanjutnya dilakukan konvergensi, yaitu untuk mengetahui apakah nilai *stress intensity factor* akan menghasilkan nilai yang konsisten pada jumlah elemen yang berbeda. Atau selisih nilai yang didapatkkan dengan adanya penambahan jumlah elemen tidak terlalu signifikan. Konvergensi dilakukan di daerah sekitar retak karena pada bagian tersebut yang dilakukan perhitungan. Berikut adalah tabel hasil konvergensi,

Tabel 4.4 Nilai *stress intensity factor* pada retak awal 0,5 mm hingga retak akhir 1 mm

Jumlah Elemen	SIF *Software* ($N/mm^{3/2}$)	SIF Teori ($N/mm^{3/2}$)	Kesalahan (%)
38436	147,74	151,17	2,27
42460	146,85	151,17	2,86
57740	146,92	151,17	2,81
61257	146,11	151,17	3,35
88010	146,31	151,17	3,21

Dari **Tabel 4.4** diatas, selisih kesalahan terendah antara SIF *software* dengan SIF persamaan Newman Raju adalah 2,27% pada jumlah elemen 38436 dan selisih tertinggi adalah 3,35% pada jumlah elemen 61257. Karena selisih terbesar masih berada dibawah 5% sesuai dengan syarat Newman dan Raju maka model dikatakan akurat.

4.3 Perambatan Retak

4.3.1 Laju Perambatan Retak

Dalam perhitungan kecepatan perambatan retak (da/dN) dibutuhkan parameter keretakan (C dan m) berdasarkan jenis materialnya. Nilai parameter ini diperoleh dari data yang didapatkan pada tes kelelahan. Material yang digunakan pada pelat geladak katamaran adalah *alluminium alloy* 5083 yang memiliki nilai C dan m sebesar $6{,}49 \times 10^{-10}$ dan 2,1558. Sedangkan untuk material baja ASTM A36 nilai C dan m adalah sebesar $3{,}6 \times 10^{-10}$ dan 3.

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n \qquad (4.2)$$

Hasil dari perhitungan laju perambatan retak ditunjukkan pada **Tabel 4.5** sesuai dengan perhitungan da/dN berikut:

Tabel 4.5 Laju perambatan retak pada retak awal 0,5 mm dengan persamaan teori (Al 5083)

No	a_0 (m)	SIF Teoritis ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	0,0005	151,17	$1{,}10 \times 10^{-11}$
2	0,001	194,51	$1{,}90 \times 10^{-11}$
3	0,0015	228,63	$2{,}69 \times 10^{-11}$
4	0,002	259,12	$3{,}53 \times 10^{-11}$
5	0,0025	287,61	$4{,}42 \times 10^{-11}$
6	0,003	314,78	$5{,}37 \times 10^{-11}$
7	0,0035	340,84	$6{,}37 \times 10^{-11}$
8	0,004	365,82	$7{,}42 \times 10^{-11}$
9	0,0045	389,46	$8{,}49 \times 10^{-11}$

Tabel 4.6 Laju perambatan retak pada retak awal 0,5 mm dengan *software* (Al 5083)

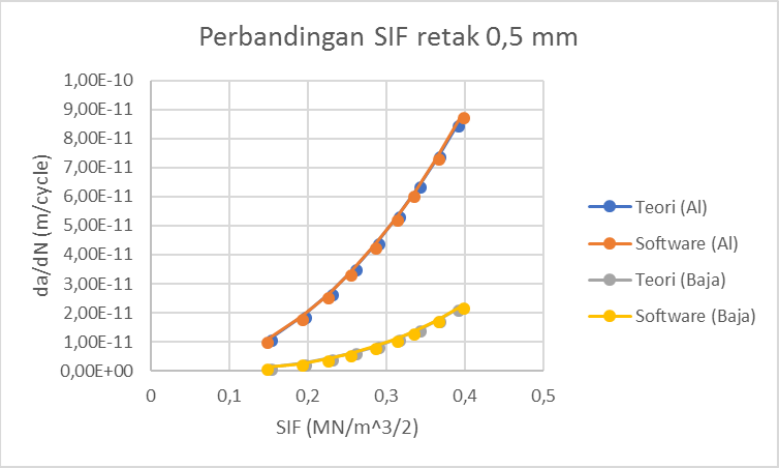
No	a_0 (m)	SIF *Ansys* ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	0,0005	146,85	$1,04 \times 10^{-11}$
2	0,001	190,64	$1,82 \times 10^{-11}$
3	0,0015	223,97	$2,58 \times 10^{-11}$
4	0,002	253,33	$3,36 \times 10^{-11}$
5	0,0025	283,96	$4,30 \times 10^{-11}$
6	0,003	311,32	$5,24 \times 10^{-11}$
7	0,0035	333,04	$6,06 \times 10^{-11}$
8	0,004	364,01	$7,34 \times 10^{-11}$
9	0,0045	395,54	$8,79 \times 10^{-11}$

Tabel 4.7 Laju perambatan retak pada retak awal 0,5 mm dengan persamaan teori (Baja A36)

No	a_0 (m)	SIF Teoritis ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	0,0005	151,14	$1,24 \times 10^{-12}$
2	0,001	194,46	$2,65 \times 10^{-12}$
3	0,0015	228,58	$4,30 \times 10^{-12}$
4	0,002	259,06	$6,26 \times 10^{-12}$
5	0,0025	287,55	$8,56 \times 10^{-12}$
6	0,003	314,71	$1,12 \times 10^{-11}$
7	0,0035	340,78	$1,42 \times 10^{-11}$
8	0,004	365,76	$1,76 \times 10^{-11}$
9	0,0045	389,41	$2,13 \times 10^{-11}$

Tabel 4.8 Laju perambatan retak pada retak awal 0,5 mm dengan *software* (Baja A36)

No	a_0 (m)	SIF *Ansys* ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	0,0005	146,9	$1{,}14 \times 10^{-12}$
2	0,001	190,6	$2{,}49 \times 10^{-12}$
3	0,0015	224	$4{,}04 \times 10^{-12}$
4	0,002	253,3	$5{,}85 \times 10^{-12}$
5	0,0025	284	$8{,}24 \times 10^{-12}$
6	0,003	311,3	$1{,}09 \times 10^{-11}$
7	0,0035	333	$1{,}33 \times 10^{-11}$
8	0,004	364	$1{,}74 \times 10^{-11}$
9	0,0045	395,5	$2{,}23 \times 10^{-11}$



Gambar 4.3 Grafik perbandingan perambatan retak teori dan *software*

Berdasarkan **Gambar 4.3**, perambatan retak memiliki kondisi linier atau berada pada *region II*, dimana perambatan retak sudah mulai terjadi. Selain itu dilakukan perhitungan perambatan retak dengan kedalaman retak awal 1 mm dan 1,5 mm yang dapat dilihat di **Lampiran B**.

Dari perbandingan diatas, hasil perhitungan menggunakan persamaan dengan perhitungan *software* memiliki hasil yang tidak jauh berbeda. Jika dilihat pada grafik, retak yang terjadi pada pelat geladak yang terbuat dari *Alluminium alloy* 5083 memiliki nilai da/dN yang lebih besar yaitu mencapai $8{,}79 \times 10^{-11}$ m/*cycle* dibanding dengan baja A36 yaitu sebesar $2{,}23 \times 10^{-11}$ m/*cycle*.

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa perambatan retak yang terjadi pada material *Alluminium alloy* 5083 lebih cepat dibanding dengan perambatan retak pada Baja A36. Atau dengan kata lain, satu *cycle* kegagalan pada *Alluminium alloy* 5083 memiliki jangkauan yang lebih panjang jika dibandingkan dengan satu *cycle* yang terjadi pada Baja A36. Perbedaan kecepatan perambatan retak tersebut terjadi karena nilai parameter C dan n yang berbeda. nilai parameter C dan m pada Baja A36 adalah $3{,}6 \times 10^{-10}$ dan 3 sedangkan untuk *Alluminium alloy* 5083 adalah sebesar $6{,}49 \times 10^{-10}$ dan 2,1558.

Kedua perbandingan tersebut didasarkan pada nilai retak awal 0,5 mm dan panjang retak 2 mm. Jika dibandingkan dengan perbedaan kedalaman retak awal maka yang terjadi adalah pelat geladak yang memiliki retak awal lebih dalam akan mengalami perambatan retak yang lebih cepat dibandingkan dengan pelat geladak yang memiliki retak awal lebih dangkal. Untuk variasi perhitungan perambatan retak dengan retak awal 1 mm dan 1,5 mm dapat dilihat pada **Lampiran B.**

4.4 Perhitungan N (*cycle*)

Perhitungan *cycle* yang diturunkan langsung dari persamaan Paris-Erdogen. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui jumlah *cycle* yang dibutuhkan pelat geladak hingga menuju gagal atau menembus ketebalan 75% ketebalan. Perhitungan N (cycle) dilakukan pada tiap tahap perambatan retak dengan jarak tiap tahap perambatan adalah 0,5 mm. Perhitungan tersebut akan menghasilkan N_1, N_2, ..., N_9. Nilai N_9 adalah resultan dari perhitungan di setiap tahap tersebut, sehingga nilai yang digunakan adalah nilai N_9.

Hasil dari perhitungan nilai *cycle* adalah sebagai berikut:

$$\int_{a0}^{af} dN = \int_{a0}^{af} \frac{da}{C(\Delta K)^n} \tag{4.3}$$

$$N = \int_{a0}^{af} \frac{da}{C(\Delta K)^n} \tag{4.4}$$

Tabel 4.9 Nilai *cycle* pelat geladak persamaan teori (Al 5083)

No	a_0 (m)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	0,0005	$1{,}10 \times 10^{-11}$	$4{,}5 \times 10^{7}$
2	0,001	$1{,}90 \times 10^{-11}$	$9{,}79 \times 10^{7}$
3	0,0015	$2{,}69 \times 10^{-11}$	$1{,}35 \times 10^{8}$
4	0,002	$3{,}53 \times 10^{-11}$	$1{,}63 \times 10^{8}$
5	0,0025	$4{,}42 \times 10^{-11}$	$1{,}86 \times 10^{8}$
6	0,003	$5{,}37 \times 10^{-11}$	$2{,}05 \times 10^{8}$
7	0,0035	$6{,}37 \times 10^{-11}$	$2{,}20 \times 10^{8}$
8	0,004	$7{,}42 \times 10^{-11}$	$2{,}34 \times 10^{8}$
9	0,0045	$8{,}49 \times 10^{-11}$	$2{,}46 \times 10^{8}$

Tabel 4.10 Nilai *cycle* pelat geladak dengan *software* (Al 5083)

No	a_0 (m)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	0,0005	$1,04 \times 10^{-11}$	$4,8 \times 10^{7}$
2	0,001	$1,82 \times 10^{-11}$	$1,03 \times 10^{8}$
3	0,0015	$2,58 \times 10^{-11}$	$1,42 \times 10^{8}$
4	0,002	$3,36 \times 10^{-11}$	$1,72 \times 10^{8}$
5	0,0025	$4,30 \times 10^{-11}$	$1,95 \times 10^{8}$
6	0,003	$5,24 \times 10^{-11}$	$2,14 \times 10^{8}$
7	0,0035	$6,06 \times 10^{-11}$	$2,30 \times 10^{8}$
8	0,004	$7,34 \times 10^{-11}$	$2,45 \times 10^{8}$
9	0,0045	$8,79 \times 10^{-11}$	$2,55 \times 10^{8}$

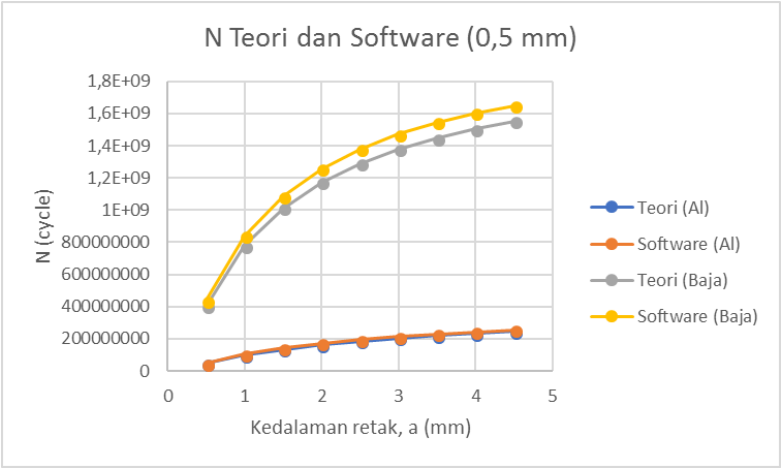
Tabel 4.11 Nilai *cycle* pelat geladak dengan Persamaan Teori (Baja ASTM A36)

No	a_0 (m)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	0,0005	$1,24 \times 10^{-12}$	$4,02 \times 10^{8}$
2	0,001	$2,65 \times 10^{-12}$	$7,8 \times 10^{8}$
3	0,0015	$4,30 \times 10^{-12}$	$1,01 \times 10^{9}$
4	0,002	$6,26 \times 10^{-12}$	$1,17 \times 10^{9}$
5	0,0025	$8,56 \times 10^{-11}$	$1,29 \times 10^{9}$
6	0,003	$1,12 \times 10^{-11}$	$1,38 \times 10^{9}$
7	0,0035	$1,42 \times 10^{-11}$	$1,45 \times 10^{9}$
8	0,004	$1,76 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{9}$
9	0,0045	$2,13 \times 10^{-11}$	$1,55 \times 10^{9}$

Tabel 4.12 Nilai *cycle* pelat geladak dengan Persamaan Teori (Baja ASTM A36)

No	a_0 (m)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	0,0005	$1,14x10^{-12}$	$4,39x10^{8}$
2	0,001	$2,49x10^{-12}$	$8,4010^{8}$
3	0,0015	$4,04x10^{-12}$	$1,09x10^{9}$
4	0,002	$5,85x10^{-12}$	$1,26x10^{9}$
5	0,0025	$8,24x10^{-11}$	$1,38x10^{9}$
6	0,003	$1,09x10^{-11}$	$1,47x10^{9}$
7	0,0035	$1,33x10^{-11}$	$1,55x10^{9}$
8	0,004	$1,74x10^{-11}$	$1,60x10^{9}$
9	0,0045	$2,23x10^{-11}$	$1,65x10^{9}$

Nilai *cycle* hasil dari perhitungan *software* memiliki kedekatan dengan nilai *cycle* yang dihitung dengan menggunakan persamaan teori seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Nilai *cycle* teori dan *software*

Perhitungan nilai *cycle* juga dilakukan pada kedalaman retak awal 1 mm dan 1,5 mm. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat dalam **Lampiran C**. Hasil rangkuman dari variasi kedalam retak tersebut dapat dilihat dalam **Tabel 4.13.**

Tabel 4.13 Nilai *cycle* pelat geladak

Retak Awal (mm)	Material			
	Aluminium 5083		Baja A36	
	Teoritis (*cycle*)	Software (*cycle*)	Teoritis (*cycle*)	Software (*cycle*)
0,5	$2{,}46 \times 10^8$	$2{,}55 \times 10^8$	$1{,}55 \times 10^9$	$1{,}65 \times 10^9$
1	$1{,}70 \times 10^8$	$1{,}80 \times 10^8$	$9{,}60 \times 10^8$	$1{,}01 \times 10^9$
1,5	$1{,}30 \times 10^8$	$1{,}33 \times 10^8$	$6{,}60 \times 10^8$	$6{,}85 \times 10^8$

Dari grafik dan **Tabel 4.13**, dapat diketahui bahwa semakin dangkal retak awal maka jumlah *cycle* akan semakin tinggi. Hal tersebut terjadi karena proses perambatan retak yang terjadi bergantung pada jarak retak awal (a_0) hingga retak akhir (a_f), dalam hal ini menembus 75% ketebalan (4,5 mm). Sehingga semakin jauh jarak a_0 terhadap a_f, semakin besar nilai *cycle* yang timbul dalam retak pelat geladak.

Pada material *Aluminium alloy* 5083, jumlah *cycle* yang terjadi ada di sekitar $1{,}3 \times 10^8$ m/*cycle* hingga $2{,}5 \times 10^8$ m/*cycle*. Sedangkan pada material Baja ASTM A36 jumlah *cycle* yang terjadi ada disekitar $6{,}6 \times 10^8$ m/*cycle* hingga $1{,}65 \times 10^9$ m/*cycle*. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa *cycle* yang dibutuhkan Baja ASTM A36 menuju gagal atau menembus 75% ketebalan lebih banyak dibandingkan dengan jumlah *cycle* yang terjadi pada *Alluminium alloy* 5083. Berdasarkan teori perambatan retak, semakin banyak *cycle* yang dibutuhkan dalam perambatan retak material, semakin tahan material tersebut terhadap retak. Dari nilai perhitungan diatas dapat diketahui bahwa Baja ASTM A36 relatif lebih tahan terhadap perambatan retak dibandingkan dengan *Alluminium alloy* 5083.

Nilai jumlah *cycle* tersebut terjadi dikarenakan faktor dari parameter C dan m material itu sendiri. Untuk perhitungan dengan retak awal 1 mm dan 1,5 mm dapat dilihat pada **Lampiran C**.

4.5 Perhitungan Umur Lelah

Perhitungan umur lelah pelat geladak katamaran dilakukan dengan cara mengalikan nilai *cycle* dengan periode *encountered* kapal atau periode gelombang yang terjadi pada kapal. Kapal hanya akan terkena beban ketika terdapat gelombang yang mengenai kapal. Berikut adalah hasil perhitungan periode *encountered* (Te):

$$Te = \frac{Lw}{Vw - V\cos\mu} \tag{4.5}$$

Dimana,

$$Tw = \left(2\pi \frac{Lw}{g}\right)^{0,5} \tag{4.6}$$

$$Vw = \frac{Lw}{Tw} \tag{4.7}$$

Tabel 4.14 Nilai periode *encountered*

Lw (m)	g (m/s^2)	Tw	Vw	V (m/s)	M	cos μ	Te
25,95	9,8	4,08	6,36	12,86	180	-1	1,35

Hasil perhitungan *cycles* dengan periode *encountered* akan menghasilkan umur pelat dalam satuan detik. Untuk merubah umur kapal menjadi satuan tahun maka nilai hasil tersebut dibagi dengan jumlah detik dalam satu tahun yaitu 31536000 detik. Maka diperoleh umur pelat geladak sebagai berikut:

$$Umur = \frac{(N\ x\ Te)}{Jumlah\ detik\ dalam\ 1\ tahun} \tag{4.8}$$

Tabel 4.15 Umur lelah pelat geladak katamaran pada retak awal 0,5 mm dengan Persamaan Teori (Al 5083)

No	a_0 (m)	N (cycle)	Te	T (Detik)	Umur (Tahun)
1	0,0005	$4{,}53 \times 10^7$	1,35	$6{,}11 \times 10^7$	1,94
2	0,001	$9{,}78 \times 10^7$	1,35	$1{,}32 \times 10^8$	4,19
3	0,0015	$1{,}35 \times 10^8$	1,35	$1{,}82 \times 10^8$	5,78
4	0,002	1,63E+08	1,35	$2{,}21 \times 10^8$	6,99
5	0,0025	$1{,}86 \times 10^8$	1,35	$2{,}51 \times 10^8$	7,96
6	0,003	$2{,}0 \times 10^8$	1,35	$2{,}76 \times 10^8$	8,76
7	0,0035	$2{,}2 \times 10^8$	1,35	$2{,}97 \times 10^8$	9,43
8	0,004	$2{,}34 \times 10^8$	1,35	$3{,}16 \times 10^8$	10,01
9	0,0045	$2{,}46 \times 10^8$	1,35	$3{,}32 \times 10^8$	10,51

Tabel 4.16 Umur lelah pelat geladak katamaran pada retak awal 0,5 mm dengan *Software* (Al 5083)

No	a_0 (m)	N (cycle)	Te	T (detik)	Umur (Tahun)
1	0,0005	$4{,}82 \times 10^7$	1,35	$6{,}5 \times 10^7$	2,06
2	0,001	$1{,}03 \times 10^8$	1,35	$1{,}39 \times 10^8$	4,41
3	0,0015	$1{,}42 \times 10^8$	1,35	$1{,}92 \times 10^8$	6,07
4	0,002	$1{,}72 \times 10^8$	1,35	$2{,}32 \times 10^8$	7,35
5	0,0025	$1{,}95 \times 10^8$	1,35	$2{,}63 \times 10^8$	8,34
6	0,003	$2{,}14 \times 10^8$	1,35	$2{,}89 \times 10^8$	9,16
7	0,0035	$2{,}3 \times 10^8$	1,35	$3{,}11 \times 10^8$	9,87
8	0,004	$2{,}44 \times 10^8$	1,35	$3{,}29 \times 10^8$	10,45
9	0,0045	$2{,}55 \times 10^8$	1,35	$3{,}45 \times 10^8$	10,96

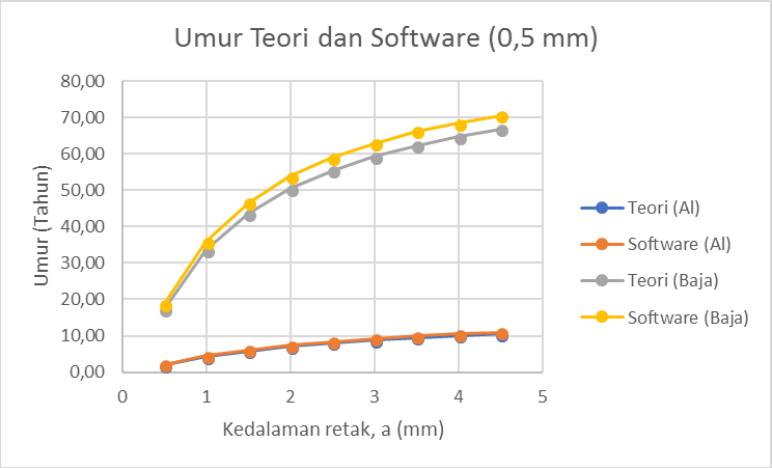
Tabel 4.17 Umur lelah pelat geladak katamaran pada retak awal 0,5 mm dengan Persamaan Teori (Baja A36)

No	a_0 (m)	N (cycle)	Te	T (detik)	Umur (Tahun)
1	0,0005	$4{,}02 \times 10^8$	1,35	$5{,}4 \times 10^8$	17,32
2	0,001	$7{,}8 \times 10^8$	1,35	$1{,}10 \times 10^9$	33,58
3	0,0015	$1{,}01 \times 10^9$	1,35	$1{,}4 \times 10^9$	43,60
4	0,002	$1{,}17 \times 10^9$	1,35	$1{,}6 \times 10^9$	50,47
5	0,0025	$1{,}29 \times 10^9$	1,35	$1{,}7 \times 10^9$	55,5
6	0,003	$1{,}38 \times 10^9$	1,35	$1{,}9 \times 10^9$	59,34
7	0,0035	$1{,}45 \times 10^9$	1,35	$1{,}98 \times 10^9$	62,36
8	0,004	$1{,}51 \times 10^9$	1,35	2×10^9	64,81
9	0,0045	$1{,}55 \times 10^9$	1,35	$2{,}1 \times 10^9$	66,83

Tabel 4.18 Umur lelah pelat geladak katamaran pada retak awal 0,5 mm dengan *Software* (Baja A36)

No	a_0 (m)	N (cycle)	Te	T (detik)	Umur (Tahun)
1	0,0005	$4{,}39 \times 10^8$	1,35	$5{,}92 \times 10^8$	18,79
2	0,001	$8{,}40 \times 10^8$	1,35	$1{,}13 \times 10^9$	35,96
3	0,0015	$1{,}09 \times 10^9$	1,35	$1{,}47 \times 10^9$	46,66
4	0,002	$1{,}26 \times 10^9$	1,35	$1{,}7 \times 10^9$	53,93
5	0,0025	$1{,}38 \times 10^9$	1,35	$1{,}86 \times 10^9$	59,07
6	0,003	$1{,}47 \times 10^9$	1,35	$1{,}99 \times 10^9$	62,92
7	0,0035	$1{,}55 \times 10^9$	1,35	$2{,}09 \times 10^9$	66,35
8	0,004	$1{,}60 \times 10^9$	1,35	$2{,}17 \times 10^9$	68,49
9	0,0045	$1{,}65 \times 10^9$	1,35	$2{,}23 \times 10^9$	70,63

Umur lelah yang diperoleh dari perhitungan teori dengan model *software* memiliki kedekatan dimana pada perhitungan teori, umur lelah dari pelat geladak kapal pada kedalaman retak akhir (af) 4,5 mm adalah 10,51 tahun. Sedangkan pada perhitungan model *software* umur lelah dari pelat geladak kapal adalah 10,96 tahun. Perbandingan antara hasil perhitungan teori dengan perhitungan model *software* ditampilkan pada **Gambar 4.5.**

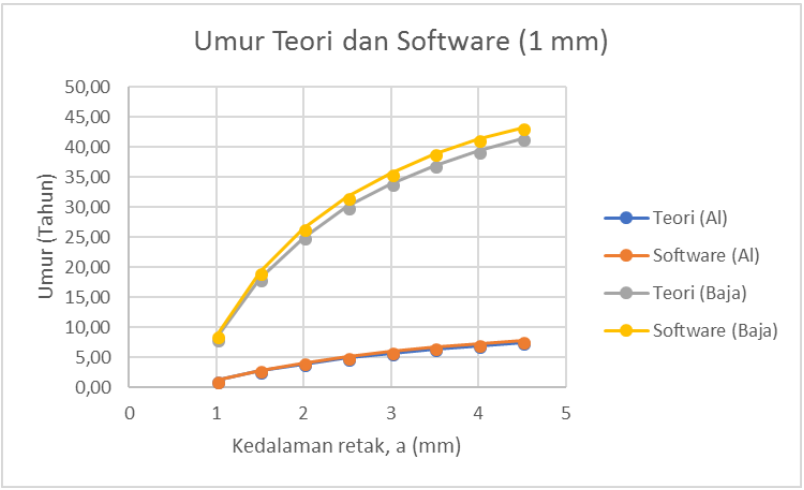


Gambar 4.5 Grafik umur lelah pelat retak awal 0,5 mm

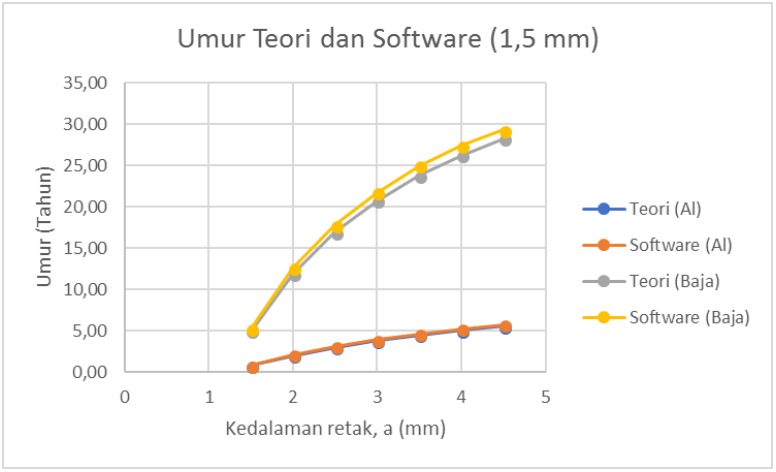
Hasil perhitungan variasi kedua dan ketiga dari perhitungan umur lelah ada pada **Tabel 4.19** sebagai berikut:

Tabel 4.19 Umur lelah pelat geladak

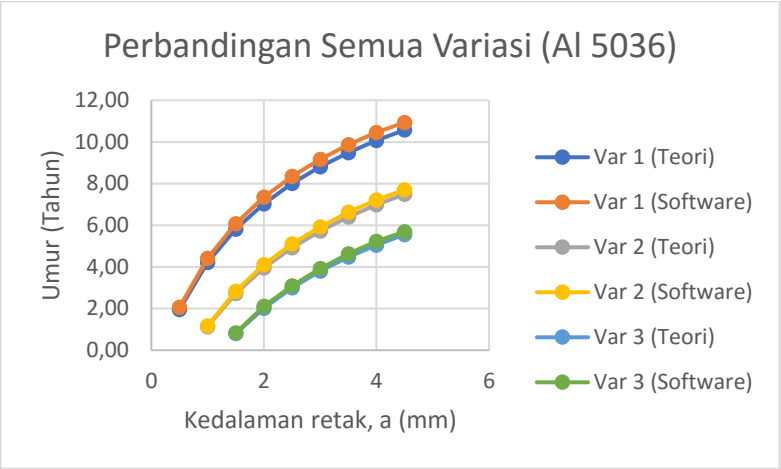
Retak Awal (mm)	Material			
	Aluminium 5083		Baja A36	
	Teoritis (Tahun)	Software (Tahun)	Teoritis (Tahun)	Software (Tahun)
0,5	10,5	10,9	66,8	70,6
1	7,45	7,7	41,4	43,2
1,5	5,53	5,7	28,2	29,3



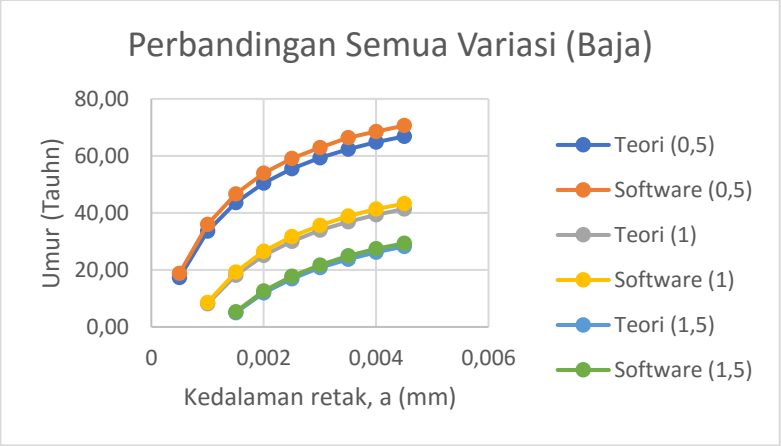
Gambar 4.6 Grafik umur lelah pelat retak awal 1 mm



Gambar 4.7 Grafik umur lelah pelat retak awal 1,5 mm



Gambar 4.8 Grafik umur lelah pelat semua variasi (Al 5036)



Gambar 4.9 Grafik umur lelah pelat semua variasi (Baja A36)

Dari ketiga grafik umur lelah diatas dapat diketahui bahwa umur lelah yang dihitung dengan menggunakan model *software* dan menggunakan persamaan teori Newman Raju. Umur lelah untuk material *alluminium alloy* rata-rata pada retak awal 0,5 mm

adalah 10,7 tahun. Pada retak awal 1 mm adalah 7,5 tahun sedangkan pada retak awal 1,5 mm adalah 5,5 tahun.

Sedangkan untuk material Baja ASTM A36 memiliki perbedaan umur yang cukup jauh yaitu rata-rata 68 tahun untuk retak awal 0,5 mm; 42 tahun untuk retak awal 1 mm dan 28,5 tahun untuk retak awal 1,5 mm. Dari perbedaan tersebut dapat diketahui bahwa penggunaan pelat geladak dengan material Baja ASTM A36 akan lebih baik jika dibandingkan dengan pelat geladak berbahan dasar *Alluminium alloy* 5083.

Penggunaan *Alluminium alloy* 5083 sebagai pelat geladak adalah dikarenakan memiliki bobot lebih ringan jika dibandingkan dengan Baja ASTM A36. Sehingga ketika berlayar, bahan bakar yang digunakan oleh Kapal berbahan dasar aluminium relatif lebih hemat dibanding dengan kapal berbahan dasar baja. Perbandingan pelat kapal berbahan aluminium dan pelat kapal berbahan baja disajikan dalam **Tabel 4.20.**

Tabel 4.20 Harga Pasaran Pelat Geladak

Material	Ukuran (mm) (TebalxPanjangxLebar)	Berat (Kg)	Harga (Rp)
Al 5083	6 x 1500 x 6000	144	10,700,000
Baja A36	6 *x* 12 x 600	438	3,285,000

Jika dihubungkan dengan nilai ekonomis dan dikaji berdasarkan dengan harga pelat saja. Dengan ukuran yang sama, penggunaan pelat Baja A36 lebih baik jika dibandingkan dengan pelat Aluminium 5083. Karena meskipun akan bernilai mahal ketika pembelian pertama, namun dengan umur lelah lebih lama akan lebih menghemat pengeluaran. Lain hal nya dengan pelat Aluminium 5083 yang memiliki harga lebih murah namun memiliki umur lelah yang lebih pendek sehingga memiliki waktu reparasi yang lebih pendek dibandingkan dengan pelat Baja ASTM A36. Penggunaan pelat Baja ASTM A36 pada geladak akan menambah umur pakai kapal terutama jika kapal yang digunakan

adalah kapal yang berlayar di perairan yang memiliki gelombang yang tinggi.

Dalam (Bhattacharyya, 1978), disebutkan bahwa tegangan yang terjadi pada penampang geladak kapal katamaran bergantung pada dimensi dari kapal tersebut. Oleh karena itu, perhitungan umur pada pelat geladak kapal ini hanya berlaku pada KMP. Katamaran pada penelitian Norman Yasser Arrazi karena tegangan yang digunakan dalam perhitungan berdasarkan tegangan yang dihasilkan dari penelitian tersebut, adapun kapal tersebut memiliki dimensi sebagai berikut:

Tabel 4.21 Data dimensi kapal

Prinsipal	Dimensi
Loa	25,95 m
Lpp	24,27 m
B	9,9 m
H	2,5 m
T	1,18 m
Vmax, Vs	25, 20 knot
Displacement	89,016 ton

Dimana,

Loa	:	Panjang dari ujung haluan kapal hingga ujung buritan kapal (*Lenght of Average*)
Lpp	:	Panjang dari garis tegak haluan hingga garis tegak buritan kapal (*Lenght Perpendicular*)
B	:	Lebar kapal (*Breadth*)
H	:	Tinggi kapal diukur dari jarak terendah geladak
T	:	Jarak antara garis dasar kapal hingga garis air muat
Vmax, Vs	:	Kecepatan maksimum, Kecepatan dinas
Displacement	:	Berat kotor kapal

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam tugas akhir ini antara lain, adalah :

1. Nilai SIF terbesar adalah 389,46 $N.mm^{-3/2}$ untuk perhitungan teori dan sebesar 395,54 $N.mm^{-3/2}$ untuk perhitungan *software*. Nilai tersebut masih jauh dibawah *fracture toughness* (K_{IC}) *aluminium* yaitu sebesar 1359,78 $N.mm^{-3/2}$. Dengan kata lain pelat geladak kapal masih memenuhi kriteria desain material.
2. Pelat geladak dengan material baja ASTM A36 memiliki umur yang lebih lama yaitu 70,6 tahun untuk a_0 0,5 mm; 43,2 tahun untuk a_0 1 mm; dan 29,3 tahun untuk a_0 1,5 mm. Sedankan pelat geladak dengan material *aluminium alloy* 5083 yang berumur 10,9 tahun untuk a_0 05, mm; 7,7 tahun untuk a_0 1 mm dan 5,7 tahun untuk a_0 1,5 mm.
3. Kesalahan hasil perhitungan rata-rata sekitar 2%. Hal ini dikarenakan pada perhitungan persamaan teori nilai Q atau parameter cacat didapatkan dengan perhitungan sedangkan pada *software* nilai Q menggunakan nilai parameter yang tidak sama.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan metode retak tembus ketebalan (*trough thickness crack*).
2. Perlu dilakukan penilitian lanjut untuk perambatan retak pada pelat dengan mempertimbangkan kedua arah *orthogonal*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Yasser Arrazi, Norman., (2015). *Analisa Kekuatan Struktur pada Sambungan Deck dengan Lambung Bagian Dalam pada KMP. Katamaran dengan Bahan Aluminium Alloy Akibat Pengaruh Gerak Heave Pitch dengan Metode Elemen Hingga***.** Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 3, Jurusan Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.

Ilman, M. Noer., dan Wartono, (2013). *Fatigue Crack Growth Behaviour of Shot Peened 5083 Aluminium alloy Friction Stir Welds.* International Confrence on Joining Materials.

Newman, J.C., dan Raju, I.R., (1981). *An Empirical Stress-Intensity Factor Equation for The Surface Crack*. Engineering Fracture Mechanics, Vol. 15, No. 1-2, 185-192.

Barsom, J.M., dan Rolfe, S.T. (1987). *Fracture and Fatigue Control in Structures, Second Edition.* New Jersey: Prentice Hall, Inc.

Broek, D. (1984). *Elementary Engineering Fracture Mechanics.* Netherlands: Martinus Nijhoff Publisher.

Siswosuwarno, M., dan Ichsan S.P. (1987). *Penerapan Fracture Mechanics pada Prediksi Umur Kelelahan.* Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Stoychev, S., dan Kujawski, D. (2008). *Crack-tip Stresses and Their Effects on Stress Intensity Factor for Crack Propagation*. Engineering Fracture Mechanics, 75 2469-2479.

Biro Klasifikasi Indonesia, (2015). *Guidelines for the Classification and Construction: Guidelines for Condition Assesment Program*. Aturan BKI, Vol. 11.

Susatio, Y., (2004). *Dasar-dasar Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.

Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Mott, P.H., dan Roland, C.M., (2009). *Limits to Poison's ratio in isotropic materials*. Chemistry Division, Washington DC: Naval Research Laboratory, 20375-532.

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN *STRESS INTESITY FACTOR*

$Ki = \sigma \sqrt{\pi} \frac{a}{Q} F$ (*Stress Intensity Factor*)

Q = $1+1{,}464\ \beta^{1,65}$

F = $[M1 + M2\ \alpha^2 + M3\ \alpha^4].\ f_{\theta}.\ f_w.\ g$

Dimana,

σ = Tegangan Tarik (134 N/mm^2)

a = Kedalaman retak

c = Panjang retak

b = Jarak terdekat dengan pelat

$\alpha = a/t$ $\beta = a/c$

$M_1 = 1{,}13 - 0{,}009\ \beta$

$M_2 = -0{,}54 + 0{,}89 / (0{,}2 + \beta)$

$M_3 = 0{,}5 - 1 / (0{,}68 + \beta) + 14\ (1 - \beta)^{24}$

$f_w = (\sec (\pi/2b*\alpha^{0,5})^{0,5}$

$g = 1 + (0{,}1+0{,}35\ \alpha^2)(1-\sin \theta)^2$

$f\theta = (\beta^2 + \cos^2 \theta + \sin^2 \theta)^{1/4}$

Tabel A.1 Variasi 1 (a_0 = 0,5 mm dan 2c = 2 mm)

No	Stress (N/mm^0,5)	a0 (mm)	c (mm)	af (mm)	t (mm)	derajat	b (mm)	a/c	a/t	Q	M1	M2	M3	fw	g	fteta	F	K (N/mm^3/2)	K (MN/m^3/2)
1	134	0,5	1	1	6	90	300	0,5	0,08	1,47	1,09	0,73	-0,37	1,00	1	1	1,09	151,14	0,15114
2	134	1	1,5	1,5	6	90	300	0,67	0,17	1,75	1,07	0,49	-0,26	1,00	1	1	1,08	194,46	0,19446
3	134	1,5	2	2	6	90	300	0,75	0,25	1,91	1,06	0,40	-0,21	1,00	1	1	1,09	228,58	0,22858
4	134	2	2,5	2,5	6	90	300	0,80	0,33	2,01	1,06	0,35	-0,19	1,00	1	1	1,09	259,06	0,25906
5	134	2,5	3	3	6	90	300	0,83	0,42	2,08	1,06	0,32	-0,17	1,00	1	1	1,11	287,55	0,28755
6	134	3	3,5	3,5	6	90	300	0,86	0,50	2,14	1,05	0,30	-0,16	1,00	1	1	1,12	314,71	0,31471
7	134	3,5	4	4	6	90	300	0,88	0,58	2,17	1,05	0,29	-0,16	1,00	1	1	1,13	340,79	0,34079
8	134	4	4,5	4,5	6	90	300	0,89	0,67	2,21	1,05	0,28	-0,15	1,00	1	1	1,14	365,76	0,36576
9	134	4,5	5	5	6	90	300	0,90	0,75	2,23	1,05	0,27	-0,15	1,00	1	1	1,15	389,41	0,38941

Tabel A.2 Variasi 2 (a_0 = 1 mm dan 2c = 3 mm)

No	Stress (N/mm^0,5)	a0 (mm	c (mm	af (mm)	t (mm)	derajat	b (mm)	a/c	a/t	Q	M1	M2	M3	fw	g	fteta	F	K (N/mm^3/2)	K (MN/m^3/2
1	134	1	1,5	1,5	6	90	300	0,67	0,17	1,75	1,07	0,49	-0,26	1,00	1	1	1,08	194,46	0,19446
2	134	1,5	2	2	6	90	300	0,75	0,25	1,91	1,06	0,40	-0,21	1,00	1	1	1,09	228,58	0,22858
3	134	2	2,5	2,5	6	90	300	0,80	0,33	2,01	1,06	0,35	-0,19	1,00	1	1	1,09	259,06	0,25906
4	134	2,5	3	3	6	90	300	0,83	0,42	2,08	1,06	0,32	-0,17	1,00	1	1	1,11	287,55	0,28755
5	134	3	3,5	3,5	6	90	300	0,86	0,50	2,14	1,05	0,30	-0,16	1,00	1	1	1,12	314,72	0,31472
6	134	3,5	4	4	6	90	300	0,88	0,58	2,17	1,05	0,29	-0,16	1,00	1	1	1,13	340,79	0,34079
7	134	4	4,5	4,5	6	90	300	0,89	0,67	2,21	1,05	0,28	-0,15	1,00	1	1	1,14	365,77	0,36577
8	134	4,5	5	5	6	90	300	0,90	0,75	2,23	1,05	0,27	-0,15	1,00	1	1	1,15	389,36	0,38936

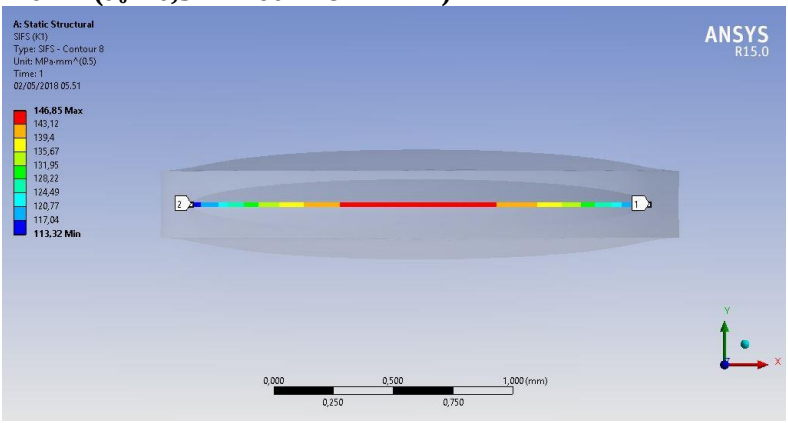
Tabel A.3 Variasi 2 (a_0 = 1,5 mm dan 2c = 4 mm)

No	Stress (N/mm^1/2)	a0 (m	c (mm	af (mm	t (mm	derajat	b (mm)	a/c	a/t	Q	M1	M2	M3	fw	g	fteta	F	K (N/mm^3/2	K (MN/m^3/2)
1	134	1,5	2	2	6	90	300	0,75	0,25	1,91	1,06	0,40	-0,21	1	1	1	1,09	228,58	0,22858
2	134	2	2,5	2,5	6	90	300	0,8	0,33	2,01	1,06	0,35	-0,19	1	1	1	1,09	259,06	0,25906
3	134	2,5	3	3	6	90	300	0,83	0,42	2,08	1,06	0,32	-0,17	1	1	1	1,11	287,55	0,28755
4	134	3	3,5	3,5	6	90	300	0,86	0,50	2,14	1,05	0,30	-0,16	1	1	1	1,12	314,72	0,31472
5	134	3,5	4	4	6	90	300	0,88	0,58	2,17	1,05	0,29	-0,16	1	1	1	1,13	340,79	0,34079
6	134	4	4,5	4,5	6	90	300	0,89	0,67	2,21	1,05	0,28	-0,15	1	1	1	1,14	365,77	0,36577
7	134	4,5	5	5	6	90	300	0,90	0,75	2,23	1,05	0,27	-0,15	1	1	1	1,15	389,36	0,38936

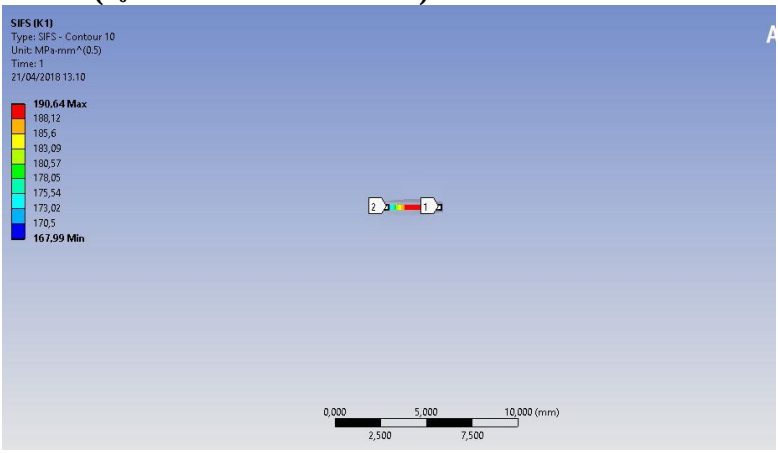
LAMPIRAN B
GAMBAR HASIL SIMULASI

B.1 Material Aluminium alloy 5083

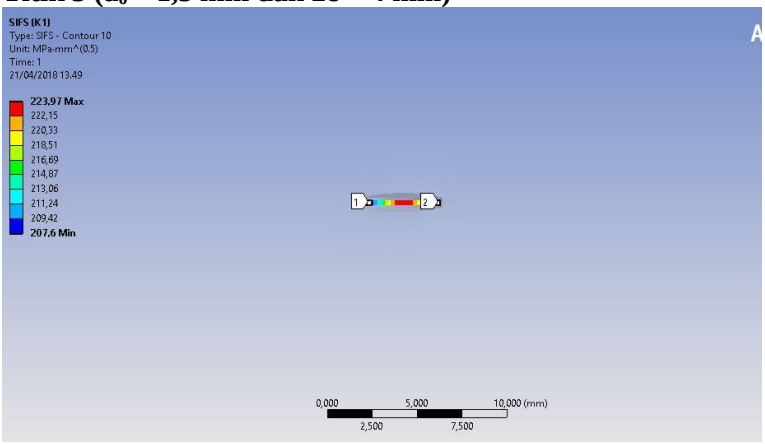
Titik 1 (a_0 = 0,5 mm dan 2c = 2 mm)



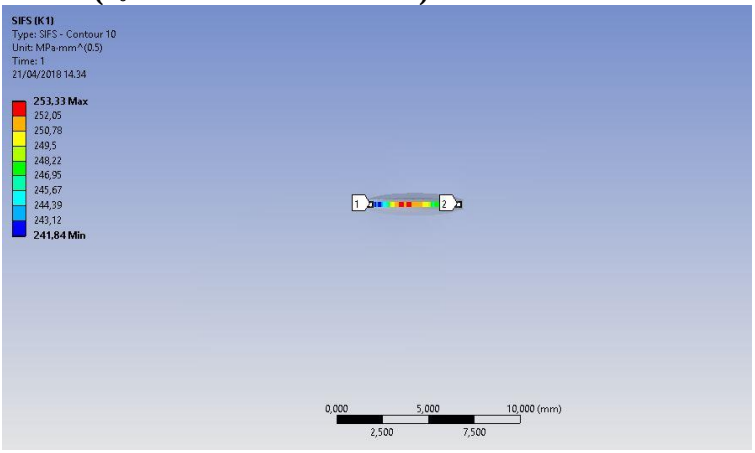
Titik 2 (a_0 = 1 mm dan 2c = 3 mm)



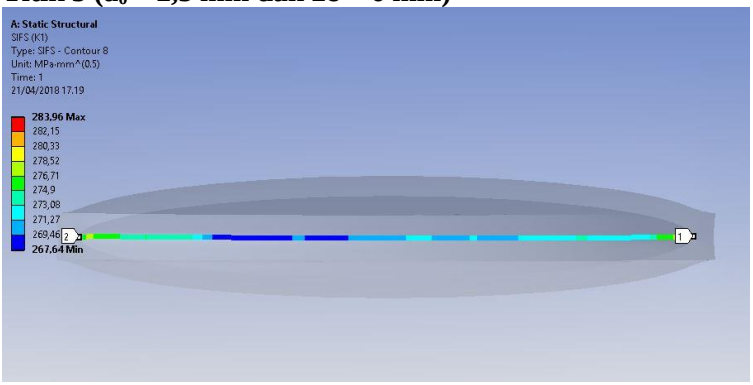
Titik 3 (a_0 = 1,5 mm dan 2c = 4 mm)



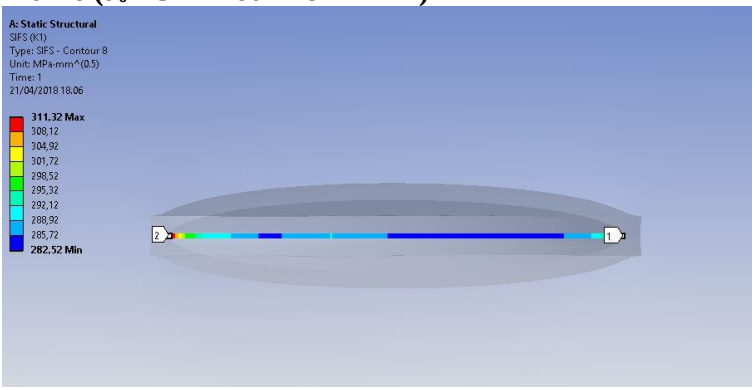
Titik 4 (a_0 = 2 mm dan 2c = 5 mm)



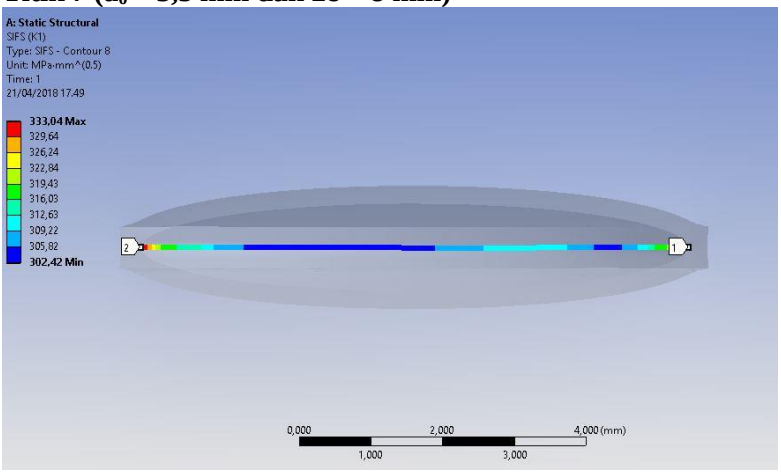
Titik 5 (a_0 = 2,5 mm dan 2c = 6 mm)



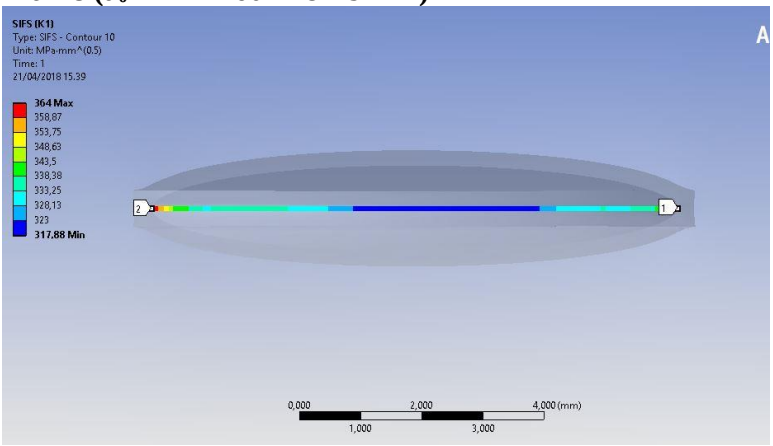
Titik 6 (a_0 = 3 mm dan 2c = 7 mm)



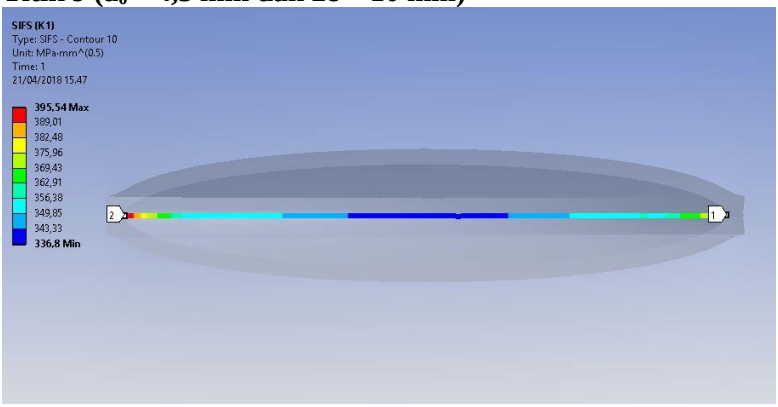
Titik 7 (a_0 = 3,5 mm dan 2c = 8 mm)



Titik 8 (a_0 = 4 mm dan 2c = 9 mm)

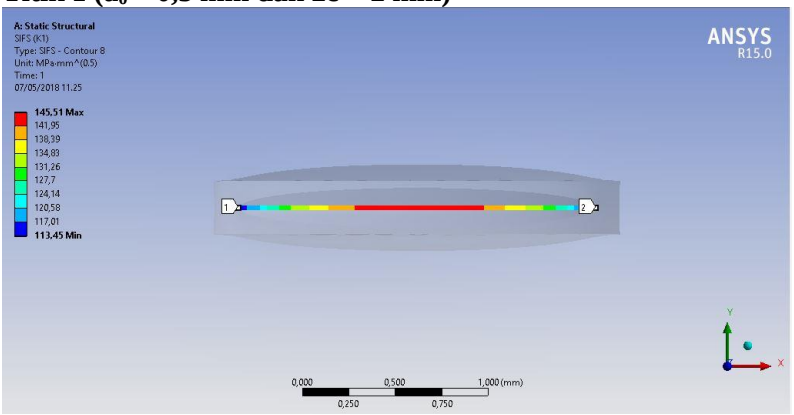


Titik 9 (a_0 = 4,5 mm dan 2c = 10 mm)

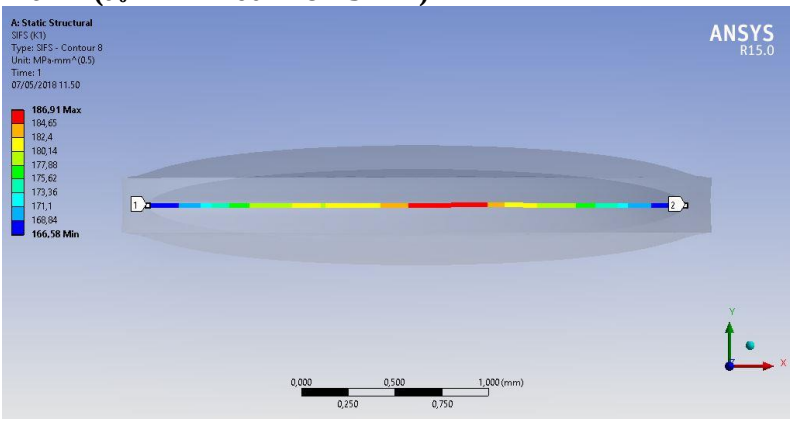


B.2 Material Baja ASTM A36

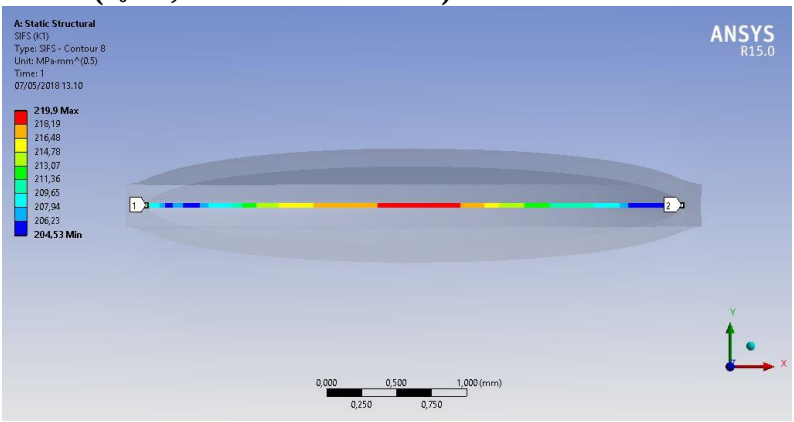
Titik 1 (a_0 = 0,5 mm dan 2c = 2 mm)



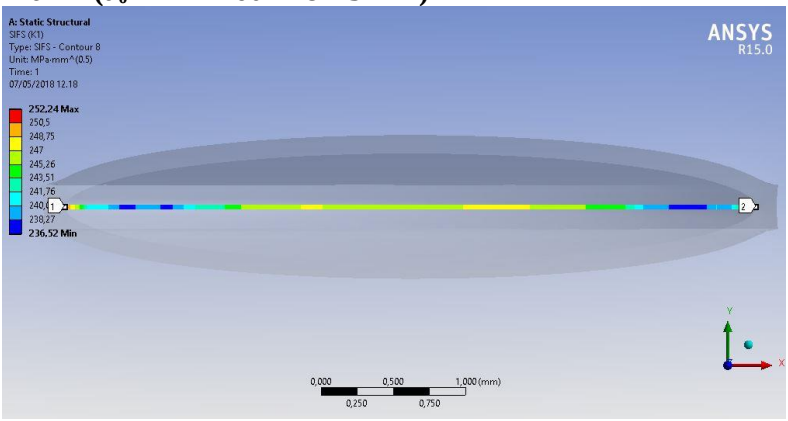
Titik 2 (a_0 = 1 mm dan 2c = 3 mm)



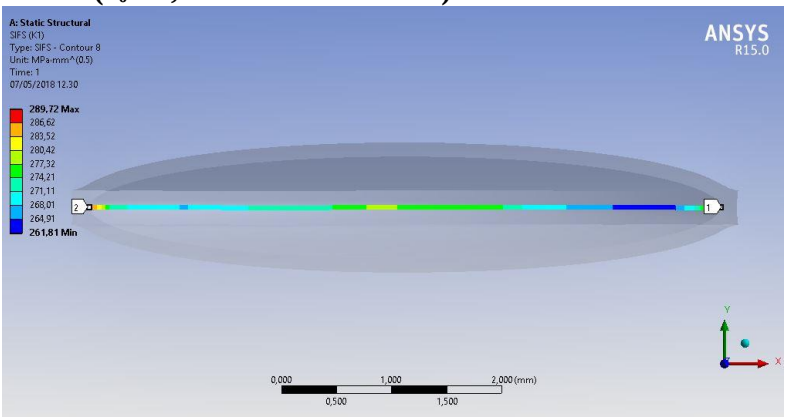
Titik 3 (a_0 = 1,5 mm dan 2c = 4 mm)



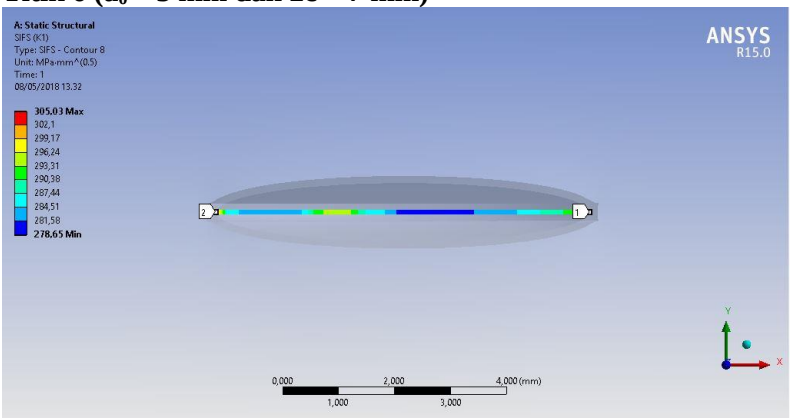
Titik 4 (a_0 = 2 mm dan 2c = 5 mm)



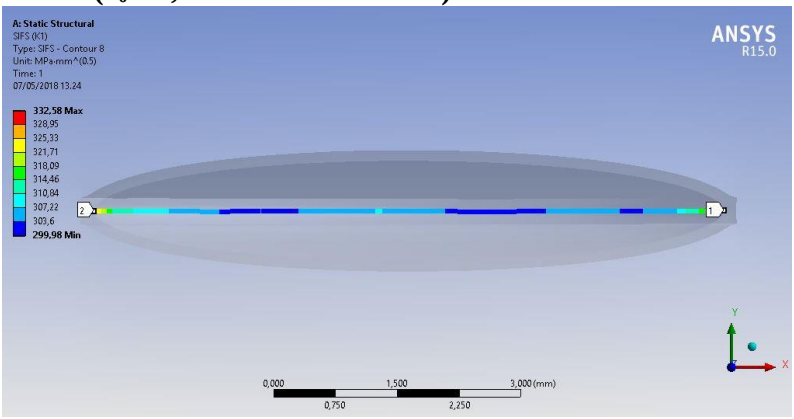
Titik 5 (a_0 = 2,5 mm dan 2c = 6 mm)



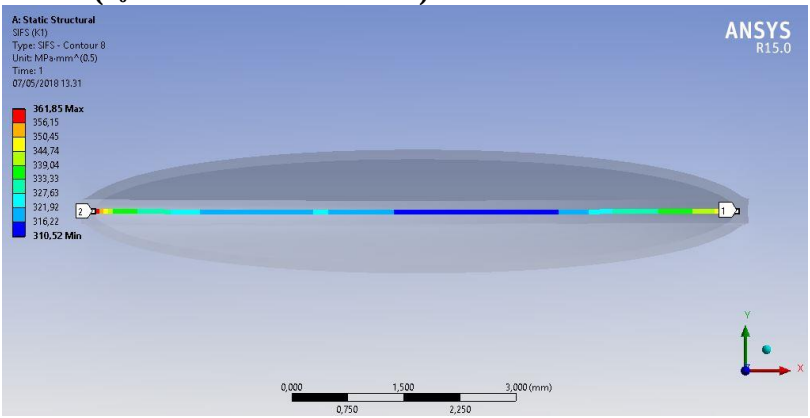
Titik 6 (a_0 = 3 mm dan 2c = 7 mm)



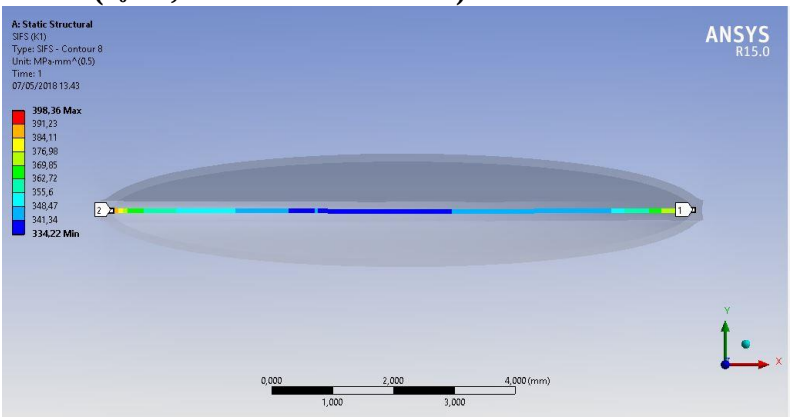
Titik 7 (a_0 = 3,5 mm dan 2c = 8 mm)



Titik 8 (a_0 = 4 mm dan 2c = 9 mm)



Titik 9 (a_0 = 4,5 mm dan 2c = 10 mm)



LAMPIRAN C
PERHITUNGAN LAJU PERAMBATAN RETAK

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$$

Dimana,
da/dN = Laju Perambatan Retak (m/siklus)
K = *Stress Intensity Factor* ($N/mm^{-3/2}$)
C, m = Konstanta Retak Material
N = Siklus (*Cycles*)

Perhitungan perambatan retak dilakukan hingga retak mencapai 75% ketebalan atau 4,5 mm.

C.1 Laju Perambatan Retak (Teoritis) Al 5083

C = $6{,}48 \times 10^{-10}$
m = 2,16

Tabel C.1.1 Laju Perambatan Retak Al 5083
a_0 = 0,5 mm 2c = 2 mm

No	a (mm)	SIF Teoritis ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	0,5	151,17	$1{,}10 \times 10^{-11}$
2	1	194,51	$1{,}90 \times 10^{-11}$
3	1,5	228,63	$2{,}69 \times 10^{-11}$
4	2	259,12	$3{,}53 \times 10^{-11}$
5	2,5	287,61	$4{,}42 \times 10^{-11}$
6	3	314,78	$5{,}37 \times 10^{-11}$
7	3,5	340,84	$6{,}37 \times 10^{-11}$
8	4	365,82	$7{,}42 \times 10^{-11}$
9	4,5	389,46	$8{,}49 \times 10^{-11}$

Tabel C.1.2 Laju Perambatan Retak Al 5083
a_0 = 1 mm 2c = 3 mm

No	a (mm)	SIF Teoritis ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	1	194,51	$1,90 \times 10^{-11}$
2	1,5	228,63	$2,69 \times 10^{-11}$
3	2	259,12	$3,53 \times 10^{-11}$
4	2,5	287,61	$4,42 \times 10^{-11}$
5	3	314,78	$5,37 \times 10^{-11}$
6	3,5	340,84	$6,37 \times 10^{-11}$
7	4	365,82	$7,42 \times 10^{-11}$
8	4,5	389,46	$8,49 \times 10^{-11}$

Tabel C.1.3 Laju Perambatan Retak Al 5083
a_0 = 1,5 mm 2c = 4 mm

No	a (mm)	SIF Teoritis ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	1,5	228,63	$2,69 \times 10^{-11}$
2	2	259,12	$3,53 \times 10^{-11}$
3	2,5	287,61	$4,42 \times 10^{-11}$
4	3	314,78	$5,37 \times 10^{-11}$
5	3,5	340,84	$6,37 \times 10^{-11}$
6	4	365,82	$7,42 \times 10^{-11}$
7	4,5	389,46	$8,49 \times 10^{-11}$

C.2 Laju Perambatan Retak (Software) Al 5083

Tabel C.2.1 Laju Perambatan Retak Al 5083
a_0 = 0,5 mm 2c = 2 mm

No	a_0 (mm)	SIF (N/mm$^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	0,5	146,85	1,04 x10^{-11}
2	1	190,64	1,82 x10^{-11}
3	1,5	223,97	2,58 x10^{-11}
4	2	253,33	3,36 x10^{-11}
5	2,5	283,96	4,30 x10^{-11}
6	3	311,32	5,24 x10^{-11}
7	3,5	333,04	6,06 x10^{-11}
8	4	364,01	7,34 x10^{-11}
9	4,5	395,54	8,79x10^{-11}

Tabel C.2.2 Laju Perambatan Retak Al 5083
a_0 = 1 mm 2c = 3 mm

No	a_0 (mm)	SIF (N/mm$^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	1	190,64	1,82 x10^{-11}
2	1,5	223,97	2,58 x10^{-11}
3	2	253,33	3,36 x10^{-11}
4	2,5	283,96	4,30 x10^{-11}
5	3	311,32	5,24 x10^{-11}
6	3,5	333,04	6,06 x10^{-11}
7	4	364,01	7,34 x10^{-11}
8	4,5	395,54	8,79x10^{-11}

Tabel C.2.3 Laju Perambatan Retak Al 5083
a_0 = 1,5 mm 2c = 4 mm

No	a_0 (mm)	SIF ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	1,5	223,97	$2,58 \times 10^{-11}$
2	2	253,33	$3,36 \times 10^{-11}$
3	2,5	283,96	$4,30 \times 10^{-11}$
4	3	311,32	$5,24 \times 10^{-11}$
5	3,5	333,04	$6,06 \times 10^{-11}$
6	4	364,01	$7,34 \times 10^{-11}$
7	4,5	395,54	$8,79 \times 10^{-11}$

C.3 Laju Perambatan Retak (Teoritis) Baja A36

C = $3,6 \times 10^{-10}$
m = 3

Tabel C.3.1 Laju Perambatan Retak Baja A36
a_0 = 0,5 mm 2c = 2 mm

No	a_0 (mm)	SIF Teoritis ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	0,5	151,14	$1,24 \times 10^{-12}$
2	1	194,46	$2,65 \times 10^{-12}$
3	1,5	228,58	$4,30 \times 10^{-12}$
4	2	259,06	$6,26 \times 10^{-12}$
5	2,5	287,55	$8,56 \times 10^{-12}$
6	3	314,71	$1,12 \times 10^{-11}$
7	3,5	340,79	$1,42 \times 10^{-11}$
8	4	365,76	$1,76 \times 10^{-11}$
9	4,5	389,41	$2,13 \times 10^{-11}$

Tabel C.3.2 Laju Perambatan Retak Baja A36
a_0 = 1 mm 2c = 3 mm

No	a_0 (mm)	SIF ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	1	194,46	$2,65 \times 10^{-12}$
2	1,5	228,58	$4,30 \times 10^{-12}$
3	2	259,06	$6,26 \times 10^{-12}$
4	2,5	287,55	$8,56 \times 10^{-12}$
5	3	314,71	$1,12 \times 10^{-11}$
6	3,5	340,79	$1,42 \times 10^{-11}$
7	4	365,76	$1,76 \times 10^{-11}$
8	4,5	389,41	$2,13 \times 10^{-11}$

Tabel C.3.3 Laju Perambatan Retak Baja
a_0 = 1,5 mm 2c = 4 mm

No	a_0 (mm)	SIF ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	1,5	228,58	$4,30 \times 10^{-12}$
2	2	259,06	$6,26 \times 10^{-12}$
3	2,5	287,55	$8,56 \times 10^{-12}$
4	3	314,71	$1,12 \times 10^{-11}$
5	3,5	340,79	$1,42 \times 10^{-11}$
6	4	365,76	$1,76 \times 10^{-11}$
7	4,5	389,41	$2,13 \times 10^{-11}$

C.4 Laju Perambatan Retak (*Software*) Baja A36

C = $3{,}6 \times 10^{-10}$

m = 3

Tabel C.4.1 Laju Perambatan Retak Baja A36

a_0 = 0,5 mm 2c = 2 mm

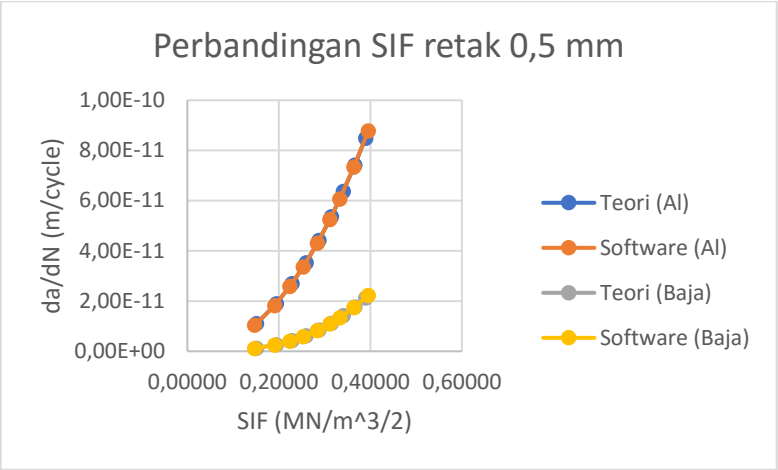
No	a_0 (mm)	SIF Teoritis ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	0,5	146,85	$1{,}14 \times 10^{-12}$
2	1	190,64	$2{,}49 \times 10^{-12}$
3	1,5	223,97	$4{,}04 \times 10^{-12}$
4	2	253,33	$5{,}85 \times 10^{-12}$
5	2,5	283,96	$8{,}24 \times 10^{-12}$
6	3	311,32	$1{,}09 \times 10^{-11}$
7	3,5	333,04	$1{,}33 \times 10^{-11}$
8	4	364,01	$1{,}74 \times 10^{-11}$
9	4,5	395,54	$2{,}23 \times 10^{-11}$

Tabel C.4.2 Laju Perambatan Retak Baja A36
a_0 = 1 mm 2c = 3 mm

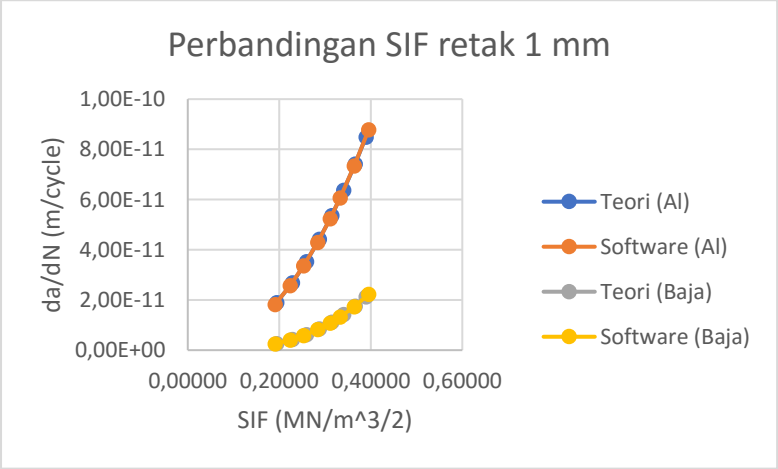
No	a_0 (mm)	SIF ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	1	190,64	$2,49 \times 10^{-12}$
2	1,5	223,97	$4,04 \times 10^{-12}$
3	2	253,33	$5,85 \times 10^{-12}$
4	2,5	283,96	$8,24 \times 10^{-12}$
5	3	311,32	$1,09 \times 10^{-11}$
6	3,5	333,04	$1,33 \times 10^{-11}$
7	4	364,01	$1,74 \times 10^{-11}$
8	4,5	395,54	$2,23 \times 10^{-11}$

Tabel C.4.3 Laju Perambatan Retak Baja A36
a_0 = 1,5 mm 2c = 4 mm

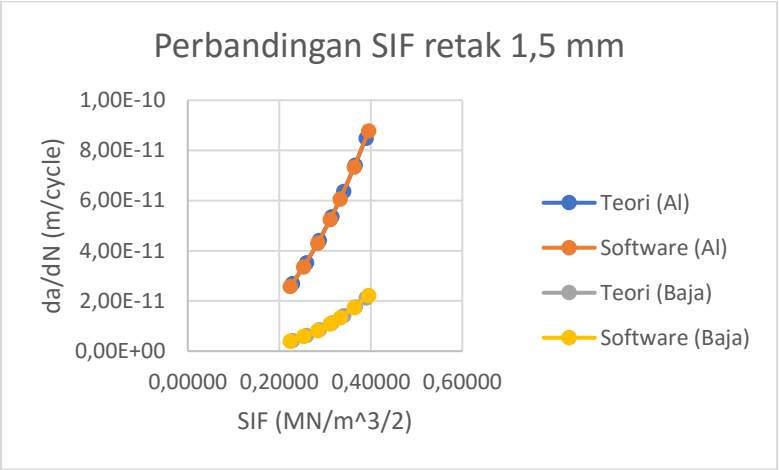
No	a_0 (mm)	SIF ($N/mm^{3/2}$)	da/dN (m/cycle)
1	1,5	223,97	$4,04 \times 10^{-12}$
2	2	253,33	$5,85 \times 10^{-12}$
3	2,5	283,96	$8,24 \times 10^{-12}$
4	3	311,32	$1,09 \times 10^{-11}$
5	3,5	333,04	$1,33 \times 10^{-11}$
6	4	364,01	$1,74 \times 10^{-11}$
7	4,5	395,54	$2,23 \times 10^{-11}$



Gambar C.1 Perbandingan SIF dan Laju Perambatan Retak



Gambar C.2 Perbandingan SIF dan Laju Perambatan Retak



Gambar C.3 Perbandingan SIF dan Laju Perambatan Retak

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN N (*CYCLE*)

$$\int_{a0}^{af} dN = \int_{a0}^{af} \frac{da}{C(\Delta K)^n}$$

$$N = \int_{a0}^{af} \frac{da}{C(\Delta K)^n}$$

Dimana,

da = Pertambahan panjang retak
dN = Pertambahan jumlah siklus dari beban
C = Konstanta material berdasarkan empiris
n = Konstanta material berdasarkan empiris
K = SIF
af = Panjang retak setelah pembebanan
a0 = Panjang retak sebelum pembebanan

D.1 Jumlah N (*Cycle*) Teoritis Al 5083

Tabel D.1.1 Jumlah N (*Cycle*) Al 5083

a_0 = 0,5 mm 2c = 2 mm

No	a (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	0,5	$1,10 \times 10^{-11}$	$4,5 \times 10^{7}$
2	1	$1,90 \times 10^{-11}$	$9,8 \times 10^{7}$
3	1,5	$2,69 \times 10^{-11}$	$1,35 \times 10^{8}$
4	2	$3,53 \times 10^{-11}$	$1,63 \times 10^{8}$
5	2,5	$4,42 \times 10^{-11}$	$1,86 \times 10^{8}$
6	3	$5,37 \times 10^{-11}$	$2,05 \times 10^{8}$
7	3,5	$6,37 \times 10^{-11}$	$2,2 \times 10^{8}$
8	4	$7,42 \times 10^{-11}$	$2,34 \times 10^{8}$

No	a (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
9	4,5	8,49E-11	$2,5x10^{8}$

Tabel D.1.2 Jumlah N (*Cycle*) Al 5083
a_0 = 1 mm 2c = 3 mm

No	a (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	1	$1,90\ x10^{-11}$	$2,6x10^{7}$
2	1,5	$2,69\ x10^{-11}$	$6,3x10^{7}$
3	2	$3,53\ x10^{-11}$	$9,2\ x10^{7}$
4	2,5	$4,42\ x10^{-11}$	$1,1\ x10^{8}$
5	3	$5,37\ x10^{-11}$	$1,3\ x10^{8}$
6	3,5	$6,37\ x10^{-11}$	$1,5\ x10^{8}$
7	4	$7,42\ x10^{-11}$	$1,6\ x10^{8}$
8	4,5	$8,49x10^{-11}$	$1,7\ x10^{8}$

Tabel D.1.3 Jumlah N (*Cycle*) Al 5083
a_0 = 1,5 mm 2c = 4 mm

No	a (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	1,5	$2,69\ x10^{-11}$	$1,9\ x10^{7}$
2	2	$3,53\ x10^{-11}$	$4,7\ x10^{7}$
3	2,5	$4,42\ x10^{-11}$	$7\ x10^{7}$
4	3	$5,37\ x10^{-11}$	$8,8\ x10^{7}$
5	3,5	$6,37\ x10^{-11}$	$1\ x10^{8}$
6	4	$7,42\ x10^{-11}$	$1,2\ x10^{8}$
7	4,5	$8,49x10^{-11}$	$1,3\ x10^{8}$

D.2 Jumlah N (*Cycle*) (Software) Al 5083

Tabel D.2.1 Jumlah N (*Cycle*) Al 5083
a_0 = 0,5 mm 2c = 2 mm

No	a_0 (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	0,5	$1,04 \times 10^{-11}$	$4,8 \times 10^{7}$
2	1	$1,82 \times 10^{-11}$	1×10^{8}
3	1,5	$2,58 \times 10^{-11}$	$1,4 \times 10^{8}$
4	2	$3,36 \times 10^{-11}$	$1,7 \times 10^{8}$
5	2,5	$4,30 \times 10^{-11}$	$1,9 \times 10^{8}$
6	3	$5,24 \times 10^{-11}$	$2,1 \times 10^{8}$
7	3,5	$6,06 \times 10^{-11}$	$2,3 \times 10^{8}$
8	4	$7,34 \times 10^{-11}$	$2,4 \times 10^{8}$
9	4,5	$8,79 \times 10^{-11}$	$2,6 \times 10^{8}$

Tabel D.2.2 Jumlah N (*Cycle*) Al 5083
a_0 = 1 mm 2c = 3 mm

No	a_0 (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	1	$1,82 \times 10^{-11}$	$2,7 \times 10^{7}$
2	1,5	$2,58 \times 10^{-11}$	$6,6 \times 10^{7}$
3	2	$3,36 \times 10^{-11}$	$9,6 \times 10^{7}$
4	2,5	$4,30 \times 10^{-11}$	$1,2 \times 10^{8}$
5	3	$5,24 \times 10^{-11}$	$1,4 \times 10^{8}$
6	3,5	$6,06 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{8}$
7	4	$7,34 \times 10^{-11}$	$1,7 \times 10^{8}$
8	4,5	$8,79 \times 10^{-11}$	$1,8 \times 10^{8}$

Tabel D.2.3 Jumlah N (*Cycle*) Al 5083
a_0 = 1,5 mm 2c = 4 mm

No	a_0 (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	1,5	$2,58 \times 10^{-11}$	$1,9 \times 10^{7}$
2	2	$3,36 \times 10^{-11}$	$4,9 \times 10^{7}$
3	2,5	$4,30 \times 10^{-11}$	$7,2 \times 10^{7}$
4	3	$5,24 \times 10^{-11}$	$9,1 \times 10^{7}$
5	3,5	$6,06 \times 10^{-11}$	$1,08 \times 10^{8}$
6	4	$7,34 \times 10^{-11}$	$1,22 \times 10^{8}$
7	4,5	$8,79 \times 10^{-11}$	$1,33 \times 10^{8}$

D.3 Laju Perambatan Retak (Teoritis) Baja A36

Tabel D.3.1 Jumlah N (*Cycle*) Baja A36
a_0 = 0,5 mm 2c = 2 mm

No	a_0 (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	0,5	$1,24 \times 10^{-12}$	$4,02 \times 10^{8}$
2	1	$2,65 \times 10^{-12}$	$7,8 \times 10^{8}$
3	1,5	$4,30 \times 10^{-12}$	$1,01 \times 10^{9}$
4	2	$6,26 \times 10^{-12}$	$1,17 \times 10^{9}$
5	2,5	$8,56 \times 10^{-12}$	$1,29 \times 10^{9}$
6	3	$1,12 \times 10^{-11}$	$1,38 \times 10^{9}$
7	3,5	$1,42 \times 10^{-11}$	$1,45 \times 10^{9}$
8	4	$1,76 \times 10^{-11}$	$1,51 \times 10^{9}$
9	4,5	$2,13 \times 10^{-11}$	$1,55 \times 10^{9}$

Tabel D.3.2 Jumlah N (*Cycle*) Baja A36
a_0 = 1 mm 2c = 3 mm

No	a_0 (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	1	$2{,}65 \times 10^{-12}$	$1{,}9 \times 10^{8}$
2	1,5	$4{,}30 \times 10^{-12}$	$4{,}2 \times 10^{8}$
3	2	$6{,}26 \times 10^{-12}$	$5{,}8 \times 10^{8}$
4	2,5	$8{,}56 \times 10^{-12}$	7×10^{8}
5	3	$1{,}12 \times 10^{-11}$	$7{,}9 \times 10^{8}$
6	3,5	$1{,}42 \times 10^{-11}$	$8{,}6 \times 10^{8}$
7	4	$1{,}76 \times 10^{-11}$	$9{,}1 \times 10^{8}$
8	4,5	$2{,}13 \times 10^{-11}$	$9{,}6 \times 10^{8}$

Tabel D.3.3 Jumlah N (*Cycle*) Baja A36
a_0 = 1,5 mm 2c = 4 mm

No	a_0 (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	1,5	$4{,}30 \times 10^{-12}$	$1{,}2 \times 10^{8}$
2	2	$6{,}26 \times 10^{-12}$	$2{,}8 \times 10^{8}$
3	2,5	$8{,}56 \times 10^{-12}$	$3{,}9 \times 10^{8}$
4	3	$1{,}12 \times 10^{-11}$	$4{,}8 \times 10^{8}$
5	3,5	$1{,}42 \times 10^{-11}$	$5{,}5 \times 10^{8}$
6	4	$1{,}76 \times 10^{-11}$	$6{,}1 \times 10^{8}$
7	4,5	$2{,}13 \times 10^{-11}$	$6{,}6 \times 10^{8}$

D.4 Laju Perambatan Retak (*Software*) Baja A36

Tabel D.4.1 Jumlah N (*Cycle*) Baja A36
a_0 = 0,5 mm 2c = 2 mm

No	a_0 (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	0,5	$1,14 \times 10^{-12}$	$4,39 \times 10^{8}$
2	1	$2,49 \times 10^{-12}$	$8,4 \times 10^{8}$
3	1,5	$4,04 \times 10^{-12}$	$1,09 \times 10^{9}$
4	2	$5,85 \times 10^{-12}$	$1,26 \times 10^{9}$
5	2,5	$8,24 \times 10^{-12}$	$1,38 \times 10^{9}$
6	3	$1,09 \times 10^{-11}$	$1,47 \times 10^{9}$
7	3,5	$1,33 \times 10^{-11}$	$1,55 \times 10^{9}$
8	4	$1,74 \times 10^{-11}$	$1,6 \times 10^{9}$
9	4,5	$2,23 \times 10^{-11}$	$1,65 \times 10^{9}$

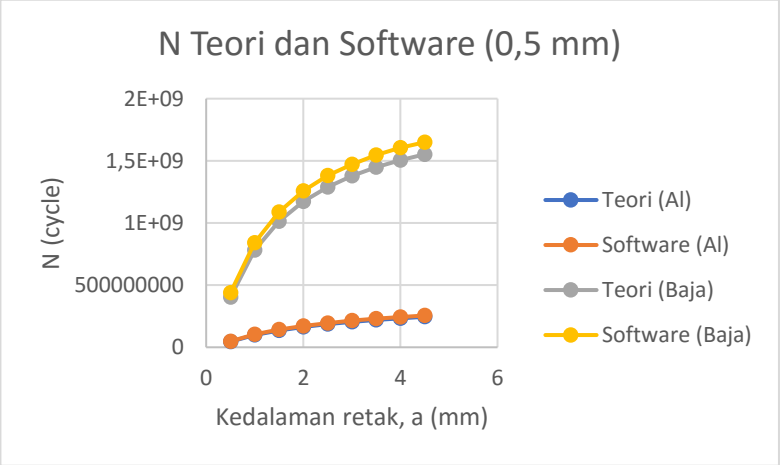
Tabel D.4.2 Jumlah N (*Cycle*) Baja A36
a_0 = 1 mm 2c = 3 mm

No	a_0 (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	1	$2,49 \times 10^{-12}$	$2,01 \times 10^{8}$
2	1,5	$4,04 \times 10^{-12}$	$4,48 \times 10^{8}$
3	2	$5,85 \times 10^{-12}$	$6,19 \times 10^{8}$
4	2,5	$8,24 \times 10^{-12}$	$7,41 \times 10^{8}$
5	3	$1,09 \times 10^{-11}$	$8,32 \times 10^{8}$
6	3,5	$1,33 \times 10^{-11}$	$9,08 \times 10^{8}$
7	4	$1,74 \times 10^{-11}$	$9,65 \times 10^{8}$
8	4,5	$2,23 \times 10^{-11}$	$1,01 \times 10^{9}$

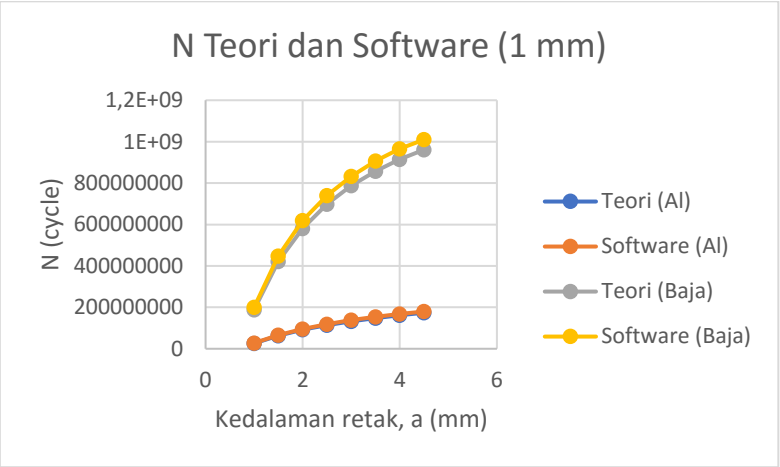
Tabel D.4.3 Jumlah N (*Cycle*) Baja A36

a_0 = 1,5 mm 2c = 4 mm

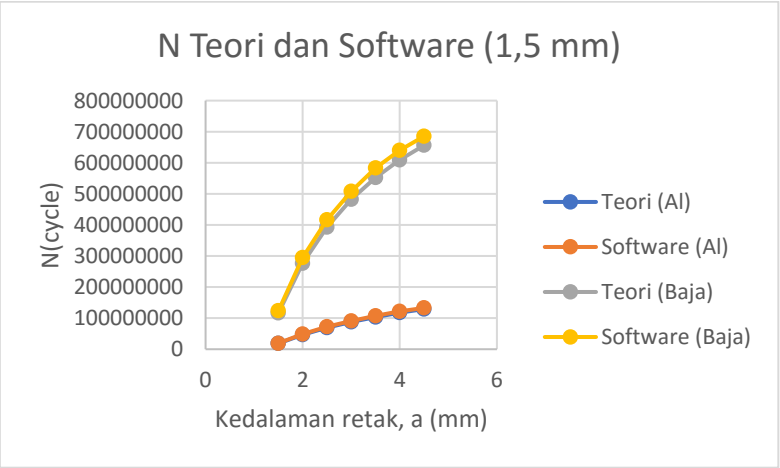
No	a_0 (mm)	da/dN (m/cycle)	N (cycle)
1	1,5	$4,04 \times 10^{-12}$	$1,24 \times 10^{8}$
2	2	$5,85 \times 10^{-12}$	$2,95 \times 10^{8}$
3	2,5	$8,24 \times 10^{-12}$	$4,16 \times 10^{8}$
4	3	$1,09 \times 10^{-11}$	$5,08 \times 10^{8}$
5	3,5	$1,33 \times 10^{-11}$	$5,83 \times 10^{8}$
6	4	$1,74 \times 10^{-11}$	$6,40 \times 10^{8}$
7	4,5	$2,23 \times 10^{-11}$	$6,85 \times 10^{8}$



Gambar D.1 Perbandingan N dengan Kedalaman retak



Gambar D.2 Perbandingan N dengan Kedalaman retak



Gambar D.3 Perbandingan N dengan Kedalaman retak

LAMPIRAN E
UMUR LELAH

Umur lelah pelat geladak dihitung dengan mengalikan jumlah N (*Cycle*) dengan periode *encountered* (Te).

$$Umur = \frac{(N\ x\ Te)}{Jumlah\ detik\ dalam\ 1\ tahun}$$

E.1 Umur Lelah (Teoritis) Al 5083

Tabel E.1.1 Umur Lelah Al 5083

a_0 = 0,5 mm 2c = 2 mm

No	a (m)	N (cycle)	Te	T (Detik)	Umur (Tahun)
1	0,0005	45287772	1,35	61133963	1,94
2	0,001	97894160	1,35	$1,32 \times 10^8$	4,19
3	0,0015	$1,35 \times 10^8$	1,35	$1,82 \times 10^8$	5,78
4	0,002	$1,63 \times 10^8$	1,35	$2,21 \times 10^8$	6,99
5	0,0025	$1,86 \times 10^8$	1,35	$2,51 \times 10^8$	7,96
6	0,003	$2,0 \times 10^8$	1,35	$2,76 \times 10^8$	8,76
7	0,0035	$2,2 \times 10^8$	1,35	$2,97 \times 10^8$	9,43
8	0,004	$2,34 \times 10^8$	1,35	$3,16 \times 10^8$	10,01
9	0,0045	$2,46 \times 10^8$	1,35	$3,32 \times 10^8$	10,51

Tabel E.1.2 Umur Lelah Al 5083

a_0 = 1 mm 2c = 3 mm

No	a (m)	N (cycle)	Te	T (Detik)	Umur (Tahun)
1	0,001	26303081	1,35	35506529	1,13
2	0,0015	63429255	1,35	85623151	2,72
3	0,002	91774766	1,35	$1,24 \times 10^8$	3,93
4	0,0025	$1,14 \times 10^8$	1,35	$1,54 \times 10^8$	4,90
5	0,003	$1,33 \times 10^8$	1,35	$1,8 \times 10^8$	5,69
6	0,0035	$1,49 \times 10^8$	1,35	$2,01 \times 10^8$	6,37
7	0,004	$1,62 \times 10^8$	1,35	$2,19 \times 10^8$	6,94
8	0,0045	$1,74 \times 10^8$	1,35	$2,35 \times 10^8$	7,45

Tabel E.1.3 Umur Lelah Al 5083

a_0 = 1,5 mm 2c = 4 mm

No	a (m)	N (cycle)	Te	T (Detik)	Umur (Tahun)
1	0,0015	18563087	1,35	25058311	0,79
2	0,002	46908598	1,35	63321916	2,01
3	0,0025	69544467	1,35	93878076	2,98
4	0,003	88177249	1,35	$1,19 \times 10^8$	3,77
5	0,0035	$1,04 \times 10^8$	1,35	$1,4 \times 10^8$	4,45
6	0,004	$1,17 \times 10^8$	1,35	$1,58 \times 10^8$	5,02
7	0,0045	$1,29 \times 10^8$	1,35	$1,74 \times 10^8$	5,53

E.2 Umur Lelah (Software) Al 5083

Tabel E.2.1 Umur Lelah Al 5083
a_0 = 0,5 mm 2c = 2 mm

No	a0 (m)	N (cycle)	Te	T (detik)	Umur (Tahun)
1	0,0005	48185048	1,35	65049815	2,06
2	0,001	$1,03x10^8$	1,35	$1,39 x10^8$	4,41
3	0,0015	$1,42 x10^8$	1,35	$1,92 x10^8$	6,07
4	0,002	$1,72 x10^8$	1,35	$2,32 x10^8$	7,34
5	0,0025	$1,95 x10^8$	1,35	$2,63 x10^8$	8,34
6	0,003	$2,14 x10^8$	1,35	$2,89 x10^8$	9,15
7	0,0035	$2,3 x10^8$	1,35	$3,11 x10^8$	9,86
8	0,004	$2,44 x10^8$	1,35	$3,29 x10^8$	10,44
9	0,0045	$2,55 x10^8$	1,35	$3,45 x10^8$	10,93

Tabel E.2.2 Umur Lelah Al 5083
a_0 = 1 mm 2c = 3 mm

No	a (m)	N (cycle)	Te	T (Detik)	Umur (Tahun)
1	0,001	26303081	1,35	35506529	1,13
2	0,0015	63429255	1,35	85623151	2,72
3	0,002	91774766	1,35	$1,24 x10^8$	3,93
4	0,0025	$1,14 x10^8$	1,35	$1,54 x10^8$	4,90
5	0,003	$1,33 x10^8$	1,35	$1,8 x10^8$	5,69
6	0,0035	$1,49 x10^8$	1,35	$2,01 x10^8$	6,37
7	0,004	$1,62 x10^8$	1,35	$2,19 x10^8$	6,94
8	0,0045	$1,74x10^8$	1,35	$2,35 x10^8$	7,45

Tabel E.2.3 Umur Lelah Al 5083

a_0 = 1,5 mm 2c = 4 mm

No	a (m)	N (cycle)	Te	T (Detik)	Umur (Tahun)
1	0,0015	18563087	1,35	25058311	0,79
2	0,002	46908598	1,35	63321916	2,01
3	0,0025	69544467	1,35	93878076	2,98
4	0,003	88177249	1,35	1,19 $x10^8$	3,77
5	0,0035	1,04 $x10^8$	1,35	1,4 $x10^8$	4,45
6	0,004	1,17 $x10^8$	1,35	1,58 $x10^8$	5,02
7	0,0045	1,29$x10^8$	1,35	1,74 $x10^8$	5,53

E.3 Umur Lelah (Teoritis) Baja A36

Tabel E.3.1 Umur Lelah Baja A36

a_0 = 0,5 mm 2c = 2 mm

No	a0 (m)	N (cycle)	Te	T (detik)	Umur (Tahun)
1	0,0005	4,02 $x10^8$	1,35	5,4 $x10^8$	17,32
2	0,001	7,8$x10^8$	1,35	1,1 $x10^9$	33,58
3	0,0015	1,01 $x10^9$	1,35	1,4 $x10^9$	43,60
4	0,002	1,17 $x10^9$	1,35	1,6 $x10^9$	50,47
5	0,0025	1,29 $x10^9$	1,35	1,7 $x10^9$	55,50
6	0,003	1,38 $x10^9$	1,35	1,95 $x10^9$	59,34
7	0,0035	1,45 $x10^9$	1,35	1,99 $x10^9$	62,36
8	0,004	1,51 $x10^9$	1,35	2 $x10^9$	64,81
9	0,0045	1,55 $x10^9$	1,35	2,1 $x10^9$	66,83

Tabel E.3.2 Umur Lelah Baja A36
a_0 = 1 mm 2c = 3 mm

No	a0 (m)	N (cycle)	Te	T (detik)	Umur (Tahun)
1	0,001	$1,89x10^8$	1,35	$2,55 x10^8$	8,13
2	0,0015	$4,21 x10^8$	1,35	$5,69 x10^8$	18,14
3	0,002	$5,81 x10^8$	1,35	$7,85 x10^8$	25,02
4	0,0025	$6,98 x10^8$	1,35	$9,42 x10^8$	30,05
5	0,003	$7,87 x10^8$	1,35	$1,06 x10^9$	33,89
6	0,0035	$8,57 x10^8$	1,35	$1,16 x10^9$	36,91
7	0,004	$9,14 x10^8$	1,35	$1,23 x10^9$	39,35
8	0,0045	$9,61 x10^8$	1,35	$1,3 x10^9$	41,38

Tabel D.3.3 Jumlah N (*Cycle*) Baja A36
a_0 = 1,5 mm 2c = 4 mm

No	a0 (m)	N (cycle)	Te	T (detik)	Umur (Tahun)
1	0,0015	$1,2x10^8$	1,35	$1,57 x10^8$	5,01
2	0,002	$2,8 x10^8$	1,35	$3,73 x10^8$	11,88
3	0,0025	$3,9 x10^8$	1,35	$5,3 x10^8$	16,91
4	0,003	$4,8 x10^8$	1,35	$6,51 x10^8$	20,75
5	0,0035	$5,5 x10^8$	1,35	$7,45 x10^8$	23,77
6	0,004	$6,1 x10^8$	1,35	$8,22 x10^8$	26,22
7	0,0045	$6,6x10^8$	1,35	$8,86 x10^8$	28,24

E.4 Umur Lelah Baja A36

Tabel E.4.1 Umur Lelah Baja A36
a_0 = 0,5 mm 2c = 2 mm

No	a (m)	N (cycle)	Te	Umur (Tahun)
1	0,0005	$4,39x10^8$	1,35	18,79
2	0,001	$8,40 x10^8$	1,35	35,96
3	0,0015	$1,09 x10^9$	1,35	46,66
4	0,002	$1,26 x10^9$	1,35	53,93
5	0,0025	$1,38 x10^9$	1,35	59,07
6	0,003	$1,47 x10^9$	1,35	62,92
7	0,0035	$1,55 x10^9$	1,35	66,35
8	0,004	$1,60x10^9$	1,35	68,49
9	0,0045	$1,65x10^9$	1,35	70,63

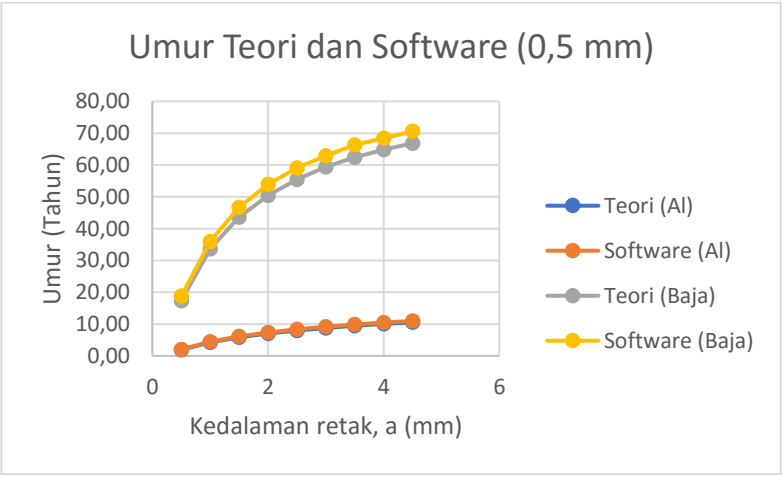
Tabel E.4.2 Umur Lelah Baja A36
a_0 = 1 mm 2c = 3 mm

No	a (m)	N (cycle)	Te	Umur (Tahun)
1	0,001	$2,01x10^8$	1,35	8,60
2	0,0015	$4,48 x10^8$	1,35	19,18
3	0,002	$6,19 x10^8$	1,35	26,50
4	0,0025	$7,41 x10^8$	1,35	31,72
5	0,003	$8,32 x10^8$	1,35	35,61
6	0,0035	$9,08 x10^8$	1,35	38,87
7	0,004	$9,65 x10^8$	1,35	41,31
8	0,0045	$1,01 x10^9$	1,35	43,23

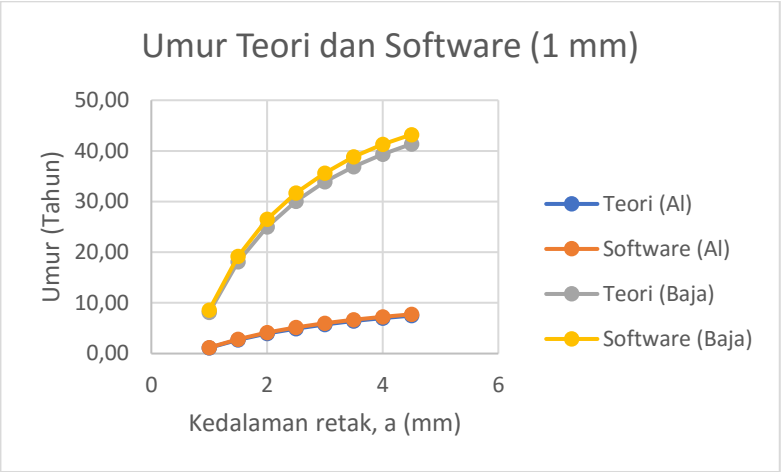
Tabel E.4.3 Umur Lelah Baja A36

a_0 = 1,5 mm 2c = 4 mm

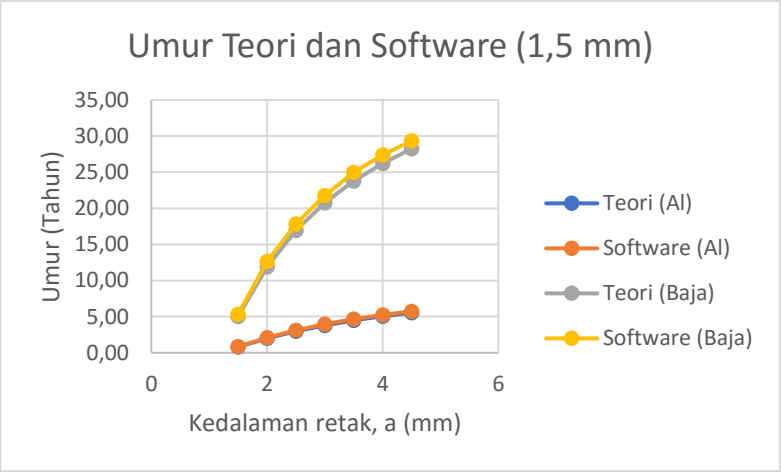
No	a (m)	N (cycle)	Te	Umur (Tahun)
1	0,0015	$1,24x10^8$	1,35	5,31
2	0,002	$2,95 x10^8$	1,35	12,63
3	0,0025	$4,16 x10^8$	1,35	17,81
4	0,003	$5,08 x10^8$	1,35	21,74
5	0,0035	$5,83 x10^8$	1,35	24,96
6	0,004	$6,40 x10^8$	1,35	27,40
7	0,0045	$6,85 x10^8$	1,35	29,32



Gambar E.1 Perbandingan Umur Lelah dengan Kedalaman retak



Gambar E.2 Perbandingan Umur Lelah dengan Kedalaman retak



Gambar E.3 Perbandingan Umur Lelah dengan Kedalaman retak

LAMPIRAN F
ATURAN BKI *SEAGOING SHIP*

Table 1.1 CAP Rating system (exclude Bulk Carriers)

Rating	Condition assessment survey		Condition assessment analysis
	Hull[1]	**Machinery & electrical installation, Cargo handling systems**[2]	**Strength & Fatigue analysis**[3]
1 Very good Condition	Structure with no evidence of wastage, wear and tear. Coating system in at least good condition.	Components and systems found with no deficiencies affecting the safe operation and/or normal performance. Maintenance and documentation found in very good order. No maintenance or repair considered necessary	Strength evaluation according to current valid Newbuilding Rules. A continued life expectancy over the next 5 years. At least 50 % of allowable corrosion margin is remaining.
2 Good condition	Structure with negligible deficiencies not requiring correction or repair Coating system in at least **fair** condition.	Components and systems found with minor deficiencies not affecting the safe operation and/or normal performance. Maintenance and documentation found in good order. No maintenance or repair considered necessary	Strength evaluation according to current valid Newbuilding Rules. An increased probability of failure in the next 5 years. At least 25 % of allowable corrosion margin is remaining.
3 Class condition	Structure with deficiencies, affecting neither the minimum strength nor the operability and do not require immediate corrective action Coating system in **poor** condition, but corrosion protection system in **good** condition.	Components and systems found with deficiencies, and it is not affecting the safe operation and/or normal performance. Maintenance and documentation considered to be satisfactory. No maintenance or repair considered necessary	Strength evaluation according to BKI rules valid at year of build. A likely probability of failure in the next 5 years. Less than 25 % of allowable corrosion margin is remaining.
4 Poor condition	Structure with deficiencies which may affect the ship's potential to remain in class.. Coating system in at least **poor** condition, and/or corrosion protection system in **fair** or **poor** condition.	Components and systems found with deficiencies affecting the safe operation and/or normal performance. Maintenance and documentation found to be poor. Maintenance or repair required to reinstate serviceability.	Hot Spots found. A likely probability of failure within 5 years. Allowable corrosion margin is exceeded.

1) If both criteria for structure and corrosion prevention system are not matching one rating level, the structural condition is decisive.
2) If both criteria for condition and maintenance are not matching one rating level, the more critical deficiency is decisive.
3) Fatigue analysis is offered additional service for Condition assessment program (CAP) Hull

Table 1.2 CAP Rating system (Bulk Carriers)

Rating	Condition assessment survey		Condition assessment analysis
	Hull[1]	**Machinery & electrical installation, Cargo handling systems**[2]	**Strength & Fatigue analysis**[3]
1 Rightship CAP2/5	Structure with no evidence of wastage, wear and tear. Coating system in at least good condition.	Components and systems found with no deficiencies affecting the safe operation and/or normal performance. Maintenance and documentation found in very good order. No maintenance or repair considered necessary	Strength evaluation according to current valid Newbuilding Rules. A continued life expectancy over the next 5 years. At least 50 % of allowable corrosion margin is remaining.
2 Rightship CAP2/3	Structure with negligible deficiencies not requiring correction or repair Coating system in at least good condition or Coating system in at least **fair** condition but supplemented by corrosion protection system in **good** condition.	Components and systems found with minor deficiencies not affecting the safe operation and/or normal performance. Maintenance and documentation found in good order. No maintenance or repair considered necessary	Strength evaluation according to current valid Newbuilding Rules. An increased probability of failure in the next 5 years. At least 25 % of allowable corrosion margin is remaining.
3 Class condition	Structure with deficiencies, affecting neither the minimum strength nor the operability and do not require immediate corrective action Coating system in **poor** condition, but corrosion protection system in **good** condition.	Components and systems found with deficiencies, and it is not affecting the safe operation and/or normal performance. Maintenance and documentation considered to be satisfactory. No maintenance or repair considered necessary	Strength evaluation according to BKI rules valid at year of build. A likely probability of failure in the next 5 years. Less than 25 % of allowable corrosion margin is remaining.
4 Poor condition	Structure with deficiencies which may affect the ship's potential to remain in class.. Coating system in at least **poor** condition, and/or corrosion protection system in **fair** or **poor** condition.	Components and systems found with deficiencies affecting the safe operation and/or normal performance. Maintenance and documentation found to be poor. Maintenance or repair required to reinstate serviceability.	Hot Spots found. A likely probability of failure within 5 years. Allowable corrosion margin is exceeded.

1) If both criteria for structure and corrosion prevention system are not matching one rating level, the structural condition is decisive.
2) If both criteria for condition and maintenance are not matching one rating level, the more critical deficiency is decisive.
3) Fatigue analysis is offered additional service for Condition assessment program (CAP) Hull

Table 1.3 Structural strength rating system

Structural strength/Rating	1	2	3	4
Section Modulus	≥0.97	≥0.93	≥0.90	<0.90
Exclude Bulk Carrier, double hull tanker w/o a long. Bulkhead, gas Carrierl				
Deck's utilization factor	≤0.90	≤0.95	≤1.0	>1.0
Bottom utilization factor	≤0.77	≤0.81	≤0.85	>0.85
For Bulk Carrier, double hull tanker w/o a long. Bulkhead, gas Carrier[1)]				
Deck's utilization factor	≤0.90	≤0.95	≤1.0	>1.0
Bottom utilization factor	≤0.72	≤0.76	≤0.80	>0.80
1) For panel with flat bar or bulb stiffeners, a one tenth higher utilization is allowed.				

BIODATA PENULIS

Nama lengkap penulis adalah Hardika Ilhami, lahir di Kota Banyumas pada tanggal 14 Mei 1995 dari ayah bernama Trisngadi dan ibu bernama Suprapti. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pada tahun 2007 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Canduk, pada tahun 2010 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Wangon, pada tahun 2013 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Purwokerto. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan D3 Metrologi dan Instrumentasi Institut Teknologi Bandung. Pada tahun 2016 menyelesaikan studi D3 di Institut Teknologi Bandung. Dan pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Konsentrasi tugas akhir yang didalami adalah bidang vibrasi dan akustik. Pada bulan Juli 2018 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Analisa Fenomena Perambatan Retak Dua Dimensi Akibat Distribusi Tekanan Pada Pelat *Deck* Kapal Katamaran**.

Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir dapat dihubungi *email* : dikailhami@merahputih.id