

SKRIPSI

**ANALISIS DIMENSI PENEBALAN EFEKTIF PELAT
LAMBUNG SEKITAR *SHAFT BRACKET***

Disusun dan diajukan oleh:

INDRAWANSYAH

D031191057



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS DIMENSI PENEHALAN EFEKTIF PELAT LAMBUNG SEKITAR *SHAFT BRACKET*

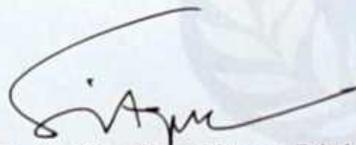
Disusun dan diajukan oleh

Indrawansyah
D031191057

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 27 November 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

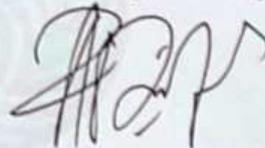
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing
NIP 19600425 198811 1 001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. A. Ardianti, ST., MT.
NIP 19850526 201212 2 002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Suandar Basao, ST., MT.
NIP 19730206 200012 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Indrawansyah

NIM : D031191057

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Analisis Dimensi Penebalan Efektif Pelat Lambung Sekitar *Shaft Bracket*}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 27 November 2023

Yang Menyatakan


METERAI
TEMPEL
3DE0AKX707096925
Indrawansyah



ABSTRAK

INDRAWANSYAH. *Analisis Dimensi Penebalan Eefektif Pelat Lambung Sekitar Shaft Bracket* (dibimbing oleh Ganding Sitepu dan Andi Ardianti).

Shaft bracket merupakan komponen lambung kapal yang berfungsi menjamin propeller berputar sentris jika poros propeller yang menyembul keluar lambung kapal cukup panjang. Agar *shaft bracket* berfungsi dengan maksimal, *shaft bracket* harus mampu menahan beban getaran akibat putaran propeller. Dalam upaya menjamin kekuatan, *shaft bracket* ditumpu dan diperkuat oleh *center girder*, *bracket*, dan penebalan pelat kulit (*insert plate*) di sekitar *shaft bracket*. Hal tersebut diterapkan pada struktur kapal KMP. Aitumieri I yang dibangun di PT. Dok dan Perkapalan Air Kantung, Pangkal Pinang tahun 2022. Pengaliran beban akan sangat dipengaruhi oleh luas dan tebal *insert plate*, sehingga dalam penelitian ini bermaksud untuk menganalisis dimensi penebalan efektif pelat lambung di sekitar *shaft bracket*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dimensi penebalan efektif pelat lambung di sekitar *shaft bracket* dengan pendekatan nilai tegangan dan umur kelelahan (beban bersifat siklus). Dalam penelitian ini telah dilakukan simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software Ansys Mechanical APDL*. Ketebalan *insert plate* akan divariasikan (20 mm, 18 mm, 14 mm, 10 mm, dan 6 mm) dan dibebani oleh gaya radial berdasarkan persentase kehilangan massa satu daun propeller (100%, 75%, 50%, 25%, dan 5%). Dari hasil penelitian diperoleh bahwa, semakin besar ketebalan *insert plate* dan semakin kecil persentase kehilangan massa satu daun propeller, maka tegangan yang dihasilkan semakin kecil sehingga umur kelelahan semakin panjang. Kelelahan pada struktur *insert plate* sebelum umur rancangan dapat terjadi jika satu daun propeller mengalami kehilangan massa lebih dari; 22.74% pada tebal 6 mm, 26.76% pada tebal 10 mm, 32.22% pada tebal 14 mm, 42.33% pada tebal 18 mm, dan 50.1% pada tebal 20 mm.

Kata Kunci: *Shaft bracket*, *Insert plate*, Tegangan, Kelelahan



ABSTRACT

INDRAWANSYAH. *The Analysis of Effective Thickness Dimensions of The Hull Plate Around Shaft Bracket* (supervised by Ganding Sitepu and Andi Ardianti).

The shaft bracket is a ship hull component that ensures the propeller rotates concentrically. To ensure the optimal function of the shaft bracket, it must withstand the vibration load caused by the propeller's rotation. In efforts to ensure the strength, the shaft bracket is supported and reinforced by the center girder, brackets, and the thickness of insert plates around the shaft bracket. This approach is applied to the structure of the KMP. Aitumieri I built at PT. DAK, Pangkal Pinang in 2022. The load distribution will significantly depend on the area and thickness of the insert plate. Therefore, this study aims to analyze the effective thickness dimensions of hull plates around the shaft bracket. The research was conducted to determine the effective thickness dimensions of hull plates around the shaft bracket using stress value and fatigue life approaches (load is cyclic). In this study, numerical simulations have been performed using the finite element method with the assistance of Ansys Mechanical APDL software. The thickness of the insert plate will be varied (20 mm, 18 mm, 14 mm, 10 mm, and 6 mm) and subjected to radial force based on the percentage of imbalance mass loss per propeller blade (100%, 75%, 50%, 25%, and 5%). From the research results, it was found that the greater the thickness of the insert plate and the smaller the percentage of mass loss per propeller blade, the lower the generated voltage, thereby increasing the fatigue life. Fatigue in the insert plate structure can occur before the design life if one propeller blade experiences a mass loss of more than: 22.74% at a thickness of 6 mm, 26.76% at a thickness of 10 mm, 32.22% at a thickness of 14 mm, 42.33% at a thickness of 18 mm, and 50.1% at a thickness of 20 mm.

Keywords: Shaft bracket, Insert plate, Stress, Fatigue



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINAJUAN PUSTAKA	5
2.1 Penyangga Poros Baling-Baling Kapal	5
2.2 Teori Pelat	6
2.2.1 Karakteristik pelat	6
2.2.2 Deskripsi pelat dalam sistem koordinat kartesius	6
2.3 Pembebanan Pada Kapal	7
2.3.1 Gaya Sentrifugal	7
2.3.2 Beban Bantalan (<i>Bearing Force</i>)	8
2.4 Tegangan, Regangan dan Elastisitas	9
2.4.1 Tegangan	9
2.4.2 Regangan	11
2.4.3 Elastisitas	11
2.4.4 Hubungan Tegangan dan Regangan	12
2.5 Teori Kelelahan (<i>Fatigue</i>)	13
2.6 Metode Elemen Hingga	17
2.7 <i>Ansys</i>	20
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	22
3.2 Jenis Penelitian	22
3.3 Jenis Data dan Pengambilan Data	22
3.4 Prosedur Analisis dengan Metode Elemen Hingga	24
3.5 Alur Penelitian	28
HASIL PENELITIAN	30
Perhitungan Beban	30
Hasil dan Analisa	32
Regangan Tarik/Tekan Akibat Beban Bantalan	32
Analisa Kelelahan (<i>Fatigue</i>)	35



4.2.3 Analisa dimensi efektif <i>insert plate</i>	42
BAB V PENUTUP	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Deskripsi pelat dalam sistem koordinat kartesius	6
Gambar 2	Parameter Getaran Poros Penggerak.....	8
Gambar 3	Batang prismatis yang mengalami tarik.....	9
Gambar 4	Tegangan yang bekerja pada suatu bidang	10
Gambar 5	Grafik tipikal tegangan terhadap regangan	12
Gambar 6	Diagram S-N diplot sepenuhnya dari tes kelelahan aksial.....	15
Gambar 7	Plot log-log yang menunjukkan umur kelelahan terkait dengan amplitudo regangan	16
Gambar 8	Diagram S-N yang khas untuk baja dan aluminium	17
Gambar 9	Apresiasi solusi keseluruhan diperoleh dari gabungan solusi-solusi elemen	18
Gambar 10	Elemen MEH.....	19
Gambar 11	Konstruksi <i>shaft bracket</i> KMP. Aitumieri I	23
Gambar 12	Konstruksi lambung area <i>shaft bracket</i> KMP. Aitumieri I.....	24
Gambar 13	Detail <i>insert plate</i> sekitar <i>shaft bracket</i>	24
Gambar 14	Permodelan ANSYS.....	26
Gambar 15	Hasil <i>meshing</i>	26
Gambar 16	Kurva konvergensi tegangan.....	27
Gambar 17	Pengaplikasian tumpuan pada model.....	28
Gambar 18	Alur <i>flowchart</i> dari bentukan kerangka berfikir.....	29
Gambar 19	Posisi pembebanan pada model	30
Gambar 20	Node pada daerah <i>shaft bracket</i> dan <i>insert plate</i>	33
Gambar 21	Gradasi tegangan tarik sumbu z	33
Gambar 22	Gradasi tegangan tekan sumbu z.....	34
Gambar 23	Kurva tegangan maksimum variasi ketebalan <i>insert plate</i> dan % kehilangan massa 1 daun propeller.....	35
Gambar 24	Kurva hubungan antara persentase kehilangan massa 1 daun propeller dengan jumlah siklus kelelahan setiap variasi tebal <i>insert plate</i>	38
Gambar 25	Kurva hubungan antara persentase kehilangan massa 1 daun propeller dengan umur struktur setiap variasi tebal <i>insert plate</i>	40
Gambar 26	Kurva hubungan antara persentase maksimal kehilangan massa 1 daun propeller dengan tebal <i>insert plate</i> pada umur rancangan	41



DAFTAR TABEL

Tabel 1	Data Ketebalan Pelat Komponen Konstruksi	25
Tabel 2	Hasil konvergensi tegangan berbagai ukuran <i>meshing</i>	27
Tabel 3	Beban pada setiap variasi kehilangan massa 1 daun propeller	32
Tabel 4	Nilai tegangan tarik setiap variasi tebal <i>insert plate</i> pada setiap persentase kehilangan massa 1 daun propeller	34
Tabel 5	Hasil perhitungan jumlah siklus untuk <i>insert plate</i> 20 mm	37
Tabel 6	Hasil perhitungan jumlah siklus untuk <i>insert plate</i> 18 mm	37
Tabel 7	Hasil perhitungan jumlah siklus untuk <i>insert plate</i> 14 mm	37
Tabel 8	Hasil perhitungan jumlah siklus untuk <i>insert plate</i> 10 mm	37
Tabel 9	Hasil perhitungan jumlah siklus untuk <i>insert plate</i> 6 mm	38
Tabel 10	Hasil Perhitungan Nilai Kerusakan (D)	40
Tabel 11	Hasil Perhitungan Umur Struktur	40



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
m_x, m_y	Momen lentur persatuan panjang (Nm/cm)
m_{xy}, m_{yx}	Momen puntiran persatuan panjang (Nm/cm)
q_x, q_y	Gaya lintang persatuan panjang (N/m)
F	Gaya (N)
a_s, \ddot{x}	Percepatan sentrifugal (m/s^2)
ω	Kecepatan sudut (rad/s)
m	Massa (kg)
v	Kecepatan linear (m/s)
r	Jari-jari lintasan (m)
M	Massa propeller (kg)
Ma	Massa <i>additional</i> (kg)
C_p	Koefisien redaman
f_s	Gaya eksitasi eksternal (N)
f_e	Gaya eksitasi (N)
\dot{x}	Perpindahan (m)
D	Diameter propeller (m)
Z	Jumlah daun propeller
ρ	Massa jenis (kg/m^3)
P	Pitch propeller
A_e	Luas daun propeller (m^2)
A_o	Luas disk (m^2)
σ	Tegangan (N/mm^2)
A	Luas penampang batang (m^2)
ϵ	Regangan
ΔL	Perubahan panjang (mm)
L	Panjang awal (mm)
E	Modulus elastisitas (N/mm^2)
N	Siklusi kelelahan
D	Akumulasi nilai kelelahan
T	Umur kelelahan



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan titik berat daun propeller terhadap sumbu poros (r).....	48
Lampiran 2 Gambar propeller kapal	49
Lampiran 3 Gambar poros propeller kapal	50
Lampiran 4 Gambar konstruksi <i>shaft bracket</i> kapal	51
Lampiran 5 Gambar konstruksi alas kapal.....	52
Lampiran 6 Gambar konstruksi <i>frame (transversal sections)</i>	53



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Puji syukur kepada Allah SWT. berkat Rahmat, Hidayah, dan Karunia- Nya kepada kita semua sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Dimensi Penebalan Efektif Pelat Lambung Sekitar *Shaft Bracket*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada program Strata-1 di Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing, selaku Dosen Pembimbing 1 dan Ibu Dr. Eng. A. Ardianti, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing 2 atas arahan dan bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Hamzah, ST., MT. dan Ibu Ir. Rosmani, MT., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan banyak saran dan masukan yang sangat bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Ayahanda Muh. Yusuf dan Ibunda Hatijah tercinta atas doa dan segala dukungannya baik moril dan materil selama menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin. Jasa dan pengorbanan Ayahanda dan Ibunda tidak akan dapat terbalaskan oleh apapun.
5. Segenap dosen Program Studi Teknik Perkapalan yang telah memberikan ilmunya kepada penulis. Semoga ilmu dan kebaikan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang berlipat ganda.
6. Teman-teman seperjuangan di Departemen Teknik Perkapalan angkatan 2019 terkhusus pada teman-teman di Labo Struktur yaitu Fuad Iriandi, Yusril ummad Rafli, Nursyamsi Anjali, Inayah Magfira, Amanda Putri Ayudhavi, Musfaida, dan Putri Dian Purnama, atas semua dukungan, semangat, kerjasamanya.



7. Sahabat-sahabat asisten Laboratorium Fisika Dasar yaitu Arya, Faiz, Adam, Haekal, Alfian, Yoga, Ridzuan, Faidel, Anjali, Asnul, Nisa, Fia, Angelie, dan Gita, atas kebersamaannya selama ini, dukungan, suka duka, dan ketulusan. Banyak hal positif yang dapat dicontoh dari sahabat-sahabat semua.

Penulis menyadari penyusunan skripsi ini tidak luput dari berbagai kesalahan. Penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikannya sehingga akhirnya skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi bidang pendidikan dan penerapan di lapangan serta bisa dikembangkan lagi lebih lanjut.

Gowa, November 2023

Penulis



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Shaft bracket atau penyangga poros baling-baling merupakan komponen struktur lambung kapal yang berfungsi meneruskan gaya radial yang berasal dari bantalan poros baling-baling ke struktur global kapal. Gaya radial ini didefinisikan sebagai gaya yang bekerja secara tegak lurus dengan sumbu poros akibat adanya mekanisme yang berputar.

Gaya radial yang diterima oleh *shaft bracket* terjadi akibat adanya ketidakseimbangan gaya-gaya dinamis di setiap daun propeller. Gaya-gaya dinamis ini disebabkan oleh kecepatan air yang masuk di setiap daun propeller berbeda-beda dan ketidakseimbangan massa daun baling-baling. Selain itu, faktor lain yang sangat memengaruhi gaya ini adalah putaran per menit mesin penggerak (Rpm), torsi yang dihasilkan poros (Q_p) dan jumlah daun baling-baling kapal. Gaya radial ini bersifat siklus atau terjadi secara berulang-ulang sehingga dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan/kelelahan struktur atau biasa disebut *fatigue*.

Dalam upaya menjamin kekuatan dan sebaran gaya pada struktur global kapal, *shaft bracket* ditumpu dan diperkuat oleh *center girder*, *bracket*, dan penebalan pelat kulit di area sekitar *shaft bracket* dengan tujuan agar gaya-gaya dan momen yang diterima oleh *shaft bracket* ini harus tersalur dengan baik ke struktur global kapal. Oleh karena itu, dalam prakteknya pelat lambung kapal yang terhubung dengan *shaft bracket* dipertebal dan dipasangkan *bracket* agar lebih menjamin penyaluran gaya dan momen dengan baik.

Salah satu kapal yang menggunakan *shaft bracket* dengan komponen konstruksi tersebut adalah KMP. Aitumieri I. Seluruh konstruksi kapal tersebut berbahan paduan aluminium yang dibangun di PT. Dok dan Perkapalan Air Kantung, Pangkal Pinang tahun 2022.

Pengaliran beban-beban yang diterima oleh *shaft bracket* ke struktur global kapal sangat dipengaruhi oleh luas area dan tebal pelat yang dipertebal (*insert plate*) di area sekitar *shaft bracket* dengan ketebalan pelat alas lambung kapal dengan ketebalan 6 mm dilakukan pemotongan dan pemasangan gantian pelat (*insert plate*) di area sekitar *shaft bracket* dengan ketebalan



20 mm dan dimensi (700 x 300) mm. Perbedaan ketebalan pelat antara pelat alas lambung kapal dengan pelat yang ditebalkan di sekitar *shaft bracket* cukup signifikan dengan persentase perbedaan tebal pelat sebesar 333% sehingga mengakibatkan terjadinya *misalignment* atau ketidaksegarisan sumbu netral pelat. Pemasangan penebalan pelat di sekitar *shaft bracket* ini akan memengaruhi sebaran gaya dari bantalan poros ke struktur global sehingga terjadi peningkatan tegangan pada sambungan pengelasan antara kedua pelat tersebut. Karena struktur kapal terbuat dari aluminium yang dari sifat mekaniknya lebih rentan mengalami *fatigue*, maka perlu juga dianalisis kekuatan *fatigue* di sekitar *shaft bracket*.

Berdasarkan permasalahan di atas maka akan dilakukan penelitian terkait kekuatan dan pengaruh *misalignment* yang terjadi pada sambungan kedua pelat terhadap struktur kapal, mengetahui dimensi efektif pelat yang sebaiknya dipasang di sekitar *shaft bracket* sehingga pendistribusian tegangan lebih efektif, serta menganalisis kekuatan *fatigue* pada pertemuan antara *shaft bracket* dan pelat yang dipertebal. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian yang juga diajukan sebagai skripsi dengan judul:

“Analisis Dimensi Penebalan Efektif Pelat Lambung Sekitar *Shaft Bracket*”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian tersebut, maka yang menjadi rumusan masalah pada penelitian ini ialah:

1. Berapa tegangan maksimum yang terjadi pada sambungan antara *shaft bracket* dan *insert plate* untuk setiap variasi model?
2. Bagaimana hubungan antara ketidakseimbangan massa daun propeller dengan umur kelelahan *insert plate*?
3. Bagaimana hubungan antara penambahan ketebalan *insert plate* dengan umur kelelahan *insert plate*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan pembahasan masalah dalam penelitian ini agar dapat dikerjakan lebih mendalam, terarah dan sistematis maka penulis permasalahan penelitian ini. Batasan-batasan masalah tersebut adalah:



1. Data yang digunakan ialah data kapal KMP. AITUMIERI I.
2. Beban yang bekerja pada objek ialah beban bantalan akibat putaran poros baling-baling dan ketidakseimbangan akibat kehilangan massa satu daun propeller.
3. Permodelan dibuat dari gading 1 sampai gading 7.
4. Variasi ketebalan *insert plate* adalah 20 mm, 18 mm, 14 mm, 10 mm, dan 6 mm.
5. Permodelan dan analisis dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan *software* ANSYS.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui tegangan maksimum yang terjadi pada sambungan antara *shaft bracket* dan *insert plate* untuk setiap variasi model.
2. Mengetahui hubungan antara ketidakseimbangan massa daun propeller dengan umur kelelahan *insert plate*.
3. Mengetahui hubungan antara penambahan ketebalan *insert plate* dengan umur kelelahan *insert plate*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat di antaranya adalah:

1. Sebagai bahan ajar dan referensi dalam dunia pendidikan terkhusus pada bidang ilmu perkapalan.
2. Sebagai bahan pertimbangan industri galangan kapal dalam mendesain dan membangun kapal.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang diuraikan secara sistematis akan mempermudah pembaca sehingga penelitian ini disusun dalam kerangka penulisan sebagai berikut.



ENDAHULUAN, dipaparkan latar belakang, rumusan masalah, batasan tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan yang pada pengaruh penebalan pelat terhadap kekuatan struktur global kapal.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi penjelasan dan teori-teori yang mendukung dalam penelitian ini yang terdiri dari struktur *shaft bracket*, beban yang bekerja pada *shaft bracket*, serta pembahasan analisis kekuatan kapal.

BAB III METODE PENELITIAN, berisi jenis penelitian, lokasi penelitian, waktu penelitian, metode pengambilan data, dan teknik analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, disajikan hasil yang diperoleh dari penelitian serta membahas hasil penelitian tersebut.

BAB V PENUTUP, dijelaskan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA, berisi referensi-referensi yang digunakan dalam penelitian ini.



BAB II

TINAJUAN PUSTAKA

2.1 Penyangga Poros Baling-Baling Kapal

Baling-baling kapal terletak di luar lambung kapal yang terhubung dengan poros buritan dan mentransmisikan daya dorong ke bagian luar kapal sehingga beberapa struktur perlu diatur untuk memastikan operasional baling-baling normal. Di antaranya, rangka poros buritan adalah *bracket* poros buritan yang terletak tepat di depan balin-baling, dan umumnya salah satu ujungnya dipasang di pelat luar lambung kapal bagian bawah dan ujung lainnya dihubungkan ke poros baling-baling, terutama yang berperan dalam menopang poros buritan dan memastikan operasi normal baling-baling. Bentuk rangka poros buritan relatif kompleks, untuk memastikan operasi normal baling-baling, biasanya kinerjanya perlu diperiksa selama proses desain, terutama mencakup dua aspek getaran dan kekuatan (Xueqiang dkk, 2019).

Penyangga poros baling-baling kapal (*shaft bracket*) merupakan komponen struktur lambung kapal yang berfungsi untuk meneruskan gaya radial yang berasal dari bantalan poros baling-baling ke struktur global kapal. Kapal-kapal yang direncanakan mempunyai baling-baling ganda, sebagian besar porosnya akan menyembul keluar dari badan kapal. Hal tersebut memerlukan perencanaan khusus untuk membuat penyangga atau penopang poros baling-baling. Perencanaan khusus penyangga poros dimaksudkan agar dapat mengurangi getaran yang dihasilkan akibat putaran poros dan baling-baling kapal, untuk itu *shaft bracket* harus kuat dan mampu mereduksi getaran tersebut.

Bagi sebuah kapal, *shaft bracket* adalah suatu hal yang sangat penting karena dapat menentukan kecepatan *service* kapal tercapai atau tidak. Pada perancangan kapal laut diharapkan penyangga poros dapat menahan beban yang bekerja pada *shaft* poros dan propeller dengan putaran yang tinggi sehingga kecepatan *service* yang diinginkan dapat tetap tercapai dan terjaga sehingga tidak

lah yang ditimbulkan terhadap kekuatan struktur tersebut (Wahyudi dkk,



Secara umum, terdapat tiga tipe penyangga poros baling-baling yang paling sering digunakan yaitu:

1. Tipe *bracket* penguatan
2. Tipe *bracket frame V*
3. Tipe *bracket* sirip I

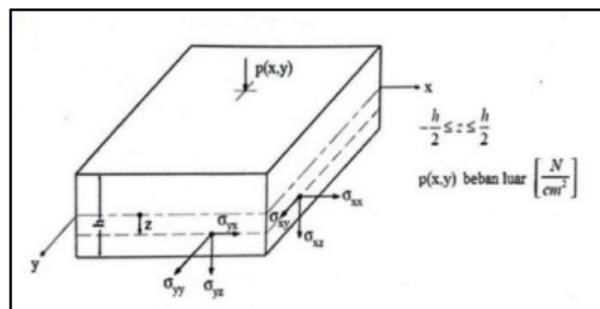
2.2 Teori Pelat

2.2.1 Karakteristik pelat

Menurut Sitepu dan Hamzah (2013) dalam Arif (2016), pelat merupakan struktur bidang (permukaan) yang memiliki karakteristik beban luar dengan arah tegak lurus pada bidang pelat, tebal pelat sangat tipis dibandingkan dengan dimensi panjang dan lebarnya, tebal pelat kontan, berlaku hipotesa ubah bentukan Bernoulli akan tetapi ubah bentukan yang terjadi sangat kecil, lendutan yang terjadi sangat kecil (lebih kecil dari tebal/5) dan tidak bergantung pada koordinat tebal atau z , bahan pelat homogen dan isotrop, berlaku hukum Hooke dan tegangan normal σ_{zz} sangat kecil dan dapat diabaikan.

2.2.2 Deskripsi pelat dalam sistem koordinat kartesius

Komponen tegangan (σ) dan besaran potongan m dan q , dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 1.



Gambar 1 Deskripsi pelat dalam sistem koordinat kartesius

(Sumber: Arif, 2016 halaman 31)

Berdasarkan Gambar 1, maka momen lentur persatuan panjang pelat (m_x) adalah:

$$m_x = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{xx} \cdot z \cdot dz \quad m_y = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{yy} \cdot z \cdot dz \quad (1)$$

gigitan persatuan panjang (Nm/cm):



$$m_{xy} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{xy} \cdot z \cdot dz \quad m_{yx} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{yx} \cdot z \cdot dz \quad (2)$$

Dengan prinsip keseimbangan momen, mana $m_{xy} = m_{yx}$ dan berlaku pada sumbu z, kemudian gaya lintang persatuan panjang q (N/m) adalah:

$$q_x = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{xz} \cdot dz \quad q_y = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{yz} \cdot dz \quad (3)$$

2.3 Pembebanan Pada Kapal

2.3.1 Gaya Sentrifugal

Suatu benda dapat bergerak melingkar karena benda yang diputar tersebut memiliki percepatan menuju pusat lingkaran. Percepatan itu disebut dengan percepatan sentripetal. Percepatan sentripetal disebabkan oleh gaya yang menuju ke pusat lingkaran atau disebut gaya sentripetal. Gaya sentripetal dapat diamati jika menggunakan kerangka acuan inersial, yaitu kerangka acuan yang diam ataupun bergerak dengan kecepatan konstan terhadap bumi. Misalnya, bola yang diikatkan ke ujung tali diputar secara horizontal, gaya sentripetal akan membuat bola terus ditarik ke arah pusat sehingga bergerak secara melingkar.

Selain gaya sentripetal, ada satu gaya yang mirip akan tetapi memiliki definisi yang berbeda yaitu gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal merupakan gaya yang berlawanan dengan gaya sentripetal karena gaya sentrifugal menjauhi pusat lingkaran. Gaya sentrifugal didefinisikan dengan kecenderungan benda untuk mengikuti jalan melengkung untuk menjauh dari pusat atau sumbu. Gaya ini termasuk efek semu yang terjadi ketika benda melakukan gerakan melingkar.

Gaya sentrifugal mengacu pada Hukum II Newton dapat dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$F = m \times a_s \quad (4)$$

$$F = m \times \frac{v^2}{r} \quad (5)$$

$$F = m \times \omega^2 \times r \quad (6)$$

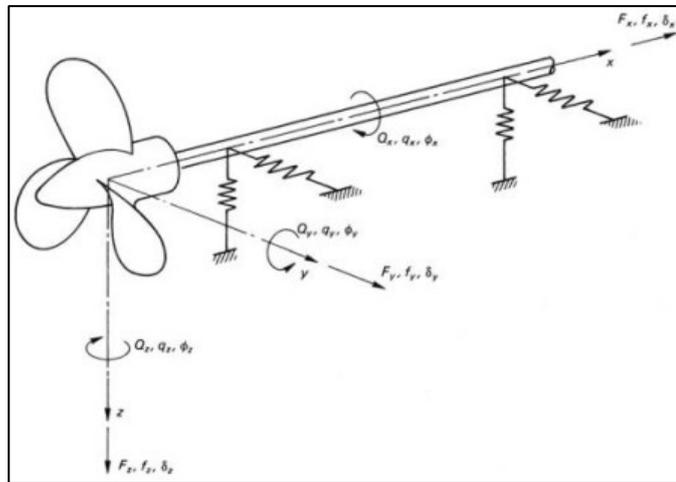
Dimana:



Gaya senrifugal (N)	m	= Massa (kg)
Percepatan sentrifugal (m/s^2)	v	= Kecepatan linear (m/s)
Kecepatan sudut (rad/s)	r	= Jari-jari lintasan (m)

2.3.2 Beban Bantalan (*Bearing Force*)

Baling-baling dan kapal berinteraksi dalam berbagai cara. Interaksi ini dilakukan melalui penggandengan antara sistem poros dan bejana atau melalui tekanan pasti yang ditransmisikan melalui air dari baling-baling ke permukaan lambung kapal. Kekuatan interaksi dan momen dapat dianggap terdiri dari komponen konstan yang berfluktuasi. Interaksi omponen konstan yang berfluktuasi berasal dari atribut seperti berat baling-baling, inersia dan medan bangun rata-rata yang terjadi ketika gaya dan momen baling-baling tidak seimbang secara signifikan (Carlton, 2007).



Gambar 2 Parameter getaran poros penggerak

(Sumber: *Marine Propellers and Propulsion*, 2007 halaman 269)

Persamaan gerak baling-baling dapat dituliskan sebagai berikut.

$$[M + Ma] \ddot{x} + C_p \dot{x} - f_s = f_e \quad (7)$$

Dimana:

M	= massa propeller	f_e	= gaya eksitasi
Ma	= massa <i>additional</i>	\ddot{x}	= percepatan sentripetal
C_p	= koefisien redaman	\dot{x}	= perpindahan
f_s	= gaya eksitasi eksternal		

Besarnya massa *additional* akibat adanya gaya hidrodinamika pada untu arah gaya tegak lurus dengan poros propeller (F_y) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Ma = 0.6363 \frac{\rho D^3}{\pi Z} \left(\frac{P}{D}\right)^2 \left(\frac{A_e}{A_o}\right)^2 \quad (8)$$

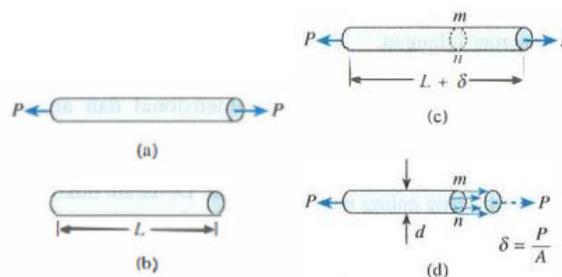


2.4 Tegangan, Regangan dan Elastisitas

2.4.1 Tegangan

Sebuah batang prismatis dengan panjang L yang diberikan aksi berupa gaya aksial P (gaya searah panjang batang) berupa tarik/tekan, akan menimbulkan reaksi pada batang yang menyebabkan terjadinya pertambahan/pengurangan panjang batang ΔL . Gere & Timoshenko (2000) menyatakan bahwa aksi ini terdiri atas gaya terdistribusi kontinu yang bekerja pada seluruh penampang. Intensitas gaya (yaitu gaya per satuan luas) ini disebut tegangan dan diberi notasi huruf Yunani σ (sigma). Jadi, gaya aksial P yang bekerja di penampang adalah resultan dari tegangan yang terdistribusi kontinu.

Penjelasan yang sama juga ditunjukkan pula oleh Sears (1944) dalam Wulandari dkk. (2016) yang menyatakan bahwa tegangan merupakan perilaku material saat diberikan gaya atau beban. Jika suatu material dengan nilai luasan penampang yang sama diberikan beban yang sama dan searah di sepanjang material tersebut nantinya akan timbul tegangan pada material tersebut. Semua bahan berubah bentuk karena pengaruh gaya. Ada yang kembali ke bentuk aslinya bila gaya dihilangkan, ada pula yang tetap berubah bentuk sedikit atau banyak.



Gambar 3 Batang prismatis yang mengalami tarik (a) diagram benda bebas dari segmen batang, (b) segmen batang sebelum dibebani, (c) segmen batang sesudah dibebani, dan (d) tegangan normal pada batang.

(Sumber: Gere & Timoshenko, 2000 halaman 4)

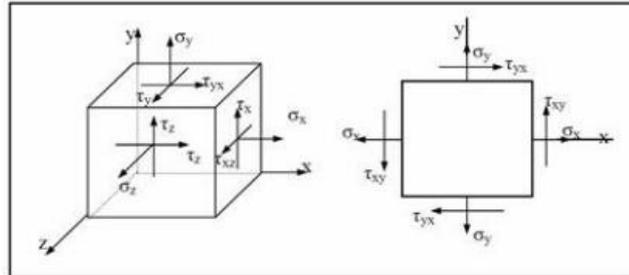
Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata di seluruh potongan mn (Gambar 2.3), dapat dilihat bahwa resultannya harus sama dengan intensitas σ dengan luas penampang A dari batang tersebut. Dengan demikian, rumus berikut untuk menyatakan besarnya tegangan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (9)$$



Dimana: σ = Tegangan aksial (N/mm²)
 P = Gaya aksial (N)
 A = Luas penampang batang (mm²)

Pada suatu bidang yang dikenai suatu gaya akan terdapat dua jenis tegangan yang mempengaruhi bidang tersebut, yaitu sebagaimana terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Tegangan yang bekerja pada suatu bidang

(Sumber: Oktavianus, 2015)

Keterangan:

σ_x = tegangan normal yang bekerja pada bidang x (N/mm²)

σ_y = tegangan normal yang bekerja pada bidang y (N/mm²)

σ_z = tegangan normal yang bekerja pada bidang z (N/mm²)

τ_{xy} = tegangan geser yang bekerja pada bidang normal x dalam arah y (N/mm²)

τ_{xz} = tegangan geser yang bekerja pada bidang normal x dalam arah z (N/mm²)

τ_{yx} = tegangan geser yang bekerja pada bidang normal y dalam arah x (N/mm²)

τ_{yz} = tegangan geser yang bekerja pada bidang normal y dalam arah z (N/mm²)

Adapun persamaan tegangan normal untuk bidang tiga dimensi adalah sebagai berikut:

$$\sigma_x = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\varepsilon_x(1-\nu) + \nu(\varepsilon_y + \varepsilon_z)] \quad (10)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\varepsilon_y(1-\nu) + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_z)] \quad (11)$$

$$\sigma_z = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\varepsilon_z(1-\nu) + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_y)] \quad (12)$$

Menurut Marciniak dkk. (2002), tegangan dibedakan menjadi dua yaitu *engineering stress* dan *true stress*. Pengertian dari *engineering stress* adalah tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas awal dari material. Sedangkan *true stress* merupakan tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas permukaan sebenarnya.



Hubungan antara *engineering stress* dan *true stress* dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\sigma_{true} = \sigma_{eng}(1 + \varepsilon_{eng}) \quad (13)$$

Dimana:

$$\sigma_{true} = \text{true stress (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{eng} = \text{engineering stress (N/mm}^2\text{)}$$

$$\varepsilon_{eng} = \text{engineering strain}$$

2.4.2 Regangan

Regangan diartikan sebagai pertambahan panjang per satuan panjang. Hukum Hooke menyatakan bahwa dalam batas-batas tertentu, tegangan pada suatu bahan adalah berbanding lurus dengan regangan. Regangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (14)$$

Dimana:

$$\varepsilon = \text{regangan}$$

$$\Delta L = \text{perubahan panjang (mm)}$$

$$L = \text{panjang awal (mm)}$$

2.4.3 Elastisitas

Elastisitas adalah sifat benda yang setelah diberi gaya dan kemudian gaya dihilangkan tetap dapat kembali ke bentuk semula. Apabila batas elastisitas tercapai dalam konstanta *Young* atau *Modulus Young*, maka benda akan mencapai batas deformasi yang berarti tidak dapat kembali ke bentuk semula (disebut plastis). Elastisitas benda kemudian dinyatakan dalam tegangan, regangan, dan menjadi dasar fenomena benda yang disebut pegas sebagaimana hukum Hooke (Macdonald, 2001).

Berdasarkan hukum Hooke, tegangan dan regangan memiliki hubungan yang berbanding terbalik selama masih berada di bawah batas elastisitas bahan

erbandingan antara tegangan dan regangan ini bernilai konstan. Bilangan ini dinamakan sebagai modulus elastisitas atau *modulus young* (E). elastisitas dapat dirumuskan sebagai berikut:



$$\text{Modulus Elastisitas} = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (15)$$

Jika persamaan tegangan dan regangan disubstitusikan ke dalam persamaan modulus elastisitas (E), maka dapat diperoleh persamaan berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{F.L}{A.\Delta L} \quad (16)$$

Atau untuk menentukan besarnya perubahan bentuk ΔL suatu benda, dapat dirumuskan sebagai berikut:

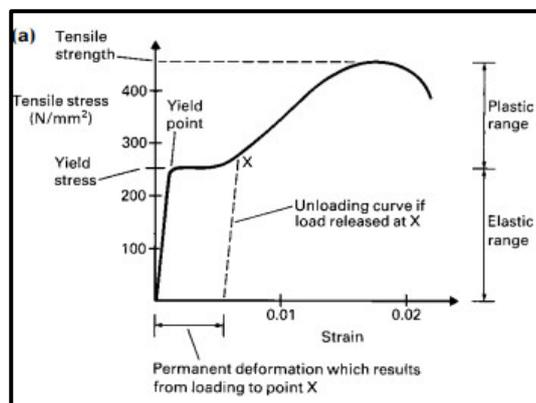
$$\Delta L = \frac{F.L}{A.E} \quad (17)$$

Dimana:

E	= modulus elastisitas (N/mm ²)	A	= luas penampang batang (mm ²)
σ	= tegangan (N/mm ²)	L	= panjang batang (mm)
ε	= regangan	F	= beban aksial total (N)
ΔL	= perubahan bentuk aksial total (mm)		

2.4.4 Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan antara tegangan dan regangan merupakan salah satu sifat dasar dari sebuah bahan. Gambar 5 menunjukkan grafik aksial tegangan diplot terhadap regangan aksial untuk baja. Dalam kedua kasus grafiknya lurus pada tahap awal pembebanan yang disebut dengan rentang elastis, dan kurva dengan rentang pembebanan lebih tinggi yang disebut tidak elastis atau kisaran plastis. Dalam rentang elastis, tegangan berbanding lurus dengan regangan dan rasio dari tegangan ke regangan yang merupakan gradien dari grafik bernilai konstan dan disebut modulus elastisitas bahan (E) (Macdonald, 2001).



Gambar 5 Grafik tipikal tegangan terhadap regangan.

(Sumber: Macdonald, 2001 halaman 138)



Dalam rentang in-elastis, jumlah deformasi yang terjadi untuk peningkatan tertentu dalam beban lebih besar daripada rentang elastis. Perbedaan lebih lanjut antara dua rentang adalah bahwa jika beban dilepaskan setelah in-elastis rentang telah memasuki spesimen tidak kembali ke panjang aslinya, terjadi deformasi permanen dan material dikatakan telah menyerah (Macdonald, 2001).

2.5 Teori Kelelahan (*Fatigue*)

Seringkali ditemui terjadinya kegagalan pada komponen suatu mesin yang terjadi akibat adanya tindakan berulang atau tegangan yang berfluktuasi. Akan tetapi, yang sebenarnya terjadi adalah tegangan maksimum masih berada di bawah tegangan *ultimate* material dan bahkan masih berada di bawah kekuatan luluh. Hal yang perlu digarisbawahi dalam masalah kegagalan ini adalah adanya tindakan yang diulang berkali-kali sehingga kegagalan ini dapat disebut kegagalan kelelahan.

Menurut Smallman (1991) dalam Borona (2010), kelelahan diartikan sebagai perilaku logam yang bilamana dibebani tegangan variabel siklis yang cukup besar (sering kali di bawah tegangan luluh) akan mengalami perubahan yang terdeteksi pada sifat mekaniknya. Atau dengan kata lain kelelahan dapat diartikan sebagai gejala kepatahan dini di bawah pengaruh tegangan yang berfluktuasi dan diikuti proses perambatan retak secara perlahan.

Kegagalan kelelahan disebabkan oleh pembentukan dan perambatan retak. Retak lelah biasanya akan dimulai pada diskontinuitas yang ada pada material dimana tegangan siklis maksimum (Budynas & Nisbett, 2011).

Diskontinuitas dapat timbul karena:

- Desain perubahan cepat pada penampang, alur pasak, lubang, dll. dimana konsentrasi tegangan terjadi.
 - Elemen yang menggelinding dan/atau meluncur satu sama lain (bantalan, roda gigi, bubungan, dll.) di bawah tekanan kontak tinggi, mengembangkan tekanan kontak bawah permukaan yang terkonsentrasi yang dapat menyebabkan *pitting* *spalling* permukaan setelah banyak siklus beban
- robohan di lokasi tanda stempel, tanda alat, goresan, dan gerinda; sendi buruk desain; perakitan yang tidak tepat; dan kesalahan fabrikasi lainnya.



- Komposisi material itu sendiri seperti yang diproses dengan *rolling*, *forging*, *casting*, *extrusion*, menggambar, perlakuan panas, dll. Permukaan dan bawah permukaan mikroskopis dan submikroskopis diskontinuitas muncul seperti inklusi bahan asing, segregasi paduan, rongga, partikel endapan keras, dan diskontinuitas kristal.

Umur kelelahan struktur merupakan waktu dimana struktur sudah tidak mampu menerima beban lagi yang menyebabkan kegagalan fungsi dari struktur tersebut. Oleh karena itu, analisis umur kelelahan suatu struktur adalah sebuah hal yang sangat penting dilakukan agar dapat memprediksi sampai mana struktur tersebut bertahan menahan beban berulang. Dalam buku *Mechanical Engineering Design 9th Edition* 2011 karya Richard G. Budynas dan J. Keith Nisbett, terdapat tiga metode yang digunakan dalam menganalisis umur kelelahan suatu struktur. Metode ini mencoba memprediksi umur kelelahan dalam jumlah siklus kegagalan N untuk tingkatan tertentu. Umur $1 \leq N \leq 10^3$ siklus umumnya diklasifikasikan sebagai kelelahan siklus rendah, sedangkan kelelahan siklus tinggi dianggap sebagai $N > 10^3$ siklus. Berikut ini adalah metode dalam menganalisis kelelahan struktur. Berdasarkan aturan BKI Volume 2 Tahun 2022, jumlah siklus untuk mengalami kelelahan dirumuskan dalam persamaan:

$$\text{Log}(N) = 7,0 + m \cdot Q \quad (18)$$

Nilai kerusakan:

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} \quad (19)$$

Umur kelelahan:

$$T_{life} = 1/D \quad (20)$$

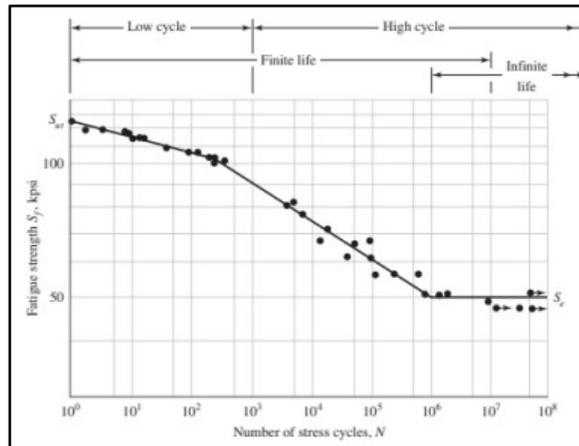
1. *The Stress-Life Method*

Metode *stress-life*, berdasarkan tingkat *stress* saja, adalah pendekatan yang paling akurat, terutama untuk aplikasi siklus rendah. Namun, metode ini adalah metode yang paling tradisional dan paling mudah untuk diimplementasikan untuk berbagai aplikasi desain, memiliki data pendukung yang cukup, dan mewakili aplikasi siklus tinggi secara memadai.



Untuk menetapkan kekuatan lelah suatu material, diperlukan sejumlah ujian karena sifat statistik kelelahan. Untuk uji balok berputar, beban lenturan diterapkan, dan jumlah putaran (pembalikan tegangan) balok

diperlukan untuk kegagalan dicatat. Pengujian pertama dilakukan pada tegangan yang agak di bawah kekuatan akhir material. Pengujian kedua dilakukan pada tegangan yang kurang dari itu digunakan pada awalnya. Proses ini dilanjutkan, dan hasilnya diplot sebagai diagram S-N (Gambar 6)



Gambar 6 Diagram S-N diplot sepenuhnya dari tes kelelahan aksial.

(Sumber: Budynas & Nisbett, 2011 halaman 274)

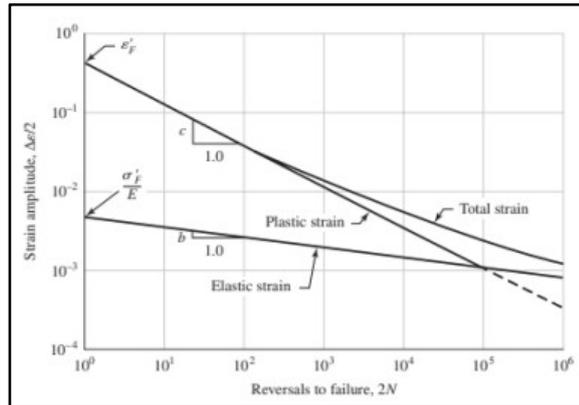
2. The Strain-Life Method

Pendekatan terbaik namun maju untuk menjelaskan sifat kegagalan kelelahan disebut oleh beberapa orang metode *strain-life*. Pendekatan ini dapat digunakan untuk memperkirakan kekuatan kelelahan, tetapi perlu menggabungkan beberapa idealisasi, sehingga beberapa ikatan yang tidak pasti akan ada dalam hasilnya. Kegagalan kelelahan hampir selalu dimulai pada diskontinuitas lokal seperti takik, retak, atau area konsentrasi tegangan lainnya. Ketika *stress* pada diskontinuitas melebihi batas elastis, terjadi regangan plastis. Jika fraktur kelelahan terjadi, harus ada strain plastis siklis. Jadi kita perlu menyelidiki perilaku bahan yang mengalami deformasi siklis.

R. W. Landgraf telah menyelidiki perilaku kelelahan siklus rendah dari sejumlah besar baja berkekuatan sangat tinggi, dan selama penelitiannya ia membuat banyak tegangan-regangan siklis plot. Gambar 7 telah dibuat untuk menunjukkan tampilan umum dari plot-plot ini untuk beberapa siklus pertama

regangan siklis terkontrol. Dalam hal ini kekuatannya berkurang dengan naiknya tegangan *stress*, sebagaimana dibuktikan oleh fakta bahwa pembalikan regangan semakin kecil tingkat *stress*.





Gambar 7 Plot log-log yang menunjukkan umur kelelahan terkait dengan amplitudo regangan.

(Sumber: Budynas & Nisbett, 2011 halaman 277)

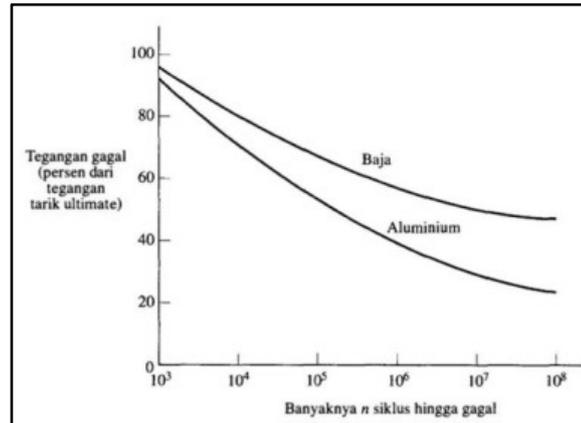
3. *The Linear-Elastic Fracture Mechanics Method*

Metode mekanika fraktur mengasumsikan retakan sudah ada dan terdeteksi. Metode ini kemudian digunakan untuk memprediksi pertumbuhan retak sehubungan dengan intensitas tegangan. Metode ini paling praktis bila diterapkan pada struktur besar bersamaan dengan kode komputer dan program inspeksi berkala.

Sebagaimana telah disebutkan, besarnya beban yang menyebabkan kegagalan fatik lebih kecil daripada beban yang dapat ditahan secara statis. Untuk menentukan beban gagal, pengujian bahan harus dilakukan. Dalam hal beban berulang, bahan diuji pada berbagai taraf tegangan dan banyaknya siklus hingga gagal dihitung. Sebagai contoh, suatu benda uji dari suatu bahan diletakkan pada mesin uji fatik dan dibebani berulang pada tegangan tertentu, katakanlah σ_1 . Siklus pembebanan diteruskan sampai kegagalan terjadi, dan banyak n siklus pembebanan hingga gagal dicatat. Pengujian ini diulang untuk tegangan yang berbeda, katakanlah σ_2 . Jika σ_2 lebih besar dari σ_1 , maka banyaknya siklus hingga gagal akan lebih kecil. Jika σ_2 lebih kecil dari σ_1 maka bilangan tersebut akan lebih besar. Akhirnya, data yang digunakan untuk memplot kurva ketahanan, atau diagram S-N, dimana tegangan gagal (S) diplot versus banyaknya (N) siklus hingga gagal

8) (Isworo,2018).





Gambar 8 Diagram S-N yang khas untuk baja dan aluminium.

(Sumber: Isworo, 2018 halaman 134)

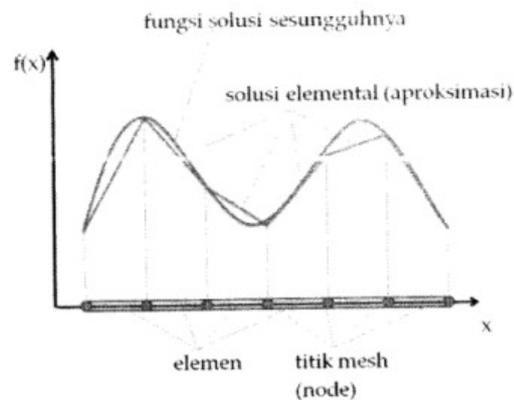
2.6 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk mendapatkan solusi persamaan diferensial, baik persamaan diferensial biasa (*Ordinary Differential Equation*) maupun persamaan diferensial parsial (*Partial Differential Equation*) (Kosasih, 2012).

Metode elemen hingga adalah cara pendekatan solusi analisis struktur secara numerik dimana struktur kontinum dengan derajat kebebasan tak hingga disederhanakan dengan diskretasi kontinum dalam elemen-elemen kecil yang umumnya memiliki geometri lebih sederhana dengan derajat kebebasan tertentu (berhingga), sehingga lebih mudah dianalisis (Sinaga dan Tambunan, 2008).

Menurut Kosasih (2012), proses inti MEH adalah membagi problem yang kompleks menjadi bagian-bagian kecil atau elemen-elemen dari mana solusi yang lebih sederhana dapat dengan mudah diperoleh. Solusi dari setiap elemen jika digabungkan akan menjadi solusi problem secara keseluruhan. Gambar 9 menjelaskan cara kerja MEH di mana solusi suatu problem yang kompleks diaproksimasikan oleh solusi elemen. Untuk mendapatkan solusi elemental, MEH menggunakan fungsi interpolasi untuk mengaproksimasikan solusi elemen. Untuk contoh ini suatu fungsi linear yang sederhana dipergunakan sebagai fungsi interpolasi. Setelah solusi setiap elemen diperoleh, dengan menggabungkan solusi-elemen maka solusi keseluruhan problem dapat diperoleh. Dengan akan fungsi polinomial seperti fungsi kuadratik sebagai fungsi interpolasi, ng lebih akurat bisa diperoleh.





Gambar 9 Aproksimasi solusi keseluruhan diperoleh dari gabungan solusi-solusi elemen.

(Sumber: Kosasih 2012)

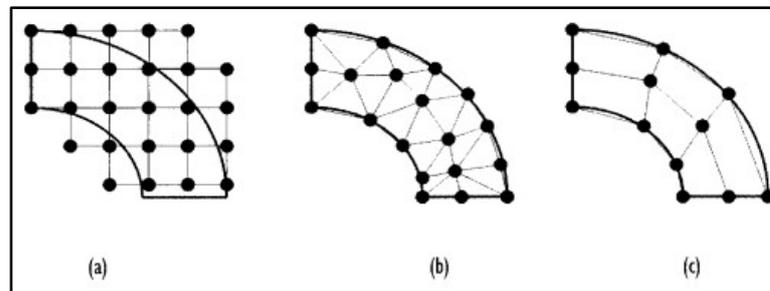
Prinsip MEH adalah mem bagi domain permasalahan, baik itu domain ruang (*spatial domain*) atau domain waktu (*time domain*), menjadi sub-domain atau elemen yang lebih kecil. Dengan menghitung solusi pada elemen-elemen dan selanjutnya mnggabungkan keseluruhan solusi elemental, solusi total dari permasalahan diperoleh. Dengan menghitung solusi per elemen tentunya solusi elemen harus memenuhi beberapa ketentuan, seperti kontinuitas pada titik-titik nodal dan atarmuka (*interface*) elemen.

Di samping Metode Elemen Hingga, metode numerik lain yang umum digunakan adalah Metode Perbedaan Hingga (MPH). Perbedaan utama dari kedua metode ini terletak pada solusi yang diperoleh dan juga bentuk (geometri) dari domain. MPH menghasilkan solusi aproksimasi pada titik-titik nodal (*pointwise solution*). Guna memperoleh solusi yang lebih akurat, jumlah titik nodal diperbanyak. MPH sulit digunakan pada domain dengan bentuk geometri yang kompleks. Hal ini dapat dipahami dari Gambar 10 yang berupa sebuah seperempat profil annulus. Mesh MPH digambarkan pada Gambar 10a dan mesh MEH pada Gambar 10b dan c. Jelas terlihat bahwa dengan menggunakan MPF, titik-titik mesh (*nodes*) tidak dengan tepat berada pada batas annulus. Hal ini akan mengurangi akurasi hasil dari MPH. Secara logika MPH dapat digunakan pada problem dengan domain yang kompleks asalkan kita gunakan ukuran mesh yang kecil sehingga

domain dapat diikuti titik-titik mesh secara lebih akurat. Hal ini tidak masalah jika MEH digunakan karena titik-titik mesh MEH dapat n pada batas domain (Gambar 10b dan 10c). Gambar 10 menggambarkan



dua jenis elemen MEH, yaitu elemen segitiga (*triangular element*) dan elemen segiempat (*quadrilateral element*).



Gambar 10 Elemen MEH (a) Mesh Metode Perbedaan Hingga, (b) elemen segitiga, (c) elemen segiempat. • adalah titik-titik mesh (*nodes*)

(Sumber: Kosasih 2012)

Dengan MEH, solusi yang diperoleh adalah fungsi interpolasi setiap elemen. Setelah fungsi interpolasi elemen dihitung, solusi keseluruhan dapat diperoleh. Fungsi-fungsi interpolasi setiap elemen ditentukan oleh nilai pada titik-titik mesh.

Pada prinsipnya penerapan Metode Elemen Hingga terdiri dari langkah-langkah berikut:

1. Diskretisasi domain

Pada tahap ini kita tentukan jenis elemen yang akan kita gunakan. Untuk problem 2-dimensi (Gambar 10), elemen 2-dimensi yang umum digunakan adalah elemen triangular (tiga sisi) atau quadrilateral (empat sisi). Elemen-elemen ini bisa berupa elemen linear ataupun nono-linear. Untuk problem 3-dimensi, elemen 3-dimensi yang umum digunakan adalah elemen tetrahedral (empat muka) dan heksahedral (enam muka). Terlihat pada Gambar 10, elemen-elemen yang digunakan mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Ini adalah salah satu keunggulan MEH dibandingkan MPH, di mana elemen-elemen yang berbeda ukuran dapat digunakan. Elemen-elemen berukuran kecil dapat digunakan pada daerah dengan gradasi nilai yang besar.

2. Penentuan bentuk fungsi aproksimasi



si yang umum digunakan adalah fungsi polinomial. Tingkat dari omial ini ditentukan oleh jumlah node pada setiap elemen dan syarat nunitas yang diperlukan pada batas elemen. Untuk elemen segitiga dengan

tiga titik nodal, fungsi interpolasinya adalah fungsi linear atau polinomial tingkat 1. Dengan enam titik nodal, fungsi interpolasi yang digunakan adalah fungsi polinomial tingkat 2 atau fungsi kuadratik.

3. Perhitungan properti elemen

Fungsi interpolasi yang telah ditentukan pada tahap 2 kemudian disubstitusikan kembali pada persamaan-persamaan diferensial dan diproses guna mendapatkan sistem persamaan linear atau sistem matriks yang merupakan properti dari elemen terkait. Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan persamaan linear tersebut, antara lain pendekatan direk, pendekatan variasional, pendekatan residu berbobot (*weighted residue*) dan pendekatan keseimbangan energi.

4. Pembentukan sistem persamaan linear

Matriks-matriks elemen yang terbentuk kemudian digabung menjadi matriks global. Ukuran matriks elemen adalah jumlah node per elemen dikalikan jumlah *degree of freedom (dof)* setiap node. Jadi untuk elemen segitiga dengan 3 node dan 1 *dof*, ukuran dari matriks elemennya adalah 3×3 . Seandainya setiap node mempunyai 2 *dof* maka ukuran matriks elemennya adalah 6×6 .

5. Pemecahan sistem persamaan linear

Sistem global yang terbentuk pada tahap 4 dapat berupa sistem persamaan linear atau sistem persamaan non-linear. Jika sistem yang terbentuk berupa sistem persamaan linear teknik-teknik umum untuk memecahkan sistem dapat kita gunakan.

6. *Post process*

Setelah solusi diperoleh pada tahap 5, hasil dapat ditampilkan berupa grafik kontour atau plot. Jika ada parameter lain yang bergabung pada hasil maka parameter ini dihitung setelah hasil diperoleh.

2.7 *Ansys*

Ansys adalah salah satu software yang digunakan untuk menganalisis macam struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas. Adapun contoh analisis yang lain yaitu *NASTRAN*, *CATIA*, *Fluent* dan yang lainnya (2013).



Pada penggunaannya, secara umum program ANSYS memiliki Tahapan utama yaitu:

1. *Pre-Processing* adalah langkah awal dalam permodelan elemen hingga. Pada *pre-processing* terdapat beberapa fungsi dimana kita harus mendefinisikan fungsi-fungsi tersebut akan menghasilkan perhitungan yang spesifik pada benda yang akan dianalisa. Fungsi-fungsi yang terdapat *pre-processing* adalah: permodelan, penentuan tipe elemen, penentuan material, dan *meshing*.
2. *Solution*. Pada tahapan ini FEM telah mendekati proses perhitungan dan analisa. Ada beberapa langkah dalam proses perhitungan yang harus dilalui terlebih dahulu. Langkah-langkah tersebut adalah: pembebanan dan analisa.
3. *General Post-Processing*. Setelah proses permodelan dan analisis selesai langkah selanjutnya adalah proses *post processing*. Proses ini digunakan untuk melihat hasil analisis, dalam hal ini hasil yang dilihat adalah *displacement*, momen, gaya geser, dan gaya normal yang terjadi (Kusbiantoro dkk,2016).

