

**PERBANDINGAN KEKUATAN *BRACKET FLANGE* DAN *BRACKET  
NON FLANGE* TERHADAP MOMEN LENTUR DAN PUNTIR**

**SKRIPSI**



**Oleh**

**ALIFAH UMMU ZAKIAH**

**D031171312**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam mengikuti Seminar dan Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Perkapalan Program Studi Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Judul Skripsi

**PERBANDING KEKUATAN BRACKET FLANGE DAN BRACKET NON FLANGE TERHADAP MOMEN LENTUR DAN PUNTIR**

Disusun Oleh :  
**Alifah Ummu Zakiah**  
**D031171312**

Gowa, ..... April 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I

**Dr.Eng. A. Ardianti, ST., MT**

**Nip. 19850526 201212 2 002**

Pembimbing II

**Hamzah, ST., MT.**

**Nip. 19800618 200501 1 004**

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.**

**Nip. 19730206 200012 1 002**



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

**Nama** : **Alifah Ummu Zakiah**  
**NIM** : **D031171312**  
**Program Studi** : **Teknik Perkapalan**  
**Jenjang** : **S1**

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul : **Perbandingan Kekuatan *Bracket Flange* Dan *Bracket Non Flange* Terhadap Momen Lentur Dan Puntir**

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

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.

Makassar,....Maret 2022

Yang Menyatakan,



**Alifah Ummu Zakiah**

## ABSTRAK

**ZAKIAH, ALIFAH UMMU.** 2022. “Perbandingan kekuatan *bracket flange* dan *bracket non flange* terhadap momen lentur dan puntir.” (dibimbing oleh **Andi Ardianti** dan **Hamzah**)

Dalam proses pembuatan kapal, diperlukan perancangan konstruksi yang aman serta bentuk dan desain yang baik. Dilihat dari bentuk konstruksi, *bracket* merupakan pelat siku yang berfungsi sebagai penguat sambungan antara dua elemen konstruksi, misalnya digunakan pada sambungan antara *Long.deck beam* dengan *stiffner*. *Bracket* mendapatkan beban dari kedua elemen yang dihubungkan. Karena adanya beban yang diterima oleh *bracket*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kekuatan *bracket flange* dan *bracket non flange* terhadap momen lentur dan puntir agar dapat digunakan sebagai acuan dalam analisis penggunaan *bracket* pada kapal dan Sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan perusahaan dalam pembangunan dan kapal. Metode yang digunakan yaitu metode elemen hingga yang terdapat dalam *software* ASYS<sup>TM</sup>. Data diperoleh dari data sekunder kemudian. Ditinjau dari segi tegangan, *bracket flange* lebih efektif di banding *bracket non flange* terhadap momen lentur dengan selisih selisih besaran tegangan maksimum pada *bracket non flange* setiap kenaikan beban yang diberikan 11,65 N/mm<sup>2</sup> dengan nilai yang konstan. besaran tegangan maksimum pada daerah *bracket flange* setiap kenaikan beban yang diberikan 25 N/mm<sup>2</sup> dengan nilai konstan. Tegangan maksimum terhadap momen puntir Selisih besaran tegangan maksimum *bracket flange* setiap kenaikan beban yang diberikan adalah 25,01 N/mm<sup>2</sup> dengan nilai yang konstan. Dan pada *bracket non flange* setiap kenaikan beban yang diberikan adalah 11,65 N/mm<sup>2</sup> dengan nilai yang konstan. Sedangkan kondisi terhadap kombinasi momen lentur dan momen puntir besaran tegangan maksimum pada *bracket non flange* setiap kenaikan beban yang diberikan adalah 18.8 N/mm<sup>2</sup> dengan nilai yang konstan dan besaran tegangan maksimum pada daerah *bracket flange* setiap kenaikan beban yang diberikan adalah 10.4 N/mm<sup>2</sup>

Kata Kunci : *Bracket Flange* , *Bracket Non Flange* , Tegangan

## ABSTRAC

ZAKIAH, ALIFAH UMMU. 2022. "Comparison of the strength of bracket flange and non flange bracket to bending and twisting moments." (guided by Andi Ardianti and Hamzah)

In the shipbuilding process, safe construction design is needed as well as good shape and design. Judging from the form of construction, bracket is an elbow plate that serves as a connection amplifier between two construction elements, for example used on the connection between long.deck beam with stiffener. Brackets get the load from both linked elements. Because of the load received by the bracket. This research aims to analyze the strength of flange brackets and non-flange brackets for bending and torsion moments so that they can be used as references in the analysis of the use of brackets on ships and as a consideration in the company's decision-making in construction and shipping. The method used is the element method up to those contained in ASYS<sup>TM</sup> software. The data is obtained from secondary data later. In terms of stress, the flange bracket is more effective than the non flange bracket against the bending moment with the difference in the maximum stress amount difference in the non flange bracket each load given 11.65 Nmm<sup>-2</sup> with a constant value. maximum stress amount in the flange bracket area of each given load increase of 25 Nmm<sup>-2</sup> with constant value. Maximum voltage to twist moment The difference in the maximum stress of the flange bracket per load given is 25.01 Nmm<sup>-2</sup> with a constant value. And in the non flange bracket each given load increase is 11.65 Nmm<sup>-2</sup> with a constant value. While the condition against the combination of bending moment and twist moment maximum voltage in the non flange bracket each load given is 18.8 Nmm<sup>-2</sup> with a constant value and maximum stress amount in the bracket flange area every load increase given is 10.4 Nmm<sup>-2</sup>

Keywords: Bracket Flange , Bracket Non Flange, Stress

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Perbandingan Kekuatan *Bracket Flange* Dan *Bracket Non Flange* Terhadap Momen Lentur Dan Puntir**” yang disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S1) di Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Serta tidak lupa shalawat serta salam tetap selalu tercurahkan kepada *Rasulullah* Muhammad SAW dan pengikutnya sampai akhir zaman.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini terdapat berbagai macam hambatan dan tantangan, namun semuanya dapat teratasi dengan penuh kesabaran dan keikhlasan serta bantuan, bimbingan, kritikan dan saran dari berbagai pihak. Penulis juga menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari kata sempurna dan masih banyak kekurangan di dalamnya baik dari segi kualitas maupun kuantitas materi penelitian yang dikerjakan. Sehingga penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang membangun demi kesempurnaan tulisan ini.

Selanjutnya penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang turut membantu dan penyelesaian penelitian ini. Olehnya itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda (Papake) **Arwan**, (Mamake) Alm. **St. Alwiah**, dan ibunda **Justiah** sebagai orang tua tercinta yang menjadi motivasi penulis, senantiasa mencurahkan kasih sayang, doa dan dukungan yang tiada hentinya kepada penulis. Semoga Ayahanda dan Ibunda selalu dalam lindungan Allah ﷻ. Semoga diberi umur panjang hingga penulis mampu membanggakan mereka.

2. Ibu **Dr. Eng Andi Ardianti, ST., MT** selaku pembimbing I serta penasehat akademik dan Bapak **Hamzah, ST, MT** selaku pembimbing II penulis senantiasa memberi arahan serta motivasi dan membimbing dengan penuh kesabaran dan keikhlasan selama berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing**, dan Bapak **Abdul Haris Djalante, ST.,MT.** selaku Penguji yang telah menghantarkan penulis memperoleh gelar akademik pada Departemen Teknik Perkapalan serta telah meluangkan waktu untuk berkonsultasi demi kesempurnaan tugas akhir ini.
4. Bapak **Dr.Eng Suandar Baso, ST., MT** selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Tante Arsiah yang telah banyak berjasa memberikan perhatian sebagai orang tua selama berkuliah di Makassar.
6. Keluarga Besar saya yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam perjalanan menyelesaikan studi.
7. Bapak Ibu dosen perkapalan departemen teknik perkapalan yang telah membantu meberi arahan dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.

8. Seluruh staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah.
9. Teman Labo Struktur. Mardawiah, Farid, Wardi, dan Amanul sebagai teman seperjuangan berada di laboratorium struktur kapal.
10. Bestie saya Luthfiah, Ririn, Iqra dan Wiah yang merupakan tempat mencurahkan keluh kesahku dan memberikan semangat.
11. Teman-teman cewek seperjuangan Penni, Selvy Ayu Evi Yorinda Desti Aya Yanti Inci dan Azaliah. Yang telah membantu memberikan doa, semangat dan bantuan lainnya.
12. Teman-teman kontrakan mawang Zidan, Afrian, Ode, Panda, Irham, Wafi, Dicky, Rama, Fadlu dan Aman yang selalu sabar dalam membantu dan memberikan dukungan selama berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
13. Teman bikini bottom Tia, Aye, Kiki, dan Kaput berbagi cerita bersama penulis.
14. Teman-teman **Naval Architecture 2017** yang memberikan semangat selama berkuliah dan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
15. Senior-senior atas ketersediaanya dalam berdiskusi dan berbagi ilmu.



16. Teman-teman **Posko KKN Gel 104 Palu** yang selalu memberi semangat dan telah banyak membantu dalam memberikan doa, semangat, motivasi serta bantuan lain. Semoga kalian semua diberi balasan yang setimpal oleh Allah ﷻ dan tetap semangat untuk tugas akhir di fakultas masing-masing.
17. Semoga pihak yang membantu dalam penulisan Tugas Akhir mendapatkan pahala oleh Allah ﷻ. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang berkenan membacanya dan mempelajarinya.

Makassar, Maret 2022

ALIFAH UMMU ZAKIAH

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRAC .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistem Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Bracket.....	5
2.1.1 Jenis <i>Bracket</i> .....	7
2.1.2 Adapun beban-beban yang bekerja pada <i>bracket</i> kapal yaitu :.....	8
2.1.3 Penggunaan <i>bracket</i> pada sambungan ujung gading .....	10
2.2 Beban Rancang Kapal .....	11
2.2.1 Beban Sisi Pada Kapal .....	12
2.2.2 Beban Alas Kapal.....	13

2.2.3	Beban pada Geladak Cuaca.....	13
2.3	Momen Lentur .....	16
2.4	Momen Puntir.....	17
2.5	Analisis Tegangan, Regangan dan Elastisitas .....	20
2.5.1	Tegangan (stress) .....	20
2.5.2	Regangan.....	24
2.5.3	Elastisitas.....	25
2.5.4	Hubungan Tegangan Dan Regangan.....	25
2.6	Tegangan Izin .....	27
2.7	Metode Elemen Hingga .....	27
2.8	ANSYS™ .....	31
BAB III METODELOGI PENELITIAN .....		32
3.1	Jenis Penelitian .....	32
3.2	Waktu Dan Tempat Penelitian.....	32
3.3	Teknik Pengumpulan Data Penelitian .....	32
3.4	Teknik Analisa Data .....	35
3.5	Kerangka Pikir.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		44
4.1	Percobaan Terhadap Momen Lentur .....	44
4.1.1	Variasi Pembebanan Struktur.....	44
4.1.2	Analisis Respon Struktur.....	45
4.2	Percobaan Terhadap Momen Puntir .....	49
4.2.1	Variasi Gaya.....	49
4.2.2	Analisis Respon Struktur.....	49
4.3	Percobaan Terhadap Kombinasi Momen Lentur Dan Momen Puntir .....	52
4.3.1	Variasi Konmbinasi Beban Pressure Dan Gaya.....	53
4.3.2	Analisis Respon Struktur.....	53

5.1 Kesimpulan.....	57
a. Saran.....	57
Daftar Pustaka.....	58
LAMPIRAN.....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Besaran Beban.....	44
Tabel 4. 2 Tegangan Bending Stress Pada Bracket Flange Dan Non Flange ..	47
Tabel 4. 3 Nilai variasi gaya .....	49
Tabel 4. 4 Nilai tegangan momen puntir terhadap <i>bracket flange dan bracket non flange</i> .....	52
Tabel 4. 5 Nilai variasi gaya dan beban .....	53
Tabel 4. 6 Tegangan maksimum terhadap momen lentur dan puntir .....	55

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jenis Bracket .....	8
Gambar 2. 2 Tipikal sambungan ujung gading geladak antara dan gading-gading bangunan atas .....	10
Gambar 2. 3 Sambungan <i>bracket</i> pada gading-gading. ....	11
Gambar 2. 4 Penampang memanjang.....	11
Gambar 2. 5 Komponen beban pada lambung kapal .....	14
Gambar 2. 6 Distribusi tegangan yang terjadi pada penampang melintang.....	14
Gambar 2. 7 Pembebanan .....	16
Gambar 2. 8 Pembebanan terhadap balok.....	17
Gambar 2. 9 Deformasi terhadap <i>stiffner</i> dengan profil yang tidak simetris ....	18
Gambar 2. 10 <i>An isolated single member having an offset face plate and attached plating</i> .....	19
Gambar 2. 11 <i>Torque distribution along the length of member</i> .....	20
Gambar 2. 12 Batang Prismatis yang mengalami tarik (a) diagram benda bebas dari segmen batang, (b) segmen batang setelah dibebani, (c) tegangan normal pada batang.....	20
Gambar 2. 13 Deformasi akibat momen lentur .....	23
Gambar 2. 14 Hubungan antara tanda momen lentur dan tanda kurvatur .....	24
Gambar 2. 15 Grafik hubungan antara tegangan-regangan. ....	25
Gambar 3. 1 <i>Profile Construction Section At Longitudinal Stiffener and Midship section</i> .....	33
Gambar 3. 2 Detail Gambar Bracket yang di tinjau.....	34
Gambar 3. 3 model (a) <i>bracket flange</i> (b) <i>bracket non flange</i> .....	35
Gambar 3. 4 Hasil pemodelan kontruksi Dengan Menggunakan <i>AutoCAD 2017</i> .....	36
Gambar 3. 5 Import Geometri ke Software ANSYS Workbench .....	37
Gambar 3. 6 <i>Material properties</i> yang digunakan pada geometri .....	37
Gambar 3. 7 <i>Bonded contact</i> antara pelat geladak dan <i>long.deck</i> .....	38
Gambar 3. 8 Pembebanan Pressure Pada Daerah Geladak .....	41
Gambar 3. 9 Letak Pemberian Gaya .....	41
Gambar 3. 10 Model yang telah di <i>running</i> dengan tanda centang .....	42

Gambar 4. 1 Deformasi arah sumbu Y pada <i>bracket flange</i> .....	45
Gambar 4. 2 Deformasi arah sumbu Y pada <i>bracket non flange</i> .....	46
Gambar 4. 3 Bending stress pada daerah <i>bracket flange</i> kondisi beban 100%.	46
Gambar 4. 4 Bending stress pada daerah <i>bracket non flange</i> kondisi beban 100% .....	47
Gambar 4. 5 Kurva tegangan momen lentur terhadap <i>bracket flange</i> dan non flange.....	48
Gambar 4. 6 Deformasi arah sumbu Y pada <i>bracket non flange</i> .....	50
Gambar 4. 7 Deformasi arah sumbu Y pada <i>bracket flange</i> .....	50
Gambar 4. 8 Gambar tegangan pada daerah <i>bracket flange</i> diberikan gaya 40 KN.....	51
Gambar 4. 9 Gambar Tegangan pada daerah <i>bracket non flange</i> diberikan gaya 40 KN .....	51
Gambar 4. 10 Kurva tegangan momen puntir terhadap <i>bracket flange dan bracket non flange</i> .....	52
Gambar 4. 11 Deformasi pada sumbu y pada <i>bracket non flange</i> .....	54
Gambar 4. 12 Deformasi pada <i>bracket flange</i> .....	54
Gambar 4. 13 Gambar tegangan percobaan pertama kombinasi untuk model <i>bracket non flange</i> dengan pressure 100 % dan gaya 60 KN .....	55
Gambar 4. 14 Gambar tegangan percobaan pertama kombinasi untuk model <i>bracket flange</i> dengan pressure 100 % dan gaya 60 KN .....	55
Gambar 4. 15 kurva tegangan maksimum pada momen lentur dan puntir terhadap <i>bracket flange dan non flange</i> . .....	56

## DAFTAR NOTASI

$L$	=	Panjang kapal ( m )
$B$	=	Lebar kapal
$C_0$	=	Koefisien gelombang
$C_{RW}$	=	<i>Service range coefficient</i>
$C_L$	=	Koefisien panjang
$l$	=	Panjang Batang ( mm )
$\sigma_b$	=	Tegangan lengkung
$\tau$	=	Tegangan geser
$\sigma_v$	=	Tegangan Ekuivalen
$W$	=	Beban (N)
$P$	=	Tekanan ( $\text{kg/m}^2$ )
$A$	=	Luas penampang ( $\text{m}^2$ )
$V$	=	Kecepatan (m/det)
$R$	=	Koefisien beban hujan ( $\text{kg/m}^2$ )
$a_z$	=	Percepatan Vertikal
$a_y$	=	Percepatan Melintang
$a_x$	=	Percepatan Memanjang
$a_0$	=	Percepatan Dasar
$\varepsilon$	=	Regangan normal (mm/mm)
$\delta$	=	Perubahan panjang (mm)
{ }	=	Vektor kolom
$K$	=	Kekakuan
[ ]	=	Matriks
$k$	=	Faktor baja
$u$	=	Displacement



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Pada dasarnya sistem desain struktur yang aman serta bentuk desain yang baik sangat di butuhkan dalam proses pembuatan kapal. Salah satu aspek teknis yang juga mempengaruhi tingkat keselamatan kapal yaitu kekuatan strukturnya. Struktur konstruksi kapal akan mengalami berbagai beban antara lain beban internal yang disebabkan oleh pembebanan yang ada di kapal seperti pembebanan muatan, anak buah kapal, provision, bahan bakar, dan lainnya lalu beban eksternal seperti gelombang laut serta posisi kapal terhadap gelombang laut itu sendiri dan juga angin. Untuk menopang beban kapal dibutuhkan kostruksi yang kuat. Titik acuan yang dapat menjamin kekuatan struktur kapal adalah tegangan.

Braket di kapal merupakan struktur tambahan yang dapat menahan konsentrasi tegangan, sebagai penguat antara dua konstruksi yang di sambungkan ini biasa disambungkan antara *longitudinal deck beam* dengan *stiffener*. Ada dua jenis *bracket* pada umumnya, *brackets flange* dan *bracket Non flange* sebagai penguat sambungan dua elemen konstruksi maka braket akan mendapatkan beban dari kedua elemen yang dihubungkan. Perbedaan pada kedua jenis *bracket flange* dan *bracket non flange* pada *bracket flange* terdapat penambahan plat pada sisi *bracket*. Karena adanya beban yang diterima dari braket hubungan antara balok-balok yang dihubungkan dengan braket, sangat berpengaruh pada integritas struktur kapal secara total. Dengan demikian fungsi braket dalam meneruskan beban atau tegangan dari balok yang berhubungan itu menentukan kekuatan struktur kapal. Meneliti Kekuatan *Brecket flange* dan *bracket non flange* terhadap beban lain yang bekerja seperti momen lentur dan

momen puntir yang di dapatkan dan menyimpulkan tegangan maksimal antara kedua jenis bracket akibat pengaruh beban yang di terima. Sehingga penelitian kali ini yaitu:

**“Perbandingan Kekuatan *Bracket Flange* dan *Bracket Non Flange* terhadap momen lentur dan puntir”.**

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang disebutkan diatas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perbandingan kekuatan *bracket flange* dan *bracket non flange* terhadap momen lentur?
2. Bagaimana perbandingan kekuatan *bracket flange* dan *bracket non flange* terhadap momen puntir?
3. Bagaimana perbandingan kekuatan *bracket flange* dan *bracket non flange* terhadap kombinasi momen lentur dan puntir?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk menghitung dan menganalisis kekuatan *bracket flange* dan *bracket non flange* pada kapal, maka penulis membatasi analisa pada:

1. Model sambungan *bracket* dilakukan antara *longitudinal deck beam* dan *stiffener*
2. Ukuran profil dan *bracket* dibuat sama pada kedua model
3. Bracket yang di gunakan menggunakan Janis sambungan yang sama *bracket tempel*
4. Analisa struktur menggunakan aplikasi *software ANSYS Workbench*
5. Untuk memperoleh momen puntir, diberikan momen yang disimulasikan

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penulisan ini adalah:

- 1) Untuk menganalisis perbandingan kekuatan *bracket flange* dan *bracket non flange* terhadap momen lentur
- 2) Untuk menganalisis perbandingan kekuatan bracket yang menggunakan *bracket flange* dan *bracket non flange* terhadap momen puntir
- 3) Untuk menganalisis perbandingan kekuatan *bracket flange* dan *bracket non flange* terhadap kombinasi momen lentur dan puntir

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan:

- 1) Dalam analisis penggunaan bracket pada kapal
- 2) Sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan dalam pembangunan kapal

#### 1.6 Sistem Penulisan

BAB I Pendahuluan, mencakup latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka memberikan penjelasan mengenai Gambaran umum konstruksi bracket, teori beban rancang kapal, teori beban momen lentur dan puntir, teori elastisitas, teori hubungan antara tegangan dan regangan, teori tentang tegangan izin, dan metode elemen hingga.

BAB III Metode Penelitian menjelaskan jenis metode penelitian yang digunakan untuk memperoleh data yang dibutuhkan dan teknik analisis data.

BAB IV Hasil dan Pembahasan menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dan membahas hasil penelitian tersebut yang meliputi beban momen lentur, momen puntir dan tegangan

BAB V Kesimpulan dan Saran berisi simpulan dari penelitian dan saran.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Bracket

Pengertian *bracket* secara umum adalah suatu konstruksi dari bahan logam, aluminium, plastik dan kayu yang berfungsi sebagai penopang atau penahan suatu konstruksi tersebut agar tidak mengalami pembengkokan atau deformasi pada suatu konstruksi tersebut (Syam Muh Faisal, 2017).

Karena kurung baja yang diradiasi ternyata memiliki kekuatan *ultimate* yang jauh lebih sedikit dari pada kurung segitiga, yang terakhir direkomendasikan untuk penggunaan umum. Untuk meningkatkan keandalan struktural dan integritas struktur kapal, braket baja dengan rasio aspek sama dengan atau lebih besar dari 1,0 yang harus digunakan. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa meningkatkan ketebalan braket baja adalah cara paling efisien untuk meningkatkan kekuatan pamungkasnya. Jika ini tidak mungkin, disarankan untuk meningkatkan luasnya braket (bukan ketinggiannya) untuk meningkatkan kapasitas pengangkutan beban. Dalam sudut pandang desain struktural konservatif, formula desain kondisi batas yang didukung sederhana direkomendasikan untuk digunakan dalam desain braket baja. Mempertimbangkan bahwa banyak ketidakpastian yang terlibat karena kondisi geometris dan batas, antara lain, penelitian lebih lanjut direkomendasikan untuk melakukan percobaan pada model braket skala penuh atau besar yang akan digunakan untuk memeriksa mekanisme keruntuhan lebih realistis dan juga untuk memvalidasi. (Sang Eui dkk, 2015)

Menurut BKI Tahun 2016 ukuran konstruksi *bracket* ditentukan oleh modulus penampang profil yang disyaratkan. Bila profil dengan modulus penampang yang berbeda di hubungkan satu sama lain, maka ukuran konstruksi *bracket* umumnya dihitung berdasarkan profil yang lebih kecil. Tabel *bracket* tidak boleh kurang dari dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1:

$$t = c \cdot \sqrt[3]{\frac{W}{k_1}} + t_k \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

Dimana :

- $c$  = 1,2 untuk *bracket* tanpa *flange*  
= 0.95 untuk *bracket* dengan *flange*
- $k_1$  = faktor bahan k untuk profil
- $t_k$  = margin korosi sesuai dengan k
- $W$  = modulus penampang
- $t_{\min}$  = 5 +  $t_k$  mm
- $t_{\max}$  = tebal bilah profilyang lebih kecil

Tabel *bracket* dalam tangki tidak boleh kurang dari tabel minimum  $t_{\min}$  panjang lengan *bracket* tidak boleh kurang dari  $c$  :

$$l = 46,2 \sqrt[3]{\frac{W}{k_1}} \cdot \sqrt{k_2} \cdot c_t \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

Dimana :

- $l_{\min}$  = 100 mm
- $c_t = \sqrt{\frac{t}{t_a}}$
- $t_a$  = table *bracket* “sesuai yang terpasang”  $\geq t$  *bracket*

$\geq t$  menurut persamaan 2.2

$W$  = lihat persamaan 2.2

$k_2$  = factor bahan k untuk bracket

*Catatan : untuk panjang lengan yang berlainan, tebal bracket harus dihitung dengan perhitungan langsung dengan pertimbangan factor keamanan yang cukup terhadap tekukan.*

Ukuran konstruksi *bracket* (tebal. Panjang lengan )serta hubungannya dengan berbagai profil dapat diambil dari tabel dalam lampiran *Rules* BKI. Bila digunakan bracket berflange maka lebar flange dihitung berdasarkan persamaan 2.3

$$b = 40 + \frac{W}{30} \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

$b$  tidak boleh kurang dari 50 mm dan tidak perlu lebih besar dari 90 mm.

### 2.1.1 Jenis *Bracket*

#### 1) *Plate Bracket*

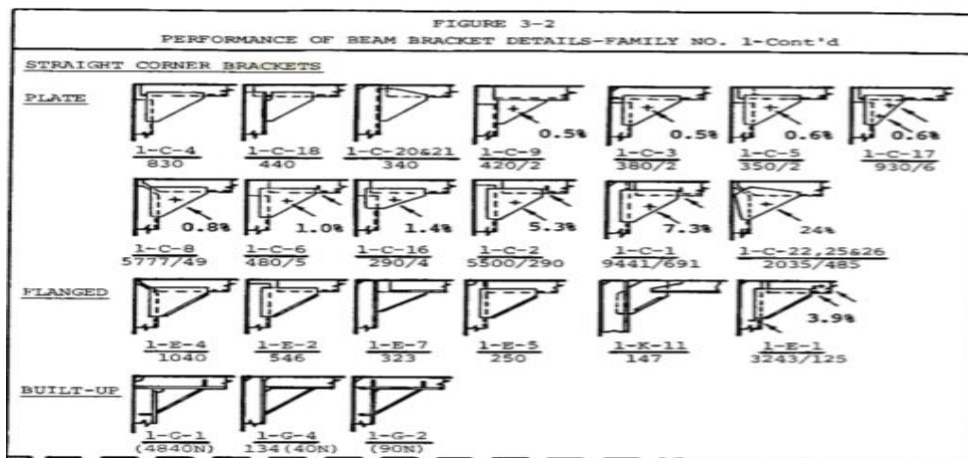
Jenis plat datar braket sudut dengan sisi miring yang kosong telah digunakan secara komersil pada kapal gambar 2.3 dengan hanya beberapa yang ditemui pada kapal beberapa kasus kedua penegar ditiadakan pada ujung penegar tersebut. Misalnya laut. Pada pada gambar I-C-4 dan satu I-c-9 sedangkan pada yang lain satidaknya satu stifner berakhir dengan las I-c-20 dan I-c-3. Kegagalan telah diamati lebih dari setengah konfigurasi dengan buckling sebagai kegagalan utama. Menyediakan ketebalan bracket yang memadai untuk mencegah buckling yang menjadi masalah utama pada desain.

2) *Flange brackets*

Menambahkan *flange* pada plat datar bracket sudut menghilangkan sebagian besar kegagalan buckling. Namun Beberapa kegagalan *buckling* masih bisa terjadi dikarenakan *asimetris*.

3) *built-up*

tipe built-up braket, penyesuaian ketebalan dan optimalisasi bentuk dengan mempertimbangkan memperkecil tegangan. Selain itu desain mempermudah persyaratan pengelasan. Detail I-G-4



Gambar 2. 1 Jenis Bracket  
Ship structure commite 1990

2.1.2 Adapun beban-beban yang bekerja pada *bracket* kapal yaitu :

1. Gaya tekan, yaitu gaya yang bekerja pada geladak kapal yang diterima oleh geladak dan gading kapal.

$$\sum F = m \cdot a \quad (2.4)$$



Dimana :

- $F$  = Gaya (N)
- $m$  = Massa (kg atau g)
- $a$  = Percepatan ( $\text{m/s}^2$ )

$$p = \frac{F}{A} \quad (2.5)$$

dimana :

- $p$  = Tekanan ( $\text{N/m}^2$ )
- $F$  = Gaya (N)
- $A$  = Luas alas/penampang ( $\text{m}^2$ )

Gaya berat yaitu gaya yang bekerja akibat dari berat konstruksi maupun dari gaya gravitasi bumi.

$$w = m \cdot g \quad (2.6)$$

dimana :

- $w$  = Gaya berat (N)
- $m$  = Massa benda (kg)
- $g$  = Gravitasi bumi ( $\text{m/s}^2$ )

2. Gaya gesak terjadi akibat gesekan yang bekerja pada bracket kapal :

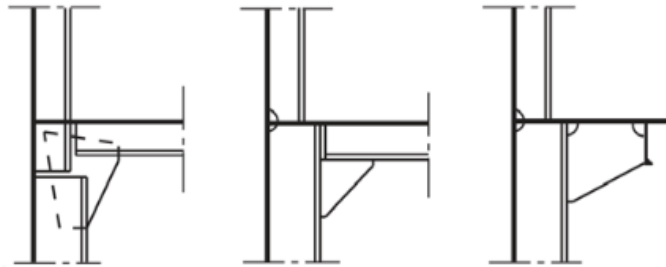
$$F_g = \mu \cdot N \quad (2.7)$$

Dimana :

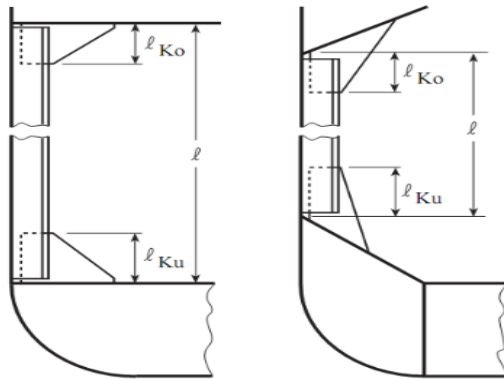
- $F_g$  = Gaya gesek (N)
- $\mu$  = Koefisien gesekan
- $N$  = Gaya normal (N)

### 2.1.3 Penggunaan *bracket* pada sambungan ujung gading

- 1) Sambungan atas ke konstruksi geladak dan/atau ke gading geladak antara ditentukan sesuai ukuran *bracket* berdasarkan modulus penampang balok geladak atau gading geladak antara yang mana lebih besar.
- 2) Jika gading didukung oleh geladak yang diperkuat secara membujur, maka gading yang dipasang di antara gading besar harus dihubungkan ke pembujur di dekatnya dengan *bracket*.
- 3) Gading geladak antara harus dihubungkan ke gading utama dibawahnya atau ke geladak dengan penggunaan *bracket* (BKI, 2016). Dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan 2.3.



Gambar 2. 2 Tipikal sambungan ujung gading geladak antara dan gading-gading bangunan atas  
(sumber :BKI, 2016)



Gambar 2.3 Sambungan *bracket* pada gading-gading.  
(sumber :BKI, 2016)

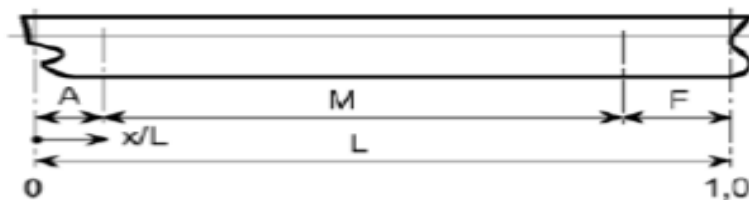
## 2.2 Beban Rancang Kapal

Beban rancang kapal merupakan beban untuk menentukan ukuran konstruksi lambung dengan rumus rancang yang diberikan dalam pedoman BKI, 2016 untuk arah gelombang berlawanan atau searah dengan arah laju kapal seperti persamaan 2.4

$$p_o = 2,1 \cdot (C_B + 0,7) \cdot c_0 \cdot c_L \cdot f \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.8)$$

Untuk arah gelombang melintang terhadap arah maju kapal.

$$p_{01} = 2,6 \cdot (C_B + 0,7) \cdot c_0 \cdot c_L \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.9)$$



Gambar 2. 4 Penampang memanjang  
(sumber :BKI, 2016)

$$\begin{aligned}
a_v &= F \cdot m \\
F &= 0,11 \frac{v_0}{\sqrt{L}} \\
m &= m_0 - 5 (m_0 - 1) \frac{x}{L} && \text{for } 0 \leq \frac{x}{L} \leq 0,2 \\
&= 1,0 && \text{for } 0,2 < \frac{x}{L} \leq 0,7 \\
&= 1 + \frac{m_0 + 1}{0,3} \left[ \frac{x}{L} - 0,7 \right] && \text{for } 0,7 < \frac{x}{L} \leq 1,0 \\
m_0 &= (1,5 + F)
\end{aligned}$$

### 2.2.1 Beban Sisi Pada Kapal

Beban sisi untuk elemen yang pusat bebannya terletak di bawah garis muat dan arah gelombang berlawanan atau searah dengan arah laju kapal dengan Persamaan 2.10.

$$P_s = 10 (T-z) + p_o \cdot c_f \left( 1 + \frac{z}{T} \right) \quad [ \text{kN/m}^2 ] \quad (2.10)$$

Beban sisi untuk elemen yang pusat bebannya terletak di bawah garis muat dan arah gelombang melintang terhadap arah maju kapal. Termasuk penambahan tekanan quasi-statis akibat kemiringan kapal dengan Persamaan 2.11.

$$P_{s1} = 10 (T-z) + p_{o1} \left[ 1 + \frac{z}{T} \left( 2 - \frac{z}{T} \right) \right] \cdot 2 \frac{|y|}{B} \quad [ \text{kN/m}^2 ] \quad (2.11)$$

$y$  = jarak horizontal antara pusat beban dan garis tengah kapal (m)

Beban sisi elemen yang pusat bebannya berada diatas garis muat dan arah gelombang berlawanan atau searah dengan arah laju kapal dengan Persamaan 2.12.

$$P_s = p_o \cdot c_f \left( 1 + \frac{20}{10 + z - T} \right) \quad [ \text{kN/m}^2 ] \quad (2.12)$$

Beban sisi untuk elemen yang pusat bebannya terletak di bawah garis muat dan arah gelombang melintang terhadap arah maju kapal. Termasuk penambahan tekanan quasi-statis akibat kemiringan kapal dengan Persamaan 2.13.

$$P_{sl} = \left( 1 + \frac{20}{10 + z - T} \right) \frac{|y|}{B} \quad [ \text{kN/m}^2 ] \quad (2.13)$$

y = jarak horizontal antara pusat beban dan garis tengah kapal (m)

### 2.2.2 Beban Alas Kapal

Beban luar  $p_B$  pada alas kapal ditentukan pada Persamaan 2.14 arah gelombang berlawanan atau searah dengan arah laju kapal.

$$p_B = 10 \cdot T + p_o \cdot c_f \quad [ \text{kN/m}^2 ] \quad (2.14)$$

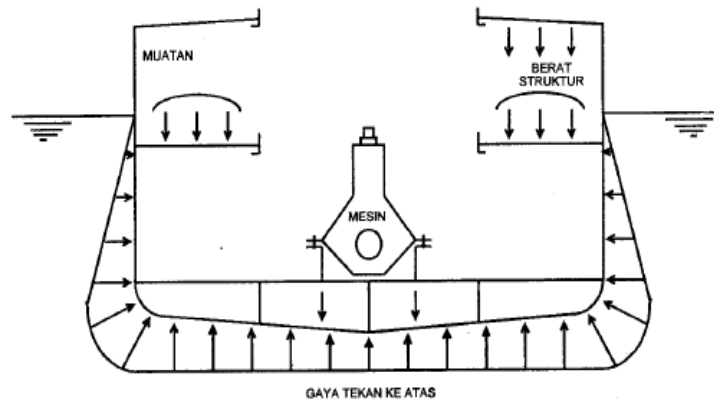
Beban alas arah gelombang melintang terhadap arah maju kapal. Termasuk penambahan tekanan quasi-statis akibat kemiringan kapal dengan Persamaan 2.15.

$$p_B = 10 \cdot T + p_{o1} \cdot 2 \frac{|y|}{B} \quad [ \text{kN/m}^2 ] \quad (2.15)$$

### 2.2.3 Beban pada Geladak Cuaca

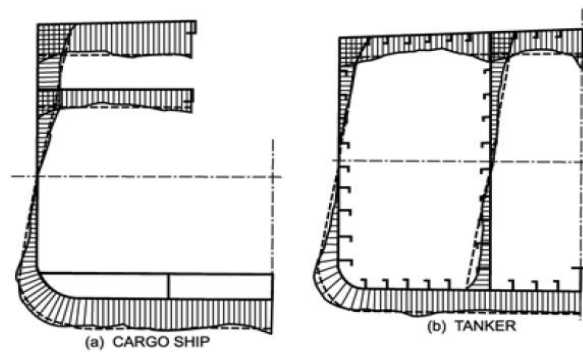
$$P_D = \left( p_o + \frac{20}{(10 + z - T)H} \right) c_D \quad [ \text{kN/m}^2 ] \quad (2.16)$$

Beban yang bekerja pada kapal seperti beban pada geladak, beban pada sisi, dan beban pada alas. Sehingga jelas bahwa komponen utama struktur kapal ialah struktur alas (*bottom structure*), struktur sisi (*side structure*), dan struktur geladak. Beban- beban ini mungkin menimbulkan pengaruh struktur lokal dan harus diperhitungkan dalam perancangan meliputi Gambar 2.5. beban-beban ini terdiri dari dua bagian, yaitu : 1) gaya tekan ke atas, dan gaya 2) hidrostatis pada bidang luar lambung kapal yang tercelup. Gaya berat adalah gaya ke bawah yang terbesar pada seluruh kapal beserta isinya.



Gambar 2. 5 Komponen beban pada lambung kapal  
( Sumber : Rosyid, 2000).

Akibat dari beban-beban ini maka semua bagian dari konstruksi kapal mengalami beberapa jenis tegangan seperti Gambar 2.6. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan distribusi tegangan aktual atau yang terjadi berbeda dengan distribusi tegangan ideal. Karena tegangan geser melintang, sehingga terjadi distorsi berdasarkan panjang dsari penampang balok lambung (*hull girder*).



Gambar 2. 6 Distribusi tegangan yang terjadi pada penampang melintang  
(*sumber : Hughes, 2010*).

Ukuran (*scantling*) pada struktur melintang kapal ditentukan dengan peraturan BKI 2016, yaitu :

1. Balok geladak (*deck beam*)

Modulus penampang balok geladak tidak boleh kurang dari :

$$W = c \cdot a \cdot P_D \cdot l^2 \cdot k \quad (\text{cm}^3) \quad (2.17)$$

dimana :

$$c = 0,75 \quad (\text{untuk balok dan girder})$$

$$a = \text{jarak antar gading (m)}$$

$$= \frac{\text{LBP}}{500} + 0,48 \quad (\text{m})$$

$$P_D = \text{beban geladak cuaca [ kN/m}^2 \text{ ]}$$

$$l = \text{panjang tak ditumpu (m)}$$

$$k = 1,0 \text{ untuk material baja}$$

2. Gading utama (*main frame*)

Modulus penampang gading utama :

$$W_R = n \cdot c \cdot a \cdot l^2 \cdot P \cdot C_R \cdot k \quad (\text{cm}^3) \quad (2.18)$$

dimana :

$$n = 0,7 \quad (\text{untuk kapal dengan } L \leq 100 \text{ m})$$

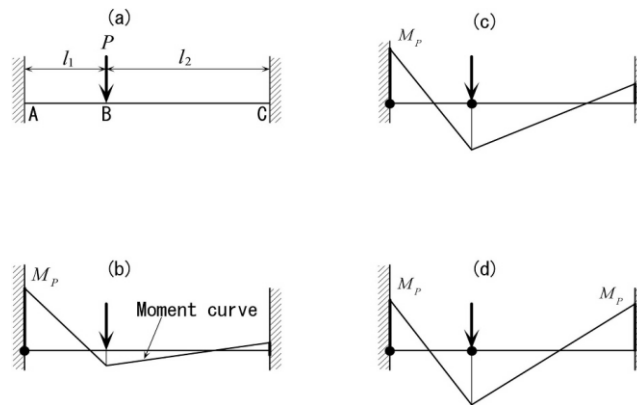
$$c = 0,65$$

$$P = P_s = \text{beban luar sisi kapal tiap geladak [ kN/m}^2 \text{ ]}$$

$$C_R = 0,75$$

### 2.3 Momen Lentur

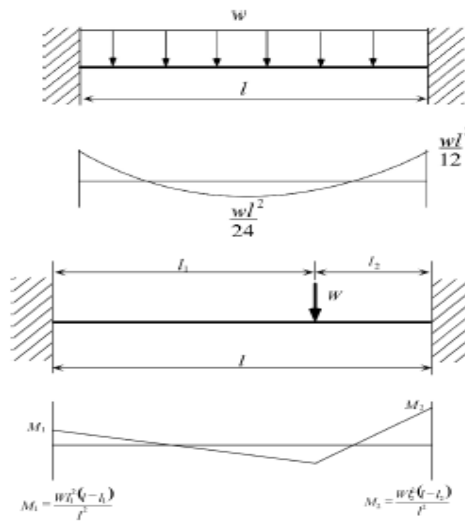
Mari kita pertimbangkan balok yang dijepit di kedua ujungnya, dan dimuat dengan lateral yang terkonsentrasi gaya  $P$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.7 (a). Dalam rentang elastis kelengkungan balok berbanding lurus dengan momen lentur. Jika beban  $P$  meningkat, titik overlap terdekat (titik A), akan mencapai tegangan luluh, dan kemudian plastisitas akan menyebar ke seluruh kedalaman balok sampai bagian menjadi sepenuhnya plastik, dikenal sebagai momen plastik  $M_p$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.7 (b). Bahkan jika bebannya meningkat lebih lanjut, sinar dapat menyerap momen lentur lebih lanjut di bagian ini.



Gambar 2. 7 Pembebanan  
(sumber : Yasuhisa Okumoto dkk, 2009)

Seolah-olah engsel telah dimasukkan dalam balok di bagian ini, dan karenanya kondisi ini dalam sebuah balok disebut engsel plastik. Setelah itu dengan peningkatan beban, momen pada titik B menjadi  $M_p$  dan engsel plastik terjadi lagi, dan akhirnya pada titik C. Terjadinya kondisi seperti itu membuat struktur tidak mampu membawa apapun beban lebih lanjut dan itu disebut keruntuhan oleh mekanisme, dan beban terakhir disebut runtuh atau beban akhir.





Gambar 2. 8 Pembebanan terhadap balok  
(sumber :Yasuhisa Okumoto dkk,2009)

$$M = \frac{wl^2}{12} = \frac{Wl}{12} \quad (2.19)$$

dimana

M = momen lentur maksimum

w = beban seragam per satuan panjang

W = total load,  $W = wl$

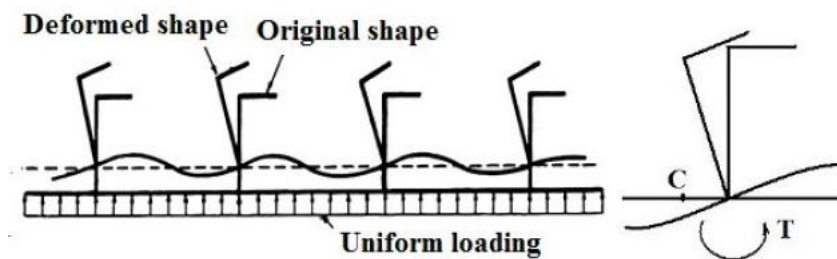
l = rentang balok

#### 2.4 Momen Puntir

Puntiran atau torsi adalah suatu kondisi yang dialami oleh suatu benda yang terjadi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja berlawanan arah terhadap kedua ujung ujungnya. Kopel-kopel yang menghasilkan pemuntiran terhadap sebuah benda disebut momen putar (torque) atau momen puntir (twisting mo-

ment). Momen sebuah kopel sama dengan hasil kali salah satu gaya dari pasangan gaya ini dengan jarak antara garis kerja dari masing-masing gaya.

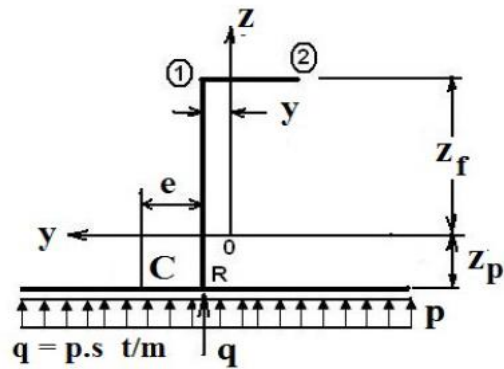
Profil yang tidak simetris banyak digunakan oleh pembuat kapal pada umumnya lebih ekonomis untuk dibuat dari pada bagian profil simetris. Profil yang tidak simetris, bagaimanapun, tidak efisien secara struktural karena pengembangan tegangan lengkung lentur karena pembebanan torsional yang dikembangkan oleh offset posisi pusat geser, lihat Gambar 2.9. Mode deformasi sebuah panel kaku dengan bagian sudut yang tidak simetris terutama dihasilkan dari offset posisi pusat geser  $C$  pada sisi berlawanan pelat muka, lihat Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Deformasi terhadap *stiffner* dengan profil yang tidak simetris  
(sumber : Yasuhisa Okumoto dkk, 2009)

#### Prosedur Sederhana untuk Menghitung Lengkungan Tegangan Lentur

Untuk bagian tunggal yang terisolasi yang memiliki pelat muka offset dan pelapisan terlampir, resultan dari tekanan lateral eksternal melewati titik  $R$ , lihat gambar 2.10.



Gambar 2. 10 An isolated single member having an offset face plate and attached plating  
(sumber : Yasuhisa Okumoto dkk, 2009)

Bagian tunggal yang terisolasi memiliki pelat muka offset dan pelekats yang terpasang Karena pusat geser berada pada jarak "e" dari R, pembebanan torsional dibuat sepanjang anggota. Namun, karena anggota struktural adalah integral bagian dari panel yang kaku, pusat geser harus terletak di dalam pelat luar, sebagaimana bagian yang terakhir tidak dapat merusak pesawatnya sendiri. Karena itu, anggota struktural akan berputar tentang pusat rotasi C yang dipaksakan yang terletak pada jarak "e" dari pelat web, lihat Gambar 2.20. Lokasi C sehubungan dengan pelat web diberikan oleh(2)

$$e = -I_p \cdot I_{zy} \cdot d / (I_y \cdot I_z - I_{zy}^2) \quad (2.20)$$

Karena beban q tidak melewati pusat rotasi C yang ditegakkan, maka pembebanan puntir yang bekerja sepanjang panjang komponen diberikan oleh, lihat Gambar 2.21:

$$m = q \cdot e \quad t \cdot m/m \quad (2.21)$$

dimana:

$$q = p \cdot bt / m$$



Dengan asumsi bahwa tegangan terbagi merata pada setiap batang (gambar 2.12.c) Maka dapat diturunkan rumus untuk menghitung tegangan adalah :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.23)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \sigma &= \text{tegangan normal (N/mm}^2\text{)} \\ P &= \text{besar gaya yang bekerja (N)} \\ A &= \text{luas penampang (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

Persamaan ini memberikan intensitas tegangan merata pada batang prismatis yang dibebani secara aksial dengan penampang sembarang. Apabila batang ini ditarik dengan gaya P, maka tegangannya adalah tegangan tarik (tensile stress); apabila gayanya mempunyai arah sebaliknya, sehingga menyebabkan batang tersebut mengalami tekan, maka terj adi tegangan tekan (compressive stress) . Karena tegangan ini mempunyai arah yang tegak lurus permukaan potongan, maka tegangan ini disebut tgeangan normal (normal stress). Jadi, tegangan normal dapat berupa tarik atau tekan. Apabila konvensi tanda untuk tegangan normal dibutuhkan, biasanya tegangan tarik didefinisikan bertanda positif dan tegangan tekan bertanda negatif. (Gere & Temoshenco, 2000) .

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

$$\sigma_x = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\epsilon_x (1 - \nu) + \nu(\epsilon_y + \epsilon_z)] \quad (2.24)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\epsilon_y (1 - \nu) + \nu(\epsilon_x + \epsilon_z)] \quad (2.25)$$

$$\sigma_z = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\epsilon_z (1 - \nu) + \nu(\epsilon_x + \epsilon_y)] \quad (2.26)$$

Analisis menggunakan perangkat lunak elemen hingga memiliki kelebihan yaitu dapat menghasilkan nilai tegangan Von Mises atau tegangan ekuivalen,

yaitu jenis tegangan yang mengakibatkan kegagalan pada struktur material yang dirumuskan oleh penemunya yang bernama Von Mises. Untuk penentuan tegangan Von Mises, terlebih dahulu menghitung tegangan utama yang bekerja pada struktur dengan menggunakan persamaan diatas, setelah tegangan utama ditemukan maka tegangan Von Mises bisa didapatkan dengan persamaan (Shigley dikutip dalam Anggara, 2019) :

$$\sigma = \left\{ \frac{[\sigma^1 - \sigma^2]^2 + [\sigma^2 - \sigma^3]^2 + [\sigma^3 - \sigma^1]^2}{2} \right\}^{1/2} \quad ( 2.27 )$$

#### 1.4.1.1. Tegangan Geser

Gaya pada benda menyebabkan perubahan ukuran benda. Pengaruh vektor gaya terhadap sumbu x menghasilkan besaran *tensile stress* dengan lambang  $\sigma_x$ . Indeks x menyatakan arah vektor gaya. Pengaruh gaya terhadap sumbu y dan z menghasilkan momen yang disebut tegangan geser (*shear stress*). Tegangan geser (*shear stress*) dilambangkan  $\tau$  yang secara matematis didefinisikan sebagai berikut:

$$\tau = \frac{V}{A} \quad ( 2.28 )$$

$$\tau = \frac{V \cdot St}{I \cdot b} \quad ( 2.29 )$$

Dimana :	$\tau$	=	tegangan geser (N/mm <sup>2</sup> )
	V	=	gaya sejajar bidang elemen (N)
	A	=	luas penampang (mm <sup>2</sup> )
	St	=	statis momen (mm <sup>3</sup> )
	I	=	Inersia (mm <sup>4</sup> )
	b	=	tebal (mm)

Persamaan tegangan geser (*shear stress*) untuk bidang tiga dimensi adalah sebagai berikut :

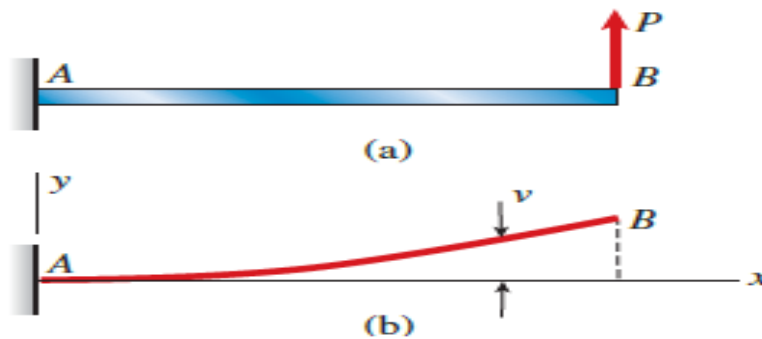
$$\tau_{xy} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xy} = G \cdot \gamma_{xy} \quad (2.30)$$

$$\tau_{xz} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xz} = G \cdot \gamma_{xz} \quad (2.31)$$

$$\tau_{yz} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{yz} \quad (2.32)$$

#### 1.4.1.2. Tegangan Lentur

Beban yang bekerja pada sebuah balok (*beam*) menyebabkan *beam* melentur/*bending*, hal tersebut menyebabkan deformasi sumbu *beam* hingga membentuk kurva. Sebagai contoh, asumsikan sebuah balok kantilever *AB* dikenai beban *P* pada ujung bebas (gambar 2.13a). sumbu yang awalnya lurus membengkok hingga membentuk kurva (gambar 2.13b), yang disebut dengan defleksi. (Gere & Goodno, 2009).



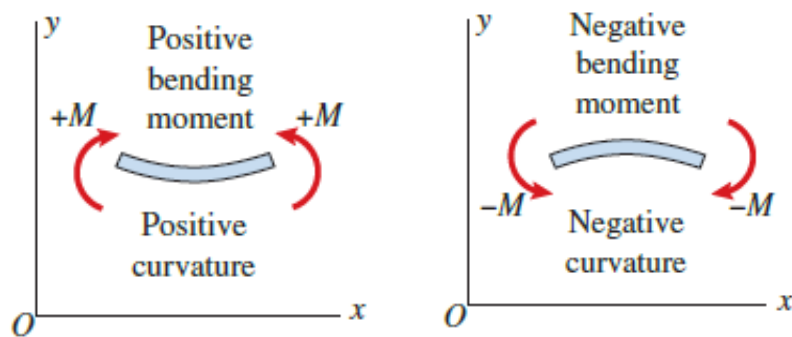
Gambar 2. 13 Deformasi akibat momen lentur  
(Sumber: Gere & Goodno, 2009)

Hubungan tegangan-regangan yang paling umum ditemui pada bidang keteknikan adalah persamaan *linear-elastic material*. Untuk material seperti itu kita substitusikan *Hooke's law* untuk tegangan uniaxial ( $\sigma = E\epsilon$ ) ke dalam persamaan *strain-curvature* sehingga didapatkan (Gere & Goodno, 2009).

$$\sigma_x = -\frac{M_y}{I} \quad (2.27)$$

Persamaan (2.2) disebut dengan *flexure formula*, menunjukkan bahwa tegangan berbanding lurus dengan momen lentur  $M$  dan berbanding terbalik dengan momen inersia  $I$  dari penampang balok. Selain itu, tegangan bervariasi secara linear dengan jarak  $y$  dari titik berat. Tegangan yang dihitung dari *flexure formula* disebut dengan tegangan lentur (*bending stresses*) atau *flexural stresses*. (Gere & Goodno, 2009)

Jika momen lentur dari balok adalah positif, maka tegangan lentur akan positif (tensil) pada bagian penampang balok dimana  $y$  negatif, yaitu dibagian bawah balok. Tegangan pada bagian atas balok akan negatif (kompresi). Jika momen lentur negatif, maka tegangan lentur kebalikannya. Hubungan ini ditunjukkan pada gambar 2.14. (Gere & Goodno, 2009)



Gambar 2. 14 Hubungan antara tanda momen lentur dan tanda kurvatur  
(Sumber: Gere & Goodno, 2009)

### 2.5.2 Regangan

Regangan dinyatakan sebagai pertambahan panjang persatuan panjang. Hukum Hooke menyatakan bahwa dalam batas-batas tertentu, tegangan pada suatu bahan adalah berbanding lurus dengan regangan. Regangan dapat ditulis sebagai :



$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.28)$$

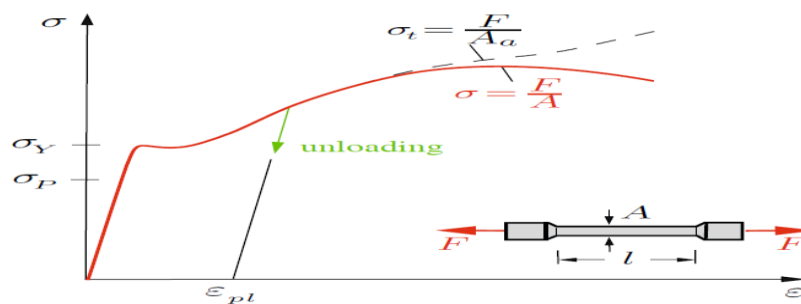
dimana :

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

### 2.5.3 Elastisitas

Elastisitas didefinisikan sebagai sifat yang dimiliki material untuk mengalami tegangan tanpa mengakibatkan perubahan ukuran atau bentuk permanen setelah tegangan dihilangkan). Apabila batas elastisitas tercapai dalam konstanta Young atau Modulus Young, maka benda akan mencapai batas deformasi yang 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. Sesuai dengan Hukum Hooke, tegangan sebanding dengan regangan. Hal ini berlaku di dalam batas elastis. Perbandingan tegangan satuan  $\sigma$  untuk regangan satuan  $\varepsilon$  dari setiap bahan yang diberikan dari hasil eksperimen, memberikan suatu ukuran kekuatannya, yaitu Elastisitas E, yaitu: (Mursalim,2020)

### 2.5.4 Hubungan Tegangan Dan Regangan



Gambar 2. 15 Grafik hubungan antara tegangan-regangan.  
(Sumber : Gross, dkk, 2011)

Keterangan :

$\sigma$  = Tegangan (*Stress*) ( $\text{N/mm}^2$ )

$\varepsilon$  = Regangan (*Strain*)

$\sigma_Y$  = *Yield Stress*

$\sigma_P$  = *Proportional Limit*

F = Gaya Luar Total atau Beban (N)

A = Luas Penampang Batang ( $\text{mm}^2$ )

l = Panjang Batang (m)

Grafik hubungan antara tegangan-regangan (Gambar 2.15) merupakan hasil pengujian material baha lentur yang menunjukkan hubungan antara tegangan-regangan

#### 1. Daerah Linier (*Elastic Limit*)

Bila sebuah material diberi gaya sampai titik *proportional limit* ( $\sigma_P$ ) kemudian bebannya dihilangkan, maka material tersebut akan kembali ke kondisi semula. Tetapi jika beban ditarik sampai melewati titik *proportional limit* ( $\sigma_P$ ), hukum hooke tidak lagi berlaku dan material akan mengalami perubahan secara permanen.

#### 2. Titik Luluh (Batas Proporsional)

Titik luluh merupakan batas elastis atau fase pergantian dari deformasi elastis ke deformasi plastis. Pada titik ini penerapan hukum Hooke masih bisa ditolerir , dalam aplikasinya, batas proporsional biasanya disamakan dengan batas elastis.

#### 3. Deformasi Plastis (*Plastic Deformation*)

Deformasi Plastis merupakan fase perubahan bentuk secara permanen. Hal ini terjadi karena material yang diberi beban tertarik sampai melewati batas proporsionalnya.

#### 4. *Ultimate Tensile Strength* (UTS)

*Ultimate Tensile Strength* (UTS) merupakan batas tegangan maksimum yang diperoleh dari uji tarik

#### 5. Titik Putus (*Fracture*)

Titik Putus (*Fracture*) merupakan fase dimana material yang diuji mengalami patah dan putus akibat tegangan yang besar.

### 2.6 Tegangan Izin

Dalam membuat konstruksi *rampdoor*, ada beberapa aturan yang perlu diperhatikan menurut *rules* dari BKI, misalnya saja tentang tegangan ijin dan material yang digunakan dalam pembuatan *ramp door*. Dalam hal ini tegangan ijin yang digunakan yang sesuai dengan ketentuan BKI Vol. II. Dimana persamaannya adalah sebagai berikut :

*Equivalent Stress*

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} = \frac{180}{k} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.31)$$

### 2.7 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*Finite Elemen Method*) adalah metode numerik yang digunakan untuk memecahkan permasalahan teknik berupa persamaan matematis dengan menggunakan rumus integral dalam sistem aljabar linear dan non-linear dengan tingkat ketelitian yang cukup akurat. Tipe masalah teknis yang dapat diselesaikan menggunakan metode elemen hingga adalah analisis struktur yang meliputi analisis tegangan, buckling, dan analisis getaran. Selain itu metode elemen hingga juga bisa menyelesaikan masalah teknis non struktur seperti perpindahan panas dan massa, distribusi listrik dan magnet, mekanika fluida, dan lain sebagainya. Tipe-tipe permasalahan struktur meliputi : (Yerri, 2004)

1. Analisis tegangan (*stress*), meliputi analisis truss dan frame serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan-tegangan terkonsentrasi;
2. *Buckling*; dan
3. Analisis getaran.

Dalam persoalan-persoalan yang menyangkut geometri yang rumit, seperti persoalan 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. (Yerri, 2004)

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. (Yerri, 2004)

Karena matematika analisis memerlukan nilai atau besaran yang harus diketahui pada setiap titik di struktur. Terdapat dua pendekatan umum dalam metode elemen hingga, yaitu :

1. Metode fleksibilitas. Gaya yang bekerja pada struktur difungsikan sebagai variabel yang harus dicari dalam metode ini. Persamaan keseimbangan digunakan untuk memperoleh persamaan pengatur. Kemudian persamaan lainnya didapat dengan memberikan syarat kompatibilitas (Kurniawan, 2014)
2. Metode kekakuan/perpindahan. Perpindahan titik simpul digunakan sebagai variabel yang harus dicari dalam metode ini. Syarat kompatibilitas mewajibkan elemen yang berhubungan akan tetap terhubung setelah mengalami deformasi. Metode kekakuan lebih menguntungkan untuk keperluan komputasi karena formulasi untuk masalah struktur lebih sederhana dibanding fleksibilitas (Kurniawan, 2014).

Langkah-langkah penyelesaian metode elemen hingga berdasarkan metode kekakuan adalah sebagai berikut :

1. Pembagian dan pemilihan jenis elemen

Pada tahap ini, struktur material akan dipecah menjadi suatu sistem elemen-elemen hingga. Penentuan jenis elemen dilakukan agar model yang dibuat dapat mewakili bentuk dan sifat benda sebenarnya. Pemilihan jenis elemen bergantung pada kondisi benda dan pembebanannya.

2. Pemilihan fungsi perpindahan

Fungsi perpindahan pada elemen ditentukan menggunakan nilai atau koordinat titik simpul elemen. Fungsi perpindahan elemen 2 Dimensi ditentukan dengan fungsi koordinat dalam elemen tersebut.

3. Tentukan hubungan *strain/displacement* dan *stress/strain*

Hubungan *strain/displacement* dan *stress/strain* penting dalam penurunan persamaan tiap-tiap elemen hingga. Untuk kasus deformasi dalam arah sumbu x hubungan *strain* (regangan)  $\epsilon_x$  dengan *displacement* dinyatakan dengan :

$$\epsilon_x = \frac{d_u}{d_x} \quad (2.32)$$

4. Penurunan matriks dan persamaan kekakuan elemen

Matriks dan persamaan kekakuan elemen diturunkan dari konsep koefisien pengaruh kekakuan yang digunakan dalam analisis struktur.

5. Penggabungan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global total dan penetapan syarat batas

Setelah persamaan elemen diperoleh, maka selanjutnya digabungkan dengan metode superposisi berdasarkan kesetimbangan gaya pada titik simpul. Persamaan tersebut akan menghasilkan persamaan global. Persamaan global dapat dituliskan dalam matriks berikut :

$$\{F\} = [K]\{d\} \quad (2.33)$$

Dimana :

$\{F\}$  = vektor gaya global pada titik simpul

$[K]$  = matriks kekakuan global struktur

$\{d\}$  = vektor perpindahan titik simpul

#### 6. Penyelesaian persamaan global

Dengan menerapkan syarat batas diperoleh persamaan simultan yang ditulis dalam matriks berikut :

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{21} & \dots & K_{n1} \\ K_{21} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & \dots & \dots & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \dots \\ D_n \end{Bmatrix}$$

Dimana n = total derajat kebebasan titik simpul struktur.

#### 7. Penyelesaian tegangan dan regangan elemen

Tegangan dan regangan didapatkan dari persamaan pada tahap ke-3. Persamaan tersebut dimasukkan kedalam persamaan 2.32 pada tahapan ke-6, sehingga tegangan elemen dapat diperoleh.

#### 8. Interpretasi hasil

Langkah terakhir adalah menginterpretasikan atau menganalisis hasil yang didapat untuk digunakan dalam proses perancangan selanjutnya. Metode elemen hingga dapat dipakai untuk memecahkan berbagai masalah. Daerah yang dianalisis dapat mempunyai bentuk, beban, dan kondisi batas yang sembarang. Jaring-jaringnya bisa terdiri dari elemen dengan jenis, bentuk, dan ukuran yang berbeda. Kemudahan penggunaan tersebut tergabung pada satu program komputer serbaguna, yaitu dengan menyediakan data seperti jenis, geometri, kondisi batas, elemen, dan sebagainya (D. Cook, 1990:6). Beberapa software com-

puter untuk analisis menggunakan elemen hingga diantaranya STAAD-PRO, GT-STRUDEL, NASTRAN, dan ANSYS.

## 2.8 ANSYS™

ANSYS merupakan salah satu software analisis dengan metode elemen hingga untuk menganalisis berbagai macam struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas dari software analisis yang lain yaitu CATIA, NASTRAN, Fluent, dan lain sebagainya. (Pinem, 2013).

Secara umum penyelesaian metode elemen hingga menggunakan ANSYS™ dapat dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu :

### 1. *Preprocessing* (Pendefinisian Masalah)

Tahap *Preprocessing* terdiri dari langkah umum yaitu: [1] mendefinisikan *keypoint/lines/areas/volume*, [2] mendefinisikan tipe elemen dan bahan yang digunakan/sifat geometri, dan [3] *mesh lines/areas/volumes* yang dibutuhkan. Jumlah detail yang diperlukan tergantung pada dimensi daerah analisis.

### 2. *Solution* (*Assigning Loads, Constraints, dan Solving*)

Tahap *solution* merupakan penentuan beban (titik atau tekanan), *constraint* (translasi dan rotasi), dan kemudian menyelesaikan hasil persamaan yang telah di set.

### 3. *Postprocessing* (*Futher Processing dan Viewing of the Results*)

Tahap *Postprocessing* digunakan untuk menampilkan hasil-hasil dari diagram kontur tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan perpindahan titik simpul (*displacement*).