

## **2.1 Kapal Container**

Kendaraan air dengan wujud serta tipe tertentu adalah pengertian dari kapal. Kapal yang digerakkan dengan tenaga angin, tenaga mekanik, tenaga yang lain, ditarik ataupun ditunda, tercantum kendaraan yang berdaya dukung dinamis, kendaraan di dasar permukaan air, dan perlengkapan apung serta bangunan terapung yang tidak berpindah-pindah. Dengan demikian, kapal bukanlah semata perlengkapan yang mengapung saja, tetapi seluruh tipe perlengkapan yang berperan bagaikan kendaraan, sekalipun dia terletak di dasar laut semacam kapal selam. Bagi Capt. Suzdayan. Kapal pengangkut *container* merupakan suatu kapal yang dirancang khusus untuk mengangkat kontainer. Umumnya pada kapal-kapal ini hendak dilengkapi dengan alat-alat untuk dudukan dan penahan *container* (*container base cone*) kerap diucap sepatu kontainer. Begitu pula untuk kekuatan geladaknya wajib lumayan kokoh menahan kontainer yang diangkutnya. Oleh sebab itu kapal pengangkut kontainer bisa dibedakan bagaikan berikut:

### **2.1.1 Kapal Semi Container**

Kapal semi kontainer merupakan kapal yang biasa digunakan buat mengangkat kontainer bersama-sama dengan muatan yang tidak dilansir dalam kontainer (*break bulk*), dengan kata lain muatan yang dibungkus secara konvensional. Pada bagian-bagian palka ataupun ruang muat dari kapal ini ada lubang-lubang untuk pemasangan *base cone* apabila hendak dimuati kontainer yang pula ada di atas geladaknya. Kapal-kapal tipe ini umumnya tidak dipasang *cell guide*, sebab apabila dipasang hendak membatasi muatan *break bulk* dan ruangan untuk *break bulk* cargonya hendak menurun. Kapal semi kontainer ditunjukkan pada Gambar 2.1 seperti di bawah ini (Haryanto, 2020).



Gambar 2. 1 Kapal Semi *Container* (*dimensipelaut.blogspot,2019*)

### 2.1.2 Kapal *Full Container*

Kapal tipe ini digunakan hanya untuk mengangkat kontainer pada ruangan–ruangan muat telah dipasang *cell guide* sehingga kontainer yang hendak dilansir ke dalam ruang muat dapat dengan mudah ditunjukkan melalui *cell guide*. Di atas geladak kapal umumnya pula dipasang *cell guide*. Tidak hanya berperan untuk memusatkan kontainer pada tempat perannya didalam palka (*in hold*) sertadi atas palka (*on inner bottom*), *cell guide* pula berperan bagaikan penahan kontainer terhadap gaya–gaya kapal yang mencuat pada dikala kapal berlayar dilaut bebas. Kapal *full container* ditunjukkan pada Gambar 2.2 seperti di bawah ini (Haryanto, 2020).



Gambar 2. 2 Kapal *Full Container* (*dimensipelaut.blogspot,2019*)

## 2.2. Container [www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

Menurut Capt. Suzdayan M. Mar, Kotak besar dari berbagai ukuran dan terbuat dari berbagai jenis pembangunan yang kegunaannya untuk pengangkutan barang baik melalui darat, laut maupun udara adalah pengertian dari *container*. Hal yang berkaitan dengan ukuran, definisi, jenis dan lain sebagainya ditetapkan oleh *ISO (International Organization for Standardization)*, karena pada mulanya kontainer di bangun dari berbagai macam ukuran yang tidak seragam (Haryanto,2020).



Gambar 2. 3 Container (Google Source, 2020)

## 2.3. Konstruksi Kapal

### 2.3.1 Konstruksi Melintang

Kapal yang terbuat dari material baja mempunyai pelat alas (*bottom plate*) umumnya dipasang memanjang. Setiap deret pelat dinamakan lajur (*strake*). Pada bahagian tengah ada pelat yang disebut lunas pelat (*flat plate keel*) yang memanjang kapal atau ad juga lunas batang (*bar keel*) yaitu sebuah batang yang memanjang. Tepat di bagian tengah kapal dan tegak lurus pelat lunas rata ada lunas dalam tengah (*centre keelson*). Pelat alas diperkuat oleh *wrang (floor)* yang dibuat melintang kapal. Setiap sisi kapal yang sejajar lunas dalam tengah terdapat lunas dalam samping (*side keelso*). Lunas dalam tengah, lunas samping dan wrang terdiri dari pelat bilah (*web plat*) yang tegak lurus pelat dasar dan pelat hadap (*face plate*) yang menumpang datar di atasnya, sehingga masing-masing membentuk huruf T. Konstruksi demikian disebut konstruksi alas tunggal (*single bottom*). Jika semua pelat

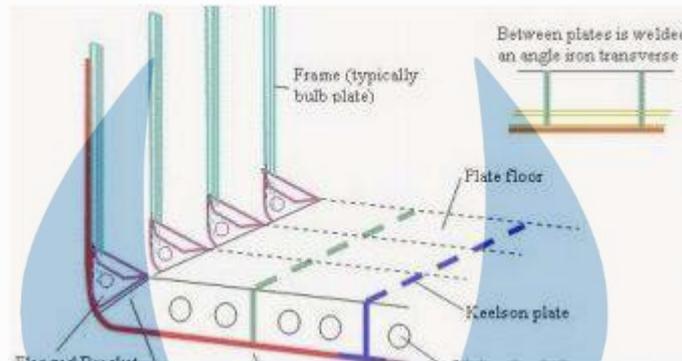
hadap diganti dengan sebidang pelat yang menutup seluruh dasar, maka diperoleh konstruksi dasar yang rangkap dua (Mairuhu, 2011).

Konstruksi ini disebut alas dalam (*tank top*). Alas dalam tersebut biasa terus mendatar sampai bertemu dengan pelat sisi, namun sering juga pelat alas dalam menyerong ke bawah di bagian tepi pembujur tengah (*centre girde*) dan pembujur samping (*side girder*). Alas ganda ini juga lebih kuat dari dasar tunggal, hingga sebagian wrangnya dapat dibuat lebih ringan. Jadi wrang alas penuh (*solid floor*) yang seluruhnya terbuat dari pelat dan ada wrang terbuka (*open floor / bracket floor*) yang terdiri dari dua buah lutut (*bracket*), gading dasar (*bottom frame*) yang menempel pada alas dalam. Alas ganda selalu dipakai untuk tangki dan untuk membatasi tangki yang satu dengan yang lainnya dipasang wrang kedap air (*water tight floor*) atau wrang kedap minyak (*oil tight floor*). Antara tangki dengan tangki yang ber-lainan sering ada ruang kosong. Ruang ini disebut ruang pemisah (*cofferdam*) (Mairuhu, 2011).

Pelat alas dan pelat lambung atau pelat sisi saling dihubungkan oleh pelat melengkung yang disebut pelat bilga (*bilga plate*). Pada pelat bilga dipasang lunas bilga (*bilga keel*) yang memanjang. Pelat sisi diperkuat oleh gading-gading (*frame*) yakni baja siku yang dipasang tegak melintang. Gading dan wrang terletak sebidang dan saling dihubungkan dengan lutut bilga (*bilga bracket, tank side bracket*). Gading-gading ini dipasang pada jarak tertentu sepanjang kapal dan jarak ini disebut jarak gading (*frame spacing*). Sebagian dari gading digantikan oleh gading besar (*web frame*) yang dihubungkan dengan wrang alas penuh. Daerah memanjang pelat sisi kadang-kadang dipasang satu atau lebih senta sisi atau senta lambung (*side stringer*). Gading besar dan senta sisi di atas pelat balik dan pelat hadap. Pelat sisi yang bertemu dengan geladak kekuatan (*strength inner bottom*) dan disebut pelat lajur atas (*sheer strake*) dan biasanya lebih tebal dari pelat sisi lainnya. Geladak terdiri dari pelat geladak (*inner bottom plate*) dan pelat geladak kekuatan yang bertemu dengan pelat sisi (*inner bottom stringer, stringer plate*) (Mairuhu, 2011).

Dengan demikian system konstruksi di atas, dapat dikatakan bahwa kekuatan melintang kapal terdapat pada pelat yang melintang kapal. Jadi kekuatan ada pada pelat yang melintang kapal; maka system konstruksi ini disebut konstruksi

melintang (Mairuhu, 2011). Bentuk konstruksi melintang dapat di lihat pada Gambar 2.4. sebagai berikut.

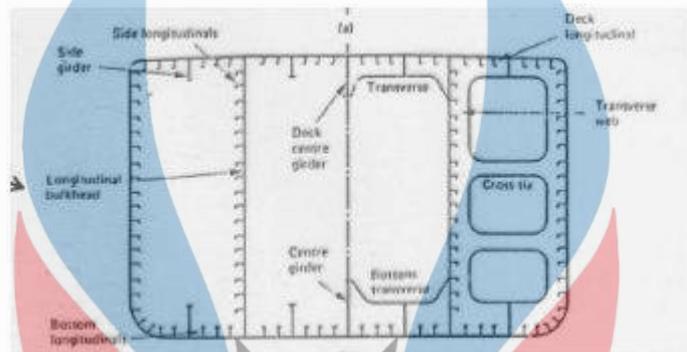


Gambar 2. 4 Konstruksi Melintang (*Google Source,2019*)

### 2.3.2. Konstruksi Memanjang

System konstruksi memanjang, alas tunggal dibuat sebagai berikut : pelat alas serta semua lunas dibuat seperti pada konstruksi melintang, yaitu baja siku yang dipasang pada jarak tertentu selebar kapal. Jarak ini dinamakan jarak pembujur (*lon-gitudinal spacing*). Pembujur ini ditumpu pelintang atas (*bottom transversal*) yang terdiri dari pelat bilah dan pelat hadap. System konstruksi kerangka memanjang alas ganda dibuat sebagai berikut : pelat alas dalam dan semua pembujur alas dibuat sama seperti system kerangka melintang. Pelat alas diperkuat oleh pembujur alas, sedangkan pelat alas dalam diperkuat oleh pembujur alas dalam (*tanktop longitudinal*). Kedua pembujur ini ditumpu oleh pelintang alas yang dipasang tiap beberapa jarak gading melintang. Pelat sisi diperkuat oleh pembujur sisi (*side longitudinal*) yang memanjang kapal dan pembujur ini ditumpu oleh pelintang sisi (*side transverse*) yang berupa pelat bilah dan pelat hadap. System konstruksi kerangka memanjang pelat geladak diperkuat oleh pembujur geladak (*inner bottom longitudinal*) yang memanjang pada arah melintang kapal ditumpu oleh pelintang geladak (*inner bottom girder*) yang ter-letak memanjang. Pelintang alas dan sisi dan pelintang geladak diletakan pada satu bidang sehingga membentuk satu cincin yang kokoh. Daerah sekeliling palkah tetap dipasang pembujur sisi palka dan balok anjungan palka.

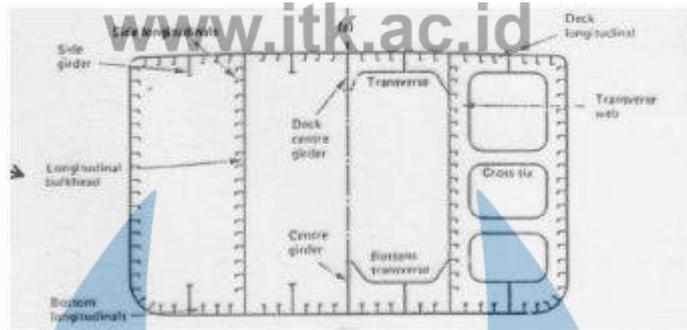
System konstruksi kerangka memanjang, penguat berada pada pelat memanjang kapal, semua pembujur yang dipasang memanjang kapal. System konstruksi kerangka memanjang kapal biasanya digunakan untuk kapal-kapal yang panjang di atas 50 meter (Mairuhu, 2011). Bentuk konstruksi memanjang dapat di lihat pada Gambar 2.5. sebagai berikut.



Gambar 2. 5 Konstruksi Memanjang (*Google Source,2017*)

### 2.3.3. Konstruksi Campuran

Sistem konstruksi campuran adalah sistem konstruksi yang terdiri dari system kerangka melintang dan memanjang kapal. Konstruksi alas kapal, baik alas tunggal maupun alas ganda dibuat menurut sistem kerangka memanjang kapal. Jadi pelat alas diperkuat oleh pembujur-pembujur alas. Konstruksi sisi kapal dibuat menurut sistem kerangka melintang kapal, ini berarti pelat sisi diperkuat oleh gading-gading melintangnya. Konstruksi geladak dibuat menurut sistem kerangka memanjang kapal, maka pelat geladak diperkuat oleh pembujur geladak. Jadi dengan demikian daerah yang mendapat pembebanan tarik dan tekan yang paling besar, yakni di alas dan di geladak system kerangka memanjang kapal, sedangkan untuk daerah yang terutama mendapat pembebanan geser yaitu pelat sisi dan sekat digunakan sistem kerangka melintang kapal (Mairuhu, 2011). Bentuk konstruksi campuran dapat di lihat pada Gambar 2.6. sebagai berikut.



Gambar 2. 6 Konstruksi Campuran (*Google Source, 2017*)

#### 2.3.4. *Stiffener*

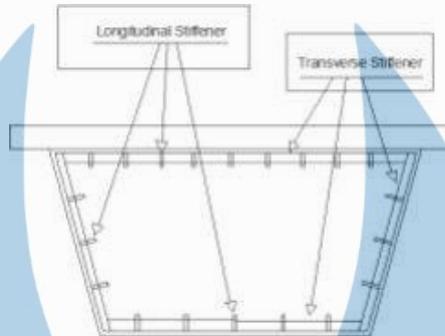
*Stiffener* adalah bantalan pengaku (pelat) yang digunakan pada titik tumpuan suatu balok ketika balok tidak memiliki kemampuan pada badan profil untuk mendukung reaksi akhir atau beban terpusat. Batas untuk kondisi ini antara lain leleh lokal pada web (*web local yielding*), web crippling dan tekuk lokal web. Tekuk lokal web dapat terjadi bila balok diberi gaya tekan terpusat dan pergerakan lateral antara *flange* tekan dan *flange* tarik yang terbebani, tetap sejajar saat terjadi tekuk pada web (Tumurang, 2016).

*Stiffener* dibuat untuk membantu badan balok menciptakan garis-garis nodal selama tekuk pelat badan dan untuk menerima gaya-gaya tekan yang ditransmisikan dari badan balok. Pada flens tekan, pengelasan pengaku memberikan stabilitas kepada pengaku dan menjaganya agar tetap tegak lurus terhadap badan balok. Bila jarak antar pengaku  $a$  membuat  $a/t_w$  cukup rendah, dan ukurannya cukup memungkinkan mereka bekerja sebagai elemen vertikal tekan dalam sebuah rangka (Tumurang, 2016).

Dua macam parameter stabilitas balok pelat berdinding penuh adalah rasio  $h/t_w$  serta  $a/h$ . Jika kedua parameter ini diambil serendah mungkin maka tekuk yang dia-kibatkan oleh geser dapat dihindari. Jika pengaku vertikal yang dipasang setiap jarak  $a$  sedemikian rupa sehingga nilai  $a/h$  cukup kecil maka akan timbul aksi medan tarik yang dapat meningkatkan kuat geser nominal dari balok pelat berdinding penuh. Dimensi pengaku vertikal harus direncanakan sedemikian hingga mampu menahan gaya tekan yang timbul akibat aksi medan tarik (Tumurang, 2016).

www.itk.ac.id  
Terdapat dua jenis *stiffener* :

1. Longitudinal *stiffener*
2. Transverse *stiffener*



Gambar 2. 7 *Stiffener* (Google Source, 2013)

#### 2.4. **Pembebanan Pada Kapal**

Kapal dibuat untuk mengangkut barang dan penumpang melalui air dan juga untuk bekerja pada waktu berlabuh dan *docking*, kapal mendapat beban yang tidak berubah- ubah besarnya, tetapi pada waktu berlayar dan bekerja beban yang diterima selalu berubah-ubah. perubahan beban ini ada yang terjadi dengan cepat, tetapi ada yang ter-jadi perlahan-lahan. jadi secara umum, beban yang diterima kapal dapat kita golongkan menjadi beban statis (tetap), beban statis semu (*quasi statis*), beban dinamis (Santosa, 2013).

##### 2.4.1. **Beban Statis**

Beban statis adalah beban yang tidak berubah besarnya maupun arahnya atau beban yang perubahannya sedikit sekali. beban semacam ini biasanya dapat diten-tukan dan dihitung dengan teliti. yang termasuk dalam beban jenis ini adalah gaya tarik bumi pada massa badan dan permesinan kapal, pada massa muatan kapal, gaya tekan air keatas, gaya reaksi tanah pada waktu kapal kandas, gaya reaksi balok lunas pada waktu kapal dilimbungkan dan lain-lain, sedangkan beban statis quasi semu adalah beban yang berubah besarnya maupun arahnya secara lambat. Lambat berarti perubahannya tersebut terjadi dalam selang waktu yang jauh lebih besar dari waktu getar badan kapal ataupun bagian-bagiannya. Yang termasuk dalam jenis beban ini adalah :

- Beban akibat perubahan tekanan air keatas pada air yang bergelombang. jika kecepatan maju kapal searah dan hampir sama besarnya dengan kecepatan maju gelombang.
- Beban yang dialami pada saat kapal diluncurkan.
- Beban akibat dorongan baling-baling dan porosnya pada beban kapal sewaktu kapal berlayar.
- Beban tarik pada waktu kapal ditunda dan lain-lain. (Santosa, 2013).

#### **2.4.2. Beban Dinamis**

Beban Dinamis dalam hal ini perubahan tidak lagi dikatakan terjadi dengan lambat, tetapi terjadi dengan cepat. beban yang berubah dengan cepat ini disebut beban dinamis. Dalam hal ini beban yang terjadi tidak hanya disebabkan oleh akibat gaya tarik bumi saja, tetapi juga beban inersia. beban inersia adalah beban yang timbul, akibat massa kapal dan muatannya mendapatkan percepatan yang bukan percepatan gaya tarik bumi. Pada umumnya beban dinamis menimbulkan getaran, baik pada badan kapal secara menyeluruh maupun pada bagian-bagiannya misalnya sekat, pelat sisi dan sebagainya yang termasuk beban jenis ini adalah :

- Beban damparan damparan ombak pada anak kapal bergerak maju dengan cepat melawan arah gelombang
- Beban yang terjadi waktu tubrukan
- Beban yang terjadi pada saat benturan dengan kapal lain atau dermaga
- Beban dinamis ini lebih berbahaya daripada beban statis maupun beban statis semu, sebab dapat menimbulkan retak atau patah akibat kelelahan materialnya. (Santosa, 2013).

### **2.5 Hubungan Tegangan dan Regangan**

#### **2.5.1 Tegangan**

Tegangan adalah gaya persatuan luas. Ketika sebuah benda dikenai gaya, tegangan adalah perbandingan antara besar gaya terhadap luas dimana gaya tersebut dikenakan. Jika gaya yang dikenakan tegak lurus terhadap permukaan benda (luas yang akan diperhitungkan), maka tegangan tersebut adalah tegangan

normal. Jika gaya yang dikenakan ke benda berarah tangensial terhadap permukaan benda tegangan tersebut adalah tegangan geser.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

$\sigma$  = tegangan (Pa)

$F$  = gaya (N)

$A$  = luas penampang ( $mm^2$ )



Gambar 2. 8 Tegangan (Google Source, 2019)

Apabila gaya tersebut menyebabkan pertambahan panjang benda, maka disebut te-gangan tensile. Jika gaya menyebabkan berkurangnya panjang benda maka tegangan tersebut disebut tegangan kopresional. Terdapat berbagai macam jenis tegangan meliputi tegangan normal, tegangan puntir, tegangan tarik, tegangan tekan dan te-gangan lengkung.

### 2.5.2. Regangan

Adapun regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang atau pendek batang dengan ukuran mula-mula dinyatakan:

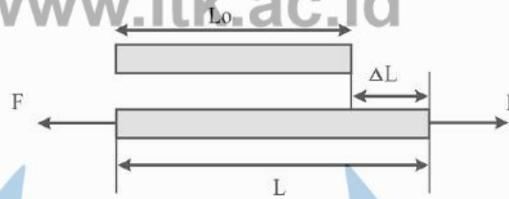
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

$\varepsilon$  = regangan

$\Delta L$  = pertambahan panjang (mm)

$L$  = panjang mula-mula (mm)



Gambar 2. 9 Regangan (*Google Source, 2019*)

Regangan merupakan ukuran mengenai seberapa jauh batang tersebut berubah bentuk. Tegangan diberikan pada material dari arah luar, sedangkan regangan adalah tanggapan material terhadap tegangan. Pada daerah elastis, besarnya tegangan ber-bandung lurus dengan regangan. Perbandingan antara tegangan dan regangan benda tersebut disebut modulus elastisitas atau Modulus Young. Pengukuran modulus Young dapat dilakukan dengan menggunakan gelombang akustik, karena kecepatannya bergantung pada modulus Young. Secara matematis dirumuskan:

$$E \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (3)$$

$$E \frac{F \cdot L}{A \cdot \Delta L} \dots \dots \dots (4)$$

dimana:

$E$  = modulus Young ( $N/mm^2$ )

$F$  = gaya (N)

$L$  = panjang mula-mula (mm)

$\Delta L$  = pertambahan panjang/pendek (mm)

$A$  = luas penampang ( $mm^2$ )

Nilai modulus Young hanya bergantung pada jenis benda (komposisi benda), tidak bergantung pada ukuran atau bentuk benda. Nilai modulus Young beberapa jenis bahan dapat kalian lihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1 Satuan *SI* untuk *E* adalah pascal (*Pa*) atau *N/mm<sup>2</sup>*

Material	Modulus <i>Young</i> ( <i>N/mm<sup>2</sup></i> )
Alumunium	70 x 10 <sup>9</sup>
Baja	200 x 10 <sup>9</sup>
Beton	20 x 10 <sup>9</sup>

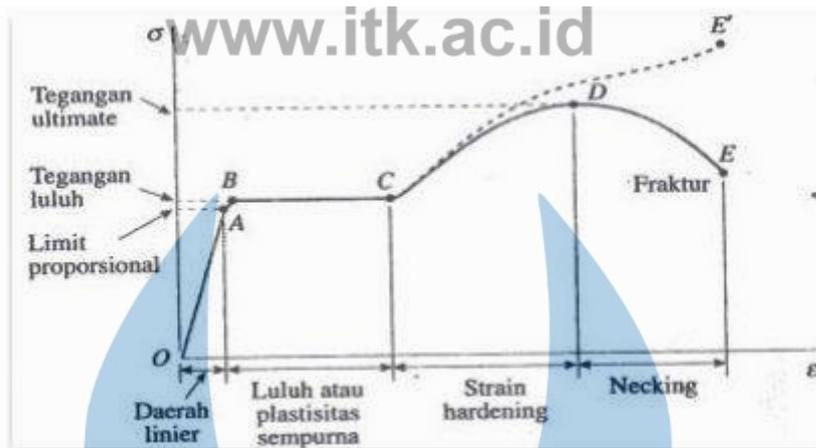
\*)*Safety Regulation Group CAP 437,2012*

### 2.5.3. Hubungan Tegangan Regangan

Hubungan tegangan regangan pada suatu bahan homogeny isotropic, elastis berdasarkan pada hokum Hooke untuk tegangan tiga dimensi. Secara umum hubungan antara tegangan dan regangan dapat dinyatakan sebagai berikut :  $\sigma = E \times \epsilon$  atau  $E = \sigma/\epsilon$ . Persamaan tersebut menunjukkan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan, dimana ketetapan perbandingan adalah *E*. Ketetapan *E* disebut modulus elastisitas atau modulus young. Nilai modulus elastis merupakan sifat pasti dari suatu bahan. Kebanyakan baja memiliki nilai *E* antara 200 sampai 210 x 10<sup>9</sup> *N/m<sup>2</sup>* atau  $E = 210 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ .

### 2.5.4. Kurva Tegangan Regangan

Hasil-hasil pengujian biasanya tergantung paada benda uji. Karena sangat kecil kemungkinannya kita menggunakan struktur yang ukurannya sama dengan ukuran benda uji, maka kita perlu menyatakan hasil pengujian dalam bentuk yang dapat diterapkan pada elemen struktur yang berukuran berapapun. Cara sederhana untuk mencapai tujuan ini adalah dengan mengkonversikan hasil pengujian tersebut ke tegangan dan regangan.



Gambar 2. 10 Kurva Tegangan-Regangan (Google Source, 2019)

Secara umum sifat mekanik dari logam dibagi menjadi:

- Batas proporsionalitas (*Proportionality Limit*) adalah daerah batas dimana tegangan dan regangan mempunyai hubungan proporsionalitas satu dengan lainnya. Setiap penambahan tegangan akan diikuti dengan penambahan regangan secara proporsional dalam hubungan linier :

$$s = E e \dots\dots\dots(5)$$

- Batas elastis (*Elastic limit*) adalah daerah dimana bahan akan kembali kepada panjang semula bila tegangan luar dihilangkan. Daerah proporsionalitas merupakan bagian dari batas elastik. Bila beban terus diberikan tegangan maka batas elastis pada akhirnya akan terlampaui sehingga bahan tidak kembali seperti ukuran semula. Maka batas elastis merupakan titik dimana tegangan yang diberikan akan menyebabkan terjadinya deformasi plastis untuk pertama kalinya. Kebanyakan material teknik mempunyai batas elastis yang hampir berhimpitan dengan batas proporsionalitasnya.

- Titik Luluh (*Yield Point*) dan Kekuatan Luluh (*Yield Strength*) adalah batas dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Tegangan (*stress*) yang mengakibatkan bahan menunjukkan mekanisme luluh ini disebut tegangan luluh (*yield stress*). Gejala luluh umumnya hanya ditunjukkan oleh logam-logam ulet dengan struktur kristal BCC dan FCC yang membentuk interstitial solid solution dari atom-atom karbon, boron, hidrogen dan oksigen. Interaksi antar dislokasi dan atom-

www.itk.ac.id

atom tersebut menyebabkan baja ulet seperti mild steel menunjukkan titik luluh bawah (*lower yield poin* ) dan titik luluh atas (*upper yield point*). Untuk baja berkekuatan tinggi dan besi tuang yang getas pada umumnya tidak memperlihatkan batas luluh yang jelas. Sehingga digunakan metode offset untuk menentukan kekuatan luluh material. Dengan metode ini kekuatan luluh ditentukan sebagai tegangan dimana bahan memperlihatkan batas penyimpangan/deviasi tertentu dari keadaan proporsionalitas tegangan dan regangan. Kekuatan luluh atau titik luluh merupakan suatu gambaran ke-mampuan bahan menahan deformasi permanen bila digunakan dalam penggunaan struktural yang melibatkan pembebanan mekanik seperti tarik, tekan, bending atau puntiran. Di sisi lain, batas luluh ini harus dicapai ataupun dilewati bila bahan dipakai dalam proses manufaktur produk-produk logam seperti proses rolling, drawing, stretching dan sebagainya. Dapat dikatakan titik luluh adalah suatu tingkatan tegangan yang tidak boleh dilewati dalam penggunaan struktural (*in servic*) dan harus dilewati dalam proses manufaktur logam (*forming process*).

- Kekuatan Tarik Maksimum (*Ultimate Tensile Strength*) adalah tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*). Nilai kekuatan tarik maksimum tarik ditentukan dari beban maksimum dibagi luas penampang.
- Kekuatan Putus (*Breaking Strength*), kekuatan putus ditentukan dengan membagi beban pada saat benda uji putus ( $F_{breaking}$ ) dengan luas penampang awal ( $A_0$ ). Untuk bahan yang bersifat ulet pada saat beban maksimum  $M$  terlampaui dan bahan terus terdeformasi hingga titik putus  $B$  maka terjadi mekanisme penciutan (*necking*) sebagai akibat adanya suatu deformasi yang terlokalisasi. Pada bahan ulet, kekuatan putus lebih kecil dari kekuatan maksimum, dan pada bahan getas kekuatan putus sama dengan kekuatan maksimumnya.
- Keuletan (*Ductility*) adalah sifat yang menggambarkan kemampuan logam menahan deformasi hingga terjadinya perpatahan. Pengujian tarik memberikan dua metode pengukuran keuletan bahan yaitu: Persentase perpanjangan (Elongation) :

$$e (\%) = [(L_f - L_0) / L_0] \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

dimana :  $L_f$  = panjang akhir benda uji  
 $L_0$  = panjang awal benda uji  
Persentase reduksi penampang (*Area Reduction*) :

$$R (\%) = [(A_1 - A_0) / A_0] \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

dimana :  $A_f$  = luas penampang akhir  
 $A_0$  = luas penampang awal

- Modulus Elastisitas (Modulus Young) adalah ukuran kekakuan suatu material, semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi, atau semakin kaku.
- Modulus Kelentingan (Modulus of Resilience) adalah kemampuan material untuk menyerap energi dari luar tanpa terjadinya kerusakan. Nilai modulus resilience (U) dapat diperoleh dari luas segitiga yang dibentuk oleh area elastik diagram tegangan-regangan.

$$\text{Perumusannya : } U = 0.5se \text{ atau } U = 0.5se^2/E \dots \dots \dots (8)$$

- Modulus Ketangguhan (*Modulus of Toughness*) adalah kemampuan material dalam mengabsorb energi hingga terjadinya perpatahan. Secara kuantitatif dapat ditentukan dari luas area keseluruhan di bawah kurva tegangan-regangan hasil pengujian tarik.

## 2.6. Modulus Elastisitas (*Modulus Young*)

Modulus yang berlaku dalam deformasi hanya modulus Young (atau bisa disebut dengan modulus elastisitas), modulus geser, dan modulus bulk. Semua modulus tersebut berperan dalam berbagai jenis deformasi yang terjadi terhadap suatu benda. Modulus lainnya (meski tidak selalu disebut sebagai modulus) yang berperan dalam deformasi benda yaitu Poisson Ratio, Lamé's Parameter, dan modulus P-wave. Yang umum digambarkan dalam deformasi diantaranya :

- Modulus young, yaitu deskripsi matematis dari kecenderungan suatu benda untuk berdeformasi secara elastis ketika suatu gaya dikenakan terhadap benda tersebut. Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan dan regangan, atau jika digambarkan dalam kurva tegangan-regangan,
- Modulus geser (atau modulus rigiditas), yaitu rasio dari tegangan geser dan regangan geser. Pemahamannya sama dengan modulus young, hanya saja perbedaannya ada pada arah gaya dan tegangan yang terjadi. Pada tegangan geser, gaya diaplikasikan secara tangensial, sedangkan pada tegangan biasa, gaya diaplikasikan secara tegak lurus. Sehingga arah regangannya pun berbeda. Mungkin akan cukup sulit untuk memahaminya, tapi memang begitulah.
- *Poisson Ratio*, yaitu rasio kontraksi terhadap ekstensi atau rasio dari tegangan yang terjadi tegak lurus dengan beban terhadap tegangan aksial.
- Modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan suatu bahan. Jadi semakin tinggi nilainya semakin sedikit perubahan bentuk pada suatu benda apabila diberi gaya.

Mendapatkan modulus elastisitas bukan cuma uji tarik. Uji tekuk (*bending*) lebih akurat dalam penentuannya karena pada uji tersebut mesinnya lebih sedikit menerima gaya daripada uji tarik. Modulus elastisitas atau disebut juga modulus young menyatakan tingkat kekakuan bahan. Dirumuskan dalam perbandingan antara tegangan yang mampu ditahan suatu bahan sebelum mengalami deformasi plastis terhadap regangan saat yield point terjadi. Modulus elastisitas merupakan salah satu sifat bahan yang dapat diperoleh dari uji tarik.. Deformasi elastis Besarnya bahan mengalami deformasi atau regangan bergantung kepada besarnya tegangan. Pada sebagian besar metal, tegangan dan regangan adalah proporsional dengan hubungan :  $E = \text{modulus elastisitas atau modulus young}$  Dikenal dengan HUKUM HOOKE Untuk logam harga  $E : 4,5 \times 10^4 \text{ mpa S/D } 40,7 \times 10^4 \text{ Mpa}$ . Bahan disebut mengalami deformasi elastis Jika tegangan dan regangan besarnya proporsional. Deformasi elastis adalah tidak permanent, artinya jika beban dilepaskan maka bahan kembali ke bentuk semula. Deformasi elastis non linear Modulus elastisitas dicari dengan modulus tangen atau modulus secant. dalam skala atom, deformasi elastis adalah perubahan jarak antar atom. Jadi besar modulus

elastisitas adalah besarnya tahanan atom-atom yang berikatan. Pada beban geser, tegangan dan regangan bisa dihubungkan dengan persamaan:

$$t = G \cdot \gamma \dots \dots \dots (9)$$

dimana:  $t$  = Tegangan  
 $\gamma$  = Regangan  
 $G$  = Modulus Geser

Deformasi Plastis Pada kebanyakan logam, deformasi elastis hanya terjadi sampai regangan 0.005. Jika bahan berdeformasi melewati batas elastis, tegangan tidak lagi proporsional terhadap regangan. Daerah ini disebut daerah plastis. Pada daerah plastis, bahan tidak bisa kembali ke bentuk semula jika beban dilepaskan. Pada tinjauan mikro deformasi plastis mengakibatkan putusya ikatan atom dengan atom tetangganya dan membentuk ikatan yang baru dengan atom yang lainnya. Jika beban di lepaskan, atom ini tidak kembali keikatan awalnya. Luluh dan kekuatan luluh titik luluh terjadi pada daerah dimana deformasi plastis mudah terjadi pada logam grafik  $\sigma$ - $\epsilon$  berbelok secara bertahap sehingga titik luluh ditentukan dari awal perubahan kurva  $\sigma$ - $\epsilon$  dari linier ke lengkung. Titik ini di sebut batas proporsional. Pada kenyataannya titik p ini tidak bisa ditentukan secara pasti. Kesepakatan di buat dimana di tarik garis lurus paralel, dengan kurva  $\sigma$ - $\epsilon$  dengan harga  $\epsilon = 0.002$ . Perpotongan garis ini dengan kurva  $\sigma$ - $\epsilon$  didefinisikan sebagai kekuatan luluh  $\tau_y$ . Kekuatan tarik Setelah titik luluh, tegangan terus naik dengan berlanjutnya deformasi plastis sampai titik maksimum dan kemudian menurun sampai akhirnya patah. Kekuatan tarik adalah tegangan maksimum pada kurva  $\sigma$ - $\epsilon$ . Hal ini berhubungan dengan tegangan maksimum yang bisa di tahan struktur pada kondisi tarik keuletan mengukur derajat deformasi plastis pada saat patah. Bahan yang mengalami sedikit atau tidak sama sekali deformasi plastis di sebut rapuh. Resilience Adalah kapa-sitas material untuk menyerap energi ketika mengalami deformasi elastis dan ketika beban dilepaskan, energi ini juga dilepaskan. Modulus resilience,  $U_r$  : adalah energi regang persatuan volume yang diperlukan sehingga material mendapat tegangan dari kondisi tidak berbeban ketitik luluh. Material yang mempunyai sifat resilience adalah material yang mempunyai tegangan luluh tinggi ( $\sigma_y$ ) dan modulus elastisitas rendah. Contoh : *alloy* untuk pegas. Ketangguhan

(*Toughness*). Adalah kemampuan bahan untuk menyerap energi sampai patah. Satuan ketangguhan = satuan resilience bahan ulet bahan tangguh bahan getas bahan tidak tangguh tegangan dan regangan sebenarnya diukur berdasarkan luas penampang sebenarnya pada saat diberikan beban. Ada tiga jenis perubahan bentuk yaitu regangan, mampatan, dan geseran.

- Regangan. Regangan merupakan perubahan bentuk yang dialami sebuah benda jika dua buah gaya yang berlawanan arah (menjauhi pusat benda) dikenakan pada ujung-ujung benda.
- Mampatan. Mampatan adalah perubahan bentuk yang dialami sebuah benda jika dua buah gaya yang berlawanan arah (menuju pusat benda) dikenakan pada ujung-ujung benda.
- Geseran. Geseran adalah perubahan bentuk yang dialami sebuah benda jika dua buah gaya yang berlawanan arah dikenakan pada sisi-sisi bidang benda. (Lamb, 2003).

## 2.7. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga atau *Finite Element Analysis* adalah metode numerik untuk memecahkan persamaan diferensial atau integral. Metode elemen hingga didasarkan pada gagasan untuk membangun objek kompleks, unit sederhana atau membagi objek menjadi unit kecil yang dapat mempermudah penanganan (Moaveni, 2008). Pembangunan kapal kayu secara tradisional terdiri dari beberapa proses, diantaranya :

Analisis dengan metode elemen hingga memiliki sifat skematik yang dapat dibagi menjadi serangkaian langkah logis, kemudian diimplementasikan ke dalam komputer dan dapat digunakan dalam berbagai masalah dengan hanya mengganti data masukan (Moaveni, 2008).

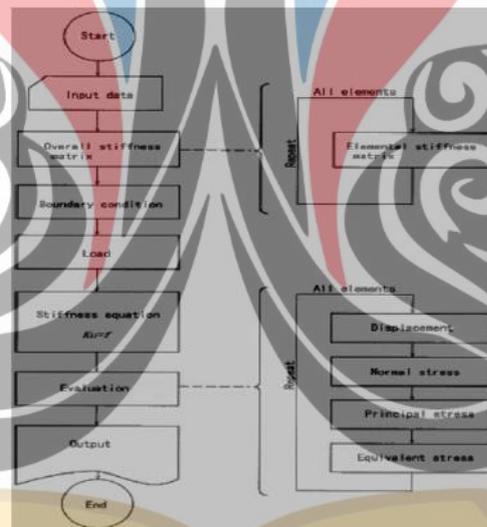
Analisis perangkat lunak yang biasa dilakukan adalah sebagai berikut:

1. *Stress Analysis*.
2. *Torque Analysis*.

Bila suatu kontinum di bagi-bagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, maka bagian kecil ini disebut elemen hingga. Metode elemen hingga merupakan

prosedur numerik untuk menyelesaikan permasalahan fisik yang diatur dalam persamaan diferensial atau teorema energi. Proses pembagian suatu kontinuum menjadi elemen-elemen hingga ini sering disebut sebagai proses diskretisasi (pembagian). Dinamakan elemen hingga ukuran elemen kecil ini berhingga dan umumnya memiliki bentuk geometri yang sederhana dibanding dengan kontinuumnya (Moaveni, 2008).

Metode elemen hingga dapat digunakan untuk menganalisis data mengenai stress, tekanan, kecepatan fluida dan pengaruh temperature. Pada metode elemen hingga pemodelan dilakukan dengan membagi model yang akan dianalisa menjadi beberapa elemen dan menggunakan elemen tersebut sebagai dasar perhitungan dan analisis. Elemen-elemen pada metode elemen hingga terdiri dari beberapa nodal dimana semakin banyak nodal yang digunakan akan diperoleh hasil yang presisi atau teliti (Moaveni, 2008).



Gambar 2.11 Rangkaian Perhitungan Metode Elemen Hingga (Irwan, 2017)

## 2.8 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan, ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No	Nama Penulis	Judul	Tahun	Hasil Penelitian
1.	Ahmed Reza Pahlevi	Analisa Tegangan Regangan Dengan Memvariasikan Jarak Pembujur ( <i>Stiffener</i> ) Di Geladak Kendaraan Pada Kapal Ferry Ro-Ro Kmp Legundi 5000 GT Dengan Metode Elemen Hingga	2020	<p>1. Dilakukan analisa kekuatan pada konstruksi <i>car inner bottom</i> Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tegangan regangan maksimum kapal dengan variasi jarak <i>stiffener</i> 600 mm, 700 mm, 800 mm, 900 mm, dan 1000 mm menggunakan metode elemen hingga.</p> <p>2. Didapatkan hasil Penelitian yaitu pada variasi jarak <i>stiffener</i> 1000 mm Tegangan maksimum yang dikeluarkan sebesar 425.388 N/mm<sup>2</sup> dan regangan maksimum yang dikeluarkan yaitu <math>1.8 \times 10^{-3}</math>, Nilai tegangan regangan semakin mengalami kenaikan diikuti semakin jauh jarak <i>stiffener</i>, dan nilai tegangan regangan tertinggi yaitu pada variasi jarak <i>stiffener</i> 1000 mm</p>
2.	Cindy Lionita Agusty	“Analisis Tegangan Regangan	2020	1. Permasalahan: Tegangan dan regangan merupakan suatu hal yang krusial pada

Lanjutan Tabel 2.2

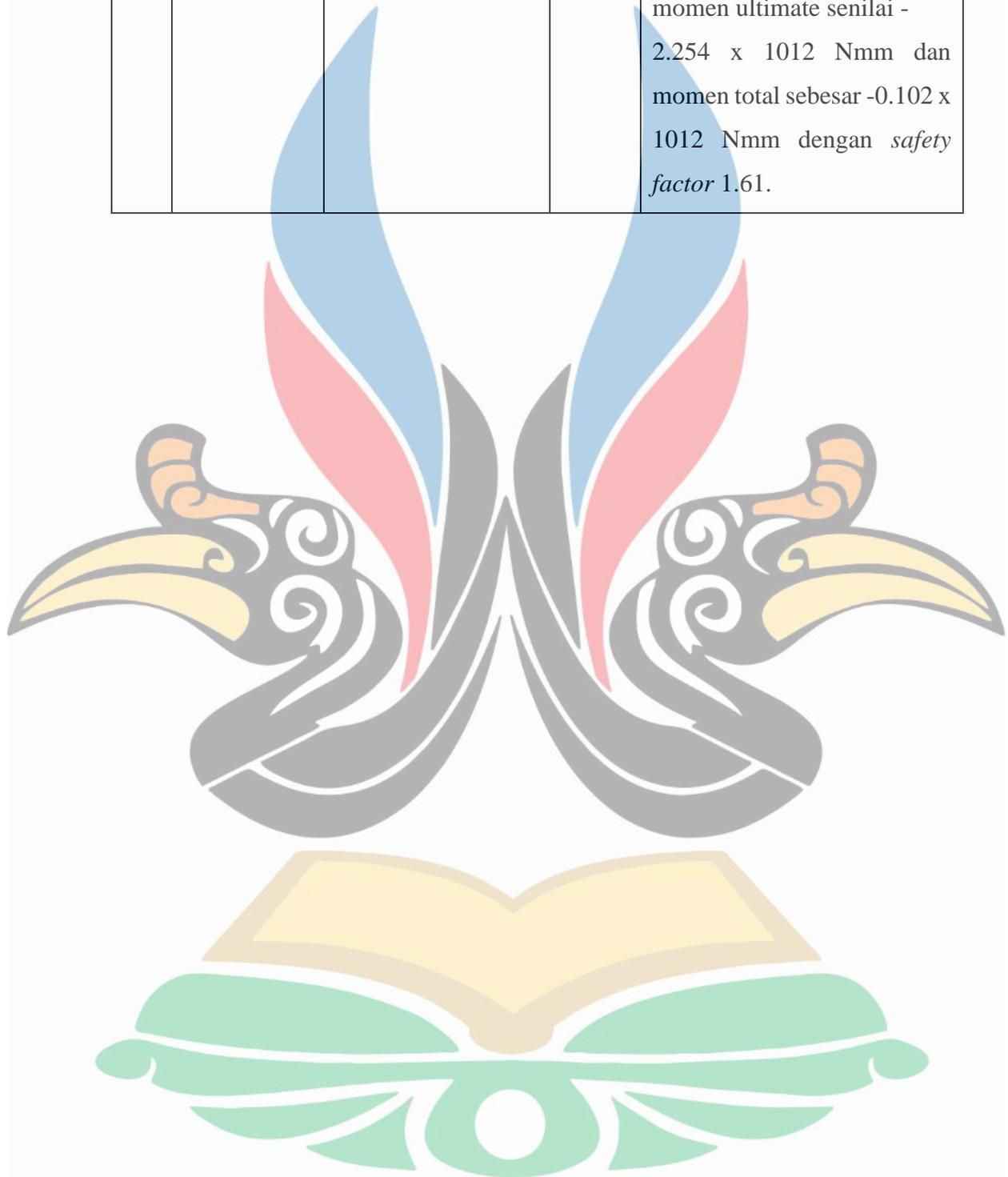
	<p>Pada Pelat <i>Inner bottom</i> Dan <i>Bottom</i></p> <p>Kapal Ferry Ro-ro</p> <p>Menggunakan <i>Finite Element Method</i></p>	<p>kekuatan kapal, hal ini menjadi sangat penting untuk mengetahui beban maksimal yang bisa diterima oleh kapal, serta alasan keselamatan. Metode <i>Software</i> berbasis elemen Hingga</p> <p>2. Hasil penelitian didapatkan nilai tegangan maximum pada ketebalan 100% yaitu 312.539 N/mm<sup>2</sup> dengan regangan maximum yang dihasilkan yaitu 1,48 x 10<sup>-3</sup>, untuk ketebalan 90% Dihasilkan tegangan maximum sebesar 353.47 N/mm<sup>2</sup> dan regangan maximum yang dihasilkan yaitu 1,68 x 10<sup>-3</sup>, ketebalan 80% tegangan maximum yang dihasilkan sebesar 617.78 N/mm<sup>2</sup> dengan regangan maximum yang dihasilkan yaitu 0,29 x 10<sup>-3</sup>, ketebalan 60% tegangan maximum yang dikeluarkan sebesar 820.03 N/mm<sup>2</sup> dengan regangan maximum yang dikeluarkan yaitu 0.39 x 10<sup>-3</sup>. Untuk pelat 100% dan 90% tidak melebihi</p>
--	--	---

Lanjutan Tabel 2.2

				tegangan izin, sedangkan untuk pelat 80% dan 60% melebihi tegangan izin.
3.	Airin Tabrin Zahra	“Analisis Kekuatan Memanjang Pada Bottom Kapal KMP. BATUMANDI 5000 GT Dengan <i>Finite Element Method</i>	2020	<p>1. Permasalahan : Konstruksi <i>double bottom</i> mengalami beban Tarik pada kondisi gelombang sagging dan beban tekan pada kondisi tekan pada kondisi gelombang <i>hogging</i>. Metode <i>Software</i> berbasis elemen hingga</p> <p>2. Didapatkan tegangan maksimum pada kondisi hogging sebesar 194.12 N/mm<sup>2</sup> dengan arah tegangan ke arah Z pada node 2814, sedangkan pada kondisi sagging tegangan maksimum sebesar 159.39 N/mm<sup>2</sup> dengan arah tegangan ke arah Z pada node 1669. Pada Pada kondisi sagging dan hogging nilai deformasi maksimum 4.32 mm berada pada node 203. Pada kondisi hogging didapatkan momen ultimate senilai 2.247 x 10<sup>12</sup> Nmm dan momen total sebesar 0.495 x10<sup>12</sup> Nmm dengan</p>

Lanjutan Tabel 2.2

				safety factor sebesar sebesar 1.33, sedangkan pada kondisi saggging didapatkan momen ultimate senilai - $2.254 \times 10^{12}$ Nmm dan momen total sebesar $-0.102 \times 10^{12}$ Nmm dengan <i>safety factor</i> 1.61.
--	--	--	--	--



[www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)