BAB II

TEORI KEKUATAN KAPAL

Lambung kapal hendaknya tetap tegar konstruksinya baik memanjang maupun melintang. Kekuatan kapal secara umum dibagi menjadi empat jenis :

1. **Longitudinal Strength**

   Pada keadaan seperti ini lambung kapal diasumsikan sebagai "beam" setelah itu dianalisa semua gaya-gaya yang bekerja secara vertikal pada bidang simetri yang melalui sumbu longitudinal atau memanjang beam.

2. **Transverse Strength**

   Jika lambung kapal diiris diantara 2 frame space sehingga dapat merupakan sebuah cincin yang kemudian dapat dianalisa gaya tekan air dan beban gaya yang bekerja padanya.

3. **Torsional Strength**

   Seperti pada longitudinal strength, maka lambung kapal dapat dianggap terjadi rotasi.

4. **Local Strength**

   Lambung kapal diuraikan satu persatu menjadi bagian-bagiannya seperti bracket, pilar, derrick boom, rudder dan lain sebagainya yang kemudian dianilisa kekuatannya.

   Pada penulisan ini yang akan dibahas yaitu mengenai longitu dinal strength.

2.1. Pengertian Umum

Sepanjang umurnya, kapal selalu menerima beban-beban yang bervariasi. Variasi beban-beban tersebut menyebabkan perhitungan kapal menjadi rumit. Secara garis besar beban pada kapal dibagi dalam dua kelompok yaitu beban statis dan beban dinamis (Derret, 1972:40)

Beban statis yang terjadi di kapal disebabkan oleh :

a. Berat lambung kapal.
b. Berat struktur lokal terkonsentrasi, seperti mesin-mesin, mast, winch dan lain-lain.
c. Gaya buoyancy pada kondisi perairan tenang.
d. Beban hidrostatis.

Beban dinamis yang terjadi pada kapal disebabkan oleh :

a. Gerakan kapal terutama : pitching, heaving, rolling
b. Angin, arus dan gelombang.
c. Perpindahan muatan dalam atau pada kapal.

Sesungguhnya permasalahan kekuatan kapal merupakan permasalahan dinamis, tetapi dalam memperkirakan beban-beban dan reaksi struktur kapal terhadap beban-beban tersebut digunakan asumsi-asumsi yang melibatkan perubahan beban yang lambat yang disebut sebagai statis ekivalen.

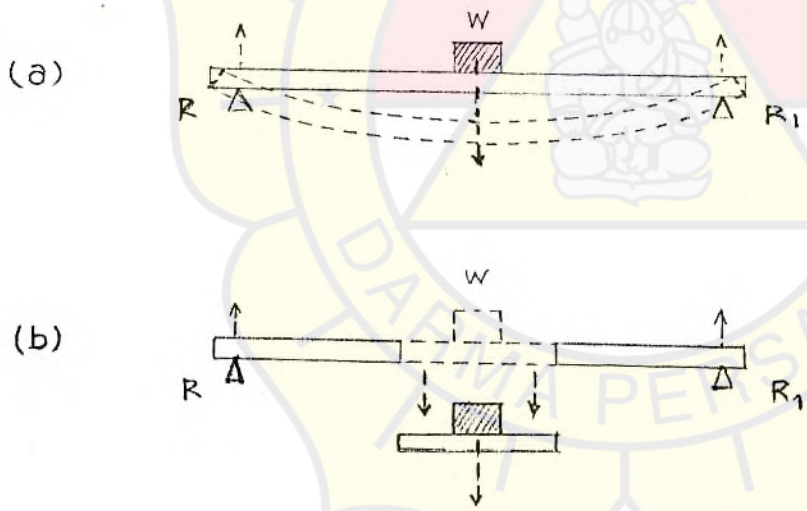
2.2. Teori Tegangan Pada Kapal

Tegangan Lentur Pada Girder

Tegangan lentur dapat terjadi sangat besar sekali dan ini harus diperhatikan secara hati-hati bilamana membangun sebuah kapal dan diberi muatan. Hal ini agak kompleks karena kapal ditopang oleh banyak girder, jadi harus diperhatikan dampak lenturan pada girder tersebut sebelum diterapkan pada kapal..

Akibat dari Pembebanan Pada Girder

Dengan mempertimbangkan kedudukan beban pada tengah sebuah girder yang mana pada ujung-ujung girder diberi tumpuan (R dan R1).



Gambar 2.1. Girder dibebani W

Berat beban akan diterima oleh masing-masing tumpuan. Dan tumpuan akan memberikan gaya keatas disebut "reaksi" pada girder. Total dari reaksi pada R dan Rl setara dengan berat beban W. Beban ini akan berusaha memberikan gaya kebawah pada tengah girder. Jadi gaya ini mencoba melenturkan girder, seperti ditunjukan gambar a.

Jika girder sangat fleksibel, girder akan melentur, tetapi karena girder sedikit kaku, maka akan mememberikan perlawanan lenturan. Jadi gaya ini akan mencoba mematahkan girder secara melintang, seperti ditunjukkan pada gambar b.

Catatan bahwa dengan gaya yang sama mencoba melenturkan dan mematahkan secara melintang girder tersebut. Jadi terdapat hubungan yang penting antara kedua akibat ini.

Gaya Lintang

Gaya lintang adalah jumlah aljabar dari semua gaya-gaya pada satu sisi (contoh beban dan reaksinya). Secara umum jumlah aljabar dari gaya ini,

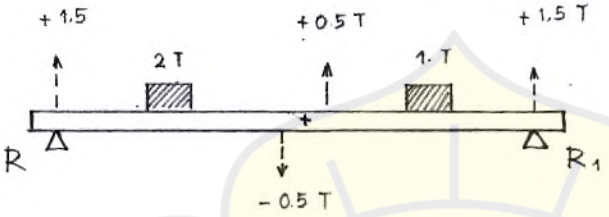
Sebagai contoh, Jika girder dibebani dan penempatan beban seperti gambar diatas, maka masing-masing tumpuan akan memberikan reaksi sebesar 1,5 ton.

Total gaya dari tengah kekanan : 1,5 - 1,0 = +0,5 ton

Total gaya dari tengah kekiri : 1,5 - 2,0 = -0,5 ton

Jadi gaya lintang di tengah adalah 0,5 ton

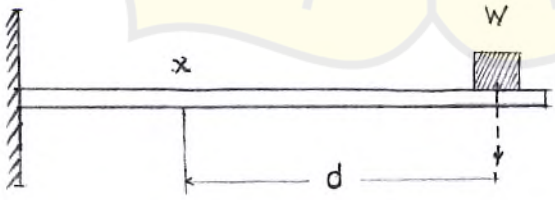
Kesimpulannya bahwa (+) dan (-) tanda yang menunjukkan gaya ini beraksi mencoba memotong girder.



Gambar 2.2 Sebuah girder yang diberi 2 beban

Momen Lentur

Pengaruh lenturan dari sebuah beban akan tergantung jumlah dari beban itu dan jaraknya dari sebuah titik dimana pengaruh itu didapatkan. Dengan kata lain pengaruh lenturan pada tiap seksi akan ada momen akibat beban-beban pada seksi itu.



Gambar 2.3. Girder yang dibebani pada ujungnya

Ambil sebuah contoh, Dalam kasus girder yang ditunjukan dalam gambar ini. Jika beban sebesar W ton dan jarak (d) antara beban ketitik x meter maka :

momen lentur pada x = W x d (ton.meter)

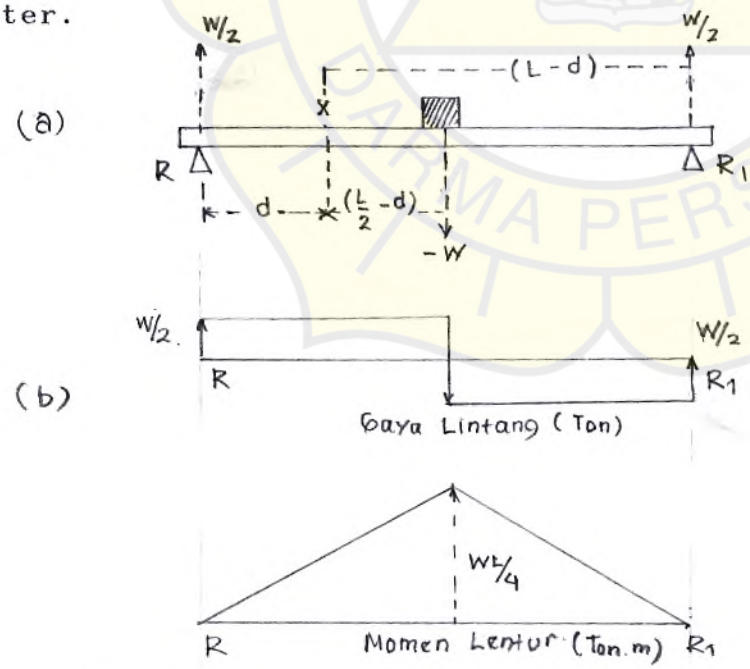
Tetapi, momen lentur tidak bisa didapatkan secara mudah seperti contoh diatas, sebab hal ini juga tergantung pada :

a. Apakah beban itu merata atau tersebar sepanjang girder.

b. Bagaimana dan dimana girder itu ditumpu.

Akibat Dari Sebuah Beban Terpusat

Sebuah girder ditumpu pada ujung-ujungnya dan dibebani pada tengahnya. Seperti ditunjukkan pada gambar a, dibawah. Asumsikan bahwa berat girder diabaikan dan panjang girder L meter.



Gambar 2.4. girder yang dibebani terpusat pada tengahnya

Dalam kasus ini beban adalah W ton, dan mempunyai aksi kebawah sejak beban itu diletakkan pada tengah girder, dan tumpuan-tumpuan itu akan memberikan reaksi (R dan R1) masing-masing setengah dari besar beban tersebut dan reaksinya keatas. Jadi reaksi pada R dan R1 masing-masing adalah +W/2

untuk sembarang titik x :

Gaya disebelah kiri titik x, (didepan R) reaksi pada R : +W/2

Jadi :

Gaya lintang pada x = +W/2 ton

Momen lentur pada x = gaya di R x jarak (d)

= +W/2 x d

= +Wd/2 (ton.m)

Jika gaya lintang dan momen lentur dihitung seperti diatas untuk sepanjang titik pada girder itu. Hal ini akan didapatkan gaya lintang sebesar W/2 ton pada tiap titik. Sementara itu momen lentur akan bernilai 0 (nol) tiap-tiap tumpuan, dan akan mencapai maksimum sebesar WL/4 pada tengah girder. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.4.b.

Pada tahap ini, akan digunakan untuk mempertimbangkan gaya dan momen-momen pada sebelah kanan titik x. Terdapat dua aksi gaya-gaya pada sisi ini, beban W ton dan reaksi pada :

R1 = +W/2

Gaya lintang pada x = -W + W/2

= -W/2 ton

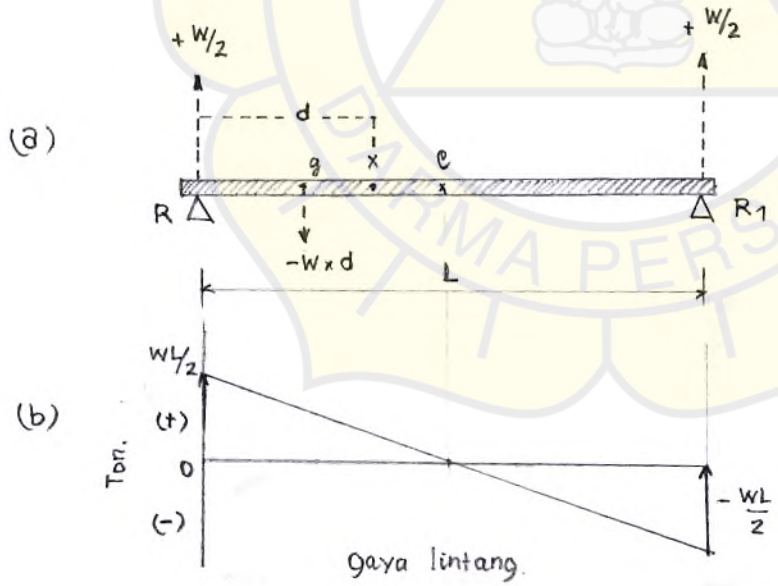
Momen lentur pada x $= -W(L/2 - d) + W/2\ (L-d)$

$= +Wd/2$ (ton.m)

Yang mana jumlahnya sama, seperti yang telah diperoleh bilamana dikerjakan dari kiri titik x. Gaya lintang jadi (-) dan sebaliknya (+), sebab pada sisi ini, girder akan mencoba memotong kebawah pada x, Sedangkan pada sisi kiri gaya lintang bereaksi keatas pada x.

Akibat Dari Sebuah Beban Merata

Pertimbangkan apa yang terjadi bila beben merata sepanjang girder dimana girder ditumpu tiap ujung-ujungnya seperti gambar dibawah.



Gambar 2.5. Girder dibebani merata

Girder dengan panjang L meter dan berat W ton dibebani merata sepanjang girder. Maka tiap meter panjang dari girder menahan beban sebesar w ton.

$W = w.\ L$ ton

Reaksi-reaksi pada R dan R1, masing-masing akan sama dengan setengah dari beban total.

$R = R1 = 1/2.W$ ton

Sekarang untuk gaya dan momen-momen sebelah kiri titik x.

Untuk mendapatkan gaya lintang pada sembarang titik x.

Seperti yang telah dikatakan sebelumnya jumlah aljabar total gaya pada satu sisi :

Reaksi pada $R = +W/2$

$= +wL/2$ ton

Beban antara x dan R = berat permeter x jarak (meter)

$= -w.\ d$ ton

Total gaya pada sebelah kiri x = reaksi + beban

Jadi gaya lintang pada x $= +wL/2 - wd$

$= w(L/2 - 0)$ ton

Pada tumpuan ini, gaya lintang akan sama dengan reaksi, sebab

Pada R --> d = 0, Jadi gaya lintang $= w(L/2 - 0)$

$= +wL/2$ ton

Pada R --> d = L, Jadi gaya lintang $= w(L/2 - L)$

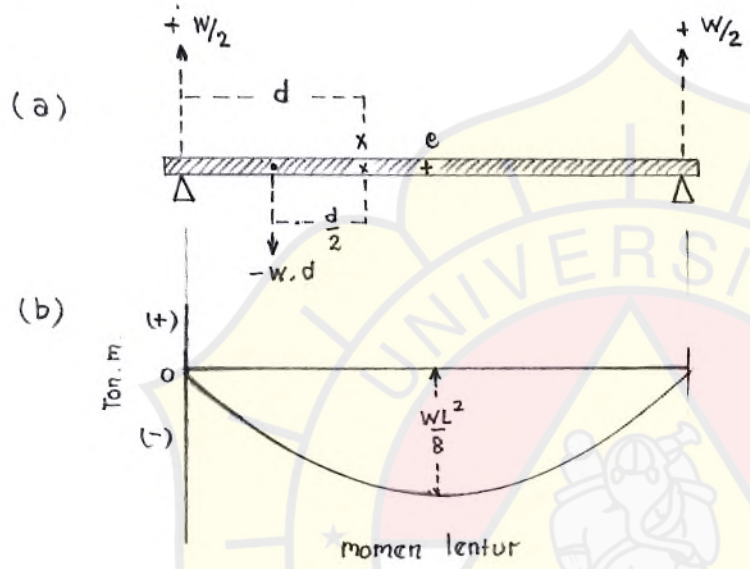
$= -wL/2$ ton

Pada tengah girder --> d = L/2,

Jadi gaya lintang $= w(L/2 - L/2) = 0$ ton

Jika gaya lintang dihitung untuk tiap titik sepanjang girder maka akan didapat seperti gambar 2.5.b

Untuk Mendapatkan Momen Lentur



Gambar 2.6. girder dengan beban merata

Dapat diulangi bahwa jumlah aljabar dari momen pada salah satu sisi dari seksi ini.

Reaksi pada R = +W/2 ton, pada jarak d meter dari x.

Jadi, momen dari R sekitar x = W/2. d

= -(w.L.d)/2 ton.m

Beban pada girder ini, antara R dan x = +W. d ton. Ini akan bereaksi ke g, yang mana antara R dan x. Jadi

gx = d/2

Dan momen dari berat = -w. d. d/2

= -w. d2/2 ton.m

Total momen beban = -w. d. d/2

= -w. d2/2 ton.m

Total momen disebelah kiri : momen reaksi + momen berat

Momenlentur pada x = +wLd/2 -wd2/2

Pada R dan Rl, d akan bernilai 0 (nol), jadi momen lentur pada R dan Rl akan juga bernilai 0 (nol)

Pada tengah girder titik c --> d = L/2

jadi bending momen pada c = +(wL/2 . L/2) - [w/2. (L/2)2]

= wL2/4 - wL2/8

= wL2/8

Jika momen lentur dihitung pada tiap titik sepanjang girder, sebuah gambar atau kurva momen lenturn dapat diplot seperti gambar 2.6.b.

Dalam convesional Naval Architectur bahwa momen hogging dalam gambar sebagai (-) dan momen sagging (-) dan disini yang dijelaskan adalah momen sagging

Untuk Mendapatkan Gaya Lintang Dan Momen Lentur Secara Grafik

Perhitungan untuk beban yang lebih komplek seperti yang biasa terjadi pada kapal, akan lebih sulit daripada yang selama ini dipertimbangkan, untungnya, gaya lintang dan momen lentur bisa didapatkan secara grafik dan hal ini akan memper-mudah pekerjaan.

Untuk memperlihatkan bahwa hal ini bisa dilakukan yaitu dengan mempertimbangkan girder pada contoh sebelumnya.

Kurva untuk hal ini telah digambar dalam sketsa dibawah dengan penambahan "kurva beban" menunjukkan beban per- meter panjang pada masing-masing bagian :

Gaya lintang pada x = xy = w(L/2 -d)

= w . jarak xc

ini sama dengan luasan dibawah kurva beban antara c dan x.

Momen Lentur pada titik x = xz = wLd/2 - wd2/2

Tetapi luasan ARxy, dibawah kurva gaya lintang

= d [(AR + xy)/2]

= d/2 [wl/2 + w(l/2 -d)]

= (wLd/2) - (wd2/2)

Jadi momen lentur pada titik x sama dengan luasan di bawah kurva gaya lintang, antara R dan x, sehinnga prosedur untuk setiap titik katakanlah x, yaitu :

a. Gambar sebuah kurva beban
b. Dapatkan sebuah titik yang gaya lintangnya bernilai = 0, kemudian dapatkan luasan kurva beban antara titik tersebut dan x, hal ini akan mendapatkan harga gaya lintang pada titik x. Hal ini dapat diulangi untuk sejumlah titik dalam mendapatkan gaya lintang.
c. Dapatkan sebuah titik dimana momen lentur = 0 kemudian dapatkan luasan dibawah gaya lintang antara titik tersebut dan x, jika hal ini diulangi untuk sejumlah titik akan diperoleh kurva momen lentur.

Integration

Ini adalah istilah untuk proses mendapatkan luasan dibawah suatu kurva, hal ini terdiri dari luasan yang didapatkan secara berturut-berturut dan penjumlahan aljabar (+) dan (-) dibawah garis dasar. Sepeti yang telah diketahui, skesa dibawah ini menunjukkan bagian dari luasan beban yang diintegrasikan untuk mendapatkan kurva gaya lintang (shearing force). Untuk mendapatkan kurva dibawah hal ini bisa dilakukan dengan salah satu cara antara lain :

a. Dengan pengukuran sederhana jika kurva berbentuk garis lurus.
b. Dengan memilih ordinat yang cocok dan menggunakan aturan Simson atau kalkulus intergral.
c. Dengan menggambarkan kurva pada kertas grafik dan menghitung kotak dibawah kurva. Metode ini sederhana meskipun agak rumit tetapi hal ini lebih akurat jika dilakukan secara hati-hati.

Tegangan Lentur Memanjang pada Kapal

Beban-beban dan teganganlentur pada kapal sering kali sangat komplek tetapi hal ini dapat diperoleh dengan metode yang sama seperti penggunaan pada girder-girder lainnya. Jika menggunakan metode grafik pekerjaan tidak terlalu susah.

Untuk Mendapatkan Kurva Beban.

Disini tidak ada titik tumpuan yang tampak saat kapal terapung. Tumpuannya diperoleh dari buoyancy yang tersebar disepanjang kapal. Jadi pada setiap titik disepanjang kapal gaya mengarah keatas, dan berat mengarah kebawah pada beban titik tersebut. Jadi terdapat perbedaan antara kedua gaya itu. Untuk memperoleh kurva beban, pertama kita harus menggambar 2 kurva :

a. Kurva berat menunjukkan berat per-meter panjang pada setiap titik dikapal.
b. Kurva buoyancy menunjukkan buoyancy per-meter panjang pada setiap titik dikapal.

Jarak vertikal antara kedua kurva tersebut pada suatu titik disepanjang kapal pada kurva tersebut merupakan harga beban pada titik tersebut.

Jika beban tersebut didapatkan serangkaian titik, maka kurva beban diplotkan, sewaktu kurva ini diplotkan harus diingat bahwa total berat harus sama dengan total buayancy di kapal. Jadi :

a. Total luasan dibawah kurva buoyancy harus sama dengan total luasan dibawah kurva berat.
b. Total luasan rata-rata dibawah kurva berat harus 0 (nol) se bagai contoh total luasan diatas base line (garis dasar) harus sama dengan luasan dibawah garis dasar tersebut.

Untuk Mendapatkan Kurva Gaya Lintang

Gaya lintang harus nol pada ujung kapal, jadi kurva gaya lintang bisa didapatkan dengan memulai dari salah satu ujung dan kemudian menggabungkan luasan dibawah kurva beban secara berturut-turut. Untuk menyelesaikan sepanjang kapal. Untuk mempertahankan kebiasaan tersebut secara benar, biasanya dilakukan dari kiri kekanan.

Untuk Mendapatkan Kurva Momen Lentur

Momen lentur juga bernilai 0 (nol) pada ujung kapal, jadi kurva momen lentur juga bisa didapatkan dengan memulai dari ujung dan menggabungkan luasan dibawah kurva gaya lintang. Untuk mempertahankan kebiasaan secara benar pada kasus ini, biasanya dikerjakan dari kanan kekiri. Sebagai contoh kurva momen lentur dapat diambil kebalikan dengan kurva gaya lintang. Harus diingat biasanya momen hogging diatas base line dan momen sagging dibawah base line.

Kapal Pada Kondisi Still Water

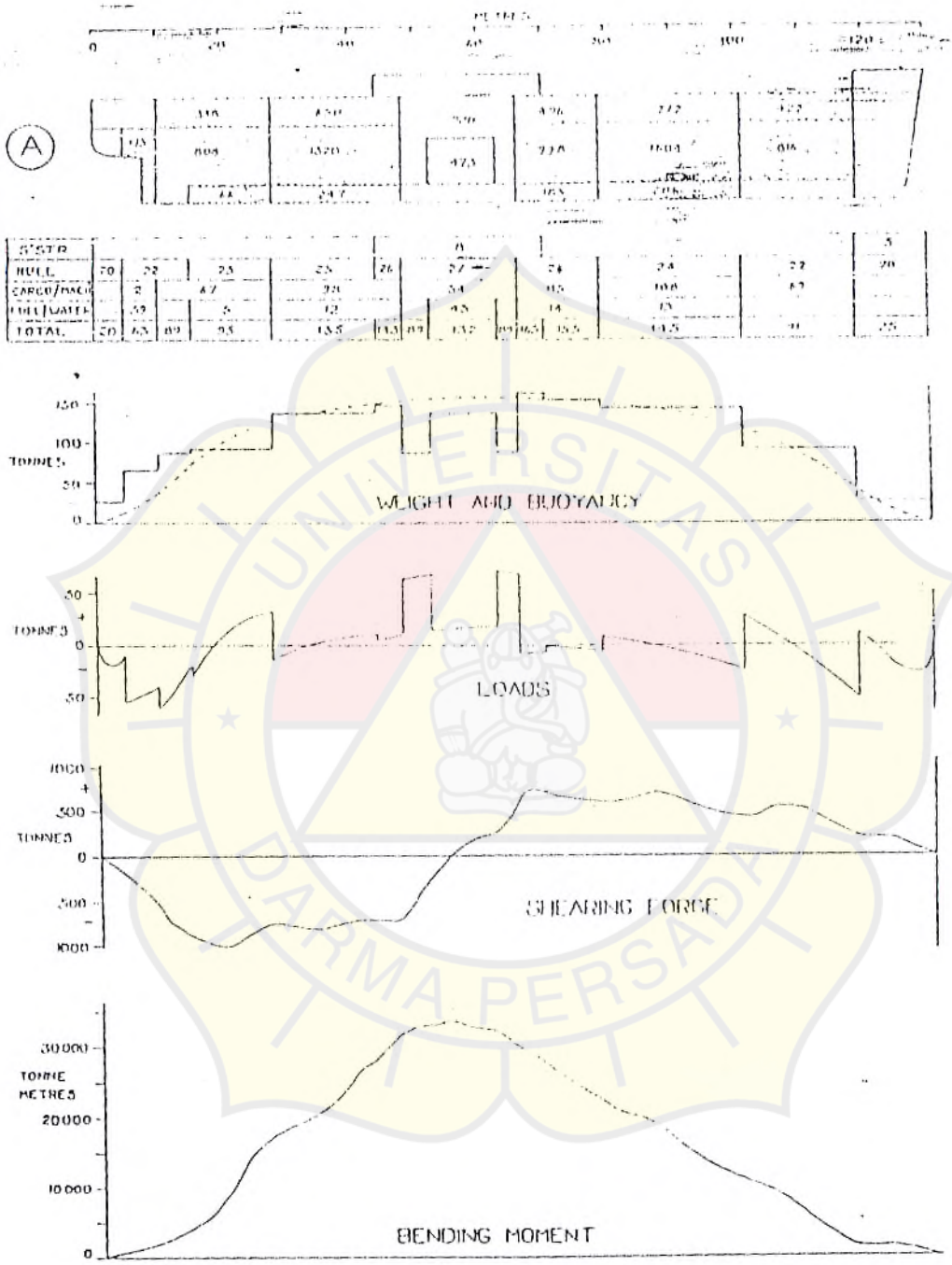
Kurva dari kapal yang sesungguhnya biasanya lebih komplek dari pada sebuah kotak box sederhana, tetapi metode perhitungannya pada dasarnya sama, untuk menggambarkan hal ini, Umpamakan sebuah kapal yang dibebani pada kondisi still water seperti sketsa dibawah. Perlu dicatat bahwa berat di set dan dibuat suatu tabel yang saling berhubungan pada suatu tempat

(ton/m). Kurva buoyancy juga diplotkan sehingga didapatkan kurva beban kemudian diintegrasikan, untuk membentuk kurva shearing force dilakukan dari kiri ke kanan dan akhirnya kurva beban diintegrasikan dari kanan kekiri untuk mendapatkan kurva bending momen. Perlu dicatat bahwa beberapa tahap pengeplotan, kurva supaya difairingkan agar didapatkan kurva yang bagus dan ini biasa dilakukan.

Kapal dalam Gelombang

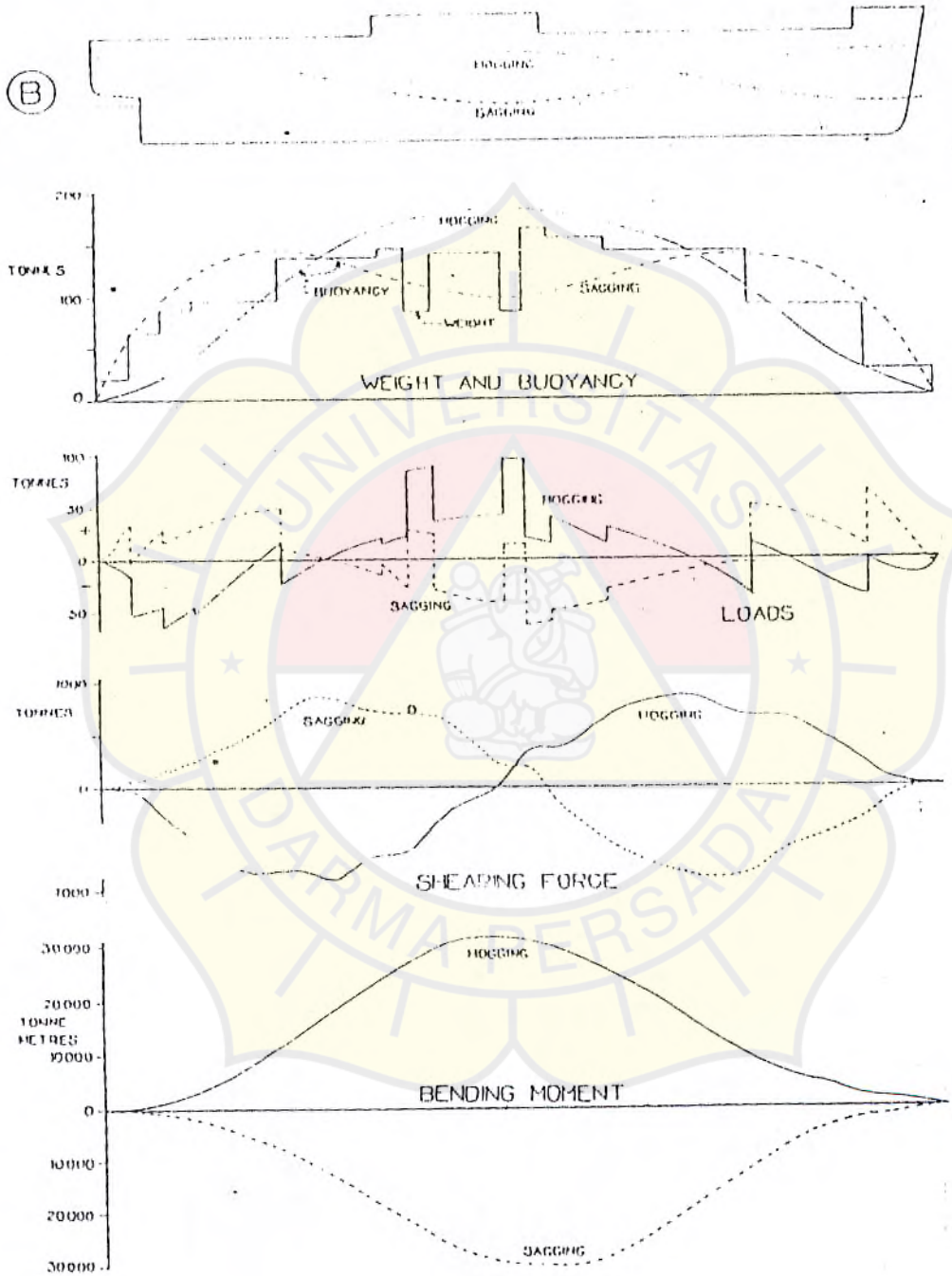
Untuk tujuan ini kita biasanya mengasumsikan kondisi dimana tegangan bending momen pada angka terbesar. Hal ini biasanya terjadi pada saat panjang gelombang sama dengan panjang kapal yaitu pada saat kondisi sagging dan Hogging. Tinggi gelombang diasumsikan sebesar 1/20 panjang kapal. Untuk kapal yang sama dengan kondisi pembebanan yang sama, kurva berat akan sama, tetapi kurva buoyancy akan berbeda dengan kapal pada kondisi still water. hal ini tampak pada gambar B.

LONGITUDINAL BENDING STRESSES ON SHIPS



Gambar

MERCHANT SHIP CONSTRUCTION



Gambar 2.5

2.3. Distribusi Buoyancy Kapal

Diperairan, kapal mendapat beban statik dan dinamik yang menyebabkan kapal melentur pada bidang longitudinal dan vertical. Untuk merancang pada struktur dan perbandingan antar kapal yang satu dengan yang lain permasalahan menjadi permasalahan statis ekivalen adalah adalah dimana beban karena gelombang laut diambil nilai tersebar untuk dimasukkan dalam perhitungan kekeuatan memanjang kapal. Jadi kapal dianggap dalam kondisi beban tertent. Dalam meneliti momen lentur yang terjadi pada kapal, umumnya dipakai tiga keadaan standart kondisi gelombang (Muckle, 1978:155). Yaitu :

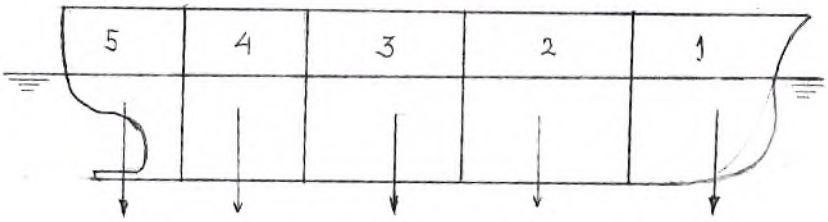
1. Kondisi still water
2. Kondisi hogging
3. Kondisi sagging

Untuk menentukan beban yang beraksi pada kapal yang dianggap sebagai balok, harus ditentukan terlebih dahulu distribusi berat dan buoyancy. Berat total harus sama dengan buoyancy total. Selanjutnya dibuat beberapa asumsi sebagai berikut (Munro, 1978:217) :

1. Kapal berada dalam kesetimbangan statis di atas gelombang.
2. Profil gelombang berbentuk trokoid dengan panjang yang sama dengan panjang kapal, serta tinggi yang akan dijelaskan kemudian.
3. Dalam kondisi hogging puncak gelombang berada ditengah kapal.
4. Dalam kondisi sagging puncak gelombang berada di ujung-ujung kapal.
5. Dalam kondisi still water tidak ada gelombang.

Kondisi Still Water

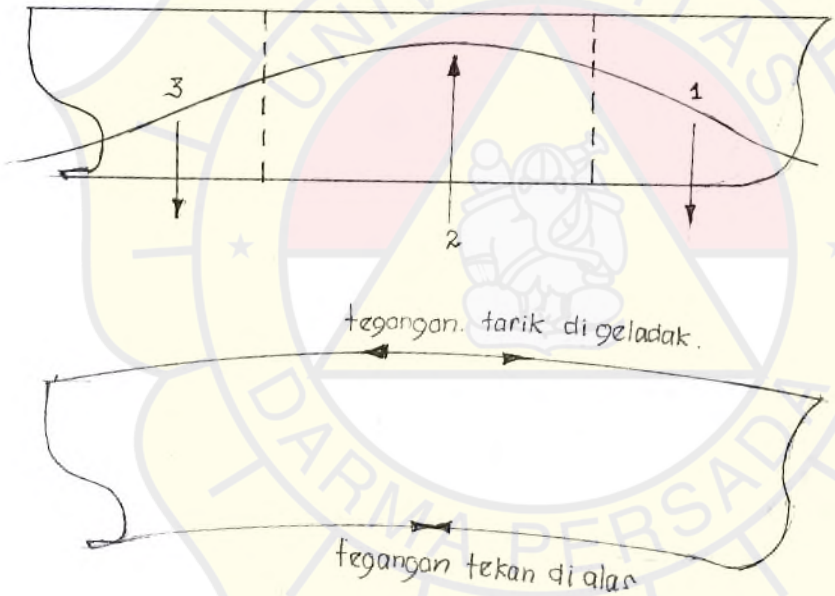
Dimisalkan sebuah kapal terapung pada perairan tenang atau dalam kondisi still water, seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.10. Kapal dalam kondisi still water.

Kondisi Hogging

Salah satu gelombang paling buruk bagi kapal adalah kondisi hogging. Yaitu kondisi dimana puncak gelombang berada ditengah kapal. Pada saat itu kapal seolah-olah ditekuk ke bawah oleh gelombang dan berat kapal itu sendiri seperti pada gambar berikut ini.

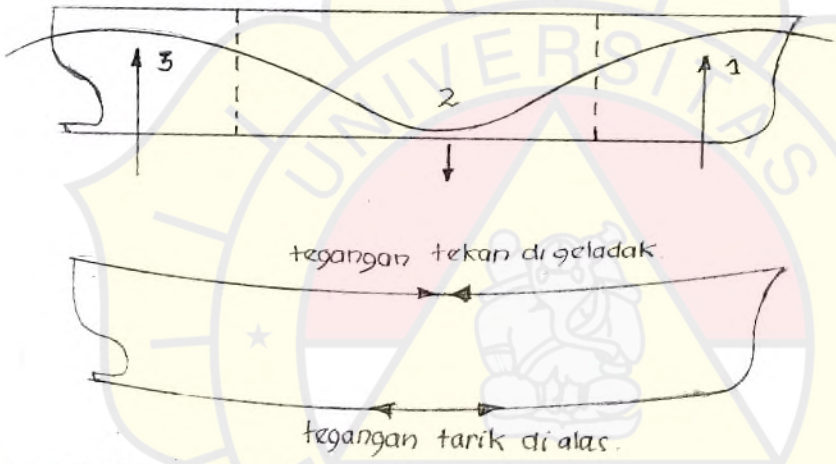


Gambar 2.11 Kondisi hogging

Karena di tengah kapal terjadi kelebihan buoyancy, akibatnya kapal tertekuk dan timbul tegangan tarik di geladak dan tegangan tekan diatas kapal.

Kondisi Sagging

Dimisalkan kapal bergerak maju sehingga puncak gelombang berada di depan dan belakang kapal atau lembah gelombang berada di tengah kapal. Hal ini terjadi karena pada ujung-ujung kapal terjadi kelebihan gaya buoyancy sehingga kapal seolah-olah ditekuk ke atas. Akibatnya di geladak timbul tegangan tekan dan di alas kapal timbul tegangan tarik seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 2.12 kondisi sagging.

Kondisi gelombang seperti ini merupakan salah satu keadaan terburuk yang dialami kapal di dalam perjalanannya.

Tinggi Gelombang

Untuk keperluan praktis, umumnya tinggi gelombang efektif yang diperhitungkan dalam perhitungan kekuatan memanjang ini diperkirakan dengan cara yang standard. Menurut formula Henscke sebagai berikut (Munro, 1978:218)

$$H = Lpp / 20 \quad (m) \ldots\ldots\ldots (2.3)$$

dimana :

H : Tinggi gelombang efektif (m).

Lpp : Panjang kapal (m).

Penelitihan tentang gelombang laut menunjukan bahwa gelombang yang makin panjang cenderung menjadi kurang curam atau tajam dari pada gelombang yang pendek. Karena itu Murray dari Lloyd's Register memberikan formula :

$$H = 0.607 \sqrt{Lpp} \quad (m) \ldots\ldots\ldots (2.4)$$

Dari data-data yang diperoleh (Munro - Smith,R, 1978:218) tinggi gelombang bervariasi antara $Lpp^{0.3}$ dan $Lpp^{0.5}$ kemudian Muckle menyimpulkan dalam formula :

$$H = 1.632\ Lpp^{0.3} \quad (m) \ldots\ldots\ldots (2.5)$$

Jika dari ketiga persamaan tersebut dibandingkan, akan tampak hasil tabel berikut ini.

Tabel II.1. Perkiraan tinggi gelombang

L (meter)	L/20	$0.607\sqrt{L}$	$1.632\ L^{0.3}$
60	3	4.71	5.57
90	4.5	5.76	6.29
120	6.0	6.66	6.68
150	7.5	7.44	7.33
180	9.0	8.15	7.75
210	10.5	8.80	8.12
240	12.0	9.41	8.45
270	13.5	9.98	8.75
300	15.0	10.52	9.03

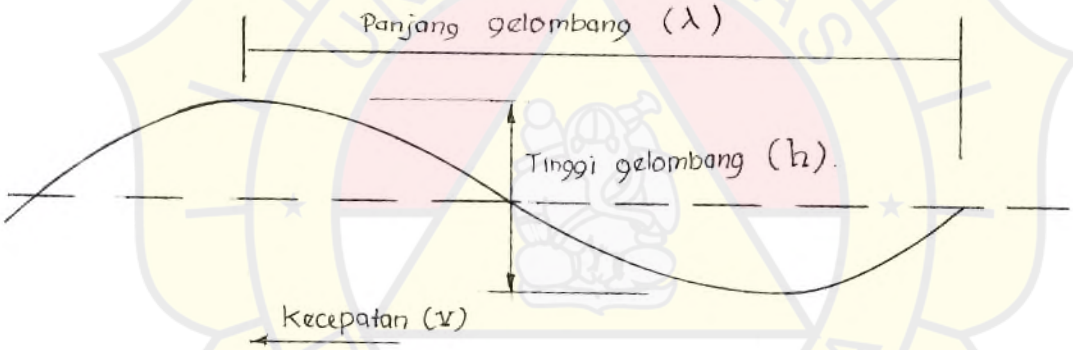
Terlihat bahwa akan terjadi perbedaan hasil perhitungan. Sebagai perbandingan antara kapal yang satu dengan yang lain hasil perhitungan tidak terpengaruh oleh pengambilan persamaan, dimana hanya diambil satu persamaan saja.

Ordinat Gelombang

Laut adalah lingkungan alamiah dari sebuah kapal yang jarang berada dalam keadaan tenang atau still water. Gelombang timbul di permukaan laut akibat angin. Dan ukuran gelombang tergantung dari kecepatan angin. Mekanisme terjadinya gelom-

bang tidak akan dibahas disini melainkan hanya terbatas pada teori gerakan gelombang dipermukaan air.

Gelombang reguler adalah gelombang yang tidak berubah profilnya sepanjang waktu. Hal ini bukanlah gambaran sesungguhnya, tetapi tepat sebagai perkiraan awal. Gambar berikut ini melukiskan profil gelombang reguler yang dianggap pula sebagai gelombang laut dalam, dimana dasar laut tidak mempengaruhi gerakan gelombang.



Gambar 2.13. Gelombang reguler

Jika h sama dengan tinggi gelombang, λ sama dengan panjang gelombang, v sama dengan kecepatan gelombang dan d sama dengan kedalaman gelombang serta g sama dengan percepatan gravitasi maka teori klasik menyatakan hubungan sebagai berikut :

$$v = \sqrt{\frac{g\,\lambda}{2\pi}\,\tanh\frac{2\pi d}{\lambda}} \qquad ....(2.6)$$

Jika dimisalkan kedalaman air d sama dengan $\lambda/2$ maka :

$$v = \sqrt{\frac{g\,\lambda}{2\pi}\,\tanh\pi} \qquad ....(2.7)$$

Nilai tanh π praktis mendekati unit (= 1), sehingga apabila kedalaman air mencapai separuh gelombang, maka kedalaman air menjadi tidak penting atau berpengaruh. Juga tinggi gelombang tidak mempengaruhi kecepatan. Sebaliknya jika perairan sangat dangkal atau d bernilai kecil sekali, maka nilai tanh $2\pi d/\lambda$ cenderung mendekati nilai $2\pi d/\lambda$ Dan pernyataan kecepatan menjadi :

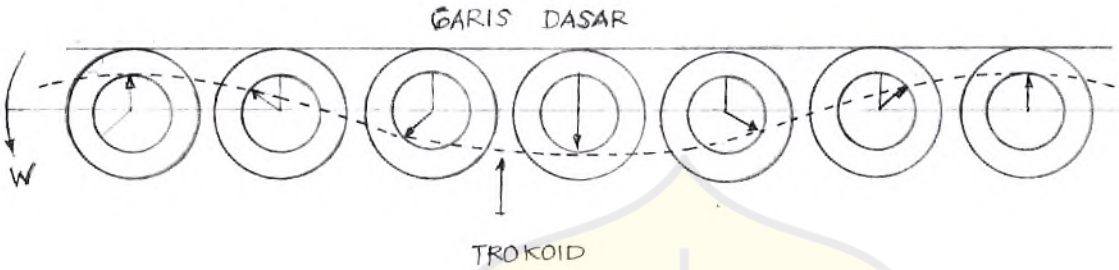
$$v = \sqrt{g.d} \qquad .....(2.8)$$

Jadi gelombang yang bergerak ke pantai, kecepatannya semakin rendah dan puncak-puncaknya akan bertubrukan menjadi satu.

Teori Gelombang Trokoid

Penelitian tentang gelombang laut menunjukkan bahwa puncak lebih curam dari pada lembah. Ini memberikan jalan pada teori Gertsner, yang mengasumsikan bahwa profil gelombang berbentuk trokoid. Pada gambar berikut ini diperlihatkan profil gelombang trokoid dimana siklusnya mengikuti pergerakan titik P yang terletak pada radius r dari pusat lingkaran yang

beradius R yang berputar dibawah garis basis.

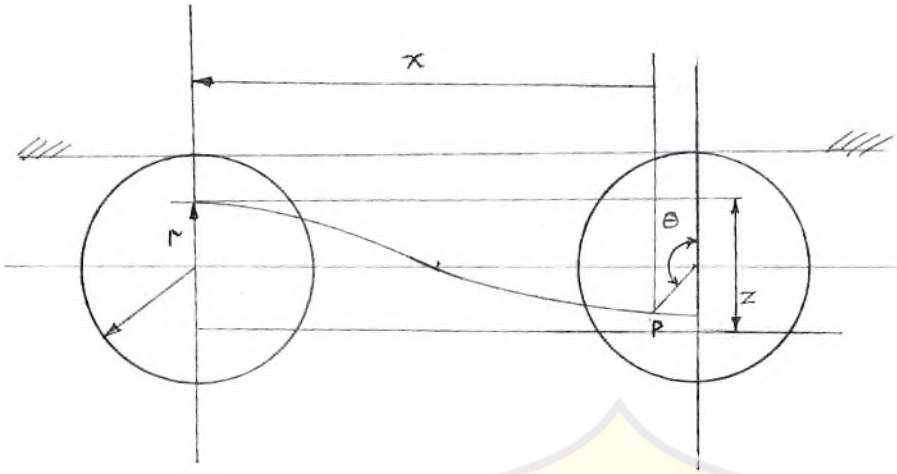


Gambar 2.14. Permukaan gelombang trokoid

Profil ini dapat dianggap sebagai bentuk permukaan laut, dimana partikel air berputar membentuk lingkaran-lingkaran dengan kecepatan sudut v. Profil bergerak maju dengan kecepatan a pada permukaan laut. Koordinat (x ; y) pada sembarang titik di permukaan profil dapat dinyatakan sebagai :

$$\left.\begin{aligned} x &= R.\theta - r \sin \theta \\ Y &= r \cos \theta \end{aligned}\right\} \quad .....(2.9)$$

Dimana sudut awal di pusat lingkaran, $\theta = 0$. Secara matematis, trokoid kurva yang dibentuk oleh titik pada radius r yang berada di dalam lingkaran beradius R yang menggelinding di atas dasar rata, seperti terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.15. Kurva trokoid

Sehingga dapat pula dinyatakan :

$$Z = r\ (1 - \cos\theta) \quad .....(2.10)$$

dimana : Z : ordinat gelombang relatif.

Jika lingkaran telah membuat suatu putaran, gelombang telah bergerak maju satu panjang gelombang λ .Maka hubungan radius lingkaran R dan panjang gelombang adalah :

$$= 2.\ 0\ .\ R \quad .....(2.11)$$

$$R = \lambda / 2\pi$$

Radius r secara praktis dapat dianggap sebagai separuh dari tinggi gelombang, atau :

$$r = h / 2 \quad .....(2.12)$$

Dengan mengambil nilai tinggi gelombang , $h = 0.607 \sqrt{Lpp}$, dapat dibuat persamaan untuk menentukan ordinat gelombang relatif sebagai berikut :

$$x = (L/2\pi).\ \theta - (0.607 \sqrt{Lpp}/2).\ \sin\theta \quad ...(2.13)$$

$$z = (0.607\ Lpp/2)\ .\ (1 - \cos\theta)$$

Untuk menggambarkan kurva trokoid dalam perhitungan kekuatan memanjang, mula-mula ditentukan panjang gelombangnya, dan membaginya dalam sejumlah interval. Berarti tiap interval menyatakan perputaran lingkaran radius R itu sejauh 360 derajad/jumlah gelombang. Selain itu telah ada perkiraan ordinat gelombang relatif yang didapat dari data-data dan pengalaman (Henscke, 1966:385).

Tabel II. Ordinat Gelombang Relatif, z = H.C

Faktor C	Hogging	Sagging
Ceruk	0.000	0.000
1/2 OL	0.019	0.966
2/2 OL	0.075	0.871
3/2 OL	0.162	0.735
4/2 OL	0.292	0.578
5/2 OL	0.428	0.422
6/2 OL	0.594	0.280
7/2 OL	0.748	0.160
8/2 OL	0.879	0.072
9/2 OL	0.968	0.018
@	0.000	0.000

Tinggi Dasar Gelombang

Ordinat gelombang relatif digambarkan sepanjang kapal dengan sumbu gelombang yang tertentu letaknya. Sumbu atau poros ini ditentukan letaknya secara trial dan error berdasarkan berat dan displacement kapal tersebut. Telah dinyatakan sebelumnya bahwa dalam kesetimbangan, kapal harus memiliki berat total dan buoyancy yang sama. Hal ini dapat tercapai apabila letak dasar gelombang membentuk buoyancy total yang sama besarnya dengan berat total.

Letak atau tinggi dasar gelombang dihitung dari base line memiliki hubungan dengan ordinat gelombang relatif yang dibahas sebelumnya sebagai berikut :

$$\zeta = t + r - (h - z) \qquad .....(2.14)$$

dimana :

ζ : ordinat gelombang

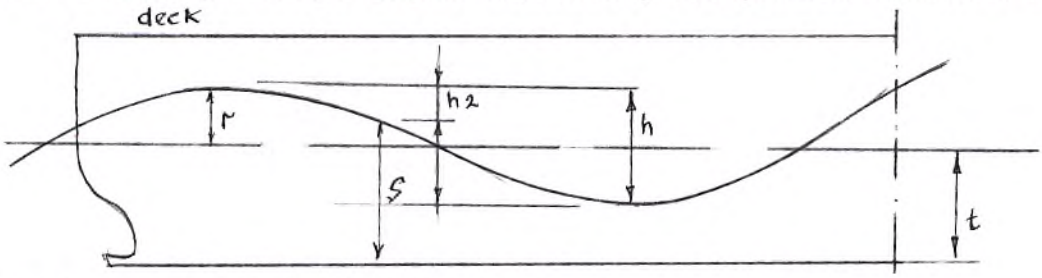
t : tinggi dari sumber gelombang ke base line

r : radius lingkaran dalam trokoid

H : tinggi gelombang

z : proyeksi ordinat gelombang

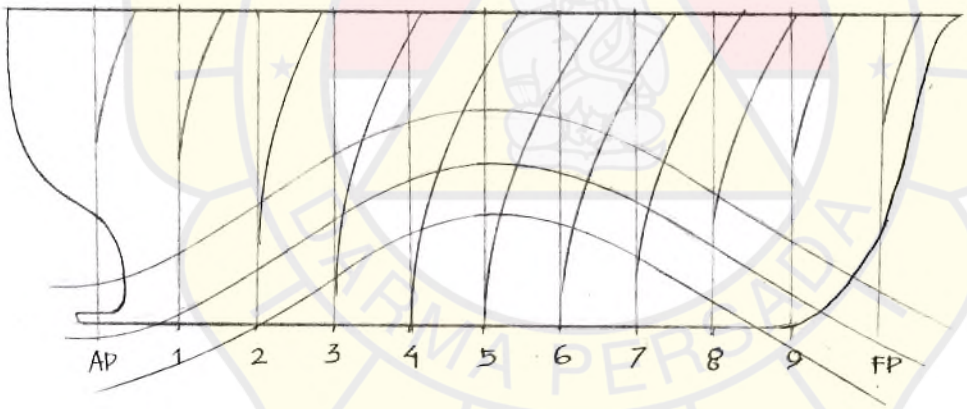
Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.16 Tinggi dasar gelombang

Kurva Bonjean

Kurva bonjean adalah suatu kurva yang memberikan informasi tentang luas penampang melintang yang berada didalam air. Kurva ini sangat berguna untuk menentukan distribusi buoyancy memanjang kapal. Dalam penentuan tinggi poros gelombang harus dicoba profil gelombang, sementara atau trial wave pada kurva bonjean. Hasil dari coba-coba ini adalah distribusi buoyancy dan displacement kapal. Langkah coba-coba ini dilakukan terus sampai mendapatkan displacment coba-coba yang sama dengan nilai displacement yang sebenarnya atau pada sarat maksimum, seperti gambar berikut ini :



Gambar 2.17 Trial wave pada kurva bonjean

Hasil akhir ini menyatakan tinggi dasar gelombang dan distribusi buoyancy pada kondisi terburuk yang dialami kapal di laut bergelombang.

Kurva buoyancy menunjukkan distribusi buoyancy memanjang kapal yang didapat dan informasi tentang gelombang seperti tinggi poros, ordinat dan kondisi gelombang.

II.2. Distribusi Berat Kapal

Berat total kapal terdiri dari berat kapal kosong dan berat DWT, yang besarnya sama dengan displacement.

$$\Delta = DWT + LWT \qquad .....(2.15)$$

dimana :

Δ : displacement kapal

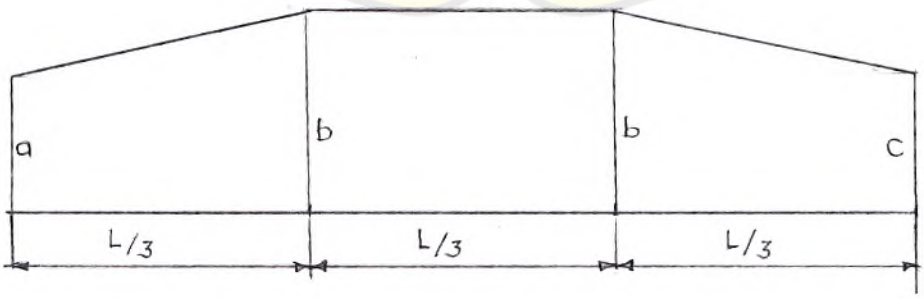
DWT : Berat muatan dan akomodasi

LWT : Kondisi light weight

Kondisi light weight terdiri dari berat lambung ditambah berat bagian struktur lainnya.

Berat Lambung

Distribusi berat lambung dapat diasumsikan berbentuk seperti pada gambar berikut ini. (Henscke, 1966:391)



Gambar 2.18. Distribusi berat lambung

Faktor Bentuk lambung	A	B	C
Kapal ramping	0.653	1.195	0.566
Kapal sedang	0.680	1.185	0.580
Kapal gemuk	0.706	1.174	0.596

Ordinat lambung dari data-data di atas dinyatakan sebagai :

$$\text{Ordinat} = (W_{hull} / L_{pp}) \cdot k \quad \ldots\ldots(2.16)$$

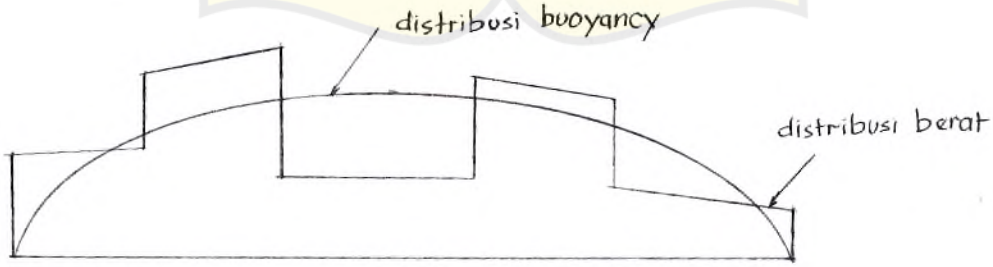
Dimana :

W hull : Berat lambung

k : Faktor bentuk lambung

Diagram Berat

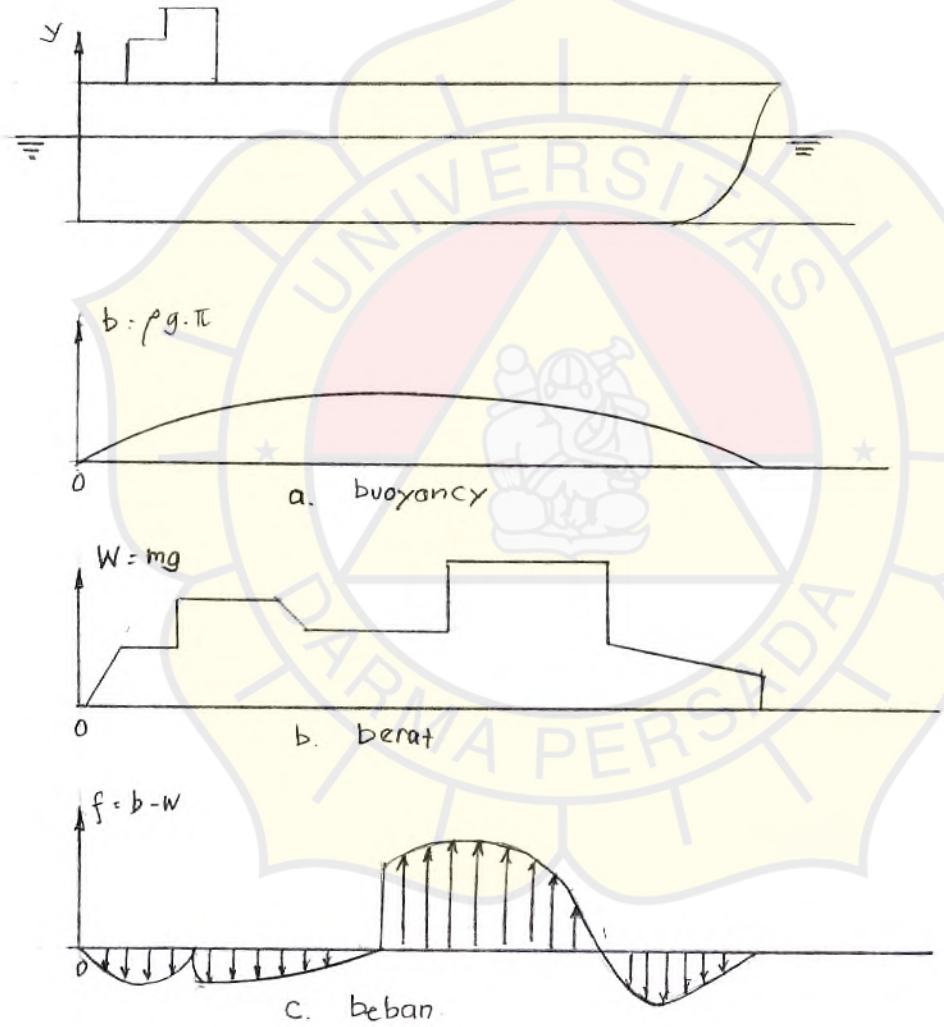
Diagram berat menunjukkan distribusi memanjang berat kapal. Setelah ordinat berat didapat, pertama-tama dibuat garis basis yang menyatakan panjang kapal. Kemudian ordinat digambarkan pada interval-interval tertentu. Gambar berikut ini melukiskan diagram berat dan buoyancy.



Gambar 2.19 . Diagram berat dan buoyancy

II.3. Distribusi Beban Memanjang

Pada keadaan setimbang, distribusi berat yang dimiliki kapal dengan buoyancy yang ditimbulkan gelombang secara memanjang, selalu tidak sama merata. Dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.20. Distribusi beban memanjang

Perbedaan-perbedaan gaya ini menimbulkan beban yang bervariasi sepanjang badan kapal. Yang digambarkan sebagai kurva beban. Jika buoyancy persatuan panjang adalah ρ .A(x), diamana A(x) adalah luas penampang melintang yang berada di dalam air di sembarang titik x di sepanjang kapal. Dan m(x) adalah massa persatuan panjang di sembarang titik x, maka beban persatuan panjang yaitu sebagai berikut :

$$p.g \int_0^L A(x).dx = g \int_0^L m(x).dx = g.A$$

$$f(x) = p.g.A(x) - g.m(x) \qquad .....(2.17)$$

$$f(x) = b(x) - w(x)$$

dimana :

f(x) : beban persatuan panjang

L : panjang kapal

p : massa jenis air tawar atau laut

g : percepatan gravitasi

Yang merupakan silisih kedua gaya persatuan panjang tersebut di atas.

II.4. Diagram Gaya Lintang dan Momen Lentur

Gaya lintang dan momen lentur sepanjang kapal dapat ditentukan dari kurva beban. Gaya lintang di sembarang penampang x di sepanjang kapal adalah jumlah beban-beban yang beraksi di sisi lain penampang x tersebut. Atau merupakan intergral dari fungsi beban terhadap elemen jarak dx, sehingga

didapat luas di bawah kurva.

$$SF = \int_0^x f(x) \cdot dx \qquad .....(2.19)$$

dimana :

SF : gaya lintang

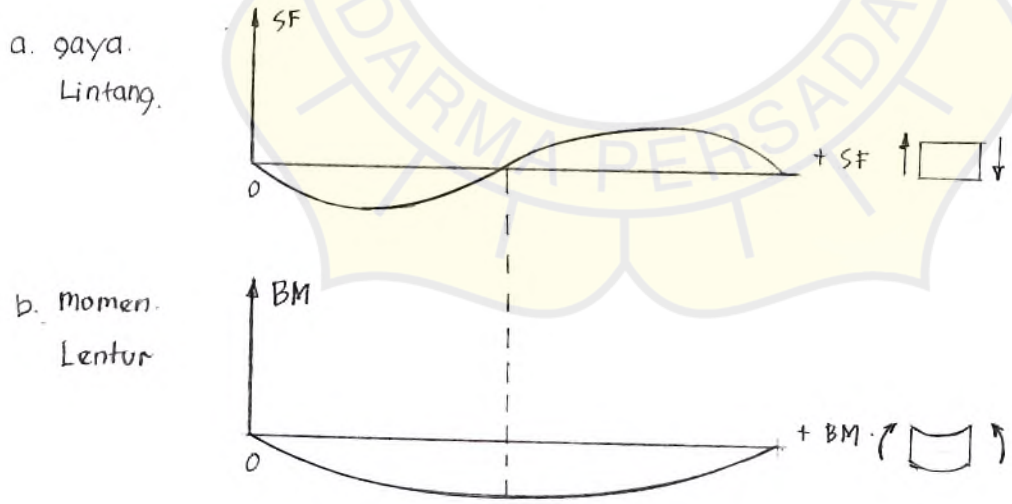
f(x) : beban persatuan panjang dx

Momen lentur di sembarang penampang x adalah jumlah aljabar dari momen-momen yang beraksi akibat beban-beban pada sisi lain dari penampang x tersebut. Yang nilainya sama dengan luas kurva atau diagram gaya lintang yang diukur dari ujung yang sama ke penampang x tersebut. Atau merupakan double integral dari fungsi beban terhadap jarak dx.

$$BM = f(x) \cdot dx \qquad .....(2.19)$$

$$= SF(x) \cdot dx$$

Diagram gaya lintang dan momen lentur umumya berbentuk seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 2.21. Gaya dan momen sepanjang lambung

Kedua diagram bernilai nol di kedua ujung kapal. Gaya lintang nilainya meningkat, mencapai maksimum pada daerah sekitar tengah kapal, kemudian berubah tanda atau arah gaya. Momen lentur nilainya bertambah dan mencapai maksimum di daerah tengah kapal, tepatnya ditempat dimana gaya-gaya lintang bernilai nol.

Dari diagram momen lentur dan gaya lintang ini selanjutnya dapat ditentukan besarnya tegangan yang terjadi melebihi besarnya tegangan yang diizinkan oleh peraturan, maka ukuran penampang material harus diperbesar dan hitungan diulangi. Hal ini dilakukan terus menerus sampai dicapai tegangan yang lebih kecil daripada tegangan yang diizinkan oleh peraturan.

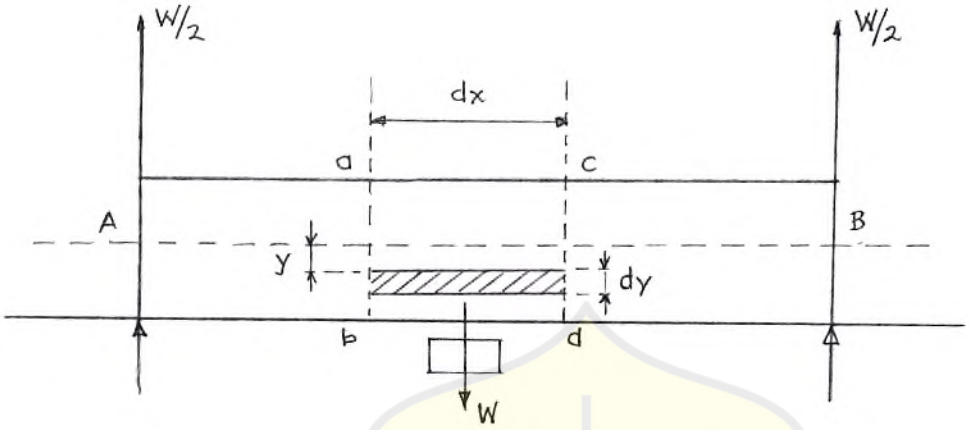
Untuk mendapatkan nilai tegangan yang terjadi dari diagram momen tersebut akan dibahas pada sub bab berikut ini.

II.5. Tegangan dan Momen Inersia

Reaksi struktur yang terpenting terhadap gaya lintang dan momen lentur yang timbul adalah gaya geser dan momen lentur didalam material struktur dan defleksi jika diperlukan.

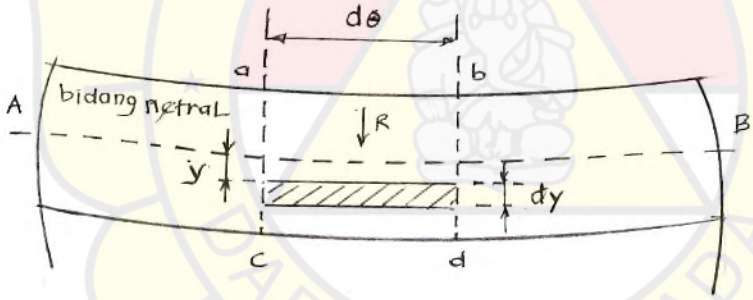
Tegangan lentur

Dimisalkan sebuah balok dengan penampang segi empat ditumpu sendi di kedua ujungnya, dapat dilihat pada gambar berikut dan diberi beban W ditengah-tengah.



Gambar 2.16. Balok dibebani W

Beban cenderung membuat balok melentur seperti berikut ini :



Gambar 2.22. Balok melentur

Sehingga di dalam material timbul tegangan lentur.

Jika ab dan cd penampang melintang yang sejajar berjarak dx. Pada saat balok melentur, kedua penampang itu tidak lagi sejajar, melainkan membentuk sudut dη Bila bagian atas sumbu AB berada dalam kondisi tertekan dan dibagian bawah berada dalam kondisi tertarik, maka AB disebut sebagai sumbu netral. Dimisalkan sebuah elemen dengan tebal dy, berjarak y dari sumbu netral dan R adalah radius kurva melenturnya balok

itu maka :

Panjang asli elemen, $I = dx$

$= R \cdot d\theta$

Panjang lenturan elemen $= (R + y) \cdot d\theta$

Sedangkan diketahui, regangan adalah :

regangan = perpanjangan / panjang asli

$= \Delta I / I$

$$= \frac{(R + y).d\theta - R \cdot d\theta}{R \cdot d\theta} = y/R$$

Bila elastisitas balok E konstan, maka sesuai dengan hukum Hook :

E = tegangan / regangan $= \vartheta / I$

$r = E \cdot y/R$ .....(2.20)

Misal luas penampang elemen itu $b \cdot dy = dA$, dimana b adalah lebar elemen dan juga lebar balok. Beban pada luasan dA bernilai sama dengan tegangan yang timbul pada luasan itu.

Beban pada $dA = E.y / R.dA$

Beban resultan pada luas penampang ab itu sama dengan jumlah beban pada penampang. Dimana pada kesetimbangan statis nilainya sama dengan nol.

Beban di ab $= (E.y/R.dA) = 0$

Karena E dan R bernilai tidak sama dengan nol, maka :

$(y \cdot dA) = 0$

Dimana y . dA adalah momen terhadap sumbu netral yang bernilai nol jika sumbu netral melalui pusat gravitasi dari luasan tersebut. Dalam kasus ini, sumbu netral terletak pada setengah tinggi balok.

Jumlah momen-momen akibat tegangan-tegangan dalam penampang sama dengan M, yaitu momen lentur pada penampang tersebut. Momen akibat tegangan pada luasan dA yang berjarak y dari sumbu netral adalah :

$$m = (E.y / R)y . dA$$

sehingga :

$$M = (E.y /R)y . dA = E / R (y^2 . dA)$$

dimana (y2 . dA) adalah momen inersia I dari penampang tersebut terhadap sumbu netral. Atau :

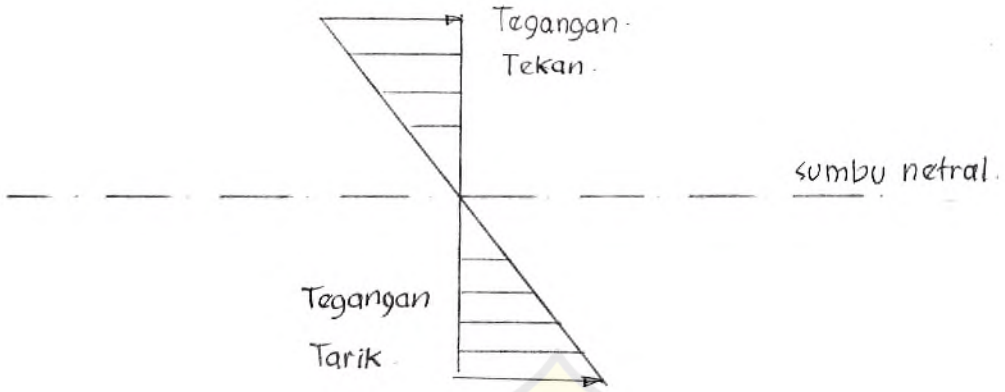
$$M = E / R.I \qquad .....(2.21)$$

Dari persamaan (2.20) dan (2.21) dapat ditulis :

$$E/R = r / y = M/I$$

$$\sigma = M.y / I = M(I/Y) \qquad .....(2.22)$$

(I/y) disebut sebagai modulus luas atau Z yang mencapai nilai minimal jika y mencapai nilai maksimal. Dalam hal ini Z sebagai kriteria kekuatan balok. Dari persamaan ini terlihat bahwa tegangan tarik atau tekan akibat momen lentur yang terbesar terjadi di tempat yang terjauh dari bidang netral. Dalam hal struktur kapal, tempat itu adalah geladak dan alas kapal. Sedangkan di sumbu atau bidang netral, tegangan lentur ini sama dengan nol.



Gambar 2.23. Distribusi tegangan tarik atau tekan.

Tegangan Geser

Tegangan geser rata-rata di sembarang penampang bisa didapat dengan membagi gaya lintang di penampang dengan luas penampang itu.

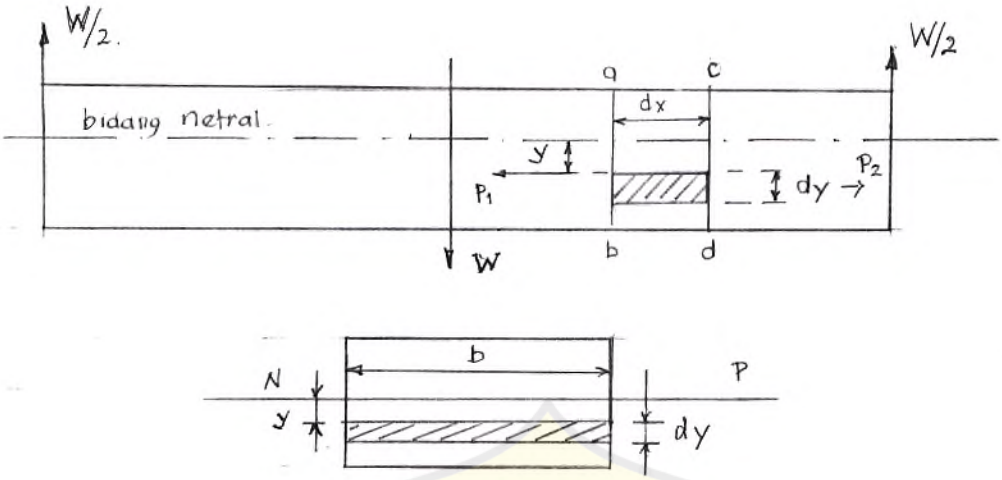
$$\text{rata-rata} = V / A \qquad .....(2.23)$$

dimana :

V : gaya lintang vertikal

A : luas penamapang melintang

Untuk mendapatkan nilai yang lebih tepat dari perkiraan distribusi tegangan geser, maka dimisalkan sebuah elemen dx seperti gambar berikut ini.



Gambar 2.24 Elemen mengalami tegangan geser

Diantara dua penampang melintang AB dan CD. Misal tebal elemen dy berjarak y dari bidang netral. Dari rumus (2.23), tegangan lentur untuk elemen seluas b.dy = dA dari penampang AB adalah:

$$p = M1 / I1.y$$

dimana :

M1 : momen lentur di AB

I1 : momen inersia luasan terhadap sumbu netral

y : jarak pusat luasan ke sumbu netral.

Beban yang beraksi pada luasan dA, sebesar dF1 :

$$dF1 = \alpha \cdot dA = M1 / I1.y.dA$$

Misal A1 adalah luas penampang AB, maka beban total F1 yang beraksi di A1 :

$$F1 = M1 / I1.y.dA$$

$$= M1 / I1.y.A1$$

Beban total F2 yang beraksi pada A2 pada α d adalah :

$$F2 = M2 / I2.y.A2$$

dimana :

M2 : momen lentur di CD

I2 : momen inersia luasan A2

karena dx sangat kecil maka A1 = A2 = A dan I1 = I2 = I sehingga beban resultan di A :

$$F = F1 - F2 = (M1 - M2) / I.y.A$$

$$= \frac{(M1 - M2) \; . \; dx.y.A}{dx \qquad I}$$

Dimana (M1 - M2) dx sama persatuan gaya lintang vertikal v pada luasan penampang melintang dari balok itu. Jadi beban resultan F :

$$F = F1 - F2 = V.y.A.dx / I$$

Jika τ adalah tegangan geser persatuan luas di A dan B adalah lebar balok, maka beban resultan F = τ .b.dx

atau :

$$\tau \; . \; b.dx = V.y.A.dx / I$$

$$\tau = (V.y.A).(I.b) \qquad .....((2.24)$$

Terlihat bahwa tegangan geser makin besar jika gaya lintang makin besar dan terbesar pada sumbu netral. Dalam hal kapal, yang mengalami tegangan geser terbesar adalah pelat kulit kapal. Umumnya yang terletak di daerah seperempat panjang kapal dari ujung kapal, karena pada daerah itu gaya lintang yang terbesar umumnya terjadi.