

**ANALISIS KEKUATAN PENUMPU MELINTANG GELADAK YANG
INTERCOSTAL AKIBAT ADANYA MISALIGNMENT**

Skripsi

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



Oleh

LESTARI LALLO

D311 13307

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020



**ANALISIS KEKUATAN PENUMPU MELINTANG GELADAK YANG
INTERCOSTAL AKIBAT ADANYA MISALIGNMENT**

Skripsi

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



Oleh

LESTARI LALLO

D311 13307

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
Jalan Poros Malino KM 6 Gowa, 92171 Sulawesi Selatan
<http://eng.unhas.ac.id/perkapalan>, Email: kapal9uh@unhas.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

JUDUL SKRIPSI

**“ANALISIS KEKUATAN PENUMPU MELINTANG GELADAK YANG
INTERCOSTAL AKIBAT ADANYA MISALIGNMENT”**

Disusun dan diajukan oleh :

LESTARI LALLO

D311 13 307

Telah diperiksa dan disetujui oleh Dosen Pembimbing Pada;

Tanggal : 2020

Di : Gowa

Menyetujui,

Pembimbing I,

DR. IR. GANDING SITEPU, Dipl-Ing
NIP. 196004251988111001

Pembimbing II,

HAMZAH, ST., MT
NIP. 198006182005011004

Mengetahui

Ketua Departemen Teknik Perkapalan,

DR. ENG. SUANDAR BASO, ST., MT.
NIP. 197302062000121002



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Lestari Lallo

NIM : D311 13 307

Program Studi : S1 Teknik Perkapalan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila kemudian hari terbukti atau tiak dapat dibuktikan sebagai atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 10 November 2020

Yang menyatakan,


LESTARI LALLO



ABSTRAK

Lallo, Lestari. 2020. “Analisis kekuatan penumpu melintang geladak yang *intercostal* akibat adanya *misalignment*.” (dibimbing oleh **Ganding Sitepu** dan **Hamzah**)

Sistem konstruksi kapal dibedakan menjadi tiga cara yang kerap digunakan dalam praktik yakni sistem konstruksi melintang (*transverse framing system*), sistem konstruksi membujur (*logitudinal framing system*), dan sistem konstruksi kombinasi (*mixed/combination framing system*). Struktur yang dominan akan terpasang secara kontinu dan sebaliknya akan dipasang secara terputus-putus (*intercostal*). *Girder* yang terpasang secara *intercostal* akan cukup sulit untuk *alignment* sehingga terjadi ketidaklurusan (*misalignment*). *Misalignment* sendiri merupakan ketidaklurusan antara kedua sumbu yang saling terhubung dan dapat memengaruhi kerja struktur sebuah kapal termasuk kekuatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respon struktur penumpu melintang geladak yang mengalami *misalignment* terhadap beban geladak yang bekerja serta pengaruh *misalignment* terhadap kekuatan. Metode yang digunakan yaitu metode elemen hingga yang terdapat dalam *software* ASYS™. Data diperoleh dari data primer dan data sekunder kemudian dibuatkan model dan menghitung beban. Dengan meninjau masing-masing tegangan di tiap node sambungan penumpu melintang geladak dengan memvariasikan 4 jarak *misalignment* dari $a = 0$, $a = 15$, $a = 30$ dan $a = 45$ mm. Tegangan yang paling besar terdapat pada variasi jarak *misalignment* terbesar pula, yakni $a = 45$ mm.

Kata Kunci: *Intercostal*, *Misalignment*, Penumpu melintang geladak, Tegangan



ABSTARCT

Lallo, Lestari. 2020. “Analysis of transverse deck girder strength which is intercostal caused by misalignmnet”. (Supervised by **Ganding Sitepu and Hamzah**).

Ship construction system is divided into three ways which are often used in practice, there are transverse framing system, logitudinal framing system and mixed/combination framing system. The dominant structure will be installed continuously and otherwise will be installed intermittently (intercostal). The intercostal girders will be quite difficult to alignment and will result in misalignment. Misalignment is an irregularity between the two connected neutral axis and can affect the structural work of a ship, including strength. This study aims to determine the response of the transverse deck girder structure whic is expreiriencing misalignment to the working deck load and the effect of misalignmnet on the strength. The method used is the finite element method in the ASYS™ software. Data obtained from primary data and secondary data are then made models and load calculations. By observing each stress at each node of the transverse deck girder connection with varying 4 misalignment distances from $a = 0$ mm, $a = 15$ mm, $a = 30$ mm, and $a = 45$ mm. Based on the result it was found that increase of misalignment will cause the stress to rise proportionally, even though it was not completely linear. The greatest stress is found in the largest misalignment distance variation, which is $a = 45$ mm.

Keyword: Intercostal, Misalignment, Transverse deck girder, Stress



KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kehadiran Allah ﷻ yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan **Tugas Akhir** dengan judul adalah “**Analisis Kekuatan Penumpu Melintang Geladak yang *Intercostal* Akibat *Misalignment***” 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 ﷺ 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.

1. 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 Ayahanda **Lallo Lappah** dan Ibunda **Hawiah**, orang tua tercinta yang



senantiasa mendoakan, menyayangi dan memberi dukungan serta motivasi yang tiada hentinya kepada penulis. Semoga Ayahanda dan Ibunda selalu dalam lindungan Allah ﷻ.

2. Bapak **Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing**, selaku pembimbing I dan, Bapak **Hamzah, ST, MT** selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Ibu **Ir. Rosmani, MT.**, ibu **Dr. Eng Andi Ardianti, ST., MT**, dan bapak **Andi Mursid Nugraha, 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. Ir. Syamsul Asri, M.STr**, selaku penasehat akademik penulis yang senantiasa memberi arahan serta motivasi selama berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
5. Bapak **Dr.Eng Suandar Baso, ST., MT** selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak Ibu dosen perkapalan departemen teknik perkapalan yang telah membantu memberi arahan dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Saudara-saudara saya **Muhammad Zulfikar** dan **Mikael Ramadhan** yang selalu mendukung dan membantu saya.



8. Keluarga Besar saya utamanya Pipit, Tiara, dan Wiwin yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam perjalanan menyelesaikan studi.
9. Seluruh staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah.
10. Saudara-saudara saya **Cactus 13**, Nibras, Sri, Putri, Sitti, Wini, Grace, Dian, Jeyne, Nita, Mira, Zatil, Yuli, Ita, Juni, Ima, Meti, dan Puput yang selalu memberikan semangat dan dukungan.
11. Sahabat-sahabat saya Dita, Ina, Tami dan Rydha yang merupakan tempat mencurahkan keluh kesahku, menghibur dan memberikan semangat.
12. Saudara-saudara saya **Prototype Crew 2013** yang memberikan semangat selama berkuliah dan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
13. Teman-teman seperjuangan **Fakultas Teknik 2013** yang telah membantu memberikan doa, semangat dan bantuan lainnya.
14. Kanda-kanda senior dan adik-adik dari **Labo Struktur** yang telah bersedia berbagi ilmu dan ketersediaannya dalam berdiskusi mengenai tugas akhir saya.

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.

Gowa, 25 Oktober 2020

Penulis





DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB II.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II.....	6
LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Sistem Konstruksi Kapal.....	6
2.1.1 Sistem Konstruksi Melintang (<i>Transverse Framing System</i>).....	6
2.1.2 Sistem Konstruksi Membujur (<i>Longitudinal Framing System</i>).....	8



2.1.3 Sistem Konstruksi Kombinasi (<i>Mixed Framing System</i>).....	9
2.2 Kerangka Konstruksi	10
2.2.1 Struktur Konstruksi Alas (<i>Bottom</i>).....	10
2.2.2 Struktur Konstruksi Lambung (<i>Side</i>)	12
2.2.3 Struktur Konstruksi Geladak (<i>Deck</i>).....	12
2.3 Misalignment.....	16
2.4 Pembebanan Pada Kapal	18
2.4.1 Beban pada Geladak Cuaca	21
2.5 Tegangan.....	23
2.6 Regangan.....	26
2.7 Elastisitas.....	27
2.8 Hubungan Tegangan dan Regangan.....	28
2.9 Tegangan yang Diizinkan.....	31
2.10 Metode Elemen Hingga.....	33
2.11 ANSYS	36
BAB III.....	36
METODE PENELITIAN	38
3.1 Metode Penelitian	38
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	38
3.3 Teknik Pengumpulan Data	38
3.3.1 Teknik Pengambilan Data	38
3.3.2 Jenis Data dan Sumber Data.....	39
3.4 Teknik Analisi Data	41
3.5 Kerangka Pikir Penelitian	42
3.6	44



HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Perhitungan Beban Kapal	44
4.1.1 Perhitungan Beban Geladak	44
4.2 Pemodelan Struktur Geladak	45
4.3 Analisa Respon Struktur (<i>Transverse Deck Girder</i>)	50
4.3.1 Tegangan.....	52
BAB V.....	57
PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem konstruksi melintang.....	8
Gambar 2.2 Sistem konstruksi <i>longitudinal</i>	10
Gambar 2.3 Struktur konstruksi <i>double bottom</i>	12
Gambar 2.4 Struktur konstruksi geladak (<i>deck construction</i>).....	14
Gambar 2.5 Konstruksi geladak kapal kontainer	15
Gambar 2.6 Konstruksi sambungan <i>longitudinal deck girder</i> dan <i>transverse deck girder (intercostal)</i>	16
Gambar 2.7 Penampang memanjang A, M, F	20
Gambar 2.8 Komponen beban pada lambung kapal	23
Gambar 2.9 Distribusi tegangan yang terjadi pada penampang melintang ..	24
Gambar 2.10 Tegangan yang bekerja pada suatu bidang	25
Gambar 2.11 Diagram tegangan-regangan	30
Gambar 2.12 Diagram tegangan-regangan khusus	31
Gambar 2.13 Elemen 1 dimensi	35
Gambar 2.14 Dimensi segitiga dan segiempat.....	36
Gambar 2.15 Elemen 3 dimensi <i>tetrahedron</i> dan balok	36
Gambar 3.1 Gambar konstruksi profil	39
Gambar 3.2 Gambar penampang melintang (<i>midship</i>).....	40
3.3 Alur <i>flowchart</i> dari bentukan kerangka berpikir	43
4.1 Pemodelan konstruksi geladak dengan komponen lainnya saat kondisi	46



Gambar 4.2 Pemberian tumpuan pada model konstruksi pelat geladak	49
Gambar 4.3 Beban merata atau <i>pressure</i>	50
Gambar 4.4 Tinjauan node yang dianalisa	51
Gambar 4.5 Tinjauan node yang dianalisa letika diperbesar	51
Gambar 4.6 Gambar tegangan untuk model <i>misalignment</i>	53
Gambar 4.7 Kurva tegangan tiap node pada variasi jarak <i>misalignment</i>	54



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar <i>alignment</i> IACS No.47.....	18
Tabel 2.2 Repair <i>misalignment</i> menurut IACS No. 47.....	19
Tabel 2.3 Tabel koefisien gelombang	20
Tabel 2.4 Faktor C_D dan faktor C_f	22
Tabel 3.1 Komponen konstruksi	40
Tabel 4.1 Tegangan pada node sambungan penumpu melintang geladak yang <i>intercostal</i> akibat terjadinya <i>misalignment</i>	53



DAFTAR NOTASI

A	Luas penampang [mm ²]
a	Jarak misalignment [mm]
a _v	faktor percepatan
C _b	Koefisien blok
C _f	Faktor distribusi
C _L	Koefisien panjang
C _o	Koefisien gelombang
C _{RW}	Koefisien daerah pelayaran
E	Modulus elastisitas bahan [ton/m ²]
F	Gaya [N]
f	Faktor peluang
I	Momen inersia penampang [m ⁴]
L	Panjang mula-mula [m]
L _{bp}	Panjang kapal [m]
l	Panjang las sudut [mm]
M _b	momen yang bekerja pada batang [N.m]
P _c	Beban muatan statis [kN/m ²]
P _D	Beban geladak cuaca
P _o	Beban luar dasar dinamis

eban sisi kapal [kN/m²]

arat kapal [m]



t	Tebal pelat [mm]
V	Komponen gaya yang sejajar dengan bidang elemen [N]
W	Modulus penampang [m^3]
y	Jarak titik berat profil [m]
Z	Jarak vertikal pusat beban konstruksi datar garis dasar [m]
Δ	Perubahan bentuk aksial total [m]
ΔL	Pertambahan panjang total [m]
ε	Regangan
δ	Deformasi [mm]
σ	Tegangan [N/mm^2]



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Gambar Konstruksi *Midship*
- Lampiran 2 Konstruksi *Profile*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sarana transportasi laut utama yang digunakan untuk mengangkut penumpang dan barang dari satu tempat ke tempat lain sampai sekarang masih mengutamakan penggunaan kapal. Hal ini disebabkan karena pengangkutan muatan dalam jumlah besar serta biaya yang dikeluarkan lebih murah dibandingkan dengan moda transportasi lain. Bentuk dan konstruksi kapal memiliki fungsi tertentu sesuai dengan jenis muatan yang diangkut dan operasi (pelayaran) kapal. Untuk memerankan fungsinya dengan baik, kapal dituntut untuk memiliki konstruksi yang kuat dan kokoh.

Sistem konstruksi kapal dibedakan menjadi tiga cara yang kerap digunakan dalam praktik yakni sistem konstruksi melintang (*transverse framing system*), sistem konstruksi membujur (*logitudinal framing system*), dan sistem konstruksi kombinasi (*mixed/combination framing system*). Pada dasarnya ketiga sistem tersebut akan menggabungkan tiap-tiap komponen konstruksi badan kapal yang letaknya arah melintang maupun membujur.

Seperti pada konstruksi panel geladak yang terdiri dari pelat geladak (*deck plate*), penumpu geladak (*deck girder*), balok geladak (*deck beam*) serta pembujur (*deck longitudinal*) yang terpasang arah melintang dan membujur. Struktur

minan akan terpasang secara kontinu dan sebaliknya akan dipasang secara



terputus-putus (*intercostal*). Pemasangan panel-panel tersebut dikerjakan dengan cara dilas sehingga harus diperhatikan dan dikerjakan dengan teliti agar dapat mengurangi kesalahan sekecil apapun, karena dalam praktiknya masih kerap ditemui kesalahan-kesalahan pada penyambungan komponen tersebut di atas utamanya pada pertemuan antara *deck girder*, baik *longitudinal* maupun *transversal* yang mana salah satunya akan dipasang secara kontinu dan lainnya dipasang secara *intercostal*. *Girder* yang terpasang secara *intercostal* akan cukup sulit untuk *alignment* sehingga terjadi ketidaklurusan (*misalignment*). Kesalahan tersebut disebabkan oleh *bad workmanship*, mulai dari ketidakteelitian saat proses fabrikasi, distorsi las, serta pengawasan pihak galangan, owner surveyor dan juga inspeksi dari pihak klasifikasi.

Komponen *transverse deck girder* yang terpasang secara *intercostal* dan mengalami *misalignment* akan memengaruhi sebaran gaya menjadi tidak merata sehingga terjadi peningkatan tegangan pada sambungan yang *misalignment* tersebut dan akan memengaruhi kekuatan struktur kapal. Dalam kasus ini, penelitian dari kekuatan konstruksi geladak harus diperinci, terutama jika daerah tersebut mengalami pengelasan karena kekuatan struktur konstruksi merupakan salah satu aspek teknis yang turut memengaruhi tingkat keselamatan suatu kapal. Perhitungan kekuatan pada penyambungan *transverse deck girder* dengan *longitudinal deck girder* mempertimbangkan tinjauan kritis terhadap tekanan eksternal.

Berdasarkan permasalahan tersebut di atas maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh *misalignment* terhadap kekuatan sambungan antara kekuatan dan pengaruh *misalignment* yang terjadi pada sambungan



transverse deck girder dan *longitudinal deck girder*. Maka diperlukan analisis tegangan, rotasi dan translasi yang dapat terjadi pada sambungan *intercostal transverse deck girder*, sehingga penulis tertarik melakukan penelitian yang diajukan sebagai skripsi berjudul:

“Analisis Kekuatan Penumpu Melintang Geladak yang *Intercostal* Akibat *Misalignment*”

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana respon sambungan *intercostal transverse deck girder* terhadap adanya *misalignment*?
2. Bagaimana pengaruh *misalignment* terhadap kekuatan?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dikerjakan lebih fokus dan mendalam, maka penulis membatasi permasalahan penelitian ini. Batasan-batasan masalah tersebut diantaranya:

1. Beban yang bekerja pada objek ialah beban geladak.
2. Pelat dianalisis dengan material pelat isotropic dengan sifat elastis yang sama pada segala arah.

arak *misalignment* (a) adalah $a = 0$, $a = 15$, $a = 30$ dan $a = 45$ mm.



4. Area objek yang dianalisis yakni setengah lebar kapal dan 2 jarak gading dengan menyertakan pilar.
5. Pemodelan dan analisis dilakukan dengan *software* ANSYS.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai penulis adalah:

1. Mengetahui respon struktur sambungan *intercostal transverse deck girder* yang mengalami *misalignment* terhadap beban yang bekerja.
2. Mengetahui pengaruh *misalignment* terhadap kekuatan.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil perhitungan serta penelitian yang dilakukan diharapkan memberikan manfaat diantaranya:

1. Sebagai bahan pertimbangan industri galangan kapal, *surveyor* bahkan *owner* dalam mendesain dan membangun kapal.
2. Mampu menganalisis kekuatan pelat ketika menerima beban dengan kondisi *misalignment*.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Mencakup latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah yang terfokus

kekuatan akibat *misalignment*, tujuan masalah, serta sistematika penulisan.

LANDASAN TEORI



Berisi penjelasan teori-teori yang berkaitan dengan sistem konstruksi kapal, *misalignment*, serta pembahasan analisis kekuatan kapal.

BAB III METODE PENELITIAN

Menjelaskan jenis metode yang digunakan untuk memperoleh data yang dibutuhkan dan teknik analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil yang diperoleh dari penelitian serta membahas hasil penelitian tersebut.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran terkait penelitian.

DAFTAR PUSTAKA



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Konstruksi Kapal

Secara prinsip, konstruksi kapal merupakan susunan panel berpenegar (*stiffened panels*) yang diletakkan untuk membentuk ruang 3-D yang melindungi muatan dan atau personel yang ada di dalam ruangan tersebut dari lingkungan air di sekitarnya. Konstruksi kapal harus dibuat dengan kokoh dan kuat untuk menerima beban baik eksternal maupun beban internal (Rosyid, 2000).

Sistem kerangka atau konstruksi kapal dibedakan dalam dua jenis utama; yaitu sistem konstruksi melintang dan sistem konstruksi membujur. Dari kedua sistem utama ini maka dikenal pula sistem kombinasi. Suatu kapal dapat seluruhnya dibuat dengan sistem melintang, atau hanya bagian-bagian tertentu saja (misalnya kamar mesin dan ceruk-ceruk) yang dibuat dengan sistem melintang sedangkan bagian utamanya dengan sistem membujur atau kombinasi; atau seluruhnya dibuat dengan sistem membujur (Wijaya, 2017).

2.1.1 Sistem Konstruksi Melintang (*Transverse Framing System*)

Sistem konstruksi melintang merupakan konstruksi dimana beban yang bekerja pada konstruksi diterima oleh pelat kulit dan diuraikan pada hubungan-hubungan kaku/ blok membujur dari kapal dengan pertolongan balok-balok yang melintang di (Rosyid, 2000). Gading-gading (*frame*) dipasang vertikal (mengikuti bentuk

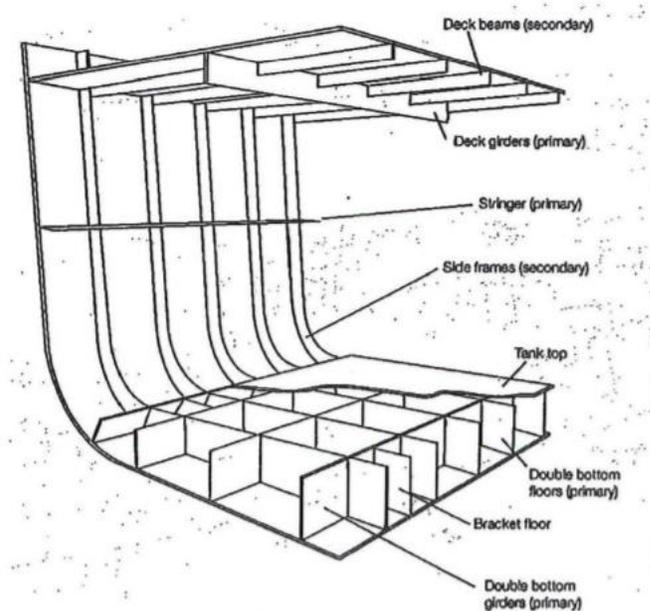


body plan) dengan jarak antara (*spacing*), ke arah memanjang kapal, satu sama lain yang rapat. Pada geladak, baik geladak kekuatan maupun geladak-geladak lainnya, dipasang balok-balok geladak (*deck beam*) dengan jarak antara yang sama seperti jarak antara gading-gading. Ujung-ujung masing-masing balok geladak ditumpu oleh gading-gading yang terletak pada vertikal yang sama. Pada alas dipasang wrang-wrang dengan jarak yang sama pula dengan jarak antara gading-gading sedemikian rupa sehingga masing-masing wrang, gading-gading dan balok geladak membentuk sebuah rangkaian yang saling berhubungan dan terletak pada satu bidang vertikal sesuai dengan penampang melintang kapal pada tempat yang bersangkutan. Jadi, sepanjang kapal berdiri rangkaian-rangkaian (*frame ring*) ini dengan jarak antara yang rapat sebagaimana disebutkan di atas. Rangkaian ini hanya ditiadakan apabila pada tempat yang sama telah dipasang sekat melintang atau rangkaian lain, yaitu gading-gading besar. Gading-gading besar (*web frame*) adalah gading-gading yang mempunyai bilah (*web*) yang sangat besar (dibandingkan bilah gading-gading utama).

Gading-gading besar ini dihubungkan pula ujung-ujungnya dengan balok geladak yang mempunyai bilah yang juga besar (*web beam*). Gading-gading besar ini umumnya hanya ditempatkan pada ruangan-ruangan tertentu (misalnya kamar mesin), tetapi juga di dalam ruang muat bila memang diperlukan sebagai tambahan penguatan melintang (Irwan, 2017).



Sekat-sekat melintang, gading-gading (utama maupun besar), balok-balok geladak (utama maupun besar) merupakan unsur-unsur penguatan melintang badan kapal.



Gambar 2.1 : Sistem konstruksi melintang
(Sumber: Arnott. D., 2008)

2.1.2 Sistem Konstruksi Membujur (*Longitudinal Framing System*)

Sistem konstruksi membujur ialah konstruksi yang bebannya diterima oleh rangka konstruksi dan diuraikan pada hubungan-hubungan kaku melintang kapal bantuan balok-balok membujur (Rosyid, 2000). Dalam sistem ini gading-gading dipasang vertikal, tetapi dipasang membujur pada sisi kapal dengan jarak

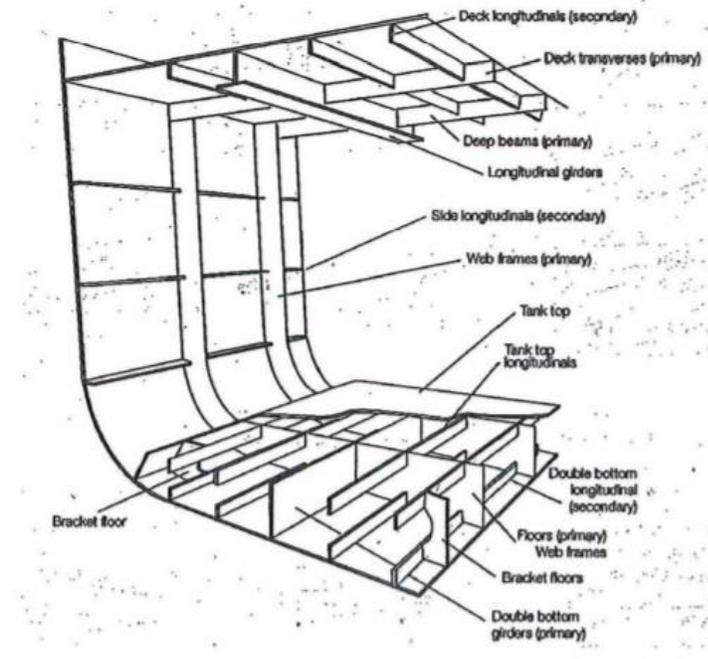


antara, diukur ke arah vertikal. Gading-gading ini (pada sisi) dinamakan pembujur sisi (*side longitudinal*). Pada setiap jarak tertentu dipasang gading besar, sebagaimana gading besar pada sistem melintang, yang disebut pelintang sisi (*side transverse*)

Pada alas dan alas dalam juga dipasang pembujur-pembujur seperti pembujur-pembujur sisi tersebut di atas dengan jarak antara yang sama pula seperti jarak antara pembujur-pembujur sisi. Pembujur-pembujur ini dinamakan pembujur-pembujur alas (*bottom longitudinal*) dan pada alas dalam, pembujur alas dalam (*inner bottom longitudinal*). Pada alas juga dipasang wrang-wrang dan dihubungkan pada pelintang-pelintang sisi. Tetapi pada umumnya tidak pada tiap pelintang sisi. Wrang-wrang pada sistem membujur juga dinamakan pelintang alas (*bottom transverse*). Penumpu tengah dan penumpu samping sama halnya seperti pada sistem melintang.

Pada geladak juga dipasang pembujur seperti halnya pembujur-pembujur yang lain tersebut di atas, pembujur-pembujur ini dinamakan pembujur geladak (*deck longitudinal*). Balok-balok geladak dengan bilah yang besar dipasang pada setiap pelintang sisi dan disebut pelintang geladak (*deck transverse*) (Irwan, 2017).





Gambar 2.2 Sistem konstruksi *longitudinal*
(Sumber: Arnott, D.,2008)

2.1.3 Sistem Konstruksi Kombinasi (*Mixed Framing System*)

Sistem konstruksi kombinasi ini diartikan bahwa sistem melintang dan sistem membujur dipakai bersama-sama dalam badan kapal. Dalam sistem ini geladak dan alas dibuat menurut sistem membujur sedangkan sisinya menurut sistem melintang. Jadi, sisinya diperkuat dengan gading-gading melintang dengan jarak antara yang rapat seperti halnya dalam gading melintang, sedangkan alas dan geladaknya diperkuat dengan pembujur-pembujur. Dengan demikian maka dalam mengikuti peraturan klasifikasi (*rules*) sisi-sisi kapal tunduk pada ketentuan yang berlaku untuk sistem melintang, sedangkan alas dan geladaknya mengikuti ketentuan yang berlaku untuk sistem membujur, untuk hal-hal yang memang diperlukan secara terpisah.



2.2 Kerangka Kontruksi

Dari ketiga sistem konstruksi tersebut di atas terbagi lagi dalam beberapa kerangka konstuksi yakni kerangka konstruksi alas (*double bottom*), kerangka konstruksi lambung/sisi (*side*) dan kerangka kosntruksi geladak (*deck*).

2.2.1 Struktur Konstruksi Alas (Bottom)

Susunan konstruksi alas/dasar adalah susunan konstruksi yang terdiri atas kerangka membujur ataupun melintang yang terletak pada bagian dasar kapal. Struktur konstruksi alas dibagi lagi menjadi beberapa bagian yang lebih detail:

a. Lunas (*Keel*)

Lunas adalah balok *longitudinal* di dasar kapal yang terletak pada bidang membujur kapal antara linggi haluan dan linggi buritan sepanjang kapal. Lunas merupakan konstruksi terpenting pada sebuah kapal karena dalam tahap proses pemangunan konstruksi kapal, peletakan lunas adalah hal pertama yang dilakukan.

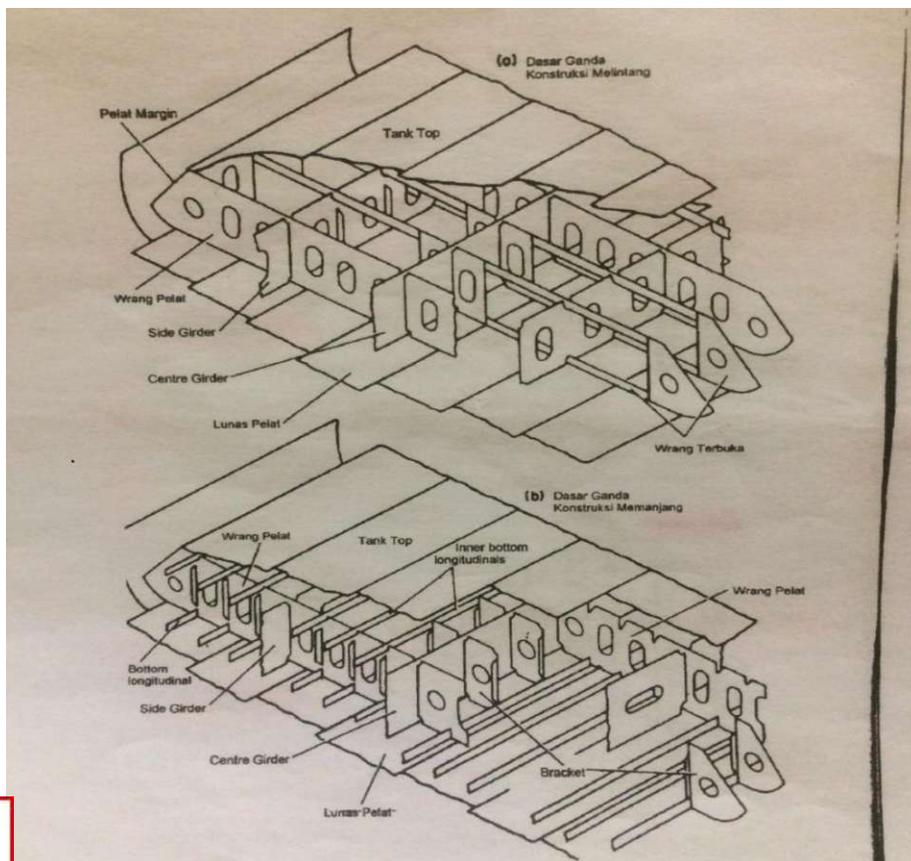
b. Struktur Alas Tunggal (*Single Bottom*)

Untuk kapal kecil sebagian besar menggunakan konstruksi alas tunggal. Sistem kerangka alas tunggal terdiri dari balok melintang wrang (*floor*), balok membujur yaitu: penumpu tengah alas (*center girder*) yang terletak pada *center line* kapal dan penumpu samping alas (*side girder*), pelat alas (*bottom plate*), balok membujur alas (*bottom longitudinal*) dan lajur bilga (*bilge strake*).

Struktur Alas Ganda (Double Bottom)



Untuk kapal *modern* (baru) yang lebih mempertimbangkan faktor keamanan dan juga peletakan *ballast* cair maka dipakai sistem alas ganda, terutama untuk kapal-kapal yang besar atau panjang di atas 80 cm. Sistem rangkanya terdiri dari balok melintang wrang (*floor*), balok membujur yaitu: penumpu tengah alas (*center girder*) dan penumpu samping alas (*side girder*), pelat alas (*bottom plate*), pelat alas dalam (*inner bottom plate*), pembujur alas (*bottom longitudinal*), pembujur alas dalam (*inner bottom longitudinal*) dan lajur bilga (*bilge strake*) (Rosyid, 2000) seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur konstruksi *double bottom*
(Sumber: Rosyid, 2000)



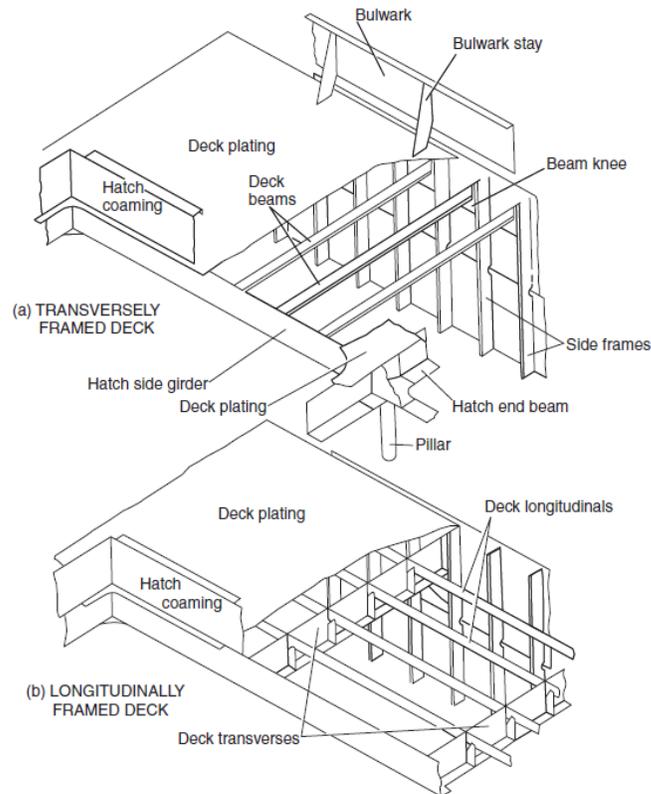
2.2.2 Struktur Konstruksi Lambung (*Side*)

Konstruksi lambung sebagai bagian dari sistem rangka konstruksi kapal secara keseluruhan, selain berfungsi sebagai dinding sisi kapal yang menahan tahanan air dari samping, juga berfungsi sebagai penerus gaya-gaya yang diterima geladak untuk disalurkan ke konstruksi kerangka dasar, terutama pada sistem rangka konstruksi melintang. Untuk ini pelat lambung (*side plate*) termasuk juga lajur atas (*sheer strake*) diperkuat dengan penegar-penegar vertikal yang disebut gading (*frame*), juga pembujur sisi (*side longitudinal*) dan senta sisi (*side stringer*).

2.2.3 Struktur Konstruksi Geladak (*Deck*)

Konstruksi geladak selain berfungsi untuk kedap kapal, juga untuk melindungi barang-barang muatan dan ruang tempat tinggal ABK. Geladak berfungsi menambah kekuatan memanjang dan kekuatan melintang kapal. Pada konstruksi geladak terdapat kumpulan komponen-komponen konstruksi mendatar yang terdiri dari pelat geladak (*deck plate*), penumpu geladak (*deck girder*), balok geladak (*deck beam*) dan pembujur geladak (*deck longitudinal*), dapat dilihat pada Gambar 2.4.





Gambar 2.4 Struktur konstruksi geladak (*deck construction*)

(Sumber: Eyres, 2007)

Seperti yang terlihat pada gambar 2.4 di atas mengenai struktur konstruksi geladak yang terpasang secara *transverse framing system* dan *longitudinal framing system*, baik balok geladak, penumpu geladak maupun pembujur geladak akan ada yang terpasang secara kontinu dan secara *intercostal* (terputus-putus). Komponen yang terpasang secara *intercostal* diartikan sebagai komponen yang terdiri dari sejumlah potongan pendek yang dipasang di ruang antara serangkaian anggota struktural kontinu

yang dilintasinya (Putri, 2018). Sama halnya ketika penumpu membujur geladak (*longitudinal deck girder*) terpasang secara kontinu, maka penumpu melintang geladak

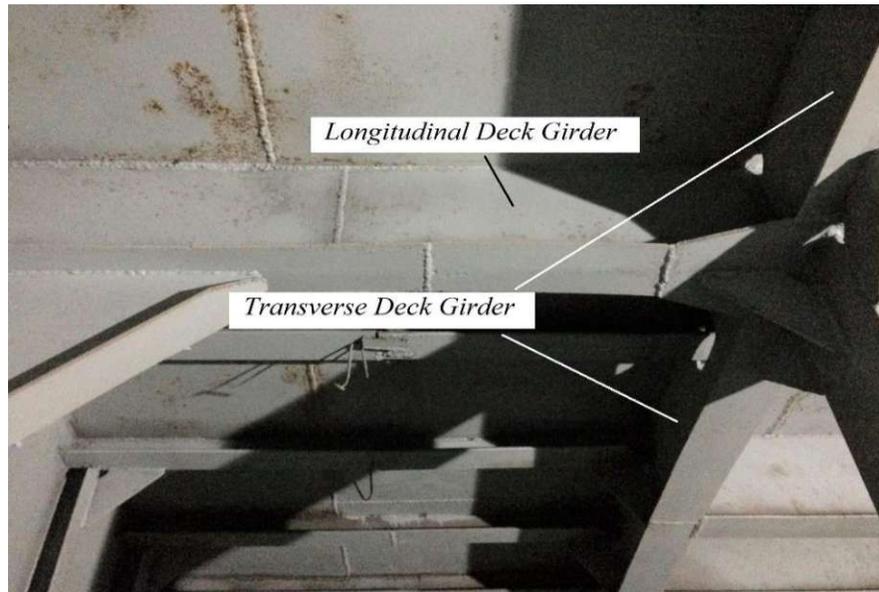


(*transverse deck girder*) otomatis akan terpasang secara *intercostal*, seperti pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



Gambar 2.5 Konstruksi geladak kapal kontainer
(Sumber: koleksi pribadi, 2019)





Gambar 2.6 Konstruksi sambungan *longitudinal deck girder* dan *transverse deck girder (intercostal)*
(Sumber: Koleksi pribadi, 2019)

Pemasangan setiap komponen atau panel-panel konstruksi tersebut akan disatukan dengan cara dilas, dimana pada saat proses pengelasan dibutuhkan ketelitian ketika mengerjakannya. Utamanya saat menyambungkan suatu komponen dengan komponen lainnya harus dipastikan tidak bergeser dan tetap selurus (*alignment*). Seperti pada Gambar 2.6, sambungan *transverse deck girder* termasuk *intercostal* maka akan cukup sulit mendapatkan *alignment*, karena ada panel *longitudinal deck girder* yang menjadi sekat atau pemisah diantara keduanya. Ketika pengelasan *transverse deck girder* tidak *alignment* maka akan terdapat kesalahan yakni terjadinya

alignment pada sambungan *intercostal* tersebut.



2.3 Misalignment

Misalignment merupakan salah satu kesalahan atau penyimpangan yang sering terjadi dalam proses pembuatan kapal. *Misalignment* sendiri merupakan ketidaklurusan antara kedua sumbu yang saling terhubung. Seperti pada saat proses *sub-assembly/assembly*, dimanapada tahap ini komponen-komponen yang telah dikerjakan di fabrikasi dirakit dengan menggunakan metode panel seperti penyambungan maupun pemasangan pembujur dan pelintang geladak. Saat proses penyambungan sering didapati *misalignment* pada sambungan, karena cukup sulit untuk memastikan sambungan yang dilas itu *alignment* terlebih lagi jika sambungan merupakan komponen yang *intercostal*.

Adanya ketidaktepatan atau ketidaklurusan dan bahkan pergeseran pada garis pusat antara sambungan *intercostal* tersebut disebabkan oleh beberapa faktor yaitu distorsi las, ketidaktelitian saat proses pengerjaan maupun proses pengawasannya. *Misalignment* dapat menyebabkan peningkatan tegangan ataupun konsentrasi tegangan yang akan berpengaruh pada kekuatan sambungan *intercostal transverse deck girder* tersebut, karena tolak ukur yang dapat menjamin kekuatan struktur kapal adalah tegangan.

Kesalahan maupun penyimpangan berupa *misalignment* sebelumnya dapat dicegah jika pengerjaan saat proses *alignment* dilakukan dengan teliti. *Alignment* adalah suatu pekerjaan untuk meluruskan dua sumbu pada suatu komponen ketika penyambungan dilakukan. Namun, usaha untuk meluruskan berbagai komponen



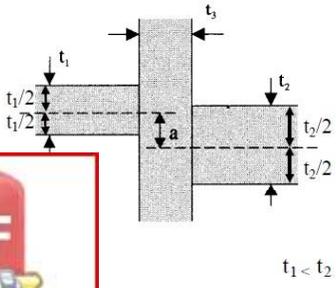
ketika penyambungan tentunya tidak bisa dikatakan dapat sempurna, oleh karenanya diberikan toleransi agar penyimpangan yang terjadi tetap bisa memenuhi standar pembuatan kapal (Febrianto, 2012).

Standar mutu untuk *alignment* pada komponen struktur kapal baru terlihat pada Tabel 3.1 dan 3.3. Lembaga klasifikasi memungkinkan untuk mewajibkan toleransi pada area yang membutuhkan perhatian spesial, sebagai berikut : (IACS No. 47, 2013)

- Bagian terbuka/ yang tidak terlindungi yang mempunyai konsentrasi tegangan tinggi
- Area yang mudah terjadi kelelahan
- Bagian kecil dari penyambungan pembangunan blok
- Regangan yang tinggi pada bagian baja.

Standar toleransi *alignment* yang dikeluarkan oleh IACS No. 47 tentang *Shipbuilding Quality and Repair Standard* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standar *alignment* IACS No. 47

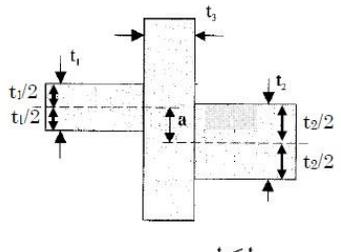
Detail	Limit	Remarks
<p>Alignment of fillet welds</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a fillet weld joint between two plates of thickness t_1 and t_2, and a vertical member of thickness t_3. The gap between the plates is labeled a. The fillet welds are shown on both sides of the vertical member. Dimensions $t_1/2$ and $t_2/2$ are indicated for the fillet welds on the plates. The condition $t_1 < t_2$ is noted at the bottom of the diagram.</p>	<p>Strength member and higher stress member</p> $a \leq t_1/3$ <p>Other:</p> $a \leq t_1/2$	<p>Alternatively, heel line can be used to check the alignment.</p> <p>Where t_3 is less than t_1, then t_3 should be substituted for t_1 in the standard.</p>

ACS rec_47 hal. 21)



Dalam pembuatan kapal utamanya saat proses penyambungan dengan cara pengelasan, terutama pada bagian ujung harus diperhatikan mengenai *edge groove* ini harus dibuat benar, menyatu dan menghindari terjadinya *misalignment*. Oleh karena itu, IACS mengeluarkan standar untuk perbaikan *misalignment*, apabila saat proses pembuatan kapal terjadi *misalignment*. Jenis *misalignment* yang diperbaiki menurut IACS rec_47. Dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Repair *misalignment* menurut IACS No. 47

Detail	Limit	Remarks
Alignment of fillet welds 	Strength member and higher stress member $t_1/3 < a \leq t_1/2$ – generally increase weld throat by 10%	Alternatively, heel line can be used to check the alignment.
	$a > t_1/2$ - release and adjust over a minimum of 50a	Where t_3 is less than t_1 then t_3 should be substituted for t_1 in standard
	Other $a > t_1/2$ - release and adjust over a minimum of 30a	

(Sumber: IACS rec_47 hal. 33)

2.4 Pembebanan Pada Kapal

Salah satu cara mengklasifikasikan beban pada kapal adalah sesuai ke tingkat

di mana mereka bertindak karena beberapa beban mempengaruhi struktur di

tu dari empat level seperti girder lambung, modul lambung, anggota utama,

. Tapi beban lain memiliki pengaruh lebih dari satu tingkat, dan beban paling



mendasar tekanan dari luar memiliki pengaruh pada keempat tingkatnya. Namun demikian, beban dapat diklasifikasikan kira-kira dengan cara ini, dan itu penting untuk memiliki konsep yang jelas tentang level di mana berbagai beban bertindak atau di mana memiliki pengaruh utama (Hughes, 2010).

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 2.1

$$p_o = 2,1 \cdot (C_B + 0,7) \cdot c_0 \cdot c_L \cdot f \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.1)$$

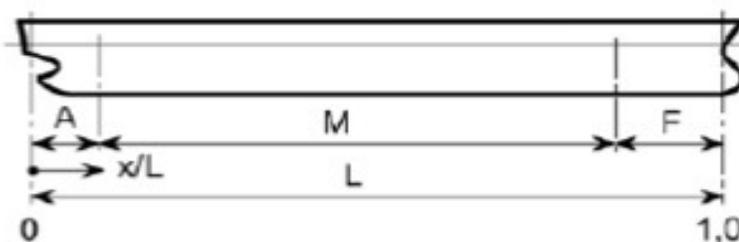
Untuk arah gelombang melintang terhadap arah maju kapal.

$$p_{01} = 2,6 \cdot (C_B + 0,7) \cdot c_0 \cdot c_L \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.2)$$

Tabel 2.3 Tabel Koefisien Gelombang

Koefisien	Zona 1	Zona 2	Zona 3
m	1,42	1,60	1,70
n	8,05	9,14	9,65

(Sumber: BKI, 2019)



Gambar 2.7 Penampang memanjang A, M, F, sesuai Tabel 2.1

(Sumber: BKI, 2019)



C_L = koefisien panjang

$$= \sqrt{\frac{L}{90}} \text{ untuk kapal } L < 90 \text{ m}$$

$$= 1,0 \text{ untuk } L \geq 90 \text{ m}$$

C_{RW} = koefisien daerah pelayaran

$$= 0,90 \text{ untuk daerah pelayaran zona 3}$$

$$= 0,85 \text{ untuk daerah pelayaran zona 2}$$

$$= 0,75 \text{ untuk daerah pelayaran zona 1}$$

f = faktor peluang

$$= 1,0 \text{ untuk panel pelat lambung (pelat kulit, geladak cuaca)}$$

p_c = Beban muatan statis [kN/m²]

a_v = faktor percepatan sebagai berikut

$$= F.m$$

$$F = 0,11 \frac{v_0}{\sqrt{L}}$$

$$m = m_0 - 5 (m_0 - 1) \frac{x}{L} \quad \text{for } 0 \leq \frac{x}{L} \leq 0,2$$

$$= 1,0 \quad \text{for } 0,2 < \frac{x}{L} \leq 0,7$$

$$1 + \frac{m_0 + 1}{0,3} \left[\frac{x}{L} - 0,7 \right] \quad \text{for } 0,7 < \frac{x}{L} \leq 1,0$$

$$(1,5 + F)$$



c_D, c_F = faktor distribusi sesuai Tabel 2.2

Tabel 2.4 Faktor C_D dan Faktor C_F

Daerah		Faktor C_D	Faktor $C_F^{1)}$
A	$0 \leq \frac{x}{L} < 0,2$	$1,2 - \frac{x}{L}$	$1,0 + \frac{5}{CB}(0,2 - \frac{c}{3})$
M	$0,2 \leq \frac{x}{L} < 0,7$	1,0	1,0
F	$0,7 \leq \frac{x}{L} \leq 1,0$	$1,0 + \frac{c}{3}(\frac{x}{L} - 0,7)$ $c = 0,15 L - 10$ dimana: $L_{\min} = 100$ m $L_{\max} = 250$ m	$1,0 + \frac{20}{CB}(\frac{c}{3} - 0,7)^2$

(Sumber: BKI, 2019)

Menghitung kekuatan suatu konstruksi sangat tergantung beban yang bekerja pada konstruksi tersebut, oleh karenanya beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah beban geladak karena model balok *intercostal* yang *misalignment* terdapat pada konstruksi geladak kapal kontainer. Sehingga perhitungan beban dapat ditentukan menurut *Rules* BKI 2019.

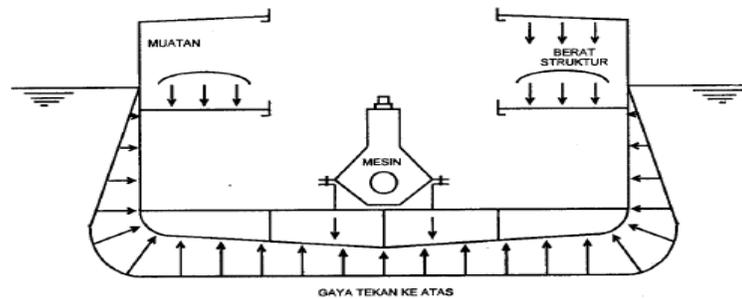
2.4.1 Beban pada Geladak Cuaca

Beban pada geladak cuaca ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.3.



$$p_D = \left(p_0 + \frac{20 \cdot T}{(10 + z - T) H} \right) c_D \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.3)$$

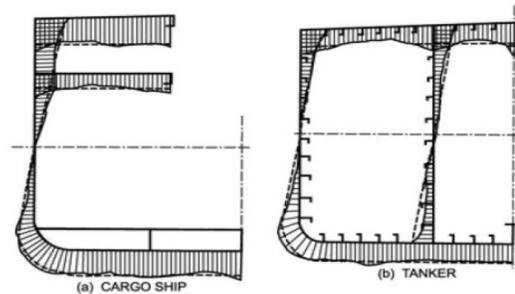
Beban yang bekerja pada kapal seperti beban pada geladak, beban pada sisi, dan beban pada alas. Sehingga jelas bahwa komponen utama struktur kapal ialah struktur alas (*bottom structure*), struktur sisi (*side structure*), dan struktur geladak. Beban-beban ini mungkin menimbulkan pengaruh struktur lokal dan harus diperhitungkan dalam perancangan meliputi Gambar 2.8. beban-beban ini terdiri dari dua bagian, yaitu : 1) gaya tekan ke atas dan 2) gaya hidrostatis pada bidang luar lambung kapal yang tercelup. Gaya berat adalah gaya ke bawah yang terbesar pada seluruh kapal beserta isinya (Zhafirah, 2019).



Gambar 2.8 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 2.9. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan distribusi tegangan aktual atau yang terjadi berbeda dengan distribusi ideal. Karena tegangan geser melintang, sehingga terjadi distorsi berdasarkan variasi penampang balok lambung (*hull girder*).





Gambar 2.9 Distribusi tegangan yang terjadi pada penampang melintang
(Sumber : Hughes, 2010).

2.5. Tegangan

Tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak berhingga pada sebuah potongan yang terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Gaya-gaya dalam ini merupakan vektor dalam alam dan bertahan dalam keseimbangan terhadap gaya-gaya luar terpakai. Dalam mekanika bahan kita perlu menentukan intensitas dari gaya-gaya ini dalam berbagai bagian dari potongan, sebagai perlawanan terhadap deformasi sedang kemampuan bahan untuk menahan gaya tersebut tergantung pada intensitas ini. Pada umumnya, intensitas gaya yang bekerja pada luas yang kecil tak berhingga suatu potongan berubah-ubah dari satu titik ke titik yang lain, umumnya intensitas ini berarah miring pada bidang potongan. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (normal stress) pada suatu titik. Suatu tegangan tertentu yang dianggap benar-benar bertitik tangkap pada sebuah titik, secara matematis didefinisikan pada Persamaan 2.4:

$$= \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2.4)$$

imana :

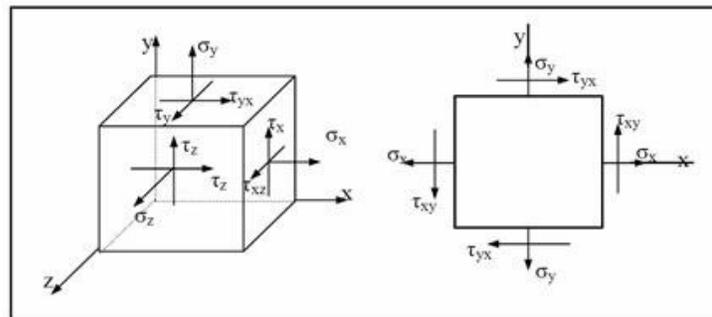


σ = Tegangan (N/mm²)

ΔF = Gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potongan atau beban (N)

ΔA = Luas penampang (mm²)

Pada suatu bidang yang dikenai suatu gaya akan terdapat dua jenis tegangan yaitu tegangan pada sumbu y dan tegangan pada sumbu x seperti terlihat pada Gambar 2.10 kanan, yang mempengaruhi bidang tersebut, dan pada suatu ruang yang dikenai gaya akan terdapat 3 jenis tegangan yaitu tegangan pada sumbu y, sumbu x dan sumbu z yaitu sebagaimana terlihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Tegangan yang bekerja pada suatu bidang
(Sumber :Suryani, Ade Irma. 2014)

Keterangan :

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

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

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

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



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

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

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

Adapun persamaan tegangan normal untuk bidang tiga dimensi (ruang) adalah sebagai berikut Persamaan 2.5, 2.6 dan 2.7 :

$$\sigma_x = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\varepsilon_x(1 - \nu) + \nu(\varepsilon_y + \varepsilon_z)] \quad (2.5)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\varepsilon_y(1 - \nu) + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_z)] \quad (2.6)$$

$$\sigma_z = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\varepsilon_z(1 - \nu) + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_y)] \quad (2.7)$$

Menurut Marciniak (2002), tegangan dibedakan menjadi dua yaitu *engineering stress* dan *true stress*. Pengertian dari *engineering stress* merupakan tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas awal (original) dari material. Sedangkan *true stress* merupakan tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas permukaan sebenarnya (*actual*). Hubungan antara *engineering stress* dan *true stress* dapat dilihat dari Persamaan (2.8)

$$\sigma_{true} = \sigma_{eng}(1 + \varepsilon_{eng}) \quad (2.8)$$

Dimana :

σ_{true} = True stress (N/mm²)

σ_{eng} = Engineering (N/mm²)

ε_{eng} = Engineering strain .



Menurut Marciniak (2002), hubungan antara *engineering strain* dan *true strain* pada Persamaan (2.9). *Engineering strain* merupakan regangan yang dihitung menurut dimensi benda aslinya (panjang awal). Sedangkan *true strain* merupakan regangan yang dihitung pada kondisi dimensi benda saat itu (sebenarnya) dan bukan dihitung berdasarkan panjang awal dimensi benda.

$$\varepsilon_{true} = \ln (1 + \varepsilon_{eng}) \quad (2.9)$$

Dimana :

$$\varepsilon_{true} = \text{True strain}$$

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

$$\varepsilon_{eng} = \text{Engineering strain .}$$

2.6 Regangan

Regangan dinyatakan sebagai pertambahan panjang per satuan panjang. Hukum Hooke menyatakan bahwa dalam batas-batas tertentu, tegangan pada suatu bahan adalah berbanding lurus dengan regangan. Dalam istilah teknik, regangan adalah ubah bentuk. Jika ubah bentuk total (*total deformation*) yang dihasilkan suatu batang dinyatakan dengan Δ (delta) dan panjang batang adalah L, maka ubah bentuk persatuan panjang yang dinyatakan dengan ε , maka Persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.10)$$

Dimana :

ε = perubahan bentuk persatuan panjang



ΔL = perubahan panjang (mm)

L = panjang awal (mm)

Regangan plastis merupakan pengurangan antara regangan total dengan regangan elastis yang terjadi pada material. Adapun persamaan regangan plastis (Persamaan 2.11) yaitu :

$$\varepsilon^{pl} = \varepsilon^l - \varepsilon^{el} = \varepsilon^l - \frac{\sigma}{E} \quad (2.11)$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas bahan (N/mm^2)

Σ = Tegangan (N/mm^2)

ε = Regangan atau ubah bentukan.

2.7 Elastisitas

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

Selama gaya F yang bekerja pada benda elastis tidak melampaui batasnya, maka perbandingan antara tegangan (σ) dengan regangan (ε) adalah Bilangan (konstanta) tersebut dinamakan modulus elastis atau modulus (E). Jadi, modulus elastis atau modulus young merupakan perbandingan antara



tegangan dengan regangan yang dialami oleh suatu benda. Secara matematis ditulis seperti berikut : (Muhib, 2008)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta X}{X}} \quad (2.12)$$

Dimana :

Δ = perubahan bentuk aksial total (m);

F = beban aksial total (ton);

X = panjang batang (m);

A = luas penampang batang (m²);

E = modulus elastisitas bahan (ton/m²);

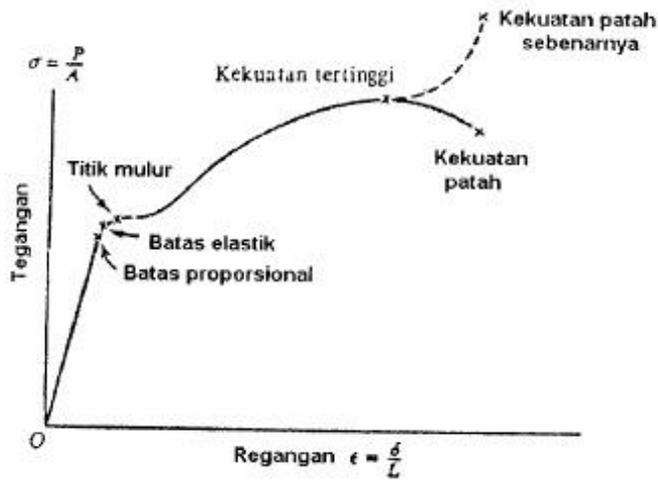
ε = regangan.

σ = tegangan (N/mm²)

2.8 Hubungan Tegangan dan Regangan

Jika suatu benda ditarik maka akan mulur (*estension*), terdapat hubungan antara pertambahan panjang dengan gaya yang diberikan. Jika gaya persatuan luasan disebut tegangan dan pertambahan panjang disebut regangan maka hubungan ini dinyatakan dengan grafik tegangan dan regangan (*stress-strain graph*) (Zainuri, 2008).





Gambar 2.11 Diagram Tegangan-Regangan
(Sumber : Zainuri, 2008)

Batas proporsional (*proportional limit*). Dari titik asal O ke suatu titik yang disebut batas proporsional masih merupakan garis lurus (lihat Gambar 2.13). Pada daerah ini berlaku hukum Hooke, bahwa tegangan sebanding dengan regangan. Kesebandingan ini tidak berlaku di seluruh diagram. Kesebandingan ini berakhir pada batas proporsional.

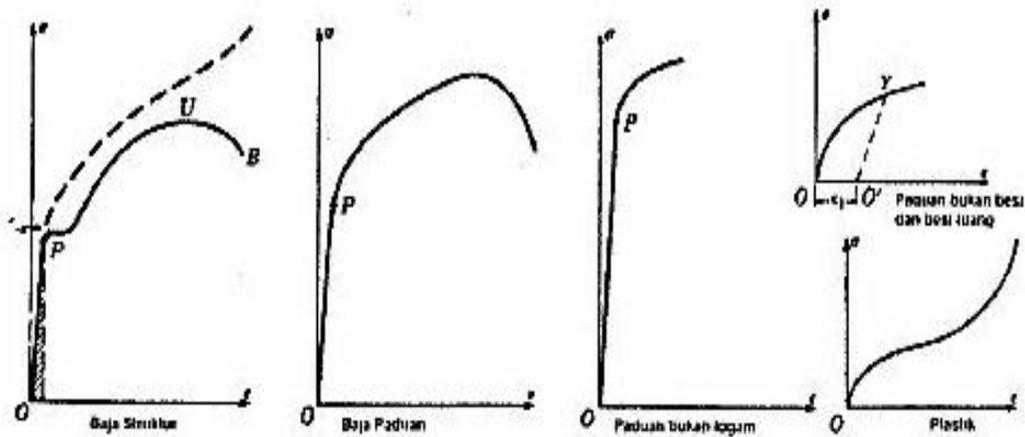
Batas elastis (*elastic limit*). Batas elastis merupakan batas tegangan di mana bahan tidak kembali lagi ke bentuk semula apabila beban dilepas tetapi akan terjadi deformasi tetap yang disebut *permanent set*. Untuk banyak material, nilai batas proporsional dan batas elastic hampir sama. Untuk membedakannya, batas elastik selalu hampir lebih besar daripada batas proporsional.

Titik mulur (*yield point*). Titik mulur adalah titik di mana bahan membujur mulur tanpa penambahan beban. Gejala mulur khususnya terjadi pada baja struktur (*medium-carbon*

steel), paduan baja atau bahan lain tidak memilikinya, seperti ditunjukkan

nya tegangan-regangan khusus yang ditunjukkan pada Gambar 2.11





Gambar 2.12 Diagram Tegangan-Regangan Khusus
(Sumber : Zainuri, 2008)

Kekuatan maksimum (ultimate strength). Titik ini merupakan ordinat tertinggi pada kurva tegangan-regangan yang menunjukkan kekuatan tarik (*tensile strength*). Titik ini merupakan ordinat tertinggi pada kurva tegangan-regangan yang menunjukkan kekuatan tarik (*tensile strength*) bahan.

Kekuatan patah (*breaking strength*). Kekuatan patah terjadi akibat bertambahnya beban mencapai beban patah sehingga beban meregang dengan sangat cepat dan secara simultan luas penampang bahan bertambah kecil.

2.9 Tegangan yang Diizinkan

Tegangan izin adalah tegangan yang mengakibatkan suatu konstruksi mengalami lendutan yang besar dimana lendutan tersebut adalah batas sebuah konstruksi masih aman dalam mengatasi beban yang terjadi atau yang bekerja padanya.

tegangan izin dari konstruksi bersangkutan lebih kecil dari tegangan



maksimum yang terjadi, maka konstruksi tersebut tidak aman. Nilai tegangan yang diizinkan oleh BKI (2016) adalah:

$$\sigma_p = \frac{175}{k} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (2.13)$$

Tegangan Ekuivalen yang diijinkan σ_v adalah:

$$\sigma_v = \frac{ReH}{1,05} \text{ [N/mm}^2\text{]} ; \quad (2.14)$$

Pada umumnya bahan yang memiliki nilai nominal titik mulur untuk ReH minimum kurang dari 200 N/mm² dan bahan dengan kekuatan tarik minimum kurang dari 400 N/mm² atau lebih dari 900 N/mm² tidak boleh dipakai untuk tongkat kemudi, pena, pasak dan baut. Persyaratan Bab ini didasarkan pada bahan dengan nilai nominal minimum titik mulur atas ReH 235 N/mm².

Jika bahan yang digunakan memiliki ReH berlainan dari 235 N/mm², maka faktor bahan K_r ditentukan sebagai berikut: (BKI, 2016)

$$\begin{aligned} K_r &= \left(\frac{235}{ReH}\right)^{0,75} && \text{untuk } ReH > 235 \text{ [N/mm}^2\text{]} \\ &= \frac{235}{ReH} && \text{untuk } ReH \leq 235 \text{ [N/mm}^2\text{]} \end{aligned} \quad (2.15)$$

ReH = nilai nominal minimum titik mulur luluh atas bahan yang digunakan [N/mm²]

ReH tidak boleh diambil lebih besar dari 0,7.R_m atau 450 N/mm², mana yang lebih kecil. R_m = kekuatan tarik bahan yang digunakan.

$$\text{lengkung: } \sigma_b = \frac{150}{k} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (2.16)$$

$$\text{geser: } \tau = \frac{100}{k} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (2.17)$$



$$\text{tegangan ekuivalen : } \sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.18)$$

2.10 Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (*Finite Elemen Method*) adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala phisis. Tipe masalah teknik dan matematis phisis yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga yaitu analisis struktur dan non struktur. Tipe permasalahan analisis struktur meliputi analisis tegangan, *buckling* dan getaran sedangkan non struktur meliputi perpindahan panas dan massa, mekanika fluida, dan distribusi potensial listrik dan magnet. Tipe-tipe permasalahan struktur meliputi :

(Susatio, 2004)

1. Analisa tegangan/*stress*, meliputi analisa *Truss* dan *frame* serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan-tegangan yang terkonsentrasi
2. *Buckling*
3. Analisa Getaran

Dalam persoalan-persoalan yang menyangkut geometris 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

yang dikaji.



Penyelesaian analisis dari suatu Persamaan diferensial suatu geometri yang kompleks, pembebanan yang rumit, tidak mudah diperoleh, formulasi dari metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini (Susatio, 2004).

Selain metode ini merupakan metode konvensional yang digunakan untuk memecahkan masalah tegangan dan deformasi yaitu menggunakan teori balok, teori kolom, pelat dan lain-lain. Sehingga penerapannya dibatasi untuk sebagian struktur dan beban sederhana. Disisi lain metode elemen hingga menerapkan:

- a) Membagi sebuah struktur menjadi elemen-elemen kecil
- b) Mengubah setiap elemen menjadi model matematika
- c) Menggabungkan elemen-elemen kemudian memecahkannya secara keseluruhan

Prosedur perhitungan menggunakan komputer membutuhkan solusi linear, umumnya sebagai berikut (Zhafirah, 2019).

- a) Menghitung [B] matriks menggunakan geometri sebuah elemen dan untuk menghitung [D] matriks menggunakan sifat material (*material properties*).
- b) Menghitung matriks [K] dari elemen

Langkah a) dan b) diulang untuk semua elemen

- c) Menggabungkan semua matriks kekakuan

Menghitung displasment dari setiap node pada kondisi dibebani dan ditumpu

tegangan menggunakan Persamaan kekakuan

Menghitung regangan (*strain*) setiap elemen

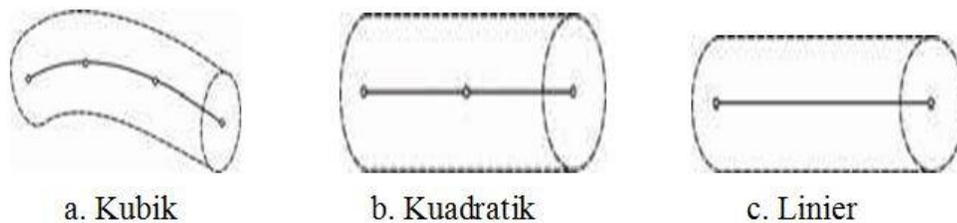


- f) Menghitung regangan (*strain*) setiap elemen
- g) Menghitung tegangan utama, tegangan ekuivalen dan lain-lain

Terdapat berbagai bentuk tipe elemen dalam metode elemen hingga yang dapat digunakan untuk memodelkan kasus yang akan dianalisis. Macam dari bentuk elemen tersebut yaitu :

1. Elemen satu dimensi

Elemen satu dimensi terdiri dari garis (*line*). Tipe elemen ini yang paling sederhana, yakni memiliki dua titik nodal, masing-masing pada ujungnya, disebut elemen garis linier. Dua elemen lainnya dengan orde yang lebih tinggi, yang umum digunakan adalah elemen garis kuadrat dengan tiga titik nodal dan elemen garis kubik dengan empat buah titik nodal seperti pada Gambar 2.12 berikut :



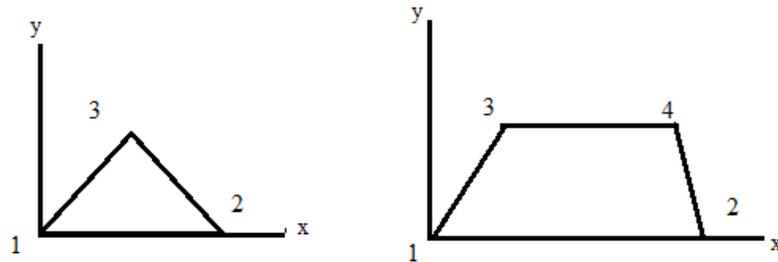
Gambar 2.13 Elemen 1 dimensi
(Sumber : Susatio, 2004)

2. Elemen dua dimensi

Elemen dua dimensi terdiri dari elemen segitiga (*triangle*) dan elemen segiempat (*quadrilateral*). Elemen orde linier pada masing-masing tipe ini memiliki dua atau tiga garis lurus, sedangkan untuk elemen dengan orde yang lebih tinggi dapat



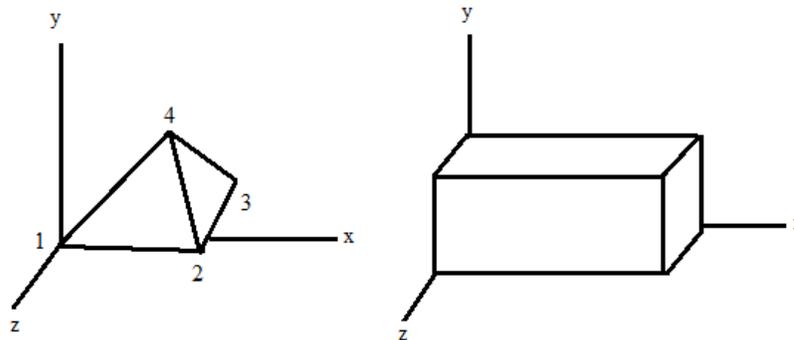
memiliki sisi berupa garis lurus, sisi yang berbentuk kurva ataupun dapat pula berupa kedua-keduanya seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.14 Elemen 2 Dimensi Segitiga dan Segiempat
(Sumber : Susatio, 2004)

3. Elemen tiga dimensi

Elemen tiga dimensi terdiri dari elemen tetrahedron, dan elemen balok.



Gambar 2.15 Elemen 3 dimensi *tetrahedron* dan balok.
(Sumber: Susatio, 2004)

2.10 ANSYS

ANSYS adalah salah satu software yang digunakan untuk menganalisis

macam struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas dari software analisis

yaitu NASTRAN, CATIA, Fluent dan yang lain. Secara umum penyelesaian

ingga menggunakan ANSYS dapat dibagi menjadi tiga tahap yaitu :



- Preprocessing: pendefinisian masalah :

Langkah umum dalam preprocessing terdiri dari :

- (i) Mendefinisikan keypoint/ lines/ areas/ volume
 - (ii) Mendefinisikan tipe elemen dan bahan yang digunakan/ sifat *geometric*
 - (iii) Mesh lines/ areas/ volumes sebagaimana dibutuhkan. Jumlah detil yang dibutuhkan akan tergantung pada dimensi daerah yang dianalisis, ie., ID, 2D *axisymmetric* dan 3D.
- Solution : *assigning loads, constraints, and solving*
Di sini, perlu menentukan beban, constraints (translasi dan rotasi) dan kemudian menyelesaikan hasil persamaan yang telah diset.
 - *Postprocessing: futher processing and viewing of the result*
Diagram kontur tegangan (stress) dan deformasi.

