

**ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI PONTON KAPAL ISAP
PRODUKSI DENGAN VARIASI PENEGAR**

SKRIPSI

*Diajukan guna memenuhi persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



IMRAN
D031181026

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022

LEMBAR PENGESAHAN

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

Judul Skripsi

Analisis Kekuatan Kontruksi Ponton Kapal Isap Produksi Tanpa atau dengan Penegar

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Disusun Oleh :

Imran

D031181026

Gowa, 02 Desember 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I

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

Nip. 19850526 201212 2 002

Pembimbing II

Hamzah, ST., MT.

Nip. 19800618 200501 1 004

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

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

Nip. 19730206 200012 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Imran
NIM : D031181026
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“Analisis Kekuatan Konstruksi Ponton Kapal Isap Produksi dengan Variasi Penegar”

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

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

Gowa, 02 Desember 2022

Yang Menyatakan,




Imran

ABSTRAK

Imran, 2022 “Analisis Kekuatan Konstruksi Ponton Kapal Isap Produksi dengan Variasi Penegar” (dibimbing oleh **Andi Ardianti** dan **Hamzah**).

KIP adalah adalah singkatan dari kapal isap produksi, kapal ini memiliki fungsi untuk menggali lapisan tanah di bawah laut untuk menghisap mineral-mineral yang akan diolah menjadi timah. Pembuatan KIP tidak merujuk pada regulasi klasifikasi, kapal ini merupakan kapal *non-class*. Proses pembangunan kapal ini dilakukan berdasarkan pengalaman sehingga konstruksi kapal ini bisa saja berlebihan atau *overkonsruksi* sehingga kapal sangat berat.

KIP menggunakan ponton sebagai alat apung, 1 unit KIP memiliki 3 sampai dengan 5 ponton bergantung pada lebar kapal. Dengan melihat dari kasus tersebut maka penelitian ini bermaksud untuk mencoba menganalisis kekuatan ponton KIP dengan banyaknya penegar atau tanpa penegar pada ponton, sehingga efektif bagi kapal yakni aman dan ekonomis. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi numerik pada model struktur ponton menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *Software Ansys Mechanical APDL*. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa, dalam kondisi pembebanan statis dengan meniadakan penegar sisi longitudinal pada tabung silinder ponton KIP menyebabkan kenaikan tegangan normal serta tegangan geser yang relative sangat kecil, sehingga penegar sisi longitudinal boleh dihilangkan karena memiliki kontribusi terhadap konstruksi ponton relatif kecil, begitu pula dengan meniadakan penegar diagonal dan penegar sekat vertikal menyumbang kontribusi kekuatan cukup kecil pada kondisi pembebanan statis. Sedangkan dengan meniadakan penegar *bottom* menyebabkan kenaikan tegangan tegangan normal serta tegangan geser yang sangat besar, sehingga penegar *bottom* pada tabung silinder sangat vital dalam kekuatan konstruksi ponton, maka penegar *bottom* sangat diperlukan pada kondisi pembebanan statis.

Kata Kunci: *ansys*; ponton KIP; penegar; kekuatan; tegangan izin BKI

ABSTRACT

*Imran, 2022 “Analysis of the Strength Construction pontoons of Production Suction Drager with Stiffener Variation” (supervised by **Andi Ardianti** and **Hamzah**).*

PSD is an abbreviation of production suction drager, this ship has the function of excavating layers of soil under the sea to suck up minerals that will be processed into tin. Making PSD does not refer to classification regulations, this ship is a non-class ship. The process of building this ship is based on experience so that the construction of this ship can be excessive or overconstructed so that the ship is very heavy.

PSD uses pontoons as a floating tool, 1 unit PSD has 3 to 5 pontoons depending on the width of the ship. By looking at the case, this study intends to try to analyze the strength of the PSD's pontoon with many or no stiffener on the pontoon, so that it is effective for the ship, namely save and economical. In this study, numerical simulations were carried out on the pontoon structure model using the finite element method with the help of Ansys Mechanical APDL Software. From the results of this study, it was found that under static load conditions by removing the longitudinal side stiffener on the PSD pontoon cylindrical tube it causes a relatively small increase in normal stress and shear stress, so that the longitudinal side stiffener can be removed because it has a relatively small contribution to the pontoon construction, as well by eliminating the diagonal stiffener and the vertical bulkhead stiffener makes a relatively small strength contribution under static load conditions. Meanwhile, removing the bottom stiffener causes an increase in normal stresses and shear stress as a very large, so that the bottom stiffener on a cylindrical tube is vital in the strength of the pontoon construction, so bottom stiffener is needed in static load conditions.

Keywords: ansys; PSD pontoons; stiffener; strength; BKI allowable stress

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh.

Alhamdulillah puji syukur penulis ucapkan atas rahmat dan karunia Allah subhanahu wa ta'ala sehingga dengan nikmat tersebut, penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**Analisis Kekuatan Konstruksi Ponton Kapal Isap Produksi dengan Variasi Penegar**” Serta tidak lupa shalawat serta salam atas baginda Rasulullah Muhammad shallallahu ‘alaihi wasallam.

Dalam menyelesaikan 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 masih 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.

Gowa, 02 Desember 2022

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, dorongan dan dukungan moral berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih dan memberikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ibunda Hamdana dan saudara, orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa mencurahkan kasih sayang, do'a dan dukungan serta motivasi yang tiada hentinya kepada penulis. Semoga keduanya senantiasa dalam lindungan Allah SWT dan diberikan umur panjang hingga penulis mampu membanggakan mereka;
2. Ibu Dr. Eng Andi Ardianti, ST., MT, selaku pembimbing I dan Bapak Hamzah, ST., MT, selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan meluangkan waktu untuk berkonsultasi demi kesempurnaan tugas akhir ini sehingga dalam proses pengerjaan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik;
3. Bapak Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing selaku dosen Ketua Laboratorium Struktur sekaligus dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran sehingga penulis dapat memperoleh gelar akademik di Departemen Teknik Perkapalan;
4. Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT, selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin sekaligus dosen penguji yang telah membantu dan memberikan arahan dalam penyelesaian tugas ini;
5. Bapak Dr. Ir. Syamsul Asri, MT, selaku penasehat akademik penulis yang senantiasa memberikan arahan serta motivasi selama kuliah;
6. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Perkapalan atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama kurang lebih lima tahun berkarir di pendidikan strata satu;
7. Seluruh staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah;
8. Teman seperjuangan laboratorium struktur Irsan Anugrah, Hasrudin, Mawardi, Fitratul Ichsan, Ramray Ananda Amir yang telah memberi dukungan dan teman berbagi selama berada dilaboratorium struktur kapal;
9. Kakanda senior di galangan PT. DAK yang telah membantu dalam pengumpulan data dan memberikan masukan terkait tugas akhir;
10. Teman-teman Teknik Perkapalan 2018 yang telah memberikan semangat selama berkuliah dan dalam pengerjaan tugas akhir ini;
11. Senior laboratorium struktur atas kesediannya dalam berdiskusi mengenai tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

SAMPUL	
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
DAFTAR NOTASI.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Kapal Isap Produksi.....	4
2.2. Konstruksi KIP	8
2.3. Beban-beban yang Bekerja pada Konstruksi KIP	11
2.4. Tegangan, Regangan dan Modulus Elastisitas	12
2.5. Tegangan Izin	17
2.6. Metode Elemen Hingga.....	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	21
3.2. Jenis Penelitian	21
3.3. Jenis Data dan Metode Pengambilan Data	21
3.4. Geometri Rancangan Struktur Ponton KIP Timah 21	23
3.5. Prosedur Analisis dengan Metode Elemen Hingga.....	25

3.6	Kerangka Pikir.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		34
4.1.	Analisis Pembebanan pada Struktur.....	34
4.2.	Analisis Respon Struktur.....	39
BAB V PENUTUP		45
5.1.	Kesimpulan.....	45
5.2.	Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA		46
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Gambar konstruksi ponton	10
Gambar 2.2. Batang prismatis yang mengalami tarik	12
Gambar 2.3. Deformasi akibat tegangan lentur	14
Gambar 2.4 Hubungan antara tanda momen lentur dan tanda kurvatur	15
Gambar 2.5. Arah tegangan pada pipa	16
Gambar 3.1. Rencana umum kapal isap produksi timah 21	22
Gambar 3.2. Konstruksi ponton KIP Timah 21	23
Gambar 3.3. Konstruksi ponton 4	24
Gambar 3.4. Detail konstruksi tiap penegar	25
Gambar 3.5. Variasi pemodelan	27
Gambar 3.6. Hasil meshing	28
Gambar 3.6. Hasil <i>mesh independence study</i>	29
Gambar 3.7. Arah sumbu	30
Gambar 3.8. Kerangka pikir	33
Gambar 4.1. Kurva sebaran beban KIP 21	36
Gambar 4.2. Data ponton	37
Gambar 4.3. Kurva sebaran beban ponton 4	38
Gambar 4.4. Kesetimbangan	38
Gambar 4.5. Tegangan normal Y maksimum pada model 1	39
Gambar 4.6. Tegangan normal X maksimum pada model 4	40
Gambar 4.5. Diagram tegangan normal maksimum	41
Gambar 4.6. Tegangan geser XY maksimum pada model 1	42
Gambar 4.7. Tegangan geser XZ maksimum pada model 4	43
Gambar 4.8. Diagram tegangan geser maksimum	44

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Dimensi tiap ponton.....	23
Tabel 3.2. Dimensi ponton 4.....	24
Tabel 3.3. Data penegar pada setiap model.....	28
Tabel 3.4. Hasil <i>mesh independence study</i> berbagai ukuran meshing.....	29
Tabel 3.5. Raksi tumpuan akibat gaya berat kapal.....	31
Tabel 3.6. Raksi tumpuan akibat gaya tekan air.....	31
Tabel 3.7. Raksi tumpuan akibat beban di kapal KIP Timah 21.....	32
Tabel 4.1. Data beban DWT dan lokasinya pada ponton.....	34
Tabel 4.2. Data beban LWT dan lokasinya pada ponton.....	35
Tabel 4.3. Persentase pembebanan pada ponton.....	37
Tabel 4.4. Nilai tegangan normal maksimum.....	41
Tabel 4.5. Nilai tegangan geser maksimum.....	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rencana umum kapal isap produksi	49
Lampiran 2. Konstruksi ponton kapal isap produksi	50
Lampiran 3. Tabel sebaran beban kapal KIP timah 21	51
Lampiran 4. Tabel gaya bantu ponton lain.....	52

DAFTAR NOTASI

E	= Modulus Young (N/mm^2)
σ_a	= Tegangan Aksial (N/mm^2)
σ_l	= Tegangan Lentur (N/mm^2)
τ	= Tegangan Geser (N/mm^2)
F_a	= Gaya Aksial (N)
A	= Luas Penampang (mm^2)
V	= Gaya Geser (N)
St	= Statis Momen (mm^3)
M	= Momen (N.mm)
y	= Jarak dari Sumbu Netral Kesisi Terluar Benda (mm)
I	= Momen Inersia Penampang (mm^4)
b	= Tebal (mm)
W	= Modulus Penampang (mm^3)
ε	= Regangan
ΔL	= Pertambahan Panjang (mm),
L	= Panjang Mula-mula (mm)
DWT	= Dead Weight Tonage (ton)
LWT	= Light Weight Tonnage (ton)

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

KIP adalah adalah singkatan dari kapal isap produksi kapal ini memiliki fungsi untuk menggali lapisan tanah di bawah laut untuk menghisap mineral-mineral yang akan diolah menjadi timah. Pembuatan KIP tidak merujuk pada regulasi klasifikasi, kapal ini merupakan kapal *non-class* dari wawancara yang telah dilakukan bahwa KIP merupakan kapal yang diadopsi dari kapal tambang Thailand yang di beli dan kemudian dimodifikasi sehingga proses pembangunan kapal ini dilakukan berdasarkan dari pengalaman sehingga konstruksi kapal ini bisa saja berlebihan atau *overkonsruksi* sehingga kapal sangat berat, untuk menopang konstruksi tersebut KIP menggunakan ponton yang berbentuk tabung sebagai daya apung kapal.

KIP menggunakan ponton sebagai alat apung, 1 unit KIP memiliki 3 sampai dengan 5 ponton bergantung pada lebar kapal. Ponton KIP dibuat berpenampang silender (pipa), dengan atau tanpa penegar. Ukuran ponton bergantung pada ukuran kapal tersebut, secara umum ukuran kapal 100-120 m dengan panjang ladder 60-80 m biasa memiliki ukuran panjang sekitar 90-100 m dengan diameter sekitar 2,8 m.

Ponton menjadi alat apung semua unit di atas kapal, oleh beban global dan beban local kapal. Beban global dimaksud adalah beban akibat tekanan air yakni akibat dari kedalaman sarat maksimum sehingga tekanan merata. Adapun beban local adalah tekanan dari setiap beban instalasi-instalasi diatas ponton yang dipasangi pondasi dibawahnya, beban local yang bekerja pada ponton berasal dari beban-beban instalasi KIP diantaranya beban konstruksi, beban ladder, mesin pendorong, mesin pompa air dan hidrolik, mesin ladder, winch, instalasi pencucian diatas kapal dan lain-lain.

Dengan melihat dari kasus tersebut maka penelitian ini bermaksud untuk mencoba menganalisis kekuatan ponton KIP dengan banyaknya penegar atau tanpa penegar pada ponton, sehingga efektif bagi kapal yakni aman dan ekonomis. Oleh karena itu diajukanlah penelitian dengan judul “**Analisis Kekuatan Konstruksi Ponton Kapal Isap Produksi dengan Variasi Penegar**”.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana respon konstruksi ponton kapal isap produksi dengan beberapa variasi penegar?

1.3. Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan pembahasan masalah yang terjadi dalam penelitian ini, agar lebih terarah dan sistematis maka terdapat beberapa hal yang dijadikan sebagai batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Data kapal yang digunakan ialah data kapal KIP TIMAH 21;
2. Pembebanan diberikan adalah pembebanan statis dengan melalui beban dari komponen-komponen diatas kapal KIP serta beban dari tekanan hidrostatis kapal;
3. Analisis hanya pada ponton dengan ukuran terpanjang;
4. Analisis pada beberapa variasi model ponton, variasi model dilakukan dengan meniadakan satu penegar setiap model berikutnya;
5. Hasil Analisis berupa simulasi tegangan yang terdapat pada pemodelan KIP;
6. Pengerjaan kekuatan menggunakan pendekatan metode elemen hingga (*finite elemen methode*) melalui *software ansysTM*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini yang hendak dicapai ialah menentukan pengaruh konstruksi penegar terhadap kekuatan kapal KIP.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin diperoleh dari Penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan referensi dalam dunia pendidikan dalam pembangunan kapal;
2. Sebagai bahan pertimbangan perusahaan dalam merancang konstruksi ponton KIP.

1.6. Sistematika Penulisan

Alur Penulisan yang jelas akan memudahkan pembaca maka diuraikan penelitian ini secara sistematis dan dijabarkan secara umum dalam kerangka penulisan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan, pada bab ini diuraikan meliputi latar belakang permasalahan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan;

BAB II Tinjauan Pustaka, pada bab ini dipaparkan teori-teori yang mendukung penelitian ini. Terdiri dari KIP, Konstruksi KIP, Beban yang bekerja pada kapal, tegangan, regangan, modulus elastisitas, tegangan izin, metode elemen hingga dan *Ansys*;

BAB III Metode Penelitian, pada bab ini dijelaskan jenis penelitian, lokasi, waktu penelitian, jenis dan metode pengambilan data, geometri rancangan ponton, prosedur analisis dan kerangka pikir;

BAB IV Hasil dan Pembahasan, pada bab ini dijelaskan hasil dari analisis pembebanan dan analisis kekuatan ponton kapal isap produksi;

BAB V Penutup, pada bab ini dijelaskan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Pada bab ini juga berisikan saran sebagai pertimbangan dalam penyempurnaan analisis lebih lanjut;

Daftar Pustaka, berisikan referensi-referensi yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal Isap Produksi

Kapal Isap Produksi (KIP) merupakan suatu alat gali yang digunakan dilapisan tanah dibawah permukaan air laut, yang mana dilengkapi dengan peralatan penggalian dan mekanisme pengolahan materialnya yang memiliki beberapa ponton sebagai alat apung.

2.1.1. Proses Penggalian Kapal Isap Produksi

KIP Timah harus beroperasi sesuai dengan peta rencana kerja yang didapat dari Departemen Geologi Tambang PT Tambang Timah. Adapun langkah kerja penggalian KIP Timah tersebut yaitu:

- 1) Posisikan cutter pada titik lubang bor yang akan digali memakai alat bantu GPS;
- 2) Ladder diarahkan sehingga menyentuh lapisan tanah (pada tengah-tengah lingkaran tersebut);
- 3) Lingkar dulu titik bor tersebut dengan memutar kapal sehingga membentuk *Werk Put / Work Pit* (kolong kerja), dan lingkaran tersebut akan kelihatan pada monitor GPS;
- 4) Penggalian sudah dapat dimulai dengan memperdalam *Werk Put / Work Pit* dengan cara menjalankan *cutter* ditambah dengan menekan ladder dan memutar ponton KIP;
- 5) Setelah mencapai titik lingkaran penuh berbentuk lubang, maka kedalaman ladder (kedalaman penggalian) dapat ditambah dalam, dengan memperhatikan volume tanah pada saring putar;
- 6) Apabila *cutter* belum mencapai kong, sedangkan ponton berat untuk diputar, maka penggalian bisa dialihkan pada penggalian awal untuk memperlebar bukaan kolong yang pertama, untuk memperlebar bukaan pertama, penggalian bisa dilakukan dengan sistem maju mundur dengan menggunakan propeller bagian belakang;

7) Makin dalam kaksya yang akan dicapai, pembukaan kolong bagian atas harus makin luas.

Dalam pengoperasian kapal isap produksi ada tiga metode yang digunakan pada saat penggalian, metode-metode tersebut adalah:

- *Rotary* (berputar 360°)

Metode penggalian dengan sistem *rotary* melakukan proses penggalian dengan melingkari objek penggalian 360° ke arah kiri maupun kanan.

- *Spooding*

Metode ini disebut *spooding* dikarenakan ladder sepertinya berperan seperti *spood* sedangkan buritan kapal bergerak ke kiri dan ke kanan membentuk sudut 90° sampai 120°.

- Metode Kombinasi

Sistem penggalian ini merupakan gabungan sistem *rotary* dengan sistem *spooding*. Biasanya di awal pembuatan lubang kolong kerja memakai *rotary* dan untuk melebarkan kolong sesuai arah penggalian digunakan sistem *spooding* (Rifky Andri, 2017).

Berikut alat-alat yang digunakan dalam proses penggalian:

- a) *Cutter*

Cutter yang terletak pada ujung ladder pada KIP Timah berfungsi sebagai penghancur. Untuk memulai proses isap Timah yang letaknya dibawah lapisan tanah, maka terlebih dahulu tanah yang berada diatas permukaan dihancurkan menggunakan *Cutter* agar memudahkan proses isap menggunakan pompa tanah dan dapat meminimalisir campuran unsur tanah pada Timah.

- b) *Ladder*

Ladder berfungsi untuk penempatan cutter, pompa tanah, pipa isap dan pipa tekan. Panjang ladder sangat menentukan untuk mencapai kedalaman gali. Konstruksi ladder terdiri dari besi siku dan plat sebagai dinding. Ujung ladder dipasang cutter dan pangkal ladder dipasang sebagai tumpuan untuk naik turunnya ladder. Dalam proses penggalian, ladder digerakkan oleh *wipe rope* (kawat ladder) yang dipasang pada skep dengan pompa hidrolis yang menggerakkan ladder winch

dan dibantu oleh skep penghantar untuk menaik-turunkan ladder dalam proses penggalian.

c) Pipa Hisap

Pipa hisap adalah pipa yang berbentuk mulut bebek yang berfungsi untuk menghisap tanah yang telah dihancurkan oleh *cutter* dengan daya hisap yang dihasilkan oleh pompa tanah. Untuk mencegah terjadinya penyumbatan saat dilakukan penghisapan material yang telah dihancurkan oleh *cutter* maka di bagian mulut pipa hisap disemprotkan air. Material material yang tadinya masih besar dan padat kemudian pecah menjadi lebih kecil dan mudah untuk dihisap.

d) Pompa Tanah

Pompa tanah berfungsi untuk menghisap material hasil gali dari *cutter* yang selanjutnya diteruskan ke saringan putar melalui pipa hisap pompa tanah digerakkan oleh sebuah mesin penggerak impeller pompa tanah yang dihubungkan oleh as panjang dan gardan *shaft*.

e) *Block Bearing Cutter*

Block Bearing Cutter adalah suatu alat pendukung untuk memutar *cutter* dengan menggunakan sistem hidrolik dan juga berfungsi untuk menahan beban dari *cutter*.

f) Pipa Tekan

Pipa tekan berfungsi untuk mengalirkan *feed* hasil hisapan dari pipa hisap menuju saringan putar untuk diproses berikutnya. Pipa tekan terletak di belakang pompa tanah atau *output* dari pompa tanah.

2.1.2. Proses Pencucian Kapal Isap Produksi

Pencucian merupakan tahap akhir dari rangkaian kegiatan penambangan, sehingga besar kecilnya perolehan sangat ditentukan oleh kegiatan pencucian. Pencucian pada kapal isap produksi menggunakan air laut. Fungsi pencucian dalam kegiatan penambangan adalah untuk memisahkan atau mencuci bahan galian dari mineral-mineral pengotor, untuk mendapatkan mineral biji timah.

Berikut alat-alat yang digunakan dalam proses penggalian:

a) Saringan Putar (*Grizzly*)

Pada proses pencucian biji timah di KIP diawali dengan proses *sizing* (pemilihan ukuran) menggunakan saringan putar yang berfungsi untuk menghancurkan material hasil penggalian (*feed*) dan kemudian memisahkannya berdasarkan besar ukuran butirannya. Dimana material halus bertimah sebagai undersize dan material kasar seperti bongkahan tanah besar, batu, dan kerang-kerang sebagai *oversize* dibuang melalui bandar tailing.

b) JIG

Jig adalah suatu alat pemisah biji timah berdasarkan perbedaan berat jenis dari biji timah dan mineral-mineral lainnya dimana jig menggunakan prinsip gravitasi. Butiran biji timah akan turun secara gravitasi akibat adanya gaya isap (*suction*) dan tekan (*pushion*) dari air yang berada di dalam kompartemen jig akibat gerakan dari penggerak jig dengan sistem *hydraulic*. Kapal isap produksi memiliki tiga tingkatan, yaitu jig *primer*, jig *clean up/sekunder*, dan jig. Jig *primer* menerima umpan/*feed* dari *undersize grizzly* dan saringan putar (*revolving screen*). *Oversize* jig *primer* berupa material kasar akan terbuang sebagai tailing melalui bandar tailing. Jig *primer* berfungsi sebagai penyaring atau memisahkan mineral berharga dan mineral pengotor yang berasal dari saringan putar. Sedangkan *undersize* berupa material halus campuran biji timah dan pasir kemudian diolah lebih lanjut melalui jig *clean up/sekunder*. Tahap terakhir dari proses pencucian biji timah adalah pembersihan biji timah yang telah melewati jig tersier yang masih mengandung sedikit mineral pengotor di Sakan. Sakan atau *Shuice Box* adalah suatu saluran yang dasarnya rata dan di atasnya dialirkan air bersama butiran-butiran mineral. Pada dasarnya saluran dipasang beberapa kayu penahan (*Riffles*) tegak lurus arah aliran air. Proses pemisahannya berdasarkan berat jenis melalui suatu aliran air yang tipis di atas sebuah permukaan yang sedikit miring berupa papan atau *deck*. Fungsi alat ini adalah untuk mencuci konsentrat biji timah yang dialirkan melalui pipa. Terakhir, biji-biji timah tersebut dimasukkan ke dalam karung.

c) Sakan

Sakan yaitu suatu aliran yang dasarnya rata dan di atasnya dialirkan air bersama butiran-butiran mineral. Pada dasar saluran dipasang beberapa kayu

penahan (*riffles*) tegak lurus arah aliran air dengan jarak tertentu. Proses pemisahannya berdasarkan berat jenis melalui suatu aliran air yang tipis di atas sebuah permukaan yang sedikit miring berupa papan atau *deck*. Fungsi alat ini adalah untuk mencuci konsentrat biji timah yang dialirkan melalui pipaspigot pada jig jubah/tersier Final konsentratnya yaitu konsentrat tersebut dimasukkan kedalam karung dan takaran berat konsentrat adalah 50 kg/karung.

d) Bandar Tailing

Bandar tailing merupakan jalur atau bandar pembuangan material yang tidak berguna seperti pasir, batuan, dan lain-lain. Sistem buangan limbah dari masing-masing proses pencucian KIP dengan cara tailing dipisahkan dan langsung dibuang ke laut melalui buritan kapal dan bermanfaat untuk menutup kembali lubang bekas galian. Untuk limbah hidrokarbon ditampung dan diamankan sesuai izin PSL-B3 kepmen LH NO. 360/2007 tentang izin penyimpanan limbah bahan berbahaya beracun.

2.1.3. Pengangkutan Timah Kapal Isap Produksi

Hasil timah yang telah diproduksi kapal isap produksi berupa karungan dengan berat sekitar 50 kg. Kapal isap produksi memiliki dua ruang penyimpanan timah sebelum diambil oleh kapal khusus yang mengambil timah dari kapal-kapal isap produksi, orang setempat menyebutnya dengan kapal penjangkaran. Kapal penjangkaran dalam satu kali trip pengangkutan biasa mengambil 120-200 karung atau 60-100 karung setiap ruang penyimpanan. Proses *transshipment* biasanya dengan menggunakan tenaga masyarakat setempat (buruh).

2.2. Konstruksi KIP

Kapal Isap Produksi secara umum memiliki 2 bagian utama yakni sebagai berikut:

2.2.1. Bangunan Atas

Bangunan atas merupakan bagian konstruksi yang berfungsi sebagai alat menopang bagian-bagian konstruksi lain. Pada bangunan atas KIP memiliki konstruksi yang lebih kokoh karena merupakan tempat bagi konstruksi ladder,

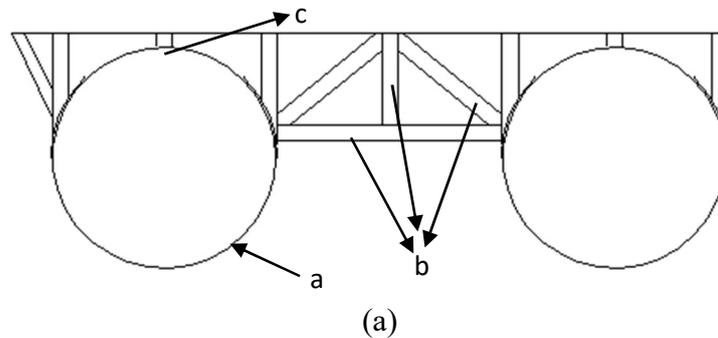
bagian instalasi pencucian dan mesin-mesin operasional bagi kapal. KIP memiliki dua geladak utama pada bangunan atasnya yaitu geladak bagian atas dan geladak bagian bawah, masing masing geladak memiliki konstruksi dengan rangka yang terbuat dari baja, sehingga kuat untuk menopang bagian-bagian lain.

- Geladak Bagian Atas
 - Bagian Haluan
Pada bagian geladak atas bagian haluan berfungsi untuk menopang jangkar kapal, *winch ladder*, mesin *hydraulic* dll.
 - Bagian Tengah
Pada bagian geladak atas bagian tengah berfungsi untuk menopang ruang navigasi, saringan putar, jig primer, saluran tailing dan bagian pencucian lainnya.
 - Bagian Buritan
Pada bagian geladak atas bagian buritan berfungsi untuk menopang beban dari ruang ABK.
- Geladak Bagian Bawah
 - Bagian Haluan
Pada bagian geladak bawah bagian haluan berfungsi untuk menopang Ladder, tangki dll.
 - Bagian Tengah
Pada bagian geladak bawah bagian tengah berfungsi untuk menopang mesin *diesel*, jig *sekunder*, *spring pivot*, dll.
 - Bagian Buritan
Pada bagian geladak bawah bagian buritan berfungsi untuk menopang beban dari Bandar tailing, mesin propeller, dll.

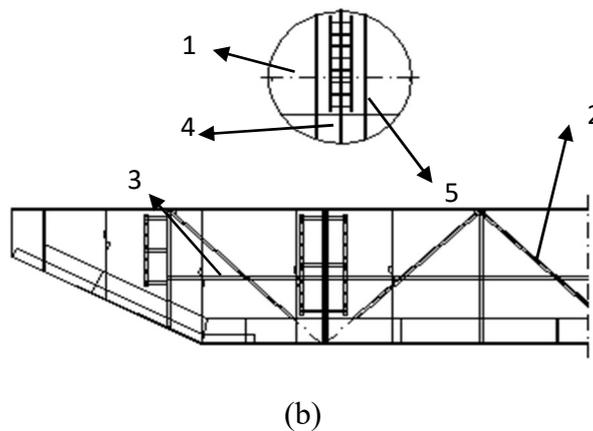
2.2.2. Ponton

Ponton adalah bagian kapal yang memiliki peran penting dalam pengoperasian KIP yang satu-satunya menyuplai daya apung untuk kapal. Ponton KIP terbuat dari baja berbentuk silinder berongga yang berjumlah antar 3-5 buah, konstruksi dalam ponton dibagi-bagi dengan banyak kompartement yang dibatasi oleh sekat sehingga apabila terjadi kebocoran pada salah satu kompartemen maka

kapal masih bisa terapung. Ponton selain sebagai alat apung kapal juga difungsikan sebagai tempat penyimpanan bahan bakar dan air tawar pada beberapa kompartemen. Konstruksi ponton KIP seperti pada Gambar 2.1.



- a) Plat kulit
- b) *Beam* (setiap sekat, vertikal, horizontal, diagonal)
- c) *Hatchway*



- 1) Sekat;
- 2) Penegar diagonal (Sepanjang ponton kecuali 2 ponton terpanjang dibuat beberapa tangki);
- 3) Penegar sisi memanjang sepanjang kapal;
- 4) Bagian bawah dipasang plat lebih tebal dari plat sekat, tegak vertical melintang dan membujur;
- 5) Penegar sekat dibuat tegak vertical setinggi sekat.

Gambar 2.1. Gambar konstruksi ponton,
 (a) konstruksi luar ponton, (b) konstruksi dalam ponton
 (Sumber: PT. DAK)

2.3. Beban-beban yang Bekerja pada Konstruksi KIP

2.3.1. Beban Mati

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan dengannya.

Beban mati disebut juga beban kerja akibat gravitasi yang tetap posisinya, disebut demikian karena bekerja terus menerus dengan arah ke bumi tempat struktur didirikan. Besar struktur dipandang sebagai beban mati, demikian pula perlengkapan yang digantungkan pada struktur seperti pipa air, pipa listrik, saluran pendingin dan pemanas ruangan, lampu, genting dan plafon atau dengan kata lain, semua benda yang tetap posisinya selama struktur berdiri dipandang sebagai beban mati (Agus Setiawan, 2002).

2.3.2. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban tidak tetap, kecuali beban angin, beban gempa dan pengaruh-pengaruh khusus yang diakibatkan oleh selisih suhu, pemasangan (*erection*), penurunan pondasi, susut, dan pengaruh-pengaruh khusus lainnya. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja perlahan-lahan pada struktur. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan perhitungan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia.

Beban hidup merupakan beban yang berlaku pada struktur selama operasinya saja dan bisa berubah-ubah selama kondisi operasi atau dari kondisi operasi ke kondisi lainnya. beban hidup adalah beban gravitasi pada struktur, yang besar dan lokasinya bervariasi, contoh beban hidup adalah manusia, mebel, (*furniture*), peralatan yang dapat bergerak. Karena berat, lokasi dan kepadatan beban hidup sifatnya tidak diketahui, maka besar sesungguhnya dan posisi beban ini sangat sukar untuk ditentukan. (Agus Setiawan, 2002).

2.4. Tegangan, Regangan dan Modulus Elastisitas

2.4.1. Tegangan pada Struktur

Tegangan merupakan perilaku material saat diberikan gaya atau beban. Jika suatu material dengan nilai luasan penampang yang sama diberikan beban yang sama dan searah di sepanjang material tersebut nantinya akan timbul tegangan pada material tersebut. Semua bahan berubah bentuk karena pengaruh gaya. Ada yang kembali ke bentuk aslinya bila gaya dihilangkan, ada pula yang tetap berubah bentuk sedikit atau banyak. Tegangan Kerja Yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut.

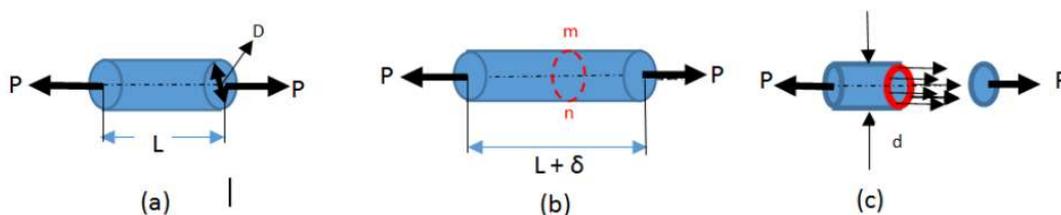
a. Tegangan normal

Setiap material adalah elastis pada keadaan alaminya. Karena itu jika gaya luar bekerja pada benda, maka benda tersebut akan mengalami deformasi. Ketika benda tersebut mengalami deformasi, molekulnya akan membentuk tahanan terhadap deformasi. Tahanan ini per satuan luas dikenal dengan istilah tegangan.

Tegangan normal merupakan ukuran dari gaya aksial atau gaya normal per satuan luas. Tegangan aksial yang bekerja (σ_a) pada elemen baja dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_a = F_a / A$$

Dimana: σ_a = Tegangan Aksial (N/mm²);
 F_a = Gaya Aksial (N);
 A = Luas Penampang (mm²).



Gambar 2.2. Batang prismatis yang mengalami tarik (a) diagram benda bebas dari segmen batang, (b) segmen batang setelah dibebani, (c) tegangan normal pada batang.

(Sumber: Gere & Timoshenko, 2000)

b. Tegangan geser

Jika gaya normal/tangensial merupakan gaya sejajar arah memanjang batang, gaya geser merupakan gaya yang berarah tegak lurus dengan panjang batang. Besaran tegangan geser dinyatakan dengan simbol (τ) dalam satuan (N/mm^2). Tegangan geser terjadi ketika aksi dari sebuah gaya geser didistribusikan pada sebuah luas penampang melintang yang parallel (tangensial) dengan gaya geser tersebut.

Tegangan geser (τ) timbul akibat kerja dari dua gaya geser (S) yang saling berlawanan arah (aksi–reaksi) terhadap suatu bidang geser, pada satuan luas bidang penampang tahanan elemen struktur (A). Sehingga bidang penampang tersebut mengalami regangan geser searah bekerjanya gaya. Jika besaran gaya geser (S) dikerjakan pada batang akan menimbulkan tegangan geser (τ). Tegangan geser (τ), yaitu tegangan yang timbul akibat gaya geser atau gaya lintang. Ciri dari gaya geser atau gaya lintang adalah melintang batang atau tegak lurus batang. (E.P.Popov, 1984).

Gaya pada benda menyebabkan perubahan ukuran benda. Pengaruh vektor gaya terhadap sumbu x menghasilkan besaran tensile stress dengan lambang σ_x . Indeks x menyatakan arah vektor gaya. Pengaruh gaya terhadap sumbu y dan z menghasilkan momen yang disebut tegangan geser/*shear stress*.

Secara matematis tegangan geser dirumuskan sebagai berikut.

$$\tau = V/A$$

$$\tau = V \cdot St / I \cdot b$$

Keterangan : τ = Tegangan Geser (N/mm^2);

V = Gaya Geser (N);

A = Luas Penampang (mm^2);

St = Statis Momen Luasan (mm^3);

I = Momen Inersia Penampang (mm^4);

b = Tebal (mm).

Adapun untuk persamaan tegangan geser pada bidang tiga dimensi ialah sebagai berikut

$$\tau_{xy} = E/ 2(1+\nu) \gamma_{xy} = G. \gamma_{xy}$$

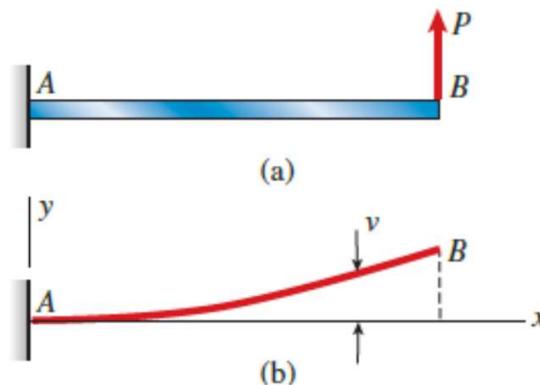
$$\tau_{xz} = E/2 (1+\nu) \gamma_{xz} = G. \gamma_{xz}$$

$$\tau_{yz} = E/2 (1+\nu) \gamma_{yz}$$

c. Tegangan Lentur

Tegangan lentur memiliki nilai terbesar disisi bagian atas dan disisi bagian bawah balok. Tegangan lentur tersebut bekerja secara tegak lurus terhadap penampang melintang dan berada dalam arah longitudinal dari balok. Merupakan gaya yang bekerja pada jarak tertentu (L) dari tumpuan benda dengan arah kerja tegak lurus sumbu benda. Sehingga mengakibatkan benda melentur/melengkung disepanjang sumbunya.

Beban yang bekerja pada sebuah balok (*beam*) menyebabkan beam melentur/bending, hal tersebut menyebabkan deformasi sumbu beam hingga membentuk kurva. Sebagai contoh, asumsikan sebuah balok kantilever AB dikenai beban P pada ujung bebas (Gambar 2.3). sumbu yang awalnya lurus membengkok hingga membentuk kurva (Gambar 2.4), yang disebut dengan defleksi. (Gere & Goodno, 2009)



Gambar 2.3. Deformasi akibat tegangan lentur, (a) kondisi batang sebelum dikenai gaya p, (b) kondisi batang setelah dikenai gaya P

(Sumber: Gere & Goodno, 2009)

Tegangan lentur diakibatkan oleh momen lentur sehingga secara matematis persamaan tegangan lentur dapat dirumuskan sebagai berikut.

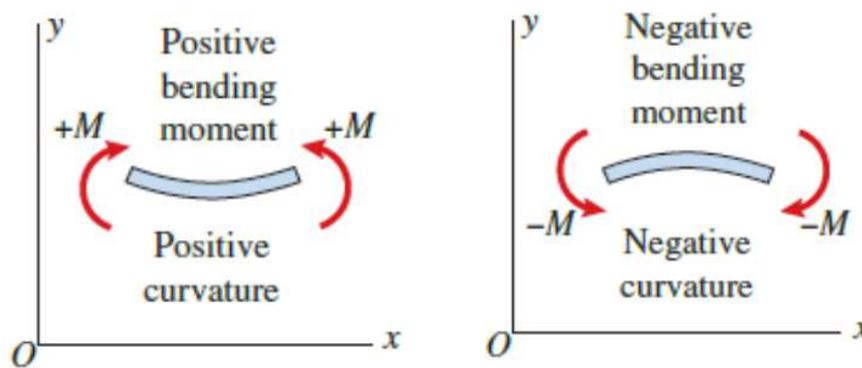
$$\sigma_1 = M.(y / I) \text{ atau } \sigma_1 = M/w$$

Dimana : σ_1 = Tegangan Lentur (N/mm²);

M = Momen (N.mm)

- y = Jarak dari Sumbu Netral Kesisi Terluar Benda (mm)
- I = Momen Inersia Penampang (mm^4)
- W = Modulus Penampang (mm^3)

Jika momen lentur dari balok adalah positif, maka tegangan lentur akan positif (tensil) pada bagian penampang balok dimana y negatif, yaitu dibagian bawah balok. Tegangan pada bagian atas balok akan negatif (kompresi). Jika momen lentur negatif, maka tegangan lentur kebalikannya. Hubungan ini ditunjukkan pada Gambar 2.4. (Gere & Goodno, 2009)



Gambar 2.4 Hubungan antara tanda momen lentur dan tanda kurvatur
(Sumber : Gere & Goodno, 2009)

d. Tegangan pada Pipa

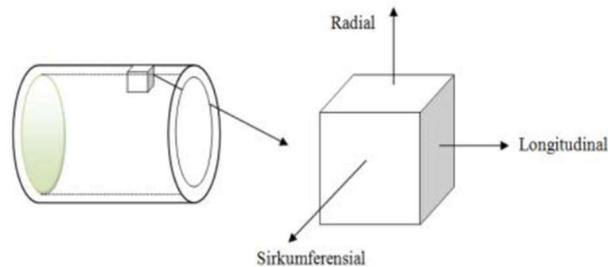
Tegangan yang terjadi dalam pipa dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yakni Tegangan Normal (*Normal Stress*) dan Tegangan Geser (*Shear Stress*). Tegangan normal terdiri dari tiga komponen tegangan, yang masing-masing adalah:

1. Tegangan Longitudinal (*Longitudinal Stress*), yaitu tegangan yang searah panjang pipa.
2. Tegangan Tangensial atau Tegangan Keliling (*Circumferential Stress* atau *Hoop Stress*), yaitu tegangan yang searah garis singgung penampang pipa,
3. Tegangan Radial (*Radial Stress*), yaitu tegangan searah jari-jari penampang pipa.

Tegangan Geser terdiri dari dua komponen tegangan, yang masing-masing adalah:

1. Tegangan Geser (*Shear Stress*), yaitu tegangan akibat gaya geser,
2. Tegangan Puntir atau Tegangan Torsi (*Torsional Stress*), yaitu tegangan akibat momen puntir pada pipa, (Achmad Husein & Achmad Jamaludin, 2016).

Arah tegangan dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Arah tegangan pada pipa

(Sumber : Achmad Husein & Achmad Jamaludin, 2016)

2.4.2. Regangan

Regangan adalah Perubahan pada ukuran sebuah benda karena gaya-gaya atau kopel dalam kesetimbangan dibandingkan dengan ukuran semula. Regangan juga disebut derajat deformasi. Persamaan dari regangan dapat dituliskan pada persamaan:

$$\epsilon = \Delta L / L$$

Dimana: ϵ = Regangan,
 ΔL = Pertambahan Panjang (mm)
 L = Panjang Mula-mula (mm)

Regangan merupakan ukuran mengenai seberapa jauh batang tersebut berubah bentuk. Tegangan diberikan pada material dari arah luar, Regangan adalah tanggapan material terhadap tegangan. Pada daerah elastis, besarnya tegangan berbanding lurus dengan regangan.

2.4.3. Modulus Elastisitas

Perbandingan antara tegangan dan regangan benda tersebut disebut modulus elastisitas atau Modulus Young. Pengukuran Modulus Young dapat dilakukan

dengan menggunakan gelombang akustik, karena kecepatan jalannya bergantung pada Modulus Young. Secara matematis dirumuskan

$$E = \sigma / \varepsilon$$

$$E = (F.L) / (A. \Delta L)$$

Dimana :

E	=	Modulus Young (N/mm ²)
σ	=	Tegangan (N/mm ²)
F	=	Gaya (N)
L	=	Panjang mula-mula (mm)
ΔL	=	Pertambahan panjang (mm)
A	=	Luas penampang (mm ²)

2.5. Tegangan Izin

Tegangan izin adalah tegangan tertinggi yang diizinkan dalam suatu konstruksi atau dapat dikatakan sebagai tegangan maksimum yang terjadi dalam suatu konstruksi yang tidak diperkenankan untuk dilampaui. Secara khusus tegangan izin ditentukan oleh BKI (2016), bahwa tegangan izin yang bekerja tidak boleh melewati:

$$\text{Tegangan} = \frac{150}{k} [\text{N/mm}^2]; \text{ dengan } k = \text{faktor baja}$$

Dalam (Biro Klasifikasi Indonesia, 2016) Tegangan yang diizinkan untuk berbagai bahan baja pada kondisi pembebanan yang sebagian besar statis adalah 150 N/mm² sedangkan untuk tegangan geser diberikan 110 N/mm² pada baja.

2.6. Metode Elemen Hingga

2.5.1. Definisi

Metode Elemen Hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala phisis. Tipe masalah teknis dan matematis phisis yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisis struktur dan kelompok masalah-masalah non-struktur (Susatio,2004)

Dalam penelitian Sinaga dan Tambunan, 2008 Metode elemen hingga merupakan cara pendekatan solusi analisis struktur secara numerik dimana struktur kontinum dengan derajat kebebasan tak hingga disederhanakan dengan diskretisasi kontinum dalam elemen-elemen kecil yang umumnya memiliki geometri lebih sederhana dengan derajat kebebasan tertentu (berhingga), sehingga lebih mudah dianalisis (Fajar et al, 2017)

Tipe-tipe permasalahan struktur meliputi :

1. Analisis tegangan/Stress, meliputi Analisis Truss dan frame serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan-tegangan yang terkonsentrasi.
2. Buckling
3. Analisis getaran

Dalam persoalan-persoalan yang menyangkut geometri yang rumit, seperti persoalan pembebanan terhadap struktur yang kompleks, pada umumnya sulit dipecahkan melalui matematika analisis. Hal ini disebabkan karena matematika analisis memerlukan besaran atau harga yang harus diketahui pada setiap titik pada struktur yang dikaji.

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. (Susantio,2004)

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

1. Diskritisasi Domain

Pada tahap ini kita tentukan jenis elemen yang akan kita gunakan. Untuk problem 2-dimensi, elemen 2-dimensi yang umum digunakan adalah tiga sisi (*triangular*) atau empat sisi (*quadrilateral*). Elemen-elemen ini bisa berupa elemen linear ataupun non-linear. Untuk problem 3 dimensi, elemen 3 dimensi yang umum digunakan adalah elemen tetrahedral (empat muka) dan heksahedral (enam muka).

2. Penentuan Bentuk Fungsi Aproksimasi

Pada tahap ini bentuk dari fungsi interpolasi ditentukan, fungsi yang umum digunakan adalah fungsi polinomial. Tingkat dari polinomial ini ditentukan oleh

jumlah node pada setiap elemen dan syarat kontinuitas yang diperlukan pada batas elemen. Untuk elemen segitiga dengan tiga titik nodal, fungsi interpolasinya adalah fungsi linear atau polinomial tingkat 1. Dengan enam titik nodal, fungsi interpolasi yang digunakan adalah fungsi polinomial tingkat 2 atau fungsi kuadratik.

3. Penghitungan Properti Elemen

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

4. Pembentukan Sistem Persamaan Linear

Matriks-matriks elemen yang terbentuk kemudian digabung menjadi matriks global. Ukuran matriks elemen adalah jumlah node perlemen dikalikan jumlah degree of freedom (dof) setiap node. Jadi untuk elemen segitiga dengan 3 node dan 1 dof, ukuran dari matriks elemennya adalah 3x3. Seandainya setiap node mempunyai 2 dof maka ukuran matriks elemennya adalah 6x6.

5. Pemecahan Sistem Persamaan Linear

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

6. Post Process Hasil

Setelah solusi diperoleh dari tahap 5, hasil dapat ditampilkan berupa grafik kountour atau plot. Jika ada parameter lain yang bergantung pada hasil maka parameter ini dihitung setelah hasil diperoleh. (Isworo dan Pathur, 2018).

2.5.2. *Ansys*

Ansys adalah salah satu *software* yang digunakan untuk menganalisis berbagai macam struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas. Adapun contoh

software analisis yang lain yaitu NASTRAN, CATIA, Fluent dan yang lainnya (Pinem, 2013).

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

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

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penelitian ini direncanakan \pm 6 bulan terhitung mulai sejak Mei 2022.

3.2. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian simulasi numerik yang menggunakan bantuan *Software Ansys Mechanical APDL* dengan menggunakan metode elemen hingga dan simulasi numerik pada konstruksi ponton. Analisis kekuatan dilakukan setelah model dibuat.

3.3. Jenis Data dan Metode Pengambilan Data

Jenis Data yang digunakan adalah data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari PT. Dok dan Perkapalan Air Kantung. Data tersebut meliputi :

3.3.1. Data Spesifikasi Teknis KIP Timah 21-23

A. UMUM

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. Nama Kapal | : KIP TIMAH-21 |
| 2. Jenis Kapal | : Kapal Isap Produksi |
| 3. Pembuat | : PT DAK |
| 4. Tahun Pembuatan | : 2019 |

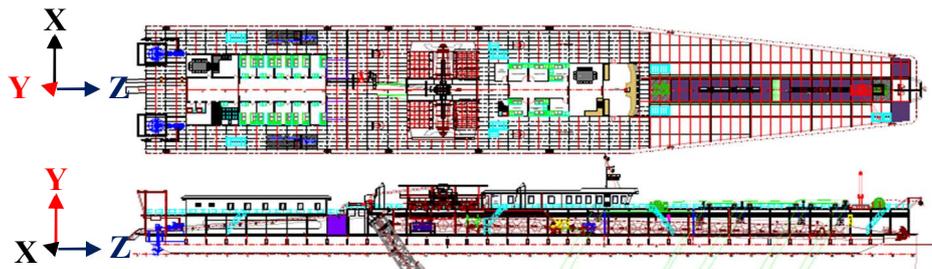
B. PONTON

- | | |
|--------------------------|----------------|
| 1. Jumlah Ponton | : 5 Buah |
| 2. Lebar Keseluruhan | : 21.60 meter |
| 3. Panjang keseluruhan | : 113.65 meter |
| 4. Panjang Ponton Dalam | : 109.80 meter |
| 5. Panjang Ponton Luar | : 73.20 meter |
| 6. Panjang Ponton Tengah | : 33.00 meter |

7. Diameter Ponton	: 2.80 meter
8. Lebar di Bagian Haluan	: 11.58 meter
9. Lebar Celah Ladder	: 2.90 meter
10. Panjang Celah Ladder	: 79.25 meter
11. Panjang Sisi Kapal	: 72.00 meter
12. Panjang Bagian Tengah Kapal	: 114.50 meter
13. Tinggi Keseluruhan	: 13.10 meter
14. Lambung Timbul Muatan Penuh	: 1.40 meter
15. Jumlah Lubang Akses	: 137 units, all dia. 60 cm
16. Tangki timbul (tangi induk) BBM	: 12 Tangki
17. Tangki harian	: 3 tangki
18. Tangki takar	: 1 tangki

3.3.2. Gambar Rencana Umum Kapal Isap Produksi Timah 21

Pada kapal isap produksi timah 21 terdapat ponton sebagai daya apung kapal dan dua *deck* diatas ponton, *deck* pertama sebagai tempat alat-alat produksi dan ladder sedangkan *deck* kedua sebagai tempat ruang ABK dan ruang navigasi. Gambar rencana umum kapal isap produksi timah 21 dapat dilihat pada gambar 3.1, sebagai berikut :

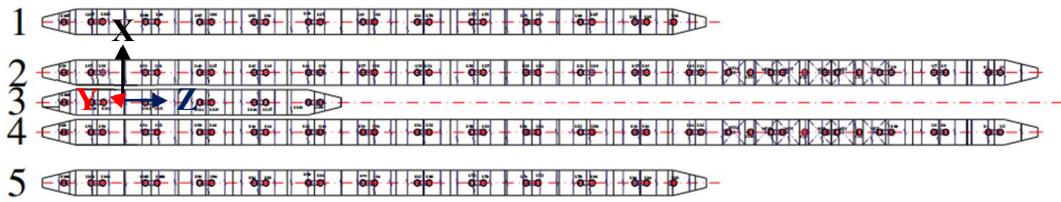


Gambar 3.1. Rencana umum kapal isap produksi timah 21

(Sumber: PT. DAK)

3.3.3. Gambar Kontruksi Ponton

Ponton di kapal isap produksi adalah satu-satunya suplay daya apung bagi kapal, ponton KIPTimah 21 memiliki lima ponton, dua ponton terpanjang, dua ponton luar dan satu ponton terpendek bagian tengah buritan. Gambar konstruksi dan dimensi tiap ponton secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Tabel 3.1;



Gambar 3.2. Konstruksi ponton KIP Timah 21

(Sumber: PT. DAK)

Tabel 3.1. Dimensi tiap ponton

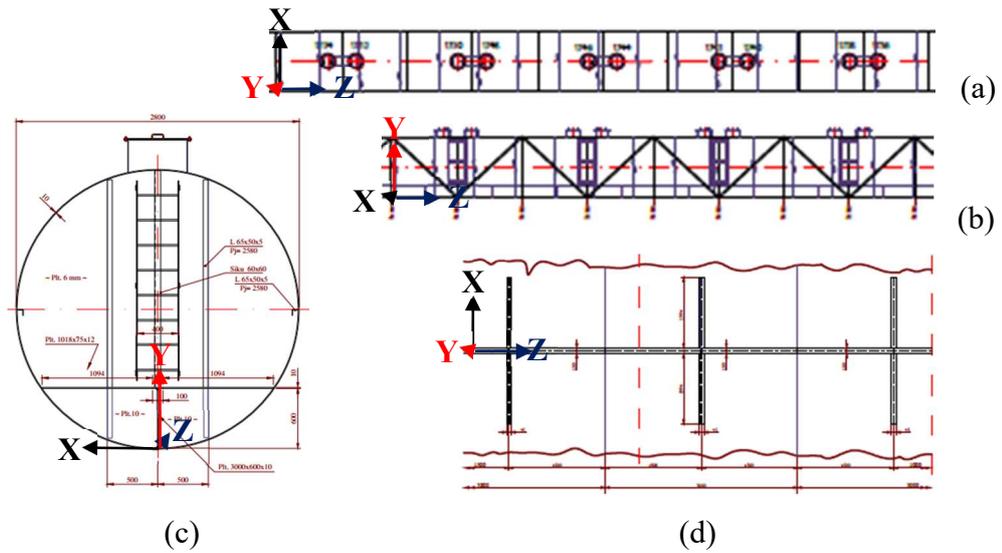
No. Ponton	Panjang Keseluruhan (m)	Jarak Antar Sekat (m)	Jumlah Sekat	Diameter ponton (m)
1	73.2	3	23	2.8
2	109.8	3	36	2.8
3	33	3	10	2.8
4	109.8	3	36	2.8
5	73.2	3	23	2.8

(Sumber: PT. DAK)

3.4. Geometri Rancangan Struktur Ponton KIP Timah 21

3.4.1. Geometri Ponton

Geometri ponton dilakukan dengan menginterpretasi gambar ponton terpanjang KIP Timah 21 yakni ponton 4. Gambar dan dimensi ponton 4 dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Tabel 3.2;



Gambar 3.3. Konstruksi ponton 4, (a) tampak atas
 (b) tampak samping, (c) tampak depan, (d) tampak atas bottom

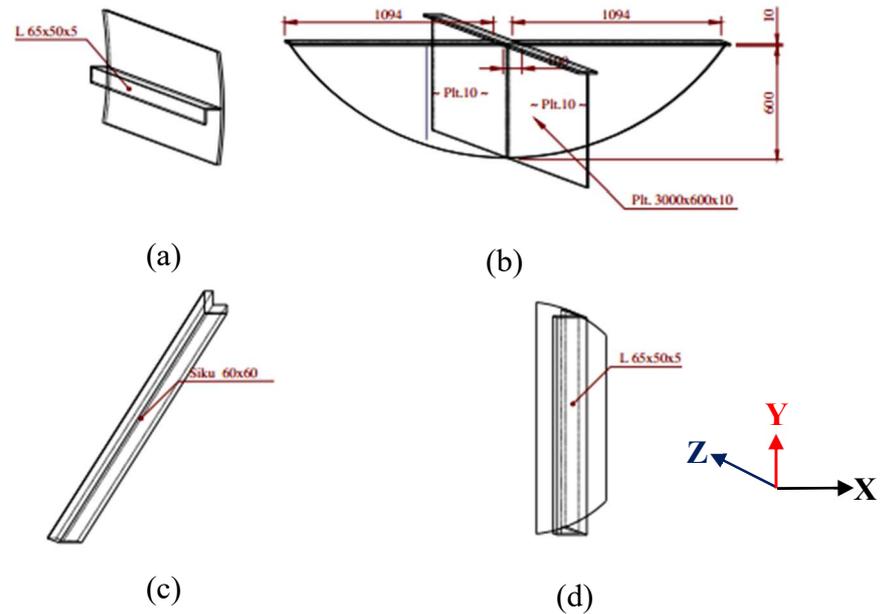
(Sumber: PT. DAK)

Tabel 3.2. Dimensi ponton 4

Item ponton	Dimensi (mm)
Diameter	2800
Tebal plat luar	10
Tebal sekat	6
Penegar diagonal	60 x 60 x 5
Penegar sisi longitudinal	65 x 50 x 5
Penegar bottom	600 x 10
Penegar sekat vertical	65 x 50 x 5

(Sumber: PT. DAK)

Pada penelitian ini dimodelkan dengan variasi penegar disetiap model, Gambar detail konstruksi tiap penegar dapat dilihat pada Gambar 3.4;



Gambar 3.4. Detail konstruksi tiap penegar (a) penegar sisi longitudinal (b) penegar bottom (c) penegar diagonal (d) penegar sekat vertikal (Sumber: PT. DAK)

3.5. Prosedur Analisis dengan Metode Elemen Hingga

Analisis metode elemen hingga merupakan matematis yang sering digunakan untuk menyelesaikan permasalahan analisis tegangan. Pada analisis struktur, analisis metode elemen hingga dapat digunakan untuk menyelesaikan defleksi dan tegangan pada struktur yang menerima beban tertentu pada kondisi batas yang sesuai.

Dalam menganalisis kekuatan konstruksi ponton KIP dengan menggunakan metode elemen hingga, prosedur penyelesaian menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

3.5.1. Preferences

Preferences adalah tahapan menentukan tipe analisis model yang akan digunakan. Dalam penelitian ini menggunakan tipe analisis *Structural*.

3.5.2. Preprocessing

Tahap *preprocessing* meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

a. Mendefinisikan elemen

Struktur ponton secara keseluruhan dimodelkan sebagai struktur *shell*. Pemilihan dilakukan sebagai pendekatan *equivalen thickness* dipakai untuk plat ponton yang berongga dan di beri *stiffner*.

b. Mendefinisikan tebal pelat yang digunakan

Tebal plat yang dimodelkan dibuat sesuai dengan tebal masing-masing profil, terdapat 3 jenis ketebalan pada ponton yakni 10 mm, 6 mm, dan 5 mm sedangkan pada H *beam* yang menjadi tempat pembebanan berat kapal memiliki ketebalan 8 mm, tetapi pada penelitian ini H beam tidak termasuk objek penelitian sehingga H beam diabaikan dan dapat diperkuat sebesar lima kali ketebalan awal.

c. Mendefinisikan material

Analisis dilakukan dengan menggunakan sifat mekanikal bahan:

Bahan : *Steel*

Sifat Mekanikal :

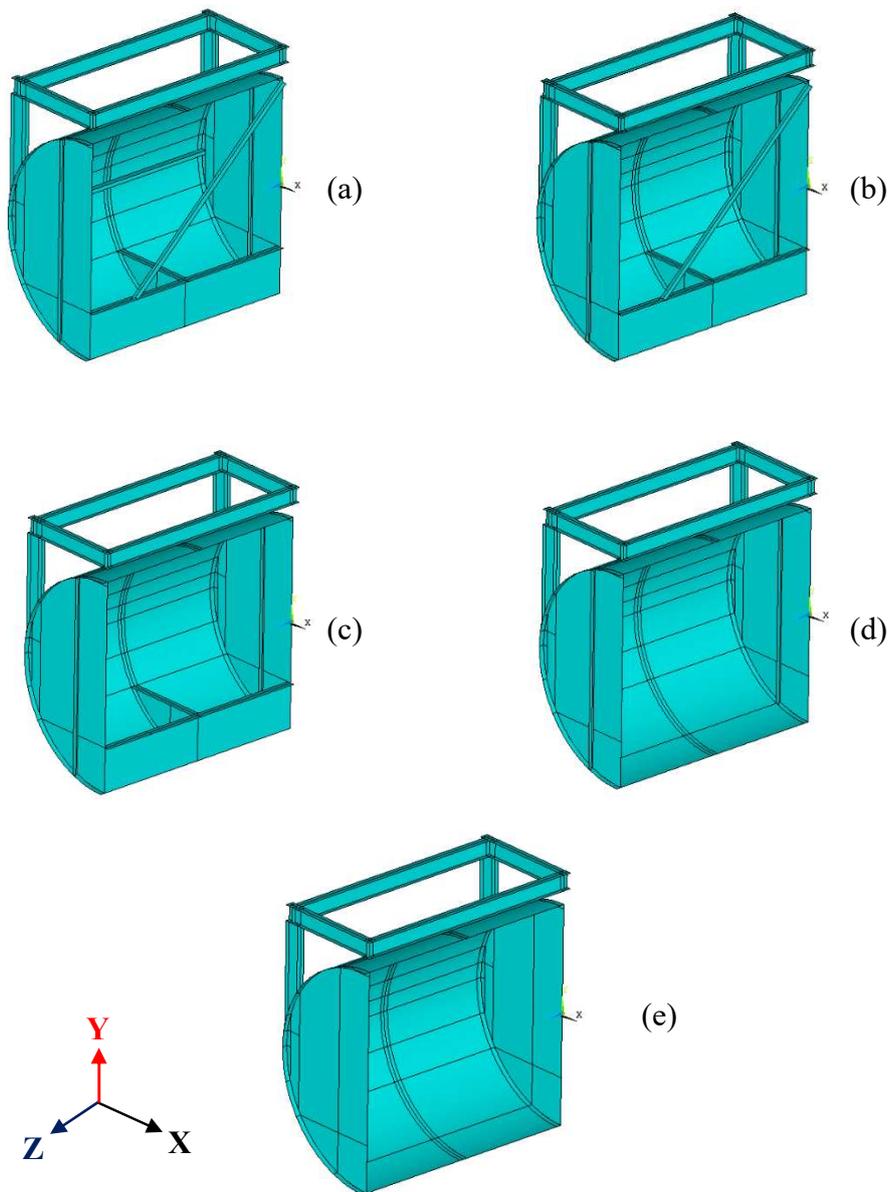
- *Modulus Young (E)* = 210000 N/mm²
- *Poisson Ratio* = 0.3

Batas Kekuatan :

- *Yield Stress Steel* = 235 N/mm²
- *Yield Stress BKI* = 150 N/mm²
- *Yield Shear Stress BKI* = 110 N/mm²

d. Membuat model

Analisis pada penelitian ini adalah analisis kekuatan ponton kapal isap produksi mulai dari model sebenarnya kemudian divariasikan dengan pengurangan penegar disetiap model berikutnya. Geometri variasi pemodelan sebagai berikut:



Gambar 3.5. Variasi pemodelan,
 (a) model 1, (b) model 2, (c) model 3, (d) model 4, (e) model 5
 (Sumber: Hasil olah data)

Variasi pemodelan dimulai dengan model 1, memiliki geometri yang sama persis dengan konstruksi ponton KIP Timah 21, kemudian pada model 2 memiliki geometri model 1 dengan mengurangi penegar sisi longitudinal begitu seterusnya hingga model 5 memiliki geometri ponton tanpa satupun penegar sehingga hanya

terdapat plat kulit luar ponton dan sekat setiap tiga meter, secara umum dapat dilihat pada Tabel 3.3;

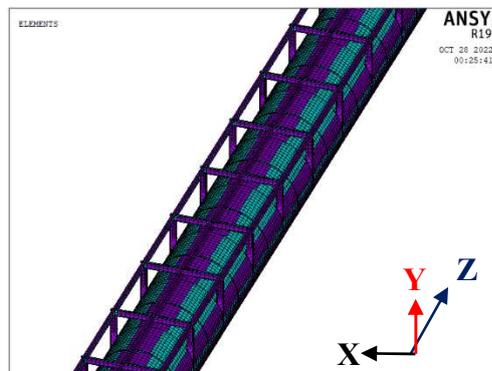
Tabel 3.3. Data penegar pada setiap model

Variasi Model	Jumlah Penegar	Keterangan
1	4	Terdiri dari penegar sisi longitudinal, penegar diagonal, penegar bottom dan penegar sekat vertikal
2	3	Terdiri dari penegar diagonal, penegar bottom dan penegar sekat vertikal
3	2	Terdiri dari penegar bottom dan penegar sekat vertikal
4	1	Hanya memiliki penegar sekat vertikal
5	-	Tidak memiliki satupun penegar

(Sumber: PT. DAK)

e. Mendefinisikan meshing

Meshing merupakan proses yang mutlak dilakukan agar model dibuat dapat dianalisis. Meshing secara singkat berarti membagi model menjadi ukuran-ukuran kecil (node) dengan mengacu pada karakteristik pemodelan.



Gambar 3.6. Hasil meshing

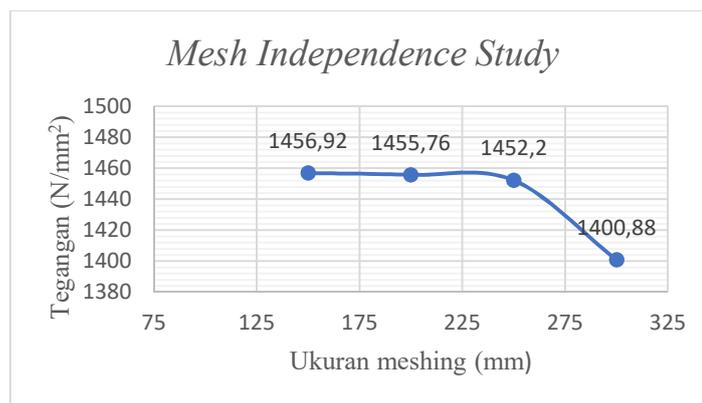
(Sumber: Hasil olah data)

Untuk menentukan ukuran yang tepat maka dilakukan *mesh independence study*. *Mesh independence study* adalah suatu cara untuk menentukan ukuran elemen yang tepat dalam pembuatan model element hingga sehingga hasil yang dihasilkan mendekati nilai sebenarnya (lebih valid). *Mesh independence study* dilakukan dengan cara mengurangi mesh dengan kenaikan hasil analisis tegangan sehingga mencapai hasil konstan dengan ukuran mesh yang berbeda. Setelah dilakukan *Mesh independence study* maka diperoleh bahwa mesh yang akan digunakan adalah 150 mm. Hasil *Mesh independence study* dapat dilihat pada Table 3.4. dan Gambar 3.6;

Tabel 3.4. Hasil *mesh independence study* berbagai ukuran meshing

Ukuran Meshing (mm)	Tegangan (N/mm ²)
300	1400.88
250	1452.2
200	1455.76
150	1456.92

(Sumber: Hasil olah data)



Gambar 3.6. Hasil *mesh independence study*

(Sumber: Hasil olah data)

3.5.3. Solution

Tahap solution meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

a. Mendefinisikan pembebanan

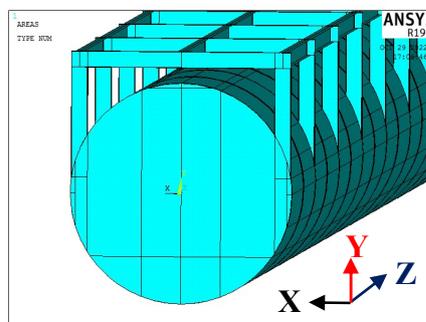
Pembebanan di seluruh kapal diperoleh melalui berat *ekuivalen* terhadap *displacement* kapal dan diletakkan pada konstruksi *beam* yang menjadi dudukan beban tersebut. Beam yang menghubungkan ponton dengan *deck* dimodelkan dengan posisi dan berat kapal pada *line* tersebut. Sedangkan untuk pembebanan akibat tekanan air didefinisikan sebagai beban titik diletakkan pada tiga jalur dengan persentase beban yang berbeda satu jalur paling bawah ponton dengan persentase 50% dan 2 jalur kanan kiri yakni pertengahan antara sarat maksimum dengan jalur bawah sebesar 25%, serta setiap jalur memiliki 71 titik.

b. Tumpuan / kondisi batas (*Constraint*)

Dalam pemodelan struktur diketahui bahwa ada enam derajat kebebasan disetiap titik yakni translasi dan rotasi sumbu x, y dan z. Pada penelitian ini sebenarnya kapal tidak dikekang oleh apapun, namun dalam *Software Ansys Mechanical APDL* pengekangan menjadi bagian penting dalam tahapan solution, sehingga reaksi tumpuan yang diberikan harus mendekati nol.

1) Jenis tumpuan

Tumpuan diberikan pada ujung-ujung kapal, pada ujung satu diasumsikan bahwa kapal tidak bergerak ke sumbu translasi x, y dan z sedangkan ujung lainnya ditahan translasi x dan y, sehingga apabila beban diberikan translasi sumbu z tidak menahan ponton, dapat dilihat pada Gambar 3.7;



Gambar 3.7. Arah sumbu
(Sumber: Hasil olah data)

2) Pengujian reaksi tumpuan

Pengujian pembebanan pada model yang dilakukan mempunyai fungsi untuk membuktikan bahwa total gaya apung kapal sama dengan total gaya yang diberikan pada model $\sum F = 0$, untuk membuktikan bahwa $\sum F = 0$ maka dilakukan pencocokan antara total besarnya reaksi tumpuan sama dengan total gaya yang diberikan pada model.

Model diberikan kekangan pada setiap ujung model, pada ujung pertama pada *node* 2588 yaitu translasi arah x, y serta z dan ujung lainnya pada *node* 5719 dikekang hanya pada arah translasi x dan y. Besarnya nilai reaksi akibat gaya-gaya tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan 3.6;

Tabel 3.5. Reaksi tumpuan akibat gaya berat kapal

Node	Fx	Fy	Fz
2580	5.88E-04	1.68E+06	1.33E-02
5719	9.25E-04	1.68E+06	
Total	1.51E-03	3.36E+06	1.33E-02

(Sumber: Hasil Olah Data)

Tabel 3.6. Reaksi tumpuan akibat gaya tekan air

Node	Fx	Fy	Fz
2580	-5.91E-04	1.68E+06	1.33E-02
5719	-9.49E-04	1.68E+06	
total	-1.54E-03	3.36E+06	1.33E-02

(Sumber: Hasil Olah Data)

Dari Tabel 3.5 dan 3.6 dapat diketahui bahwa reaksi tumpuan pada *node* 2580 dan 5719 akibat beban gaya berat maupun beban gaya tekan air memiliki total reaksi gaya Fy sama besar dengan total beban yang diberikan yakni sebesar 0.336E7 N atau sama dengan 3360000 N maka dapat disimpulkan bahwa pemodelan beban sudah benar.

Besarnya nilai reaksi akibat gaya berat dan tekan air tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.7;

Tabel 3.7. Reaksi tumpuan akibat beban di kapal KIP Timah 21

Node	Fx	Fy	Fz
2580	1.63E-07	4.25E-07	4.50E-06
5719	1.73E-07	4.10E-07	
total	3.36E-07	8.35E-07	4.50E-06

(Sumber: Hasil Olah Data)

Dari Tabel 3.7 dapat diketahui bahwa total reaksi gaya Fx dan Fy memiliki nilai reaksi hampir mendekati nol begitu juga dengan reaksi gaya Fz mendekati nol, artinya dapat diasumsikan bahwa tidak terjadi reaksi pada kekangan model maka demikian kapal dalam keadaan seimbang statis.

c. Running/Solving

Solving merupakan langkah terakhir dari proses *modeling* guna mendapatkan hasil yang akan dianalisis.

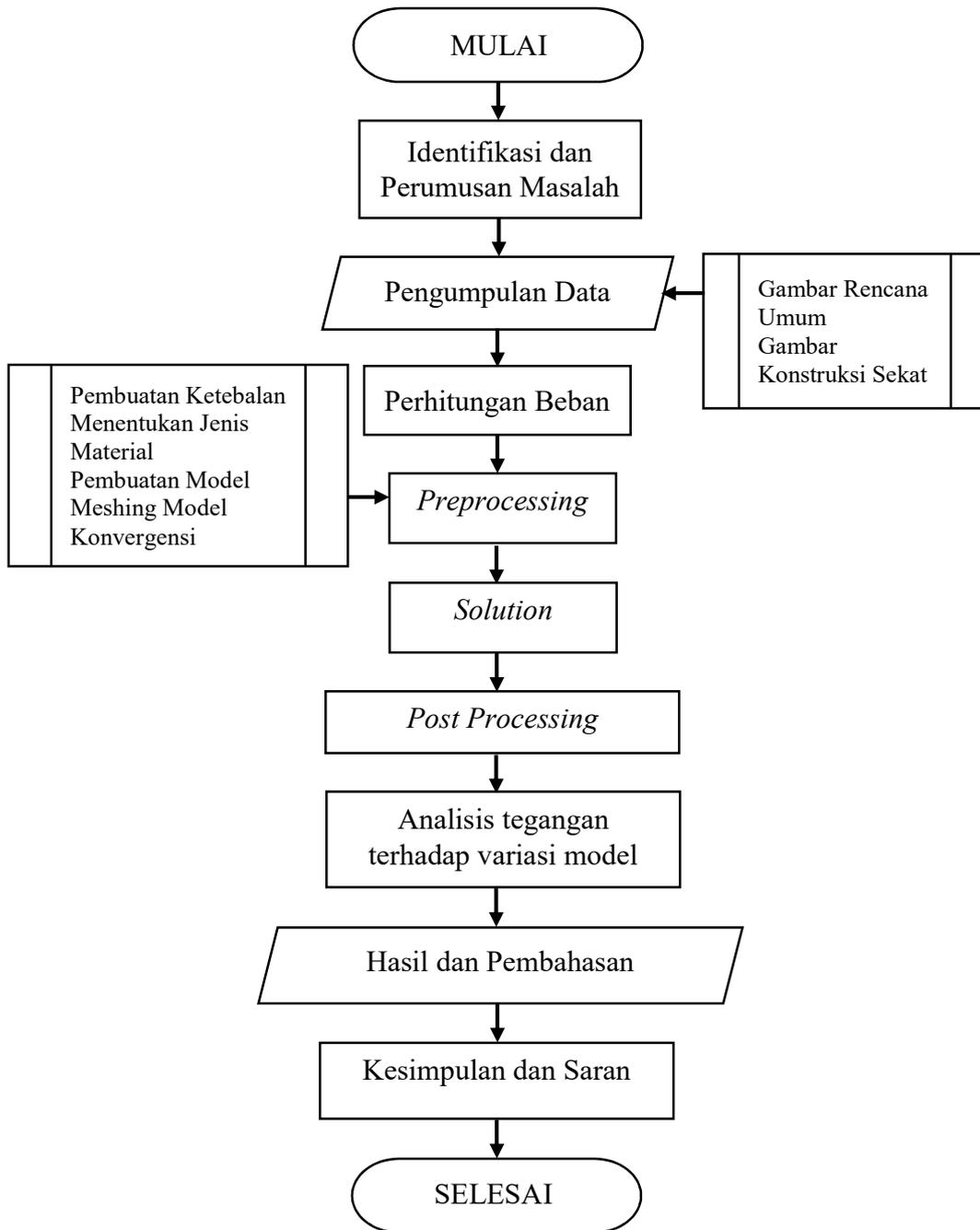
3.5.4. *Postprocessing*

Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk table dan grafik yang meliputi deformasi dan tegangan maksimum pada tiap bentuk konstruksi sehingga dapat ditinjau titik dan pembebanan mana yang mengalami deformasi dan tegangan minimum agar dapat dijadikan evaluasi.

3.6 Kerangka Pikir

Untuk memudahkan proses penyelesaian tugas penelitian ini maka dibuat suatu kerangka analisis untyuk memberikan gambaran tahap-tahap dan prosedur pengerjaan dalam penulisan ini.

Gambaran penelitian ini sajikan dalam bentuk *flowchart* sebagai berikut.



Gambar 3.8. Kerangka pikir
(Sumber: Hasil olah data)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Pembebanan pada Struktur

Pembebanan pada ponton dalam analisis ini adalah persentase beban kapal itu sendiri dan beban akibat tekanan air pada ponton.

4.1.1. Beban Keseluruhan Kapal Isap Produksi Timah 21

Beban keseluruhan kapal isap produksi timah 21 yakni beban akibat tekanan air dan beban berat kapal, beban akibat tekanan air diperoleh dari perhitungan *displacement* sedangkan beban berat kapal yakni *dead weight tonage* (DWT) dan *light weight tonnage* (LWT). DWT dan LWT dihitung berdasarkan komponen kapal dari data spesifikasi teknis kip timah 21-23 serta lokasi kedudukan yang dapat dilihat pada rencana umum kapal isap produksi timah 21, sebagai contoh bahan bakar diesel (mesin pendorong kapal) memiliki volume 184.63 m³, sehingga dapat diperoleh berat dengan mengalikan massa jenis sebesar 0.95 ton/m³, maka diperoleh berat bahan bakar mesin pendorong (Wfo) 175.4 ton. Pembebanan tersebut dikonversi menjadi beban distribusi sesuai dengan panjang setiap sekat ponton., seperti pada Tabel 4.1, sebagai berikut:

Tabel 4.1. Data beban DWT dan lokasinya pada ponton

No.	DWT	Sebaran DWT (sekat ke)	Jumlah sekat	Jarak sekat (m)	Berat (W) (ton)	Panjang (L) (m)	Beban distribusi (q) (ton/m)
	1	2	3	4	5	6 = 3x4	7 = 5/6
1	Bahan bakar (Wfo)						
	A. Pendorong	26-32	6	3	175.4	18	9.74
	B. Produksi	21-23	2	3	4.4	6	0.73
2	Air tawar (Wfw)						
	A. Minum	4-7	3	3	53.3	9	5.92
	B. Pendingin	21-22	1	3	6.0	3	2.00
3	Pembekalan ABK (Wprov)						
		4-6	2	3	35.1	6	5.85
4	Payload/siklus						
		10-11	1	3	10.0	3	3.33
Total (ton)					284.1		

(Sumber: Hasil olah data)

Beban-beban yang ada pada ponton didistribusikan secara merata diatas ponton sesuai dengan lokasinya. Secara umum berat DWT Kapal isap produksi yang ada diperkirakan sebesar 284.1 ton (Lihat lampiran 3). Sedangkan beban LWT kapal diperoleh dari perhitungan *displacement* kapal dikurangi berat DWT, seperti pada Tabel 4.2;

Tabel 4.2. Data beban LWT dan lokasinya pada ponton

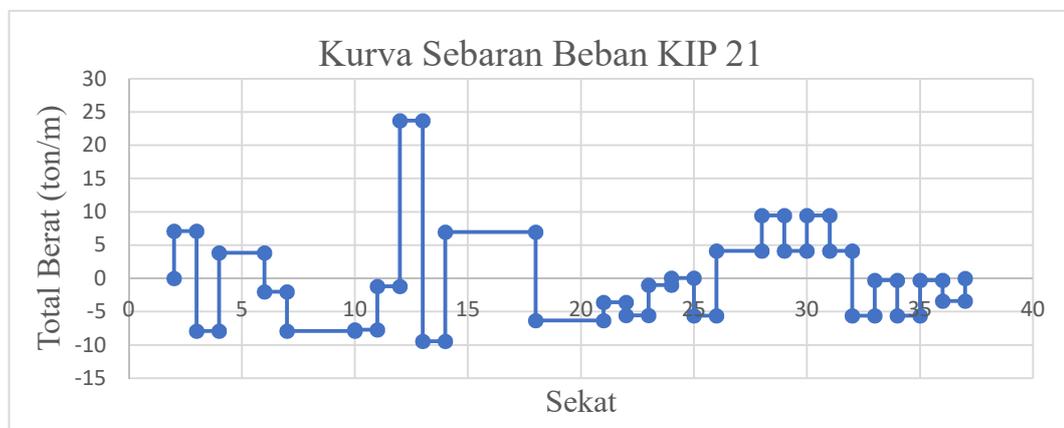
No.	LWT	Sebaran LWT (sekat ke)	Jumlah sekat	Jarak sekat (m)	Berat (W) (ton)	Panjang (L) (m)	Beban distribusi (q) (ton/m)
1	Permesinan (Weng)						
	a. Pendorong	1-3	2	3	39.9	6	6.64
	b. Produksi	11-13	2	3	39.9	6	6.64
2	Perlengkapan dan Peralatan (Woa)						
	a. ABK dan Savety	3-10	7	3	65.5	21	3.12
	b. Pencucian Timah	14-18	4	3	196.5	12	16.37
	d. ABK dan Navigasi	18-25	7	3	65.5	21	3.12
	e. Jangkar	38-39	1	3	2.0	3	0.67
3	Konstruksi (Wst)						
	a. Wst ap	1-12	11	3	160.2	33	4.85
	b. Wst mid	12-25	13	3	128.1	39	3.29
	c. Wst fp	25-39	14	3	32.0	42	0.76
	d. pivot	12-13	1	3	79.5	3	26.50
	e. Skep 1	23-24	1	3	15.9	3	5.30
	f. Skep 2	28-29	1	3	15.9	3	5.30
	g. Skep 3	30-31	1	3	15.9	3	5.30
	h. Skep 4	33-34	1	3	15.9	3	5.30
	i. Skep 5	35-36	1	3	15.9	3	5.30
Total (ton)					888.5		

(Sumber: Hasil olah data)

Beban pada konstruksi kapal isap produksi didistribusikan dengan membagi tiga bagian ap, mid, dan fp setiap bagian ditentukan sesuai dengan rencana umum

secara merata diatas ponton sesuai dengan lokasinya. Secara umum berat LWT Kapal isap produksi yang ada diperkirakan sebesar 888.5 ton. Sehingga dari data tersebut dapat diperoleh *displacement* kapal dengan menjumlahkan berat DWT dan LWT kapal yakni sebesar 1172.6 ton.

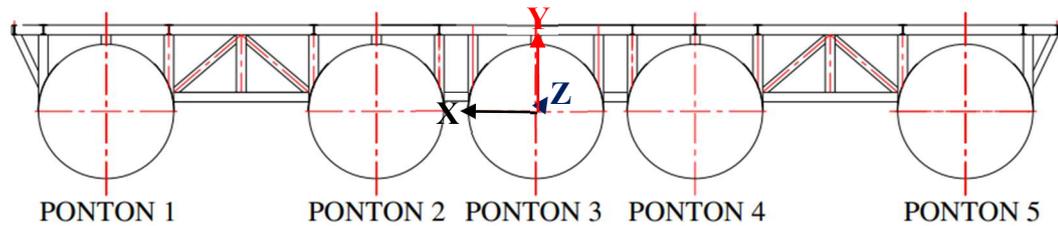
Beban komponen DWT dan LWT diubah menjadi beban merata sepanjang sekat karena jarak antar setiap sekat di ponton sama yakni tiga meter sehingga lebih mudah dianalisis, kemudian beban-beban pada sekat yang sama dijumlah sehingga diperoleh beban berat kapal disetiap sekat, begitupula beban dari tekanan air. Beban Berat dengan arah gaya ke bawah didefinisikan gaya bernilai positif (+) sedangkan beban dari tekanan air merupakan beban yang melawan beban berat didefinisikan gaya bernilai negatif (-) dengan arah gaya ke atas, sehingga diperoleh berat total dengan mengurangi berat kapal dengan beban dari tekanan air. Tabel perhitungan sebaran beban total pada KIP 21 secara umum dapat dilihat pada Lampiran 3 dan kurva sebaran beban total pada KIP 21 dapat dilihat pada Gambar 4.1,



Gambar 4.1. Kurva sebaran beban KIP 21

(Sumber: Hasil olah data)

Penentuan sebaran beban pada ponton, maka sebaran beban KIP 21 disebar disetiap ponton, untuk mempermudah perhitungan maka ponton di simbolkan sesuai lokasinya. Data setiap ponton dapat dilihat pada Gambar 4.2;



Gambar 4.2. Data ponton
(Sumber: PT. DAK)

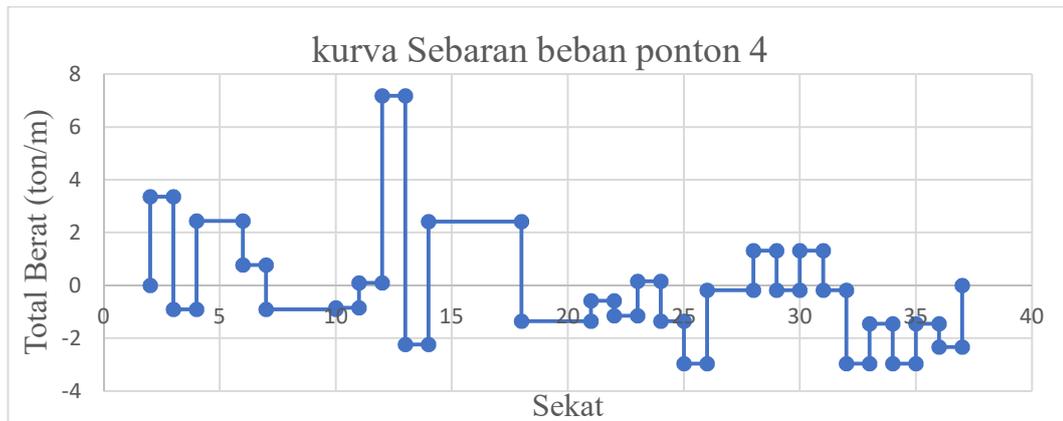
Penentuan sebaran beban pada setiap ponton dapat diketahui dengan mencari persentase setiap ponton. Persentase pembebanan pada setiap ponton dapat diketahui dengan membandingkan *displacement* tiap ponton dengan *displacement* total KIP, seperti pada Tabel 4.3

Tabel 4.3. Persentase Pembebanan pada Ponton

Ponton	<i>Displacement</i> KIP (Dkip) (ton)	<i>Displacement</i> tiap Ponton (Dpn) (ton)	Persentase (%)
1	2	3	$4=3/2$
1		209.73	17.89
2		333.67	28.46
3	1172.60	85.80	7.32
4		333.67	28.46
5		209.73	17.89
total		1172.60	100.00

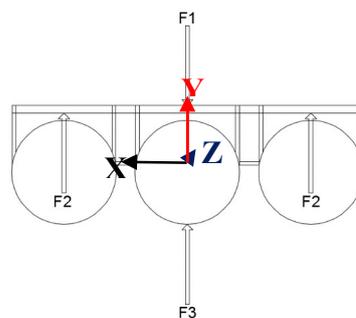
(Sumber: Hasil olah data)

Pada pemodelan dibuat hanya satu ponton untuk mewakili ponton lainnya, maka diambil ponton terpanjang sehingga apabila yang terpanjang dapat menahan beban maka ponton yang lain akan mampu menahannya pula maka dengan itu dipilih ponton 4. Sebaran beban pada ponton 4 diperoleh dengan mengali persentasi pembebanan pada ponton 4 dengan hasil perhitungan sebaran beban total pada KIP 21. Tabel perhitungan sebaran beban ponton 4 secara umum dapat dilihat pada Lampiran dan kurva sebaran beban ponton 4 dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Kurva sebaran beban ponton 4
(Sumber: Hasil olah data)

Pembebanan pada ponton 4 diambil dalam kondisi kapal statis terapung stabil, sehingga gaya-gaya yang bekerja pada ponton seimbang antara beban berat dan tekanan air pada kondisi sarat maksimal. Suatu benda dikata seimbang apabila memenuhi tiga syarat yaitu gaya-gaya yang bekerja berlawanan arah, garis kerja kolinier, dan resultan gaya yang bekerja sama besar. Diambil satu sampel pada ponton yakni jarak sekat 2-3 memiliki gaya berat sebesar $1.95E5$ N, dan gaya apung sebesar $0.96E5$ N. Ilustrasi kesetimbangan seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3. Kesetimbangan
(Sumber: Hasil olah data)

Apabila diasumsikan seimbang serta $F1$ adalah gaya berat sebesar $1.95E5$ N dan $F3$ adalah gaya apung sebesar $0.96E5$ N, maka telah memenuhi dua syarat kesetimbangan yakni berlawanan arah dan garis kerja kolinier tetapi resultan gaya yang tidak sama besar maka ponton belum seimbang. Berat yang dipikul di setiap

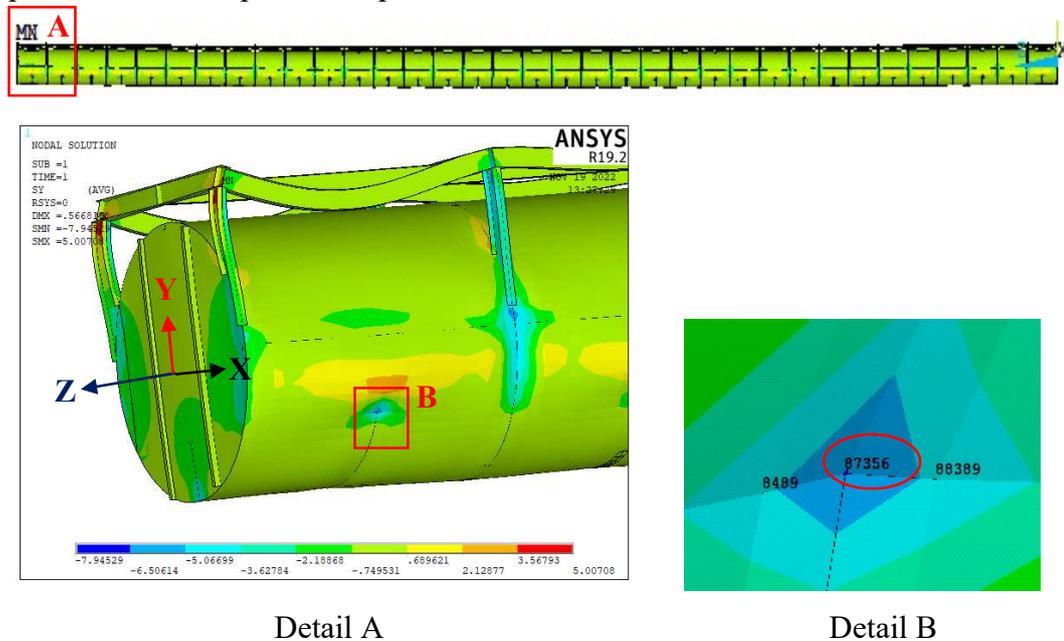
ponton berbeda-beda sehingga yang membuat setimbang adalah resultan semua ponton maka ketika gaya berat ponton tengah sebesar F_1 yakni $-1.95E5$ N (- menunjukkan arah gaya – kebawah dan + keatas), maka ponton lain memberikan konstibusi berupa gaya keatas masing-masing sebesar $4.95E4$ N, sehingga gaya yang bekerja sama besar, maka ponton dalam kondisi seimbang (lihat Lampiran 4).

4.2. Analisis Respon Struktur

Analisis dilakukan dengan lima variasi pemodelan seperti pada Gambar 3.5, setelah dilakukan simulasi kelima model diperoleh bahwa respon struktur terbesar terjadi pada bagian plat luar ponton. Adapun hasil penelitian ini berupa perbandingan tegangan normal (*normal stress*) yakni tegangan arah X, Y dan Z maksimum serta tegangan geser (*shear stress*) XY, YZ dan XZ maksimum. Analisis tegangan pada ponton sebagai berikut;

4.2.1. Tegangan Normal (σ)

Respon plat luar ponton diberbagai variasi pemodelan akibat beban yang telah diberikan, diambil contoh pada model 1, tegangan normal terbesar terjadi pada sumbu Y, dapat dilihat pada Gambar 4.5;

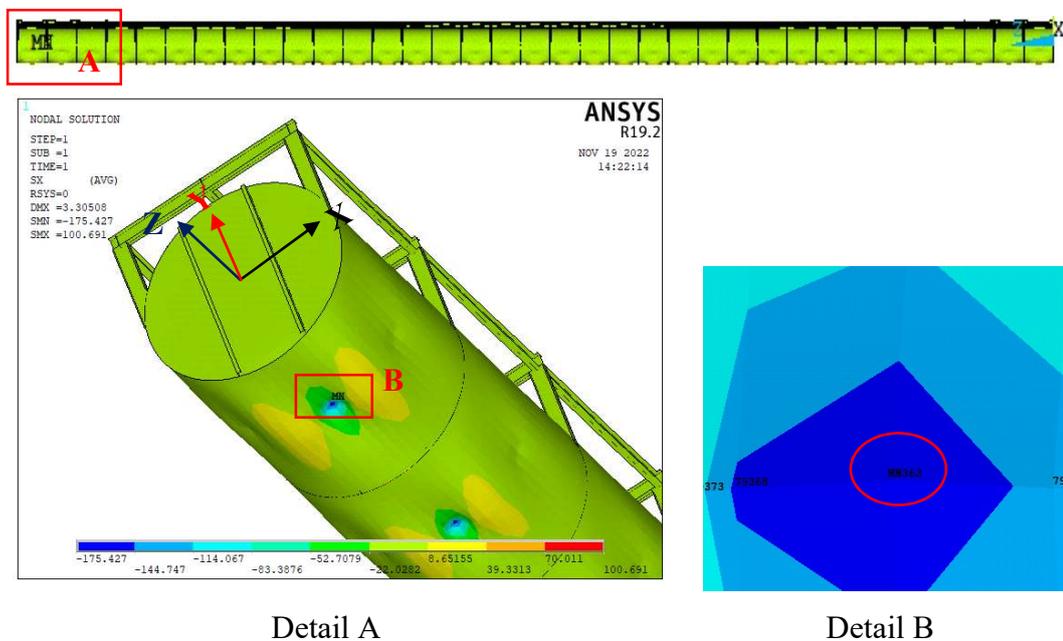


Gambar 4.5. Tegangan normal Y maksimum pada model 1

(Sumber: Hasil olah data)

Pada model 1, daerah tegangan terbesar terjadi di ujung-ujung kapal dikarenakan panjang kapal tidak sama dengan panjang ponton, panjang kapal melebihi panjang ponton sekitar 1-2 jarak sekat atau ± 6 m, sehingga beban di ujung-ujung kapal di pikul oleh ujung-ujung ponton. Daerah ujung ponton, area kritis tegangan pada model 1 terjadi di daerah tengah antar sekat daerah 0.5 sarat ponton. hal ini sebabkan karena berat kapal membebani sisi sekat sedangkan gaya tekan air yang menekan keatas dari bawah ponton menyebabkan plat sisi tengah antar sekat ponton (daerah garis air) tertekan keluar.

Tegangan normal Y pada model 1 menyebabkan terjadinya tegangan tangensial atau tegangan keliling (*circumferential stress* atau *hoop stress*), yaitu tegangan yang searah garis singgung penampang pipa, tegangan terbesar terjadi pada *node* 87356 sebesar 6.537 N/mm^2 . Dari data tersebut dapat diketahui bahwa model 1 memiliki tegangan normal yang relative sangat kecil, begitu pula dengan model 2 dan model 3 memiliki tegangan yang relative kecil juga dengan nilai tegangan normal $< 10 \text{ N/mm}^2$. Sedangkan tegangan pada model 4 tegangan terbesar terjadi pada sumbu X, ditunjukkan pada Gambar 4.6;



Gambar 4.6. Tegangan normal X maksimum pada model 4

(Sumber: Hasil olah data)

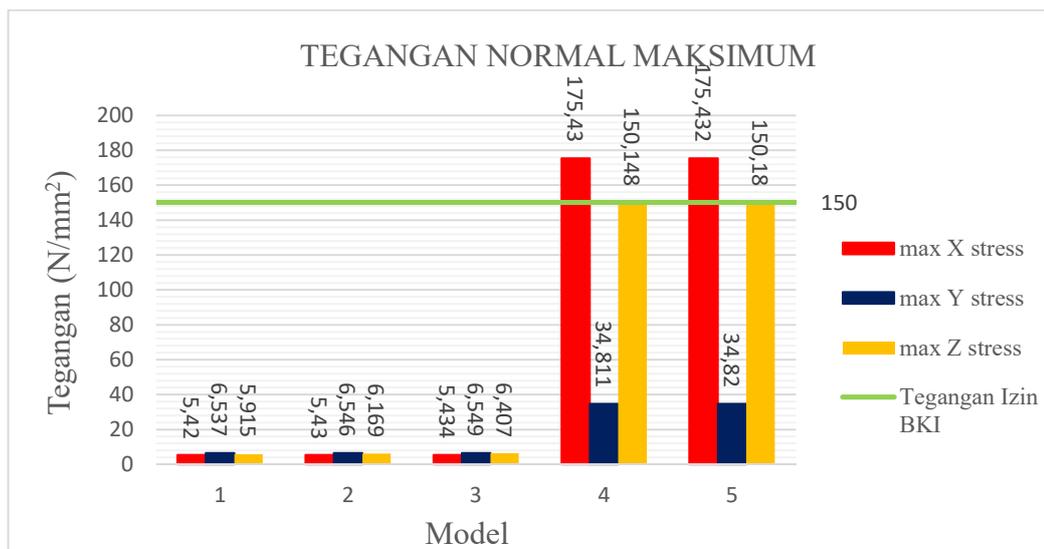
Begitu pula pada model 4 (hanya memiliki penegar sekat vertical) daerah tegangan terbesar terjadi di ujung-ujung kapal, namun area kritis tegangan terjadi di tengah antar sekat daerah bawah ponton (titik tekan air terbesar).

Tegangan normal X pada model 4 menyebabkan terjadinya tegangan tangensial karena sumbu X searah garis singgung penampang pipa bagian bawah, tegangan terbesar terjadi pada *node* 79362 sebesar 175.43 N/mm². Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa model 4 memiliki tegangan yang besar melebihi tegangan izin BKI, begitu pula dengan model 5 memiliki tegangan yang besar pula. Nilai tegangan normal berbagai model dapat dilihat pada Tabel 4.4;

Tabel 4.4. Nilai tegangan normal maksimum

Model	max X stress (N/mm ²)		max Y stress (N/mm ²)		max Z stress (N/mm ²)	
	Node	σ	Node	σ	Node	σ
1	87904	5.42	87356	6.537	5452	5.915
2	86620	5.43	86072	6.546	4736	6.169
3	85389	5.434	84841	6.549	587	6.407
4	79362	175.43	79156	34.811	5147	150.148
5	76804	175.432	1861	34.82	76804	150.18

(Sumber: Hasil olah data)



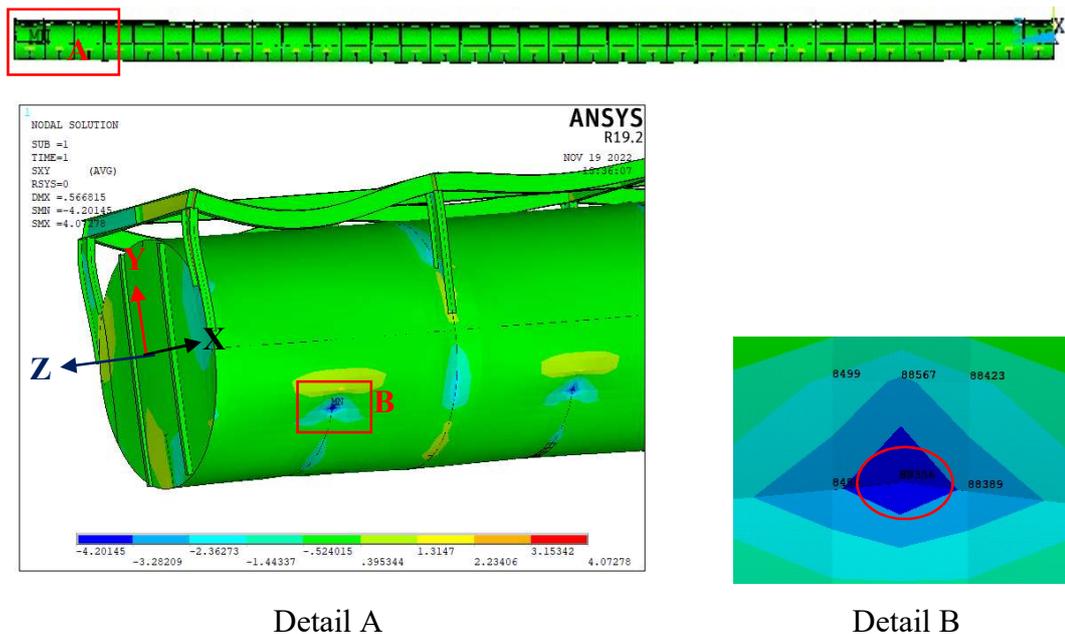
Gambar 4.5. Diagram tegangan normal maksimum

(Sumber: Hasil olah data)

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa model 1, 2 dan 3 memiliki tegangan yang relative sangat kecil, dibandingkan model 4 dan 5 yang memiliki tegangan cukup besar bahkan melewati tegangan izin BKI, sehingga konstruksi ponton kapal isap produksi timah 21 dalam kondisi pembebanan statis pada model 1, 2 dan 3 sangat kuat (aman) sedangkan pada konstruksi model 4 dan 5 kurang kuat (kritis) walaupun tegangan melewati tegangan izin BKI tetapi masih jauh dari *Yield Stress Steel* yakni sebesar 235 N/mm².

3.6.1 Tegangan Geser (τ)

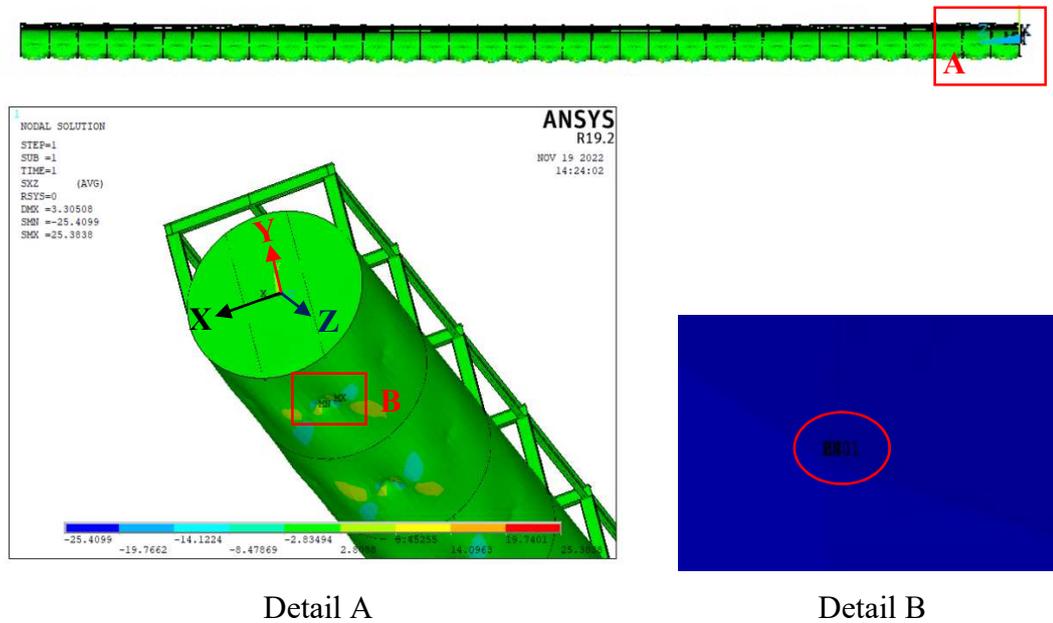
Respon plat luar ponton terhadap tegangan geser akibat beban yang telah diberikan, diambil contoh pada model 1 tegangan terbesar terjadi pada tegangan geser XY, dapat dilihat pada Gambar 4.6;



Gambar 4.6. Tegangan geser XY maksimum pada model 1
(Sumber: Hasil olah data)

Pada model 1, sama dengan tegangan normal daerah tegangan geser terbesar terjadi di ujung-ujung kapal, namun area kritis tegangan terjadi di tengah antar sekat daerah 0.5 sarat ponton. Tegangan geser XY maksimum (*shear stress*) terbesar terjadi antara *node* 87356 sebesar 4.201 N/mm². Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa model 1 memiliki tegangan geser yang relative sangat kecil,

begitu pula dengan model 2 dan model 3 memiliki tegangan yang relative kecil juga. Sedangkan tegangan pada model 4 tegangan terbesar terjadi pada tegangan geser XZ ditunjukkan pada Gambar 4.7;



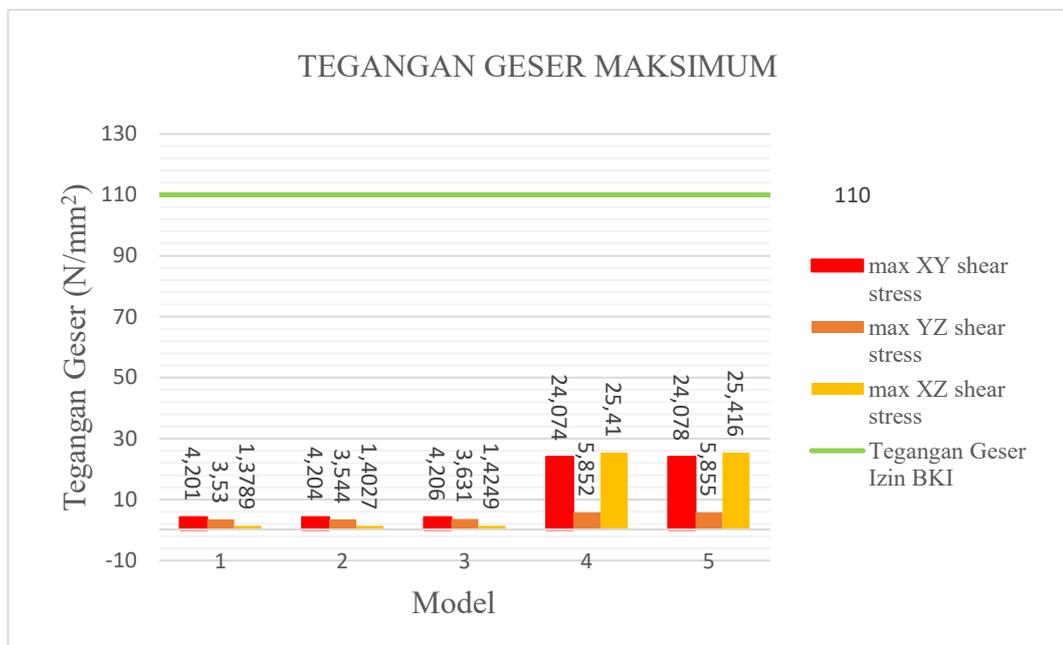
Gambar 4.7. Tegangan geser XZ maksimum pada model 4
 (Sumber: Hasil olah data)

Begitu pula pada model 4 (hanya memiliki penegar sekat vertical) daerah tegangan geser terbesar terjadi di ujung-ujung kapal, namun area kritis tegangan terjadi di tengah antar sekat daerah bawah ponton (titik tekan air terbesar). Tegangan geser XZ maksimum (*shear stress*) terbesar terjadi pada *node 6401* sebesar 25.410 N/mm^2 . Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa model 4 memiliki tegangan yang besar tetapi masih jauh dari tegangan izin BKI, begitu pula dengan model 5 memiliki tegangan yang besar pula. Nilai tegangan geser berbagai model dapat dilihat pada Tabel 4.5;

Tabel 4.5. Nilai tegangan geser maksimum

Model	max XY shear stress (N/mm ²)		max YZ shear stress (N/mm ²)		max XZ shear stress (N/mm ²)	
	Node	τ	Node	τ	Node	τ
1	87356	4.201	1663	3.53	88480	1.3789
2	86072	4.204	1580	3.544	5566	1.4027
3	84841	4.206	1491	3.631	2183	1.4249
4	79156	24.074	78652	5.852	6401	25.41
5	2431	24.078	76166	5.855	6229	25.416

(Sumber: Hasil olah data)



Gambar 4.8. Diagram Tegangan geser maksimum

(Sumber: Hasil olah data)

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa model 1, 2 dan 3 memiliki tegangan yang relative sangat kecil, dibandingkan model 4 dan 5 yang memiliki tegangan cukup besar namun tidak sampai melewati tegangan izin BKI, sehingga konstruksi ponton di berbagai variasi dapat menahan tegangan akibat gaya geser.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dengan bantuan *Software Ansys Mechanical APDL*, diperoleh kesimpulan bahwa meniadakan penegar sisi longitudinal pada tabung silinder ponton KIP menyebabkan kenaikan tegangan yang relative sangat kecil. Persentase kenaikan tegangan normal yaitu 4.29% dan tegangan geser yaitu 1.73% sehingga penegar sisi longitudinal boleh dihilangkan karena pengaruhnya tidak signifikan terhadap konstruksi ponton, begitu pula dengan meniadakan penegar diagonal dan penegar sekat vertikal pengaruhnya tidak signifikan pada kondisi pembebanan statis. Peniadakan penegar *bottom* menyebabkan kenaikan tegangan yang sangat besar. Persentase kenaikan tegangan normal yaitu 3128.38% dan tegangan geser yaitu 1683.28% pada tabung silinder ponton KIP, sehingga pengaruh penegar *bottom* pada tabung silinder sangat vital (signifikan) dalam kekuatan konstruksi ponton, maka penegar *bottom* sangat diperlukan pada kondisi pembebanan statis. Dimana tegangan terbesar terjadi pada daerah ujung ponton, area kritis tegangan terjadi di tengah antar sekat daerah bawah ponton (titik tekan air terbesar) disebabkan oleh tekanan hidrostatik dan tekanan dari penumpu / pilar dari bangunan atas.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlunya analisis lanjut kekuatan konstruksi ponton kapal isap produksi pada pembebanan dinamis;
2. Perlunya analisis selanjutnya mengenai buckling terhadap tegangan pada konstruksi ponton kapal isap produksi;
3. Perlunya analisis mengenai pengaruh jarak tiap ponton terhadap konstruksi ponton kapal isap produksi;
4. Perlunya analisis mengenai maksimal jarak sekat ataupun ketebalan platnya yang efektif agar tegangan konstruksi tidak melebihi tegangan izin BKI.