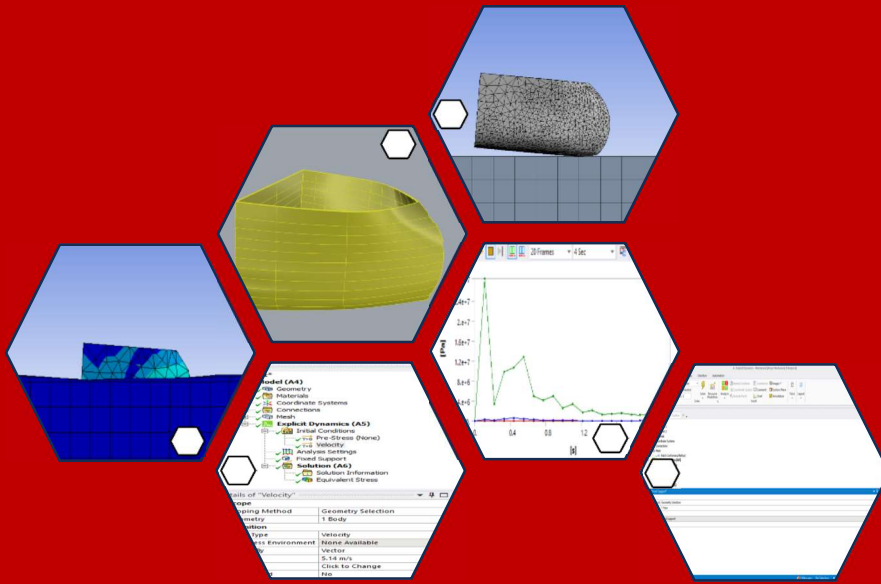


STUDI IMPACT PRESSURE PADA INVERTED BOW MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS



LA ODE MUHAMMAD FAUZI HIDAYAT

D031 20 1059



PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

**STUDI IMPACT PRESSURE PADA INVERTED BOW MENGGUNAKAN
SOFTWARE ANSYS**

LA ODE MUHAMMAD FAUZI HIDAYAT

D031 20 1059



PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

**STUDI IMPACT PRESSURE PADA INVERTED BOW MENGGUNAKAN
SOFTWARE ANSYS**

**LA ODE MUHAMMAD FAUZI HIDAYAT
D031 20 1059**

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Perkapalan

pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

SKRIPSI
STUDI IMPACT PRESSURE PADA INVERTED BOW MENGGUNAKAN
SOFTWARE ANSYS

LA ODE MUHAMMAD FAUZI HIDAYAT
D031 20 1059

Skripsi,

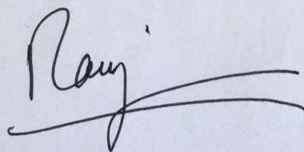
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana Pada Tanggal 10 Oktober
2024

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA

Mengesahkan:

Pembimbing Tugas Akhir,



Ir. Rosmani. M. T.

NIP. 19590910 198612 1001

Mengetahui:

Ketua Program Studi



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

NIP. 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul “Studi Impact Pressure pada Inverted Bow menggunakan Software Ansys”. Adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Ir. Rosmani. M.T.). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku. Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 10 Oktober 2024



LA ODE MUHAMMAD FAUZI HIDAYAT
D031201059

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa. skripsi berjudul “Studi Impact Pressure pada Inverted Bow menggunakan Software Ansys”. Adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Ir. Rosmani. M.T.). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku. Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa,

2024

LA ODE MUHAMMAD FAUZI HIDAYAT
D031201059

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta shalawat dan salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir penelitian yang berjudul “Studi Impact Pressure pada Inverted Bow menggunakan Software Ansys” yang disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S1) di Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri, karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh. Dalam penyusunan laporan penulis tidak mungkin melakukan sendiri tanpa adanya bantuan dari orang-orang disekitar. Melalui lembar ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, **Bapak La Ode Hidayat Asyikin** dan **Ibu Munyati** atas dukungan yang tiada henti serta doa yang senantiasa dipanjatkan yang memudahkan setiap langkah penulis dalam menyelesaikan studi. Semoga bapak dan ibu tercinta di berikan kesehatan dan umur panjang agar bisa melihat anaknya sukses nanti.
2. Dosen Pembimbing, **Ir. Hj. Rosmani MT.**. Terima kasih atas bimbingan, arahan, dan nasihat yang sangat berharga selama proses penulisan skripsi ini. Kesabaran, keikhlasan, dan dedikasi Bapak/Ibu dalam membimbing penulis telah membuka wawasan dan memperkaya pemahaman penulis. Semoga ilmu yang telah diberikan menjadi amal jariyah yang tiada putusnya.
3. Bapak **Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST. MT.** dan Bapak **Ir. Lukman Bochary, MT.** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu dan memberikan evaluasi, kritik, dan masukan yang sangat konstruktif selama ujian skripsi ini. Saran dan arahan Bapak dan Ibu telah membantu penulis untuk memperbaiki dan menyempurnakan penelitian ini.
4. **Dosen - Dosen Teknik Perkapalan** yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama penulis menempuh pendidikan di jurusan ini. Setiap ajaran dan nasihat kalian adalah bekal berharga bagi perjalanan hidup penulis ke depan.
5. **Tenaga Kependidikan Departemen Teknik Perkapalan**, terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya selama penulis menempuh studi di universitas ini. Tanpa kalian, proses akademik dan administratif tidak akan berjalan dengan lancar.
6. Kepada pemilik **NIM D031201071** terima kasih telah mendukung dalam segala hal dan selalu memberi dorongan serta motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan studinya di Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.

7. Kepada keluarga besar **La Siu** dan **Sumiati** atas dukungan yang tiada henti serta doa yang selalu dipanjatkan yang memudahkan setiap langkah dari penulis untuk menyelesaikan studinya di Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
8. Kepada keluarga besar **La Ode Albau** dan **Wa Ode Hunaenah** atas dukungan yang tiada henti serta doa yang selalu dipanjatkan yang memudahkan setiap langkah dari penulis untuk menyelesaikan studinya di Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
9. Kepada saudara-saudara seperjuanganku **Naval 2020**, **Chazer 2020** dan khususnya anak kapal yang kebetulan tinggal di **Palka** terima kasih telah memberikan semangat dan pengalaman tentang makna dari persahabatan selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Perkapalan. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terimakasih kepada kanda-kanda Senior dan dinda-dinda Junior atas motivasi dan dukungannya.
10. Serta semua pihak yang turut serta dalam penyelesaian pendidikan, penelitian, dan penyusunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Penulis menyampaikan ucapan Terima Kasih yang sebesar-besarnya untuk seluruh bantuan yang diberikan. Dengan segala kerendahan hati penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.
11. Dan yang terakhir saya mengucapkan terima kasih banyak kepada **diri saya sendiri** atas perjuangan yang tiada henti walaupun sempat menyerah dengan keadaan. Terima kasih atas kesabaran dalam menghadapi setiap tantangan dan keberanian dalam menjalani setiap proses. Perjalanan yang penuh dengan tantangan, namun dengan tekad dan semangat, kita mampu menyelesaikannya dengan baik.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu

La Ode Muhammad Fauzi Hidayat

ABSTRAK

La Ode Muhammad Fauzi Hidayat. **Studi Impact Pressure pada Inverted Bow menggunakan Software Ansys.** (dibimbing oleh Rosmani)

Kapal merupakan salah satu moda transportasi di bidang maritim. Kondisi perairan (gelombang) bagian penting yang perlu dipertimbangkan dalam pengoperasian kapal. *Slamming* merupakan kondisi bagian haluan kapal naik melewati permukaan gelombang dan masuk kembali ke permukaan air dengan kecepatan tinggi. *Slamming* terjadi saat haluan kapal ditembakkan oleh gelombang laut yang kuat, menyebabkan tekanan yang tiba-tiba dan kuat pada bagian depan kapal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi dampak tekanan pada haluan kapal berbentuk *inverted bow* dengan berbagai sudut menggunakan software ansys. Penelitian ini menggunakan *software* Ansys. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai tekanan untuk sudut jatuh yang lebih kecil menunjukkan tekanan yang lebih besar untuk setiap kondisi kemiringan. Variasi sudut kemiringan pada pengujian *drop test* menunjukkan distribusi tekanan maksimum disekitar haluan kapal. Nilai tekanan maksimum yang dihasilkan terjadi pada saat model pertama kali bersentuhan dengan permukaan air pada waktu 0,11 detik. Adapun tekanan yang terbesar yang dialami yaitu pada sudut kemiringan 5 derajat dengan tekanan $2,85E+07$ Pa dan tekanan terkecil yaitu pada sudut kemiringan 20 derajat dengan tekanan sebesar $2,02E+07$ Pa dan hasil dari penambahan poin pada beberapa titik di bagian haluan menunjukkan distribusi tekanan maksimal di sekitar haluan kapal. Dimana nilai tekanan terbesar pada sudut jatuh 20 derajat dengan nilai secara berurut dari Point 1, Point 2, dan Point 3 yaitu $3,20E+06$ Pa, $4,96E+06$ Pa, dan $1,08E+07$ Pa.

Kata Kunci: *Impact pressure, slamming, inverted bow, drop test, Ansys*

ABSTRACT

La Ode Muhammad Fauzi Hidayat. **Impact Pressure Study on Inverted Bow using Ansys Software** (supervised by Rosmani)

Ships are a mode of transportation in the maritime sector. Water conditions (waves) are an important part that needs to be considered in ship operations. Slamming is a condition where the bow of the ship rises above the surface of the wave and reenters the surface of the water at high speed. Slamming occurs when a ship's bow is hit by a strong ocean wave, causing a sudden and intense pressure on the front of the ship. Therefore, this study aims to investigate the impact of pressure on the bow of an inverted bow ship at various angles using Ansys software. This research uses Ansys software. The results of this research can be concluded that the pressure value for a smaller fall angle indicates greater pressure for each slope condition. Variations in tilt angle in the drop test show the maximum pressure distribution around the bow of the ship. The maximum pressure value produced occurs when the model first comes into contact with the water surface at 0.11 seconds. The greatest pressure experienced was at an inclination angle of 5 degrees with a pressure of $2.85\text{E}+07$ Pa and the smallest pressure was at an inclination angle of 20 degrees with a pressure of $2.02\text{E}+07$ Pa and the results of adding points at several points on the bow showed maximum pressure distribution around the bow of the ship. Where the greatest pressure value is at a fall angle of 20 degrees with sequential values from Point 1, Point 2, and Point 3, namely $3.20\text{E}+06$ Pa, $4.96\text{E}+06$ Pa, and $1.08\text{E}+07$ Pa.

Key Words: *Impact pressure, slamming, inverted bow, drop test, Ansys*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Teori.....	2
1.2.1 Jenis-Jenis Haluan Kapal	2
1.2.2 <i>Inverted Bow</i>	5
1.2.3 Gravitasi.....	6
1.2.4 Gerak Jatuh Bebas	7
1.2.5 <i>Dropping Test</i>	8
1.2.6 <i>Slamming</i>	10
1.2.7 Hukum Kekekalan Energi	11
1.2.8 Ansys	12
1.3 Tujuan dan Kegunaan	16
BAB II	17
METODOLOGI PENELITIAN.....	17
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
2.2 Jenis Penelitian	17
2.3 Jenis Data dan Teknik Pengambilan Data.....	17
2.3.1. Jenis data.....	17

2.3.2. Teknik Pengambilan Data	19
2.4 Metode Pengolahan Data.....	19
2.4.1. Pemodelan 3D	19
2.4.2. <i>Dropping test</i>	22
2.4.3. Menganalisis <i>Water Impact</i> Menggunakan Ansys	23
2.4.4. Simulasi Ansys <i>Explicit Dynamics</i>	24
2.4.5. Verifikasi.....	28
2.4.6. Analisis Data	28
2.4.7. Penarikan Kesimpulan	28
2.4.8. Kerangka Pikir.....	29
BAB III	30
HASIL DAN PEMBAHASAN	30
3.1. <i>Initial Condition</i>	30
3.2. <i>Convergence Condition</i>	31
3.3. Visualisasi <i>Dropping Test</i>	32
3.4. Hasil <i>Dropping Test</i> Haluan Kapal	33
3.4.1. Distribusi tekanan pada haluan untuk sudut kemiringan 5 derajat	33
3.4.2. Distribusi tekanan pada haluan untuk sudut kemiringan 10 derajat.....	34
3.4.3. Distribusi tekanan pada haluan untuk sudut kemiringan 15 derajat.....	34
3.4.4. Distribusi tekanan pada haluan untuk sudut kemiringan 20 derajat.....	35
3.4.5. <i>Impact pressure</i> pada sudut kemiringan 5 derajat	37
3.4.6. <i>Impact pressure</i> pada sudut kemiringan 10 derajat	38
3.4.7. <i>Impact pressure</i> pada sudut kemiringan 15 derajat	39
3.4.8. <i>Impact pressure</i> pada sudut kemiringan 20 derajat	40
3.5. Hasil Analisis	41
BAB IV	45
KESIMPULAN DAN SARAN	45
4.1. Kesimpulan.....	45
4.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN	48

DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Ukuran utama kapal	17
2. <i>Initial condition</i>	30
3. Hasil Convergence	31
4. Nilai tekanan setiap kemiringan	36
5. Nilai tekanan maksimum pada setiap sudut kemiringan.....	41
6. Nilai koefisien tekanan pada setiap sudut kemiringan.....	42

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Haluan kapal <i>plumb bow/straight bow</i>	2
2. Haluan kapal <i>raked bow</i>	2
3. Haluan kapal <i>clipper bow</i>	3
4. Haluan kapal <i>spoon bow</i>	3
5. Haluan kapal <i>bulbous bow</i>	4
6. Haluan kapal ram bow	4
7. Haluan kapal axe bow.....	4
8. Haluan kapal inverted bow.....	5
9. Model AHTS Bourbon Orca.....	5
10. Skema <i>dropping test</i>	9
11. Fenomena <i>slamming</i>	10
12. <i>Lines plan</i> kapal	18
13. Visualisasi model kapal.....	19
14. Proses import file Maxsurf ke Rhinocros 6	20
15. Visualisasi haluan yang akan disimulasikan	20
16. Proses penggambaran ketebalan kulit pada model.....	21
17. Model haluan kapal yang telah solid.....	21
18. Visualisasi dropping test dengan sudut jatuh 5 derajat	22
19. Visualisasi dropping test dengan sudut jatuh 10 derajat	22
20. visualisasi dropping test dengan sudut jatuh 15 derajat.....	23
21. Visualisasi dropping test dengan sudut jatuh 20 derajat	23
22. Area yang dideteksi pada bagian haluan <i>inverted bow</i>	24
23. Contoh penggunaan <i>Tetrahedron Mesh</i>	25
24. Tampilan dari <i>Mesh Methode</i>	26
25. Detail dari <i>Velocity</i>	26
26. Detail <i>Analysis Setting</i>	27
27. Detail dari <i>Fixed Support</i>	27
28. Detail dari <i>Standard Earth Gravity</i>	28
29. Kerangka pikir	29
30. Ukuran kolam	30
31. Kurva <i>Convergence</i>	31

32. Visualisasi <i>time step</i> pada <i>dropping test</i>	33
33. Grafik tekanan pada sudut kemiringan 5 derajat	33
34. Grafik tekanan pada sudut kemiringan 10 derajat	34
35. Grafik tekanan pada sudut kemiringan 15 derajat	35
36. Grafik tekanan pada sudut kemiringan 20 derajat	35
37. Kurva distribusi tekanan secara global sudut jatuh 5 derajat, 10 derajat, 15 derajat dan 20 derajat	37
38. Kurva tekanan pada sudut jatuh 5 derajat	38
39. Kurva tekanan pada sudut jatuh 10 derajat	39
40. Kurva tekanan pada sudut jatuh 15 derajat	40
41. Kurva tekanan pada sudut jatuh 20 derajat	41
42. Nilai tekanan maksimum pada tiap variasi sudut kemiringan	42
43. Nilai koefisien tekanan tiap variasi sudut kemiringan	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Nilai tekanan pada sudut kemiringan 5 derajat.....	48
Lampiran 2 Nilai tekanan pada sudut kemiringan 10 derajat.....	52
Lampiran 3 Nilai tekanan pada sudut kemiringan 15 derajat.....	56
Lampiran 4 Nilai tekanan pada sudut kemiringan 20 derajat.....	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal merupakan salah satu moda transportasi di bidang maritim. Desain kapal menjadi semakin penting dalam menghadapi tantangan di lautan yang beragam, dimana kondisi perairan yang dimaksud adalah gelombang laut yang bisa disebabkan oleh angin dimana angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan.

Keamanan, kinerja, dan keandalan kapal dipengaruhi oleh fenomena *slamming* pada haluan kapal. *Slamming* terjadi saat haluan kapal ditembakkan oleh gelombang laut yang kuat, menyebabkan tekanan yang tiba-tiba dan kuat pada bagian depan kapal. Kerusakan struktural seperti retak atau deformasi pada lambung dapat disebabkan oleh fenomena ini, serta gangguan terhadap kru dan kargo di dalam kapal.

Menurut Hagiwara, K & Yuhara, T (1974), studi mengenai *impact pressure* pada linggi haluan dengan berbagai sudut melalui percobaan model telah dilakukan oleh para peneliti. Dalam studi tersebut, model linggi haluan semi-silinder tiga dimensi dengan skala 1/3 dijatuhkan dari berbagai ketinggian ke permukaan air diam pada sudut relatif kecil (0, 5, dan 15 derajat) dengan total berat jatuh 10 ton setiap kali. Dari hasil percobaan, hubungan antara tekanan impact maksimum, kecepatan impact relatif, sudut relatif antara 2 gelombang haluan dan gelombang lambung, dan radius lengkungan linggi haluan diperoleh. Ditemukan bahwa tekanan impact maksimum akan meningkat sekitar kuadrat dari kecepatan *impact* relatif dan lebih dipengaruhi oleh sudut relatif antara gelombang haluan dan gelombang lambung daripada radius lengkungan linggi haluan.

Baso dkk. (2021) mengkaji tekanan dampak yang dihasilkan oleh *slamming* pada bagian haluan kapal. Mereka melakukan eksperimen dengan menggunakan model kapal yang dijatuhkan pada berbagai sudut untuk mensimulasikan kondisi *slamming*.

Kukuh (2019) *Inverted bow* (kadang-kadang juga disebut sebagai *reverse bow*). *Inverted bow* memaksimalkan panjang garis air dan meningkatkan kecepatan kapal, serta memiliki drag hidrodinamik yang lebih baik dari pada *bow* biasa. Di sisi lain, *inverted bow* memiliki daya apung yang lebih kecil dan cenderung menyelam di bawah gelombang, bukannya menusuk atau melewatinya. Kemudian jenis *bow* ini dikembangkan dan dimodifikasi menjadi *inverted bow*.

Berdasarkan penelitian tersebut, maka peneliti tertarik melakukan penelitian serupa yaitu menginvestigasi tekanan atau *water impact* yang diakibatkan *slamming* namun berfokus pada bagian haluan saja dengan bentuk *inverted bow* dengan

mempertimbangkan parameter seperti beberapa sudut kemiringan dan bentuk struktur kapal itu sendiri.

1.2 Teori

1.2.1 Jenis-Jenis Haluan Kapal

Berikut ini adalah jenis-jenis haluan kapal atau tipe *bow* yaitu sebagai berikut:

1. *Plumb bow/Straight bow*

Jenis haluan kapal yang sejajar sempurna dengan lunas. Ini merupakan bentuk yang sederhana dan umum digunakan untuk kapal yang berlayar di laut. Tipe haluan ini memberikan stabilitas yang memadai dan memastikan perjalanan kapal semulus mungkin. *Haluan plumb bow/straight bow* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Haluan kapal *plumb bow/straight bow*

Sumber: Ilmu kapal dan logistik, 2023

2. *Raked bow*

Jenis haluan kapal yang memiliki bentuk panjang dan miring, sering digunakan pada kapal kayu untuk meningkatkan kemampuan berlayar. Desain ini umumnya ditemui pada kapal mewah dan kapal penumpang selama beberapa periode waktu. Ciri khas dari *raked bow* adalah kelengkungan cekungnya yang meruncing ke garis yang sangat tipis di permukaan air. Haluan *raked bow* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Haluan kapal *raked bow*

Sumber: Ilmu kapal dan logistik, 2023

3. *Clipper bow*

Awalnya dirancang dengan tujuan khusus untuk menjadi kapal yang cepat dan ramping. Nama “*clipper*” berasal dari bentuk haluan kapal. Ini dirancang dengan sisi yang tinggi dan tampilan yang sangat lurus ke depan dengan bentuk yang hampir tajam. Busur jenis ini sangat cocok untuk berlayar karena dapat menembus air dengan hambatan minimum. *Clipper bow* dirancang untuk kapal sangat cepat dan bisa berlari lebih cepat dan mengalahkan sebagian besar kapal lain. Haluan *clipper bow* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Haluan kapal *clipper bow*
 Sumber: Ilmu kapal dan logistik, 2023

4. *Spoon bow*

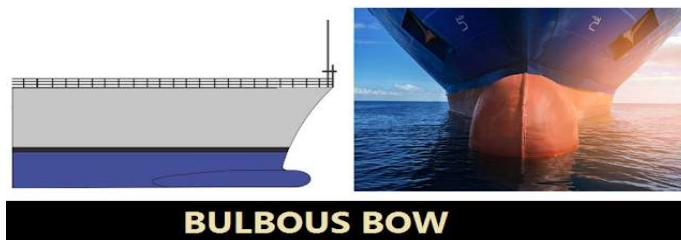
Tipe haluan kapal dengan desain busur yang cembung ke geladak. Alasan disebut haluan kapal “sedok” adalah karena bentuk lekukan di bagian atasnya dengan kurva menyerupai sendok. Desain *bow* seperti ini dapat menghasilkan *wave making resistance* karena kelengkungan pada penampangnya. Haluan *spoon bow* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Haluan kapal *spoon bow*
 Sumber: Ilmu kapal dan logistik, 2023

5. *Bulbous bow*

Tipe haluan yang paling sering ditemui di banyak kapal karena keuntungannya dalam pemakaian ini. *Bulbous* adalah bentuk khas lambung kapal jika dilihat dari permukaan air, yang disebabkan oleh haluan yang bulat lebih dalam di dalam air daripada efisiensi bahan bakar, kecepatan, dan stabilitas. Haluan *bulbous bow* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Haluan kapal *bulbous bow*

Sumber: Ilmu kapal dan logistik, 2023

6. *Ram bow*

Jenis haluan kapal dengan bentuk perpanjangan yang lebih dibangun di bawah air pada bawah lambung kapal. *Ram bow* ini merupakan desain panjang dan ramping yang membantu kapal menembus air dengan efisiensi maksimum, sehingga berbentuk seperti anak panah yang mengarah ke depan. Haluan *Ram bow* dapat dilihat pada Gambar 6.

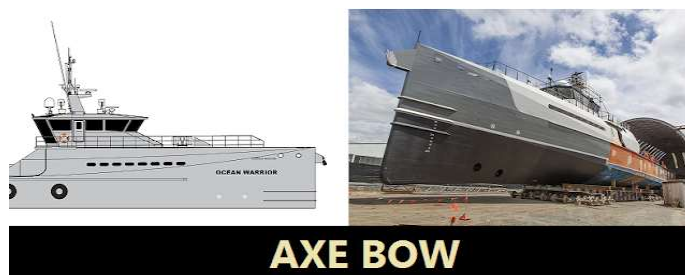


Gambar 6. Haluan kapal ram bow

Sumber: Ilmu kapal dan logistik, 2023

7. *Axe bow*

Tipe *bow* kapal yang memiliki bentuk tajam dan runcing ke depan. *Axe bow* ini biasanya digunakan untuk jenis kapal cepat yang memotong jalan melalui apapun yang dilewati kapal. Alasan disebut *axe bow* karena bagian depan lambung yang panjang, dalam dan sempit yang menyerupai kapak. Haluan *axe bow* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Haluan kapal axe bow

Sumber: Ilmu kapal dan logistik, 2023

8. *Inverted bow*

Inverted bow, yang juga dikenal *X-Bow*, mengacu pada jenis haluan kapal di mana bagian terpanjang tidak berada di bagian atas, melainkan terletak di bagian bawah lambung. Seperti desain bow kapak, haluan ini mengurangi lemparan (gerakan naik turun) dan bantingan, menciptakan pengalaman perjalanan yang lebih baik bagi kru kapal. Haluan *inverted bow* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Haluan kapal inverted bow

Sumber: Ilmu kapal dan logistik, 2023

1.2.2 *Inverted Bow*

Inverted bow, yang juga dikenal *X-Bow*, mengacu pada jenis haluan kapal di mana bagian terpanjang tidak berada di bagian atas, melainkan terletak di bagian bawah lambung. Seperti desain bow kapak, haluan ini mengurangi lemparan (gerakan naik turun) dan bantingan, menciptakan pengalaman perjalanan yang lebih baik bagi kru kapal. Bentuk haluan ini dapat memaksimalkan garis air, meningkatkan kecepatan lambung secara signifikan, dan memberikan hambatan hidrodinamik yang lebih baik dibandingkan dengan busur konvensional (Alfaridzi, 2023).

Pada tahun 2005, Ulstein Group Industries memperkenalkan *X-Bow* yang diperkenalkan penggunaannya pada kapal *Anchor Handling Tug Supply (AHTS) Bourbon Orca* yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Model AHTS Bourbon Orca

Sumber: Ulstein, 2015

Pada Gambar 9, *X-Bow* memiliki karakteristik *bow* yang mengarah kebelakang kapal dimulai dari ujung paling depan kapal. Desain *bow* ini diuji dan dipergunakan untuk mendapatkan kecepatan kapal yang tinggi, hambatan kapal yang rendah serta mengurangi penggunaan bahan bakar minyak. Hasil pengujian yang dilakukan, penggunaan *X-Bow* dapat memecah gelombang haluan secara halus dan mengurangi *speed loss* pada saat kapal beroperasi. Dalam desain kapal, *inverted bow* memaksimalkan panjang garis air dan meningkatkan kecepatan kapal, serta memiliki drag hidrodinamik yang lebih baik daripada bow biasa. Di sisi lain, *inverted bow* memiliki daya apung yang lebih kecil dan cenderung menyelam di bawah gelombang, bukannya menusuk atau melewatinya. Kemudian jenis *bow* ini dikembangkan dan dimodifikasi menjadi *inverted bow* (Priyasambada dan Utama, 2019).

1.2.3 Gravitasi

Konsep gravitasi adalah gaya tarik-menarik antara dua buah massa, dua buah objek atau dua buah partikel. Gaya gravitasi terjadi antar obyek sehingga merupakan kekuatan tarik antara semua benda yang ada. Metode gravitasi adalah metode geofisika berdasar pada hukum gravitasi Newton atau hukum gaya tarik antar partikel (Telford, 1982 ; Blakely, 1995).

Dengan menggunakan hukum keduanya, Newton membuktikan bahwa ada gaya tarik menarik bervariasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara Matahari dan planet akan menghasilkan orbit elips, seperti yang diamati oleh Kepler. Dia kemudian membuat yang berani asumsi bahwa gaya tarik menarik ini bekerja antara dua benda di alam semesta. Sebelum Newton, tidak banyak yang percaya bahwa hukum fisika dapat dipatuhi Bumi dapat diterapkan pada benda-benda langit. (Tipler, 1998).

Newton mengubah pemahaman kita sifat alam nonterrestrial dengan menunjukkan bahwa hukum fisika berlaku sama baiknya terhadap benda-benda terestrial dan nonterestrial. Hukum gravitasi Newton mendalilkan bahwa ada gaya tarik menarik antara setiap pasangan partikel titik itu sebanding dengan produk massa partikel dan berbanding terbalik sebanding dengan kuadrat jarak yang memisahkannya. (Tipler, 1998).

Menurut hukum ini, setiap benda massa saling berinteraksi melalui gaya tarik gravitasi, dimana kekuatan gaya ini bergantung pada massa kedua benda dan kuadrat jarak di antara mereka. Konstanta gravitasi Newton (G) memainkan peran kunci dalam menentukan kekuatan gaya gravitasi.

Meskipun gaya gravitasi bisa sangat kecil untuk benda-benda kecil, seperti kita alami dalam kehidupan sehari-hari, prinsip ini berlaku untuk semua objek dengan massa. Gaya gravitasi juga mempengaruhi waktu, sesuai dengan prinsip Teori Relativitas Umum Einstein. Di permukaan bumi, gaya gravitasi yang bekerja

memberikan berat pada suatu objek. Fenomena ini juga mendominasi gerak planet di sekitar matahari, satelit di sekitar planet, dan sistem tata surya secara keseluruhan.

Pengukuran gaya gravitasi telah diakomodasi melalui berbagai eksperimen, mulai dari eksperimen Galileo hingga eksperimen Cavendish, membantu kita memahami dan mengukur dengan lebih baik kekuatan mendasar ini yang memengaruhi seluruh alam semesta. Gravitasi bukan hanya konsep dalam ilmu pengetahuan, tetapi juga memainkan peran penting dalam eksplorasi angkasa dan dalam memahami dasar-dasar alam semesta yang luas. Adapun rumus hukum gravitasi dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = m_1 g \quad (1)$$

dengan,

F = besar gaya gravitasi antara kedua massa titik tersebut (N),

G = konstanta gravitasi ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$),

m_1 = besar massa titik pertama (kg),

m_2 = besar massa titik kedua (kg),

r = jarak antara kedua massa titik (m), dan

g = percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Dari persamaan ini dapat diturunkan persamaan untuk menghitung gaya berat. Gaya berat suatu benda adalah hasil kali massa benda tersebut dengan percepatan gravitasi bumi. Persamaan tersebut dapat dituliskan seperti pada Persamaan 2 berikut:

$$w = m \times g \quad (2)$$

dengan,

w = Gaya berat (N)

m = massa benda (kg), dan

g = percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$).

1.2.4 Gerak Jatuh Bebas

Gerak jatuh bebas merujuk pada pergerakan benda yang hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi, tanpa adanya gaya-gaya lain yang mempengaruhi. Ketika sebuah benda jatuh bebas, ia akan mengalami percepatan gravitasi konstan, yang di bumi memiliki nilai sekitar $9,8 \text{ m/s}^2$. Gerak jatuh bebas ini dapat dijelaskan oleh hukum-hukum gerak Newton, khususnya hukum kedua Newton.

Gerak jatuh bebas sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Contoh sederhananya adalah buah yang jatuh dari pohonnya. Benda seolah-olah mempunyai kecepatan yang tetap, artinya benda tidak mengalami percepatan yang tetap. Contoh lain penerapan jatuh bebas mengukur tinggi suatu bangunan dengan cara menjatuhkan suatu benda dari atas bangunan kemudian menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan benda tersebut untuk mencapai tanah. Jika jangka waktunya diketahui maka tinggi bangunan juga dapat diketahui. Dalam hal ini, jatuh bebas adalah suatu gerak yang menyebabkan benda bergerak lurus karena pengaruh gaya gravitasi bumi, atau jatuh bebas adalah suatu bentuk gerak langsung dalam satu dimensi yang hanya dipengaruhi oleh percepatan gravitasi bumi (Baso dkk., 2021).

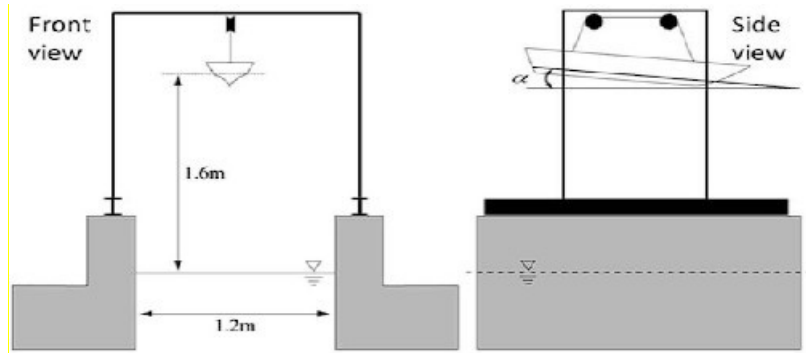
Gerak jatuh bebas terjadi pada semua benda dari ketinggian, berapa pun massa benda tersebut. Sebuah benda berat, yang terlihat seperti batu, mempunyai waktu jatuh yang sama dengan kertas. Sekaligus perlu diperhatikan bahwa benda-benda yang perbedaan beratnya besar dapat jatuh secara bersamaan, kedua benda tersebut dapat jatuh pada waktu yang bersamaan, jika tidak ada gaya gravitasi selain gravitasi bumi. Jadi kedua benda ini bisa jatuh bersamaan di ruang hampa. Karena secara langsung mempengaruhi kecepatan benda terhadap tanah (Baso dkk., 2021).

Pada percobaan gerak jatuh bebas sering di temukan bahwa hasil percepatan yang dialami tidak sesuai dengan kecepatan gravitasi bumi, hal tersebut terjadi karena sesungguhnya benda tersebut telah mengalami peralambatan oleh gaya gesek udara. Percepatan yang dialami benda pada gerak jatuh bebas akan sama dengan percepatan gravitasi bila benda tersebut dijatuhkan pada ruangan hampa udara (Baso dkk., 2021).

1.2.5 Dropping Test

Dropping test adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan produk yang pada hal ini adalah kapal dalam menahan terjatuh. Tes ini melibatkan menjatuhkan kapal dengan cara "jatuh bebas" beberapa kali, dari ketinggian tetap, ke permukaan air di kolam uji. Tujuan dari penelitian ini adalah menggunakan *drop test* untuk mengetahui seberapa besar *impact pressure* yang didistribusikan ke seluruh lambung kapal setelah terjatuh. *Drop test* melibatkan menjatuhkan kapal dari ketinggian tetap dengan berbagai sudut, mulai dari depan, samping, dan belakang kapal.

Untuk *dropping test* pada penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki hubungan antara gerak elastic dan dampak tekanan akibat adanya slamming. Eksperimental dilakukan berdasarkan teori jatuh bebas dengan kecepatan konstan. Pada Gambar 11 dapat dilihat skema dari *dropping test* berdasarkan teori jatuh bebas.



Gambar 10. Skema *dropping test*

Sumber : Baso, dkk (2021)

Penelitian oleh Zhang et al. (2015) mengevaluasi berbagai metode *dropping test* yang digunakan untuk menguji kekuatan struktur kapal penyelamat. Mereka membahas perbedaan antara *free drop test* dan *guided drop test*, serta pengaruh tinggi jatuh terhadap hasil uji. Dalam penelitian ini, metode eksperimental yang melibatkan sensor gaya dan kamera berkecepatan tinggi digunakan untuk mengukur deformasi dan tegangan pada struktur kapal saat jatuh.

Studi oleh Kim dkk. (2016) berfokus pada analisis struktural kapal penyelamat menggunakan simulasi komputer. Mereka menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) untuk memodelkan respons struktural kapal saat mengalami benturan. Hasil simulasi dibandingkan dengan hasil *dropping test* eksperimental untuk memvalidasi model dan memahami distribusi tegangan serta titik kegagalan struktural.

Wang et al. (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh *dropping test* terhadap desain kapal kargo. Mereka menunjukkan bahwa hasil *dropping test* dapat digunakan untuk memperbaiki desain lambung kapal dan struktur internal agar lebih tahan terhadap benturan. Studi ini juga menyoroti pentingnya integrasi hasil uji eksperimental dengan simulasi komputer dalam proses desain kapal.

Penelitian oleh *International Maritime Organization* (IMO) dan *American Bureau of Shipping* (ABS) menetapkan standar dan regulasi untuk *dropping test* kapal penyelamat. Dokumen-dokumen ini memberikan panduan teknis mengenai prosedur uji, kriteria penerimaan, dan pelaporan hasil uji untuk memastikan keselamatan dan kepatuhan terhadap regulasi internasional.

Studi kasus yang dilakukan oleh Lloyd's Register (2019) meninjau hasil *dropping test* pada kapal penyelamat yang digunakan di rig minyak lepas pantai. Penelitian ini menunjukkan bahwa modifikasi desain berdasarkan hasil *dropping test* dapat meningkatkan keselamatan operasional kapal penyelamat di lingkungan ekstrem. Mereka juga mencatat bahwa penggunaan material komposit dapat mengurangi berat kapal tanpa mengurangi kekuatan strukturalnya .

1.2.6 Slamming

Slamming pada kapal adalah fenomena yang terjadi ketika bagian depan kapal atau bagian lain dari lambung kapal terhempas keras ke permukaan air, biasanya disebabkan oleh gelombang tinggi atau kondisi laut yang buruk. Fenomena ini sering terjadi pada kapal cepat dan kapal dengan desain lambung yang datar. Slamming dapat menyebabkan tekanan dan gaya yang sangat besar pada struktur kapal, berpotensi menyebabkan kerusakan struktural dan mempengaruhi kenyamanan serta keselamatan kapal dan awaknya (Faltinsen, 1990). Gambar 11 berikut merupakan contoh fenomena *slamming* pada kapal.



Gambar 11. Fenomena *slamming*

Sumber : https://www.researchgate.net/figure/2-Slamming-phenomenon-ship-falls-down-after-wave-5_fig2_294291948

Slamming adalah fenomena yang terjadi apabila dasar haluan naik melewati permukaan gelombang dan kemudian masuk kembali ke dalam air dengan kecepatan relatif vertikal haluan mempunyai harga yang melewati harga tertentu dan timbul hempasan. Kondisi tersebut berpengaruh pada keselamatan operasi dan kekuatan struktur kapal. *Slamming* juga mungkin dapat mengakibatkan takikan pada plat bagian haluan, *buckling* dan deformasi pada member pendukung struktur haluan.

Slamming terjadi karena terdapat beda fase struktur kapal dengan fase gelombang. Perbedaan fase ini menyebabkan struktur kapal dapat terangkat keluar dari permukaan laut dan setelah itu jatuh menghantam permukaan laut tersebut. Kejadian masuknya lambung kapal ke dalam permukaan laut ini terjadi begitu cepat hingga menghasilkan beban *impact* yang disebut beban *slamming*.

Slamming pada kapal banyak terjadi di daerah operasi yang kondisi lingkungannya mempunyai gelombang yang besar, seperti di *North Sea* dan *Gulf of Mexico*. Di daerah lain meskipun rata-rata kondisi lingkungannya tidak ganas namun *slamming* mungkin terjadi pada musim-musim tertentu dimana gelombang cukup besar.

Menentukan peluang terjadinya *slamming* harus didasarkan 2 syarat. Pertama yaitu dasar haluan naik melewati (*emerge*) gelombang, atau dengan kata lain gerakan relatif vertikal haluan melampaui sarat air bagian haluan ($Z_b > T_b$), dan kedua yaitu kecepatan relatif vertikal haluan mempunyai harga yang melewati harga kecepatan ambang batas *slamming* atau *threshold velocity* (Bhattacharyya, 1978).

1.2.7 Hukum Kekekalan Energi

Hukum kekekalan energi merupakan salah satu prinsip dasar dalam fisika yang menyatakan bahwa dalam sistem tertutup, jumlah total energi tetap konstan sepanjang waktu. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, melainkan hanya dapat berubah bentuk dari satu jenis energi ke jenis energi lainnya. Prinsip ini pertama kali diformulasikan secara jelas pada abad ke-19 oleh fisikawan seperti Julius Robert Mayer, James Prescott Joule, dan Hermann von Helmholtz.

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa dalam sistem tertutup, jumlah total energi tetap konstan. Energi dapat berubah bentuk, seperti dari energi kinetik menjadi energi potensial, atau dari energi kimia menjadi energi panas, tetapi jumlah total energi dalam sistem tersebut tetap sama (Halliday, Resnick, & Walker, 2013).

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha atau menyebabkan perubahan. Energi muncul dalam berbagai bentuk, termasuk energi kinetik, energi potensial, energi termal, energi kimia, energi listrik, dan lain-lain. Dalam konteks hukum kekekalan energi, dua bentuk energi utama yang sering dibahas adalah energi kinetik dan energi potensial.

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa dalam sistem tertutup (sistem tanpa pengaruh dari luar), jumlah total energi tetap konstan. Ini bisa dirumuskan sebagai:

$$Em_1 = Em_2 \quad (3)$$

$$Ep_1 + Ek_1 = Ep_2 + Ek_2 \quad (4)$$

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 \quad (5)$$

Dimana,

E_m : energi mekanik (J)

E_p : energi potensial (J)

E_k : energi kinetik (J)

m : massa benda (kg)

g : percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

h : ketinggian benda dari suatu titik referensi (m)

v : kecepatan benda (m/s)

1.2.8 Ansys

Ansys merupakan *software* berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah – masalah rekayasa (*engineering*). Penggunaan Ansys mencakup simulasi struktur, panas, dinamika fluida, akustik, dan elektromagnetik. Ansys merupakan *Computer Aided Engineering* (CAE) yang dikembangkan oleh Ansys, Inc. Perusahaan tersebut telah mengembangkan banyak produk CAE. Ansys Workbench berisi beberapa fasilitas, diantaranya:

1. *Mechanical*, untuk analisa struktur (statik) dan thermal (perpindahan panas).
2. *Fluid Flow*, yang terdiri dari Ansys CFX dan *Fluent*, untuk analisa CFD (*Computational Fluid Dynamics*).
3. *Engineering Data*, sebagai database material lengkap dengan *properties*-nya, seperti:

A. *Poisson Ratio*

Poisson Ratio adalah konstanta elastisitas yang dimiliki oleh setiap material. Sebuah material yang diberikan gaya satu arah, ditarik maupun ditekan, akan mengalami perubahan bentuk. Selain perubahan bentuk kearah gaya yang diberikan, ada juga perubahan bentuk ke arah yang tegak lurus dengan arah gaya. *Poisson Ratio* adalah perbandingan dari perubahan arah aksial dengan perubahan arah transversal tersebut. Ketika sebuah gaya satu arah diberikan kepada material tersebut sehingga menghasilkan regangan dan membuat material tersebut berdeformasi.

Poisson Ratio dapat menggambarkan karakter dan sifat masing-masing material. Mayoritas material memiliki rentang *poisson ratio* antara -1.0 sampai dengan 0.5. Material yang stabil, isotropis, dan elastis bisa memiliki *poisson ratio* yang berkisar antara 0.0 sampai 0.5. Hal ini dikarenakan modulus young, modulus puntir dan modulus deformasi harus bernilai positif. Karet memiliki *poisson ratio* mendekati 0.5. Polimer busa memiliki *poisson ratio* negatif, jika material tersebut ditarik, ketebalannya justru akan bertambah. Misalnya pada sebuah baja dengan *poisson rasion* 0,3. Hal tersebut berarti bahwa jika ada satu inci per inci deformasi ke arah tegangan yang diberikan, maka akan terdapat 0,3 inci per inci deformasi yang tegak lurus terhadap arah gaya yang diberikan.

B. Massa Jenis

Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda ialah total massa dibagi dengan total volumenya.

Kerapatan suatu zat disebut massa jenis, yang dilambangkan dengan ρ (ρ), yakni hasil bagi massa zat oleh volumenya. Hal ini sesuai dengan sifat utama dari suatu zat, yakni massa dan volume. Secara matematis, massa jenis suatu zat bisa ditentukan melalui persamaan berikut ini:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (6)$$

dengan:

ρ = massa jenis (kg/m^3)

m = massa zat (kg)

V = volume zat (m^3)

C. Modulus Young

Modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan dari suatu benda. Modulus elastisitas dilambangkan dengan E dan satuannya N/m^2 . Modulus elastisitas disebut juga Modulus Young. Modulus elastisitas juga didefinisikan sebagai berikut:

“Selama gaya F yang bekerja pada benda elastis tidak melampaui batas elastisitasnya sehingga perbandingan antara tegangan (σ) dengan regangan (ϵ) adalah konstan.”

Bilangan (konstantan) tersebut dinamakan modulus elastis atau modulus Young (E). Jadi, modulus elastis atau modulus young merupakan perbandingan antara tegangan dengan regangan yang dialami oleh suatu benda. Secara matematis ditulis seperti berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (7)$$

dengan:

E = modulus Young (N/m^2 atau Pa)

σ = tegangan (Pa)

ϵ = regangan

Nilai modulus elastisitas hanya bergantung pada jenis bahan suatu benda, tidak bergantung pada ukuran ataupun bentuk benda.

- a. *Design Modeler*, digunakan untuk membangun geometri model yang akan dianalisa dan juga dapat digunakan untuk memodifikasi hasil gambar dari perangkat lunak *Rhinosceros*.
- b. *Meshing Application*, fasilitas untuk “meshing” baik pada CFD maupun *Explicit Dynamics*.

- c. *Explicit Dynamic*, digunakan untuk menampilkan visualisasi fisik dalam kurun waktu tertentu terhadap pemodelan atau produk yang dibuat, misalnya *drop test*. *Explicit Dynamics* merupakan sub program *analysis systems* Ansys yang berfungsi untuk mengkaji analisis *transient explicit dynamics* yang dapat menampilkan simulasi variasi dalam bidang-bidang rekayasa, termasuk kelakuan pemodelan dinamik nonlinear dari benda-benda solid, fluida, gas dan interaksi yang berkaitan dengannya. Sub program Ansys *explicit dynamics* dapat membantu kita untuk melakukan visualisasi fisik dalam kurun waktu singkat terhadap pemodelan atau produk yang kita buat yang memiliki kasus nonlinear tinggi dan gaya transien dinamik sehingga dapat memaksimalkan desain atau produk yang sudah kita buat.

Persamaan dasar dalam penggunaan analisis elemen hingga *explicit dynamics* ini terdiri dari persamaan, yaitu:

- *Implicit Transient Dynamics*

Persamaan dasar analisis *implicit transient dynamic*, yaitu:

Explicit Dynamics merupakan sub program *analysis systems* Ansys yang berfungsi untuk mengkaji analisis *transient explicit dynamics* yang dapat menampilkan simulasi variasi dalam bidang-bidang rekayasa, termasuk kelakuan pemodelan dinamik nonlinear dari benda-benda solid, fluida, gas dan interaksi yang berkaitan dengannya. Sub program Ansys *explicit dynamics* dapat membantu untuk melakukan visualisasi fisik dalam kurun waktu singkat terhadap pemodelan atau produk yang dibuat yang memiliki kasus nonlinear tinggi dan gaya transien dinamik sehingga dapat memaksimalkan desain atau produk yang sudah dibuat.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (8)$$

Dimana,

- m : matriks massa (kg)
 c : matriks dumping (N s/),
 k : matriks kekakuan (N s/m)
 F(t) : vektor gaya (N)

Dalam waku yang diberikan, t , persamaan ini dapat di gagas sebagai persamaan keseimbangan statik yang juga dapat memberikan jumlah gaya inersia dan gaya damping. Tanda baru metode integrasi waktu (atau penyempurnaan metode HHT) yang digunakan untuk memecahkan masalahdalam diksrit titik waktu. Dalam analisis ini peningkatan waktu diantara titik waktu yang beriringan disebut integrasi tahap waktu.

- *Explicit Transient Dynamics*

Persamaan diferensial parsial untuk memecahkan masalah dalam analisis *explicit dynamics* yang diperlihatkan pada konservasi massa, momentum dan energi dalam koordinat Lagrangian. Persamaan ini bersama-sama dengan pemodelan material dan acuan serta kondisi batas yang ditentukan akan menghasilkan solusi lengkap dalam sebuah masalah yang dianalisis.

Untuk persamaan Lagrangian terdapat pada kasus analisis *explicit dynamics*, perpindahan *mesh* dan penyimpangan pada material tersebut dan konservasi massa secara otomatis akan diperoleh hasil yang memuaskan. Massa jenis pada kurun waktu tertentu dapat ditentukan dari arus volume sebuah daerah dan massa awalnya,

$$\frac{\rho_0 V_0}{V} = \frac{m}{V} \quad (9)$$

Persamaan diferensial parsial yang diekspresikan untuk konservasi momentum berhubungan dengan percepatan tensor tegangan σ_{ij} .

$$\rho \ddot{x} = b_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \quad (10)$$

$$\rho \ddot{y} = b_y + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} \quad (11)$$

$$\rho \ddot{z} = b_z + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \quad (12)$$

Konservasi dari sebuah energi diperlihatkan sebagai,

$$\dot{e} = \frac{1}{\rho} (\sigma_{xx} \dot{\epsilon}_{xx} + \sigma_{yy} \dot{\epsilon}_{yy} + \sigma_{zz} \dot{\epsilon}_{zz} + 2\sigma_{xy} \dot{\epsilon}_{xy} + 2\sigma_{yz} \dot{\epsilon}_{yz} + 2\sigma_{zx} \dot{\epsilon}_{zx}) \quad (13)$$

Persamaan ini digunakan untuk memecahkan kasus-kasus eksplisit pada tiap-tiap element sebuah model yang didasari pada nilai masukan diakhir dari langkah waktu sebelumnya. Peningkatan nilai waktu digunakan untuk meyakinkan kestabilan dan akurasi dari suatu solusi. Catatan bahwa dalam *explicit dynamic* kita tidak mencari persamaan keseimbangan, kita hanya mencari hasil dari sebuah titik waktu sebelumnya untuk memperkirakan hasil pada waktu analisis berikutnya. Tidak diperlukan untuk sebuah iterasi. Dalam hasil simulasi *explicit dynamics*, massa, momentum dan energi harus diperhatikan. Hanya massa dan konservasi momentum yang dihasilkan. Energi diakumulasikan dalam waktu yang lebih dan konservasi di awasi selama proses mencari solusi. Hasil input balik pada kualitas analisis solusi disediakan melalui hasil akhir momentum dan konservasi energi (seperti perlawanan untuk toleransi perbedaan dalam kasus analisis *implicit transient dynamics*).

1.3 Tujuan dan Kegunaan

Adapun tujuan dan kegunaan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar tekanan pada setiap kemiringan haluan kapal dengan bentuk *inverted bow* pada saat mengalami *slamming* menggunakan *software* Ansys.

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pelaksanaan penelitian terhitung mulai dari bulan April hingga Agustus 2024.

2.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini berbasis simulasi, yaitu menginvestigasi gerak *slamming* pada bagian haluan kapal dengan menggunakan *inverted bow* pada berbagai kemiringan dengan simulasi *dropping test* menggunakan *software* Ansys.

2.3 Jenis Data dan Teknik Pengambilan Data

2.3.1. Jenis data

1. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis data primer atau langsung, yang merupakan data yang diperoleh dari hasil simulasi model haluan kapal berupa perilaku kapal akibat tekanan yang diperoleh dari *dropping test* pada sudut yang berbeda.
2. Data sekunder atau tidak langsung, merupakan data yang diperoleh melalui bahan-bahan tertulis dari sumber data yang erat kaitannya dengan penelitian ini. Setelah data sekunder kapal terkumpul, kemudian data akan diverifikasi untuk persiapan pemodelan kapal. Kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis kapal Aluminium. Adapun data ukuran utama dapat dilihat pada Tabel 1.

A. Data Umum

- a. Nama kapal : Farra Eitnhe
- b. Tipe kapal : *Passengesr Ship*
- c. *Flag* : Indonesia
- d. Jenis material kapal : Aluminium

B. Ukuran Utama Kapal

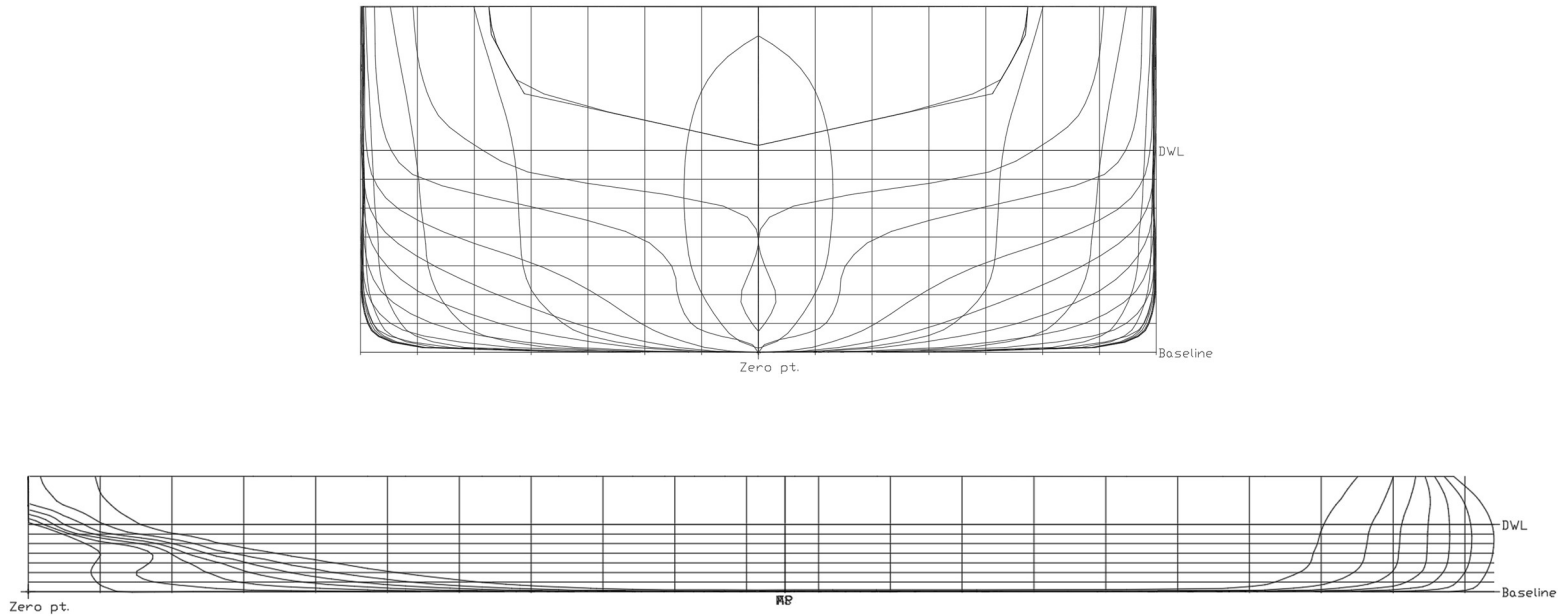
Tabel 1. Ukuran utama kapal

No.	Ukuran Utama	Nilai	Satuan
1	Length Over All (LOA)	24,7	m
2	Length Water Linel (L _{WL})	24,26	m
3	Beradth (B)	8	m
4	Depth (D)	3,23	m
5	Draught (T)	1,84	m

Sumber: PT. KIM SEAH *Shipyards*

C. Rencana Garis Air (*Lines Plan*)

Gambar rencana garis air untuk model kapal yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat seperti Gambar 12 berikut.



Gambar 12. *Lines plan* kapal

Sumber: Hasil olah data

2.3.2. Teknik Pengambilan Data

Adapun metode pengumpulan data penelitian dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Metode simulasi model dan observasi, yaitu metode pengumpulan data dengan cara melakukan pengamatan langsung pada objek yang diteliti dengan tujuan untuk memperoleh informasi yang jelas
2. Dokumentasi, yaitu melengkapi analisis dan memperkuat kesimpulan, seluruh data dan kegiatan dalam penelitian didokumentasikan dalam bentuk gambar.
3. Teknik kepustakaan adalah suatu teknik penelitian dengan cara membaca dan menelaah buku kepustakaan dan sumber-sumber yang bersifat tekstual yang erat hubungannya dengan masalah yang saat ini sedang diteliti oleh peneliti.

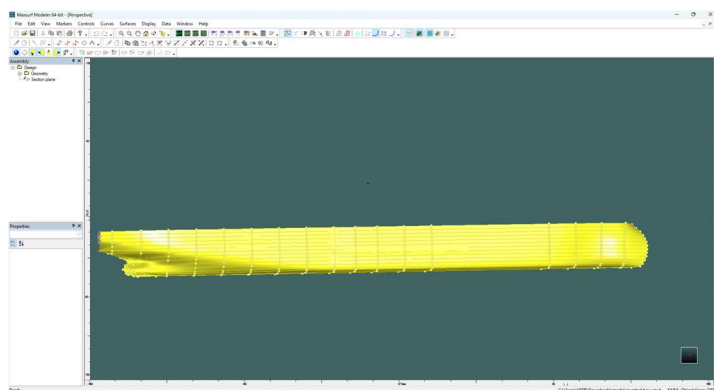
2.4 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan metode numerik dengan bantuan software *Maxsurf pro Modeler V.20 bentley* dan *Rhinoceros 6*, untuk melakukan pemodelan kapal, *Ansys Explicit Dynamic* untuk mensimulasi dan run-up dari rekayasa penelitian yang dibuat, yaitu menghitung tahanan yang dihasilkan oleh model kapal. Adapun Teknik pengolahan data yang digunakan sebagai berikut.

2.4.1. Pemodelan 3D

Pada penelitian ini kapal akan dimodelkan dengan bantuan software *Maxsurf Pro Modeler V.20 Bentley* dan *Rhinoceros 6*. Pemodelan dilakukan dengan membuat gambar lines plan dalam bentuk 2 dimensi menjadi gambar 3 dimensi dengan bantuan software *Maxsurf Pro Modeler V.20 Bentley*. Berikut gambar model kapal.

Kapal dimodelkan dengan bantuan software *Maxsurf Pro Modeler V.20 Bentley* dimana menggunakan *inverted bow*. Visualisasi model kapal yang dibuat di software *Maxsurf Pro Modeler V.20 Bentley* dapat dilihat seperti Gambar 13.

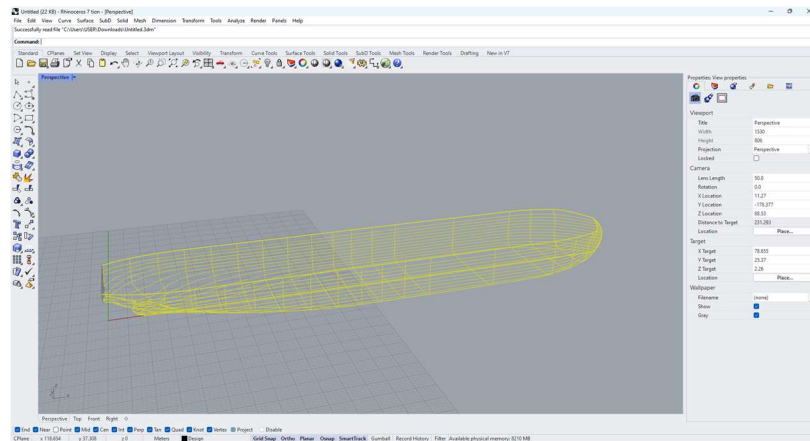


Gambar 13. Visualisasi model kapal

Sumber: Hasil olah data

Penelitian ini hanya berfokus pada haluan saja maka gambar yang akan di simulasikan hanya pada haluan mulai dari sekat haluan hingga ujung *inverted bow*. Gambar yang diperoleh akan diubah jenis dan modelnya dalam bentuk solid dengan menggunakan *Rhinoceros 6*, tujuannya adalah agar model kapal dapat disimulasikan menggunakan *Ansys Explicit Dynamic*. Berikut langkah-langkah untuk membuat model kapal menjadi solid.

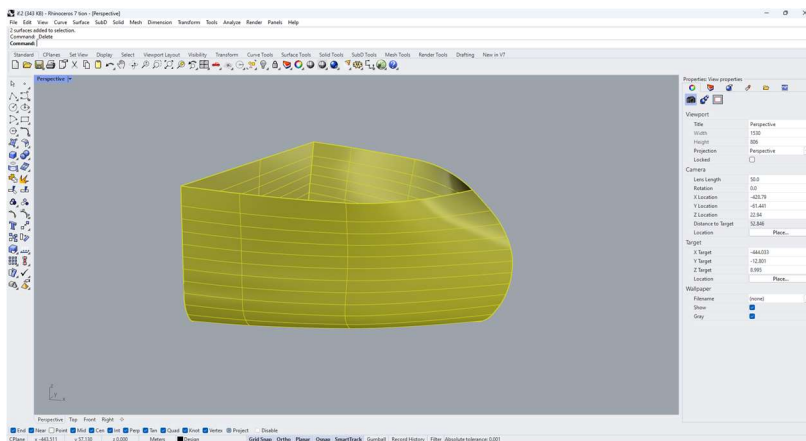
1. Buka *Software Rhinoceros 6* dan *import file* model yang telah dibuat pada *Maxsurf*. Tampilan awal *file* yang telah di *import* seperti pada Gambar 15.



Gambar 14. Proses *import* file Maxsurf ke Rhinoceros 6

Sumber: Hasil olah data

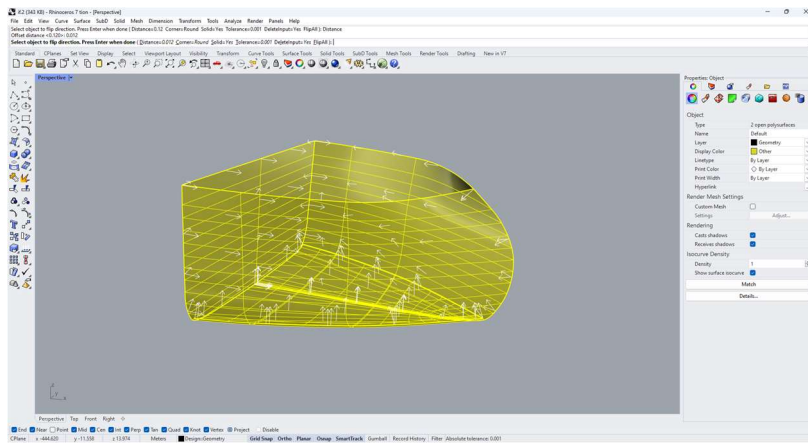
2. Setelah itu model akan di *trim* pada sekat haluannya karena yang akan disimulasikan hanya bagian haluannya saja seperti pada Gambar 16. Hal ini dilakukan untuk memudahkan simulasi yang akan dilaksanakan.



Gambar 15. Visualisasi haluan yang akan disimulasikan

Sumber: Hasil olah data

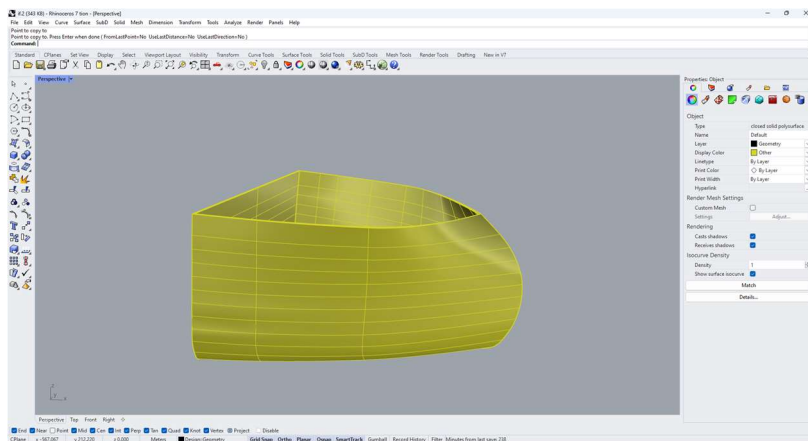
- Setelah itu memberi ketebalan kulit pada model dengan cara menggunakan *tool offsetsurf* seperti pada Gambar 17.



Gambar 16. Proses penggambaran ketebalan kulit pada model

Sumber: Hasil olah data

- Setelah menggambar ketebalan kulit maka model menjadi akan menjadi *Closed Polysurface* pada bagian kanan atas maka model dinyatakan solid seperti pada Gambar 18.



Gambar 17. Model haluan kapal yang telah solid

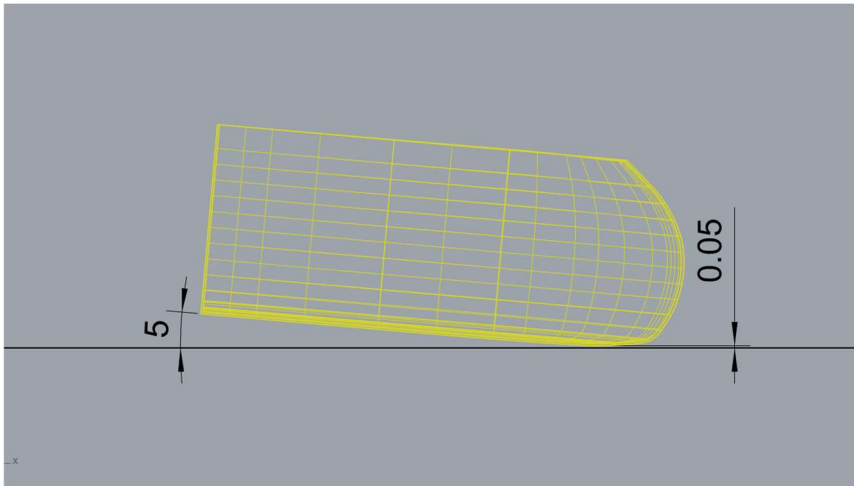
Sumber: Hasil olah data

Selanjutnya model yang telah solid di *export* dalam format rhino 3-D model (.3dm) kemudian dilakukan simulasi pada *Software Ansys Workbench 2021 R2-Explicit Dynamics*.

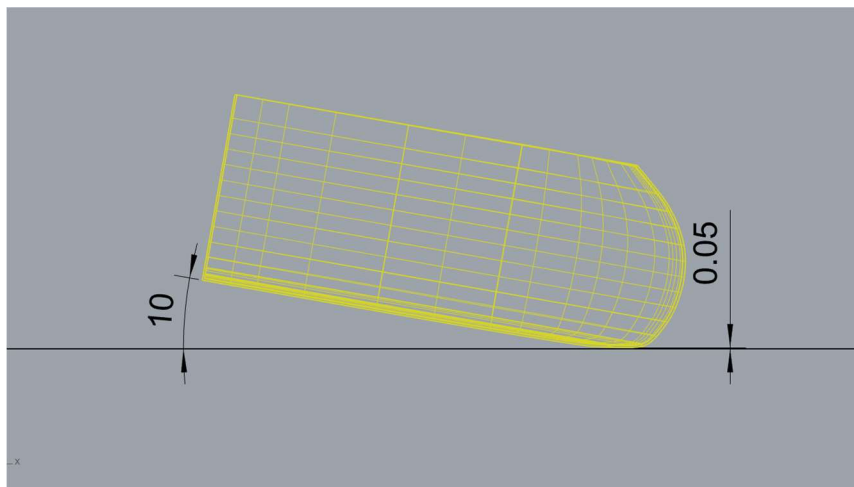
2.4.2. Dropping test

Untuk mendapatkan pengaruh kemiringan linggi haluan terhadap nilai tekanan, simulasi dilakukan dengan 4 sudut kemiringan pada saat dijatuhkan yang disimulasikan menggunakan *Ansys Explicit Dynamics*.

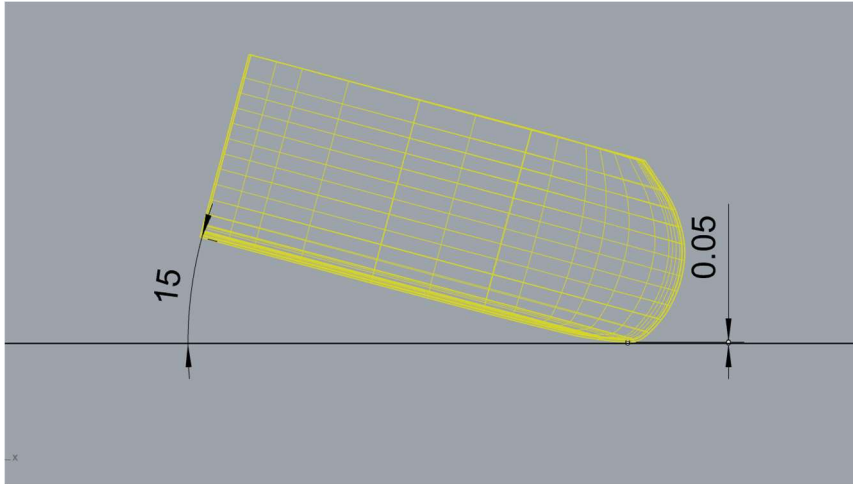
Model haluan kapal diposisikan di atas tanki dengan jarak 5 cm(0.05m) sebelum menyentuh permukaan air. Kemudian dimiringkan sebesar sudut kemiringan jatuhnya (5 derajat, 10 derajat, 15 derajat, dan 20 derajat) pada bagian *inverted bow*. Peletakan haluan kapal dapat dilihat pada Gambar 18, Gambar 19, Gambar 20 dan Gambar 21 seperti berikut.



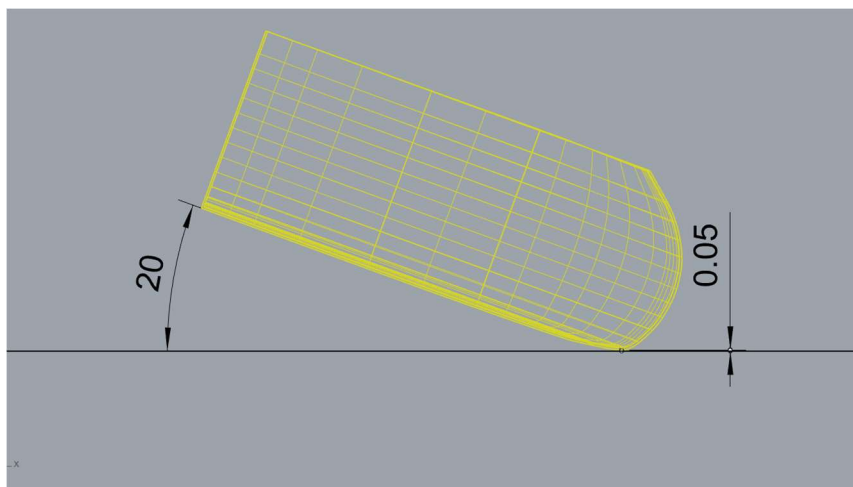
Gambar 18. Visualisasi dropping test dengan sudut jatuh 5 derajat
Sumber: Hasil olah data



Gambar 19. Visualisasi dropping test dengan sudut jatuh 10 derajat
Sumber: Hasil olah data



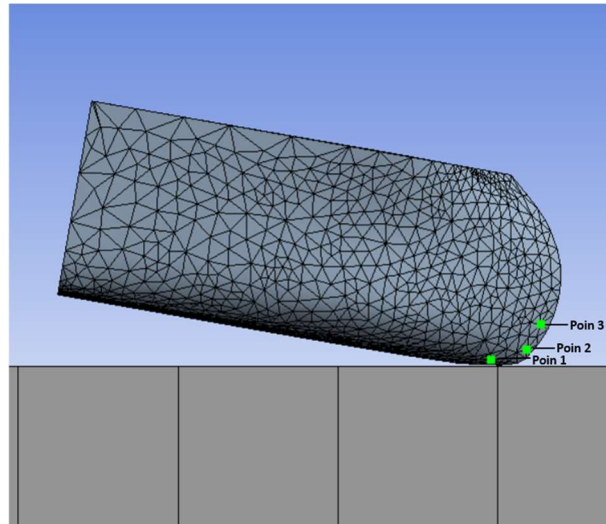
Gambar 20. visualisasi dropping test dengan sudut jatuh 15 derajat
Sumber: Hasil olah data



Gambar 21. Visualisasi dropping test dengan sudut jatuh 20 derajat
Sumber: Hasil olah data

2.4.3. Menganalisis *Water Impact* Menggunakan Ansys

Dengan menggunakan *software Ansys Explicit Dynamic*, menganalisis besar *water impact* di sekitar haluan kapal akibat *slamming* dapat dilakukan. Secara otomatis, *software Ansys* akan menampilkan besar *water impact* dari proses *drop test* pada model haluan kapal. Nilai tekanan diperoleh dengan mendeteksi area di sekitar *inverted bow* sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 22 yang telah ditentukan dan secara konstan untuk tiap kondisi kemiringan.



Gambar 22. Area yang dideteksi pada bagian haluan *inverted bow*
 Sumber: Hasil olah data

2.4.4. Simulasi Ansys *Explicit Dynamics*

Simulasi numerik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *Software Ansys Workbench 2021 R2 -Explicit Dynamics*. Simulasi ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Memulai simulasi *drop test*

Simulasi *drop test* haluan kapal dilakukan dengan *Ansys Workbench: Explicit Dynamics*. *Explicit Dynamics* merupakan sub-program dari analisis sistem Ansys yang dapat menampilkan perilaku model dinamis nonlinear dari benda-benda padat, fluida, gas dan interaksi yang berkaitan dengannya. Tampilan awal *Ansys Workbench: Explicit Dynamics* yang memuat beberapa menu antara lain *Engineering Data*, *Geometry*, *Model*, *Setup*, *Solution*, dan *Results*.

2. Menentukan jenis material

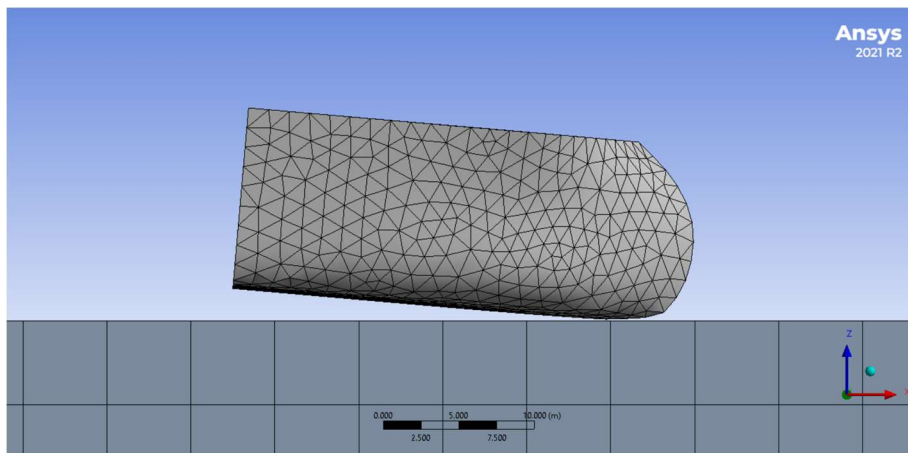
Material yang digunakan untuk simulasi terdiri atas dua jenis, yaitu baja dan air tawar. Pemilihan kedua material ini dapat dilakukan dengan menekan *Engineering Data*. Terdapat material baja yang otomatis ditambahkan pada *Content of Engineering Data*, namun perlu diperhatikan nilai massa jenis, *modulus young*, dan *poisson's ratio* dari material baja karena sangat berpengaruh terhadap simulasi yang akan dilakukan.

Material air dapat dipilih dengan menekan *Engineering Data Sources*. *Engineering Data Sources* memuat berbagai jenis material, mulai dari *General Material*, *Thermal Material*, *Fluid Material* hingga *Geomechanical Material*. Untuk material air sendiri, dapat dipilih pada *Fluid Material* dengan nama *Water Liquid*. Massa jenis dari *Water Liquid* dapat diubah sesuai dengan simulasi dilakukan.

Selanjutnya, mengimpor model haluan kapal, air, serta kolam yang akan disimulasikan pada menu utama *Geometry*. Hasil *import* akan terdefinisi sebagai suatu geometri, dimana geometri tersebut terbagi menjadi beberapa *part* atau bagian. Bagian-bagian tersebut harus didefinisikan sesuai dengan jenis material yang telah ditentukan sebelumnya.

3. *Meshing*

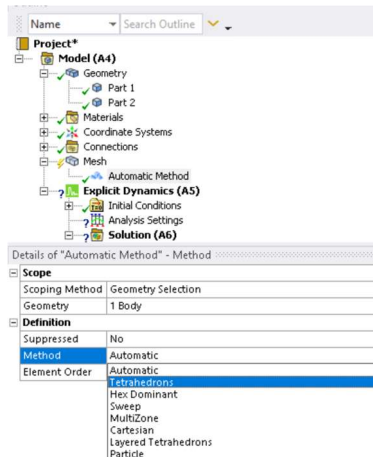
Proses *meshing* atau *gridding* merupakan proses yang sangat mempengaruhi hasil akhir dari simulasi yang dilakukan, baik akurasi hasil, kecepatan komputasi hingga visualisasi hasil. *Mesh* yang sangat padat bisa saja dibuat sehingga memperoleh hasil yang akurat, namun perlu diingat pula bahwa semakin banyak *mesh* yang digunakan, semakin banyak pula memori dan persamaan yang harus diselesaikan dalam proses komputasi atau *solving* nantinya. Jenis *mesh* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Tetrahedron*, dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Contoh penggunaan *Tetrahedron Mesh*

Sumber: Hasil olah data

Jenis *mesh* ini sangat adaptif terhadap bentuk-bentuk yang tidak reguler, sehingga cocok untuk bentuk haluan kapal. *Tetrahedron Mesh* dapat diatur pada *Mesh Method*, yang lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. Tampilan dari *Mesh Methode*

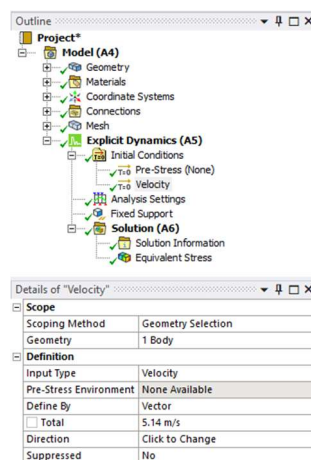
Sumber: Hasil olah data

4. Mengatur *solver*

Pengaturan *solver* bertujuan untuk agar simulasi yang dilakukan sesuai dengan *experiment* ataupun fenomena yang sesungguhnya.

a. *Velocity*

Velocity bertujuan untuk menambahkan kecepatan suatu geometri dengan arah dan jarak tertentu. Simulasi yang akan dilakukan yaitu *drop test* haluan kapal pada ketinggian 1,5 meter dari permukaan air. Tetapi, simulasi tersebut memerlukan waktu yang sangat lama maka tinggi *drop test* diturunkan menjadi 5 cm sebelum menyentuh permukaan air sehingga penambahan kecepatan disesuaikan dengan kondisi tersebut. Penambahan kecepatan pada geometri dapat dilihat pada Gambar 25.

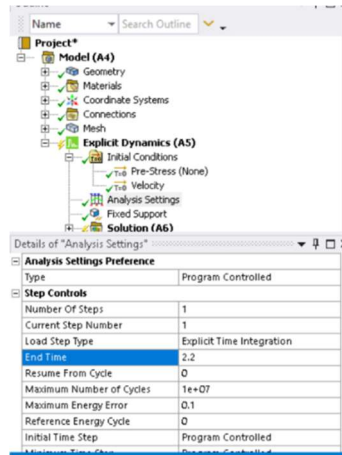


Gambar 25. Detail dari *Velocity*

Sumber: Hasil olah data

b. *Analysis setting*

Pada gambar 26, menunjukkan *end time* dari simulasi yang akan dilakukan. *End time* adalah waktu maksimum suatu fenomena yang akan disimulasikan pada *software* Ansys.

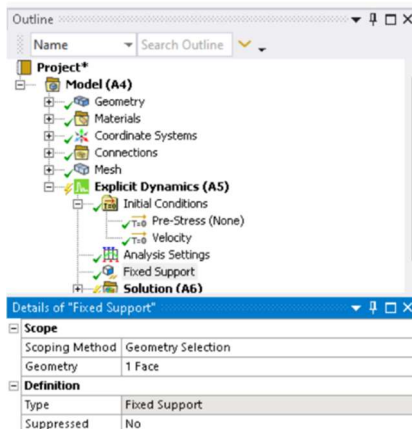


Gambar 26. Detail *Analysis Setting*

Sumber: Hasil olah data

c. *Fixed support*

Fixed support bertujuan untuk menahan geometri pada posisinya akibat gaya gravitasi. Pengaturan *fixed support* dapat dilihat pada Gambar 27.



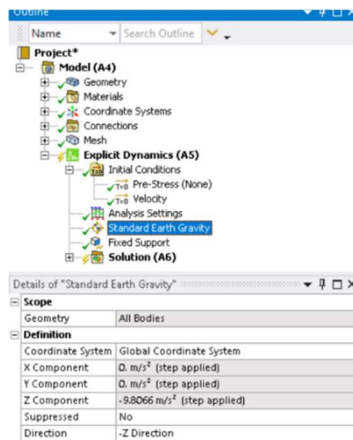
Gambar 27. Detail dari *Fixed Support*

Sumber: Hasil olah data

d. *Standard earth gravity*

Menambahkan *Standard earth gravity* bertujuan agar geometri dapat jatuh bebas sesuai dengan arah yang dikehendaki. Gambar 28 menunjukkan

bahwa geometri berada di sumbu z, sehingga *direction* atau arah gravitasi harus bernilai negatif di sumbu z.



Gambar 28. Detail dari *Standard Earth Gravity*

Sumber: Hasil olah data

2.4.5. Verifikasi

Pada tahap ini, hasil simulasi yang didapatkan akan diverifikasi sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Jika hasil simulasi tidak memenuhi persyaratan, maka dilakukan pengecekan ulang terhadap permodelan serta tahap simulasi yang telah dikerjakan sebelumnya. Adapun verifikasi yang dimaksudkan adalah pengecekan kontrol konvergensi model.

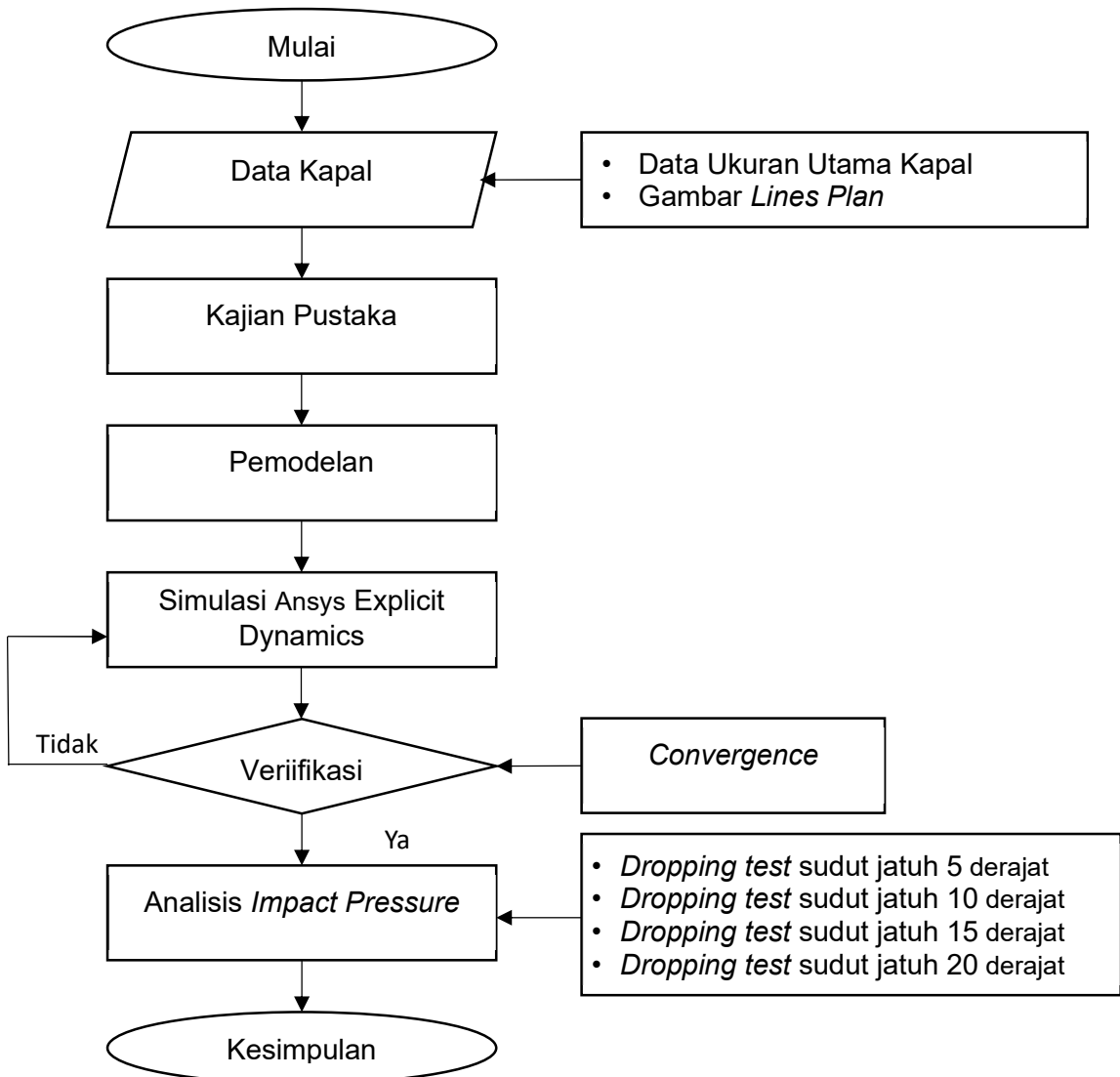
2.4.6. Analisis Data

Setelah proses running dan verifikasi telah selesai, maka secara otomatis software mengeluarkan beberapa hasil sesuai parameter dan karakteristik yang telah diinput. Adapun hasil yang dikeluarkan berupa *impact pressure* pada seluruh model haluan kapal yang dimiringkan dan pada era yang telah ditentukan.

2.4.7. Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini, dilakukan penarikan kesimpulan terhadap hasil analisis yang dilakukan dan sekaligus menjawab rumusan masalah pada penelitian ini.

2.4.8. Kerangka Pikir



Gambar 29. Kerangka pikir