

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki wilayah perairan yang luas dengan kondisi perairan yang berbeda-beda. Kondisi perairan ini disebabkan oleh angin di berbagai daerah perairan di Indonesia yang menyebabkan terjadinya gelombang. Dengan kondisi gelombang di perairan Indonesia yang berbeda-beda menjadi tantangan tersendiri dalam proses mendesain kapal.

Salah satu faktor yang sangat berpengaruh pada saat kapal berlayar adalah tinggi gelombang. Tinggi gelombang yang ekstrim dapat menyebabkan terjadinya fenomena *slamming* pada kapal. *Slamming* adalah suatu peristiwa yang terjadi pada saat kapal mengalami gerakan vertikal dan dalam kondisi gerakan yang ekstrim dapat menyebabkan haluan kapal keluar dari permukaan air dan kembali jatuh ke permukaan air. Fenomena *slamming* dapat menyebabkan *impact pressure* yang kuat pada lambung kapal terutama pada bagian haluan kapal.

Rousset J.M dan rekannya (2006), melibatkan penggunaan sel-sel tekanan (Druck PDCR 200) yang terdiri dari 12 sensor di bagian haluan dan 7 sensor di buritan kapal. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk memahami beban hampasan yang dialami kapal, termasuk getaran, kelelahan pada balok penopang, dan kekuatan utama kapal.

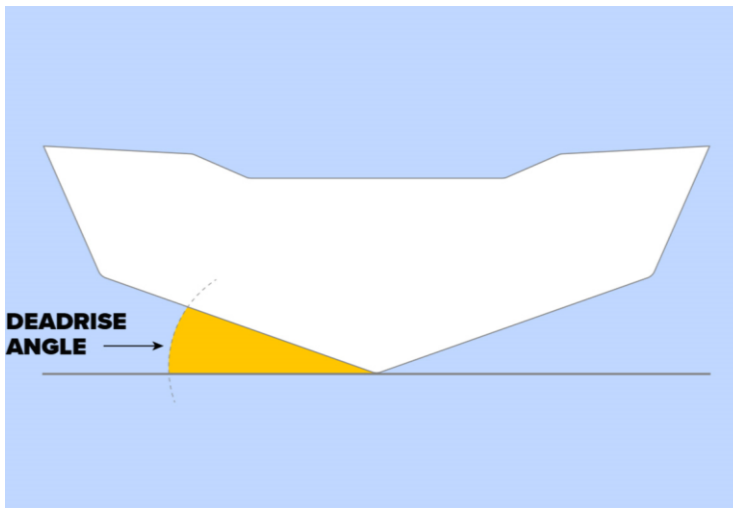
Anghileri M. dan tim (2007) meneliti terkait dampak air pada struktur kapal, yang fokus pada interaksi antara struktur dan *fluida*. Mereka menggunakan 12 *strain gauge* yang ditempatkan pada model percobaan untuk mengukur besar beban dampak air tersebut.

Berdasarkan penelitian tersebut maka, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian yang sama terkait tekanan atau water impact yang diakibatkan *slamming* namun berfokus pada bagian haluan kapal saja. Pada penelitian ini akan mempertimbangkan beberapa sudut kemiringan dan bentuk struktural kapal itu sendiri dengan menggunakan 12 sensor yang dipasang pada bagian haluan kapal. Pada penelitian ini, peneliti akan melakukan percobaan model di laboratorium untuk mengetahui tekanan pada lambung kapal saat mengalami *slamming* dengan judul: "STUDI *IMPACT PRESSURE* PADA LAMBUNG KAPAL DENGAN BERBAGAI *DEADRISE ANGLES* MELALUI PECOBAAAN MODEL"

1.2. Teori

1.2.1. Deadrise Angle

Deadrise Angle merupakan sudut yang terbentuk antara lambung kapal dengan garis *horizontal* pada penampang melintang kapal. *Deadrise angle* menunjukkan tingkat kemiringan pada lambung kapal, terutama pada bagian *bottom* kapal. *Deadrise angle* sangat penting diperhitungkan pada kapal karena sangat berpengaruh pada saat kapal bergerak dengan kecepatan tinggi atau pada saat kapal berlayar pada kondisi perairan yang berombak. Gambar *Deadrise Angle* pada kapal dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. *Deadrise Angle*

Sumber : Google picture

1.2.2. Gravitasi

Gravitasi merupakan konsep tentang gaya tarik antara semua partikel dengan massa di alam semesta. Gravitasi dari matahari menyebabkan benda-benda langit bergerak mengelilinginya dalam orbit tertentu. Untuk menggambarkan gravitasi, fisika modern menggunakan Teori Relativitas Umum Einstein, tetapi Hukum Gravitasi Universal Newton yang lebih sederhana sering kali sudah cukup akurat untuk banyak situasi. Misalnya, benda-benda di sekitar Bumi, termasuk makhluk hidup, ditarik ke Bumi karena massa Bumi yang besar menghasilkan gaya gravitasi yang signifikan (Himaya, 2016).

Dalam teorinya, Newton menunjukkan bahwa gaya tarik yang berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara Matahari dan planet menghasilkan orbit elips yang diamati oleh Kepler. Dia berani mengasumsikan bahwa gaya ini berlaku antara dua benda di alam semesta, dan sebelum Newton, sedikit yang percaya bahwa hukum fisika berlaku untuk benda-benda langit.

Hukum Gravitasi universal berbunyi "*Setiap massa menarik titik lainnya dengan gaya segaris dengan garis yang menghubungkan kedua titik. Besar gaya tersebut berbanding lurus dengan perkalian kedua massa tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua massa titik tersebut.*" Sehingga,

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

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 sebagai berikut:

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

dengan,

w = Gaya berat (N)

m = massa benda (kg), dan

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

1.2.3. Tekanan

Tekanan adalah konsep penting dalam fisika yang memengaruhi banyak aspek kehidupan, dari hukum gas hingga aliran fluida dan bahkan tekanan atmosfer yang kita alami setiap hari. Tekanan terjadi saat gaya bekerja pada suatu area, dan nilai tekanan dapat dihitung menggunakan rumus dasar yang mencakup gaya dan luas penampang. Tekanan memiliki dampak yang sangat besar pada berbagai sistem fisik dan proses, baik itu pada skala kecil maupun dalam skala besar. Dampak tekanan ini dapat dilihat dari beberapa perspektif: perubahan bentuk, perubahan fasa, efek pada kesehatan, pengaruh terhadap material, serta dampaknya terhadap teknologi dan lingkungan. Tekanan pada Lambung Kapal adalah salah satu topik yang terkait dengan mekanika fluida, khususnya dalam konteks tekanan hidrostatik yang bekerja pada struktur kapal yang berada di dalam air. Tekanan ini terjadi karena adanya massa air yang menekan lambung kapal baik di dalam maupun di luar kapal.

Tekanan didefinisikan sebagai gaya yang diberikan per satuan luas. Secara matematis, tekanan dapat dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Dimana:

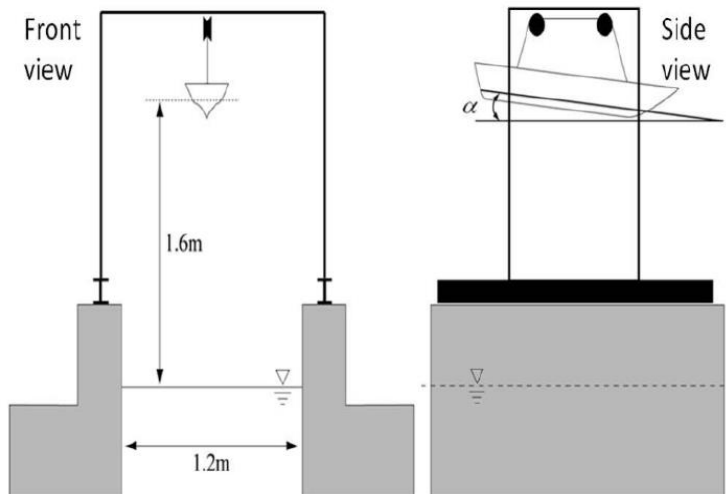
P = Tekanan (dalam pascal, Pa)

F = Gaya (dalam newton, N)

A = Luas penampang (dalam meter persegi, m^2)

1.2.4. Dropping Test

Uji drop test adalah metode pengujian yang dilakukan dengan menjatuhkan suatu objek dari ketinggian tertentu untuk menilai kemampuannya dalam menahan dampak. Dalam konteks penelitian ini, tujuan dari drop test adalah untuk mengukur besarnya tekanan atau dampak air yang terjadi pada kapal saat dijatuhkan dari ketinggian tertentu. Selama uji drop test ini, kapal akan dijatuhkan dari berbagai sudut kemiringan dan ketinggian yang telah ditentukan. Skema *dropping test* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Skema dropping test
Sumber : Baso, 2010

1.2.5. Teori Slamming

Slamming adalah fenomena yang terjadi saat bagian dasar haluan kapal melonjak di atas permukaan gelombang dan kemudian kembali masuk ke dalam air dengan kecepatan vertikal relatif yang tinggi, sehingga menimbulkan hempasan kuat. Fenomena ini memiliki dampak signifikan terhadap keselamatan operasional dan kekuatan struktural kapal. *Slamming* bisa menyebabkan kerusakan seperti takikan pada plat bagian haluan, buckling (lendutan), dan deformasi pada struktur pendukung bagian haluan kapal (Ge Wang, 2002).

Slamming terjadi karena adanya perbedaan fase antara struktur kapal dan gelombang. Perbedaan ini menyebabkan kapal terangkat dari permukaan air dan kemudian jatuh kembali, menghantam permukaan air dengan sangat cepat, sehingga menimbulkan beban impact yang dikenal sebagai beban *slamming*. Fenomena *slamming* ini sering terjadi di daerah operasi yang memiliki kondisi lingkungan dengan gelombang besar, seperti di North Sea dan Gulf of Mexico. Di daerah lain, meskipun kondisi lingkungan secara umum tidak terlalu ekstrem, *slamming* masih dapat terjadi pada musim tertentu ketika gelombang cukup besar.

Untuk menentukan peluang terjadinya *slamming*, dua syarat harus dipenuhi. Pertama, dasar haluan harus naik melewati permukaan gelombang, atau dengan

kata lain, gerakan relatif vertikal haluan harus melampaui batas air bagian haluan ($Zb > Tb$). Kedua, kecepatan relatif vertikal haluan harus melebihi batas kecepatan tertentu yang dikenal sebagai *threshold velocity* untuk *slamming* (Bhattacharyya, 1978).

Untuk menghitung besarnya *bow slamming*, terlebih dahulu harus memperhitungkan peluang gerakan vertikal haluan relatif lebih besar dari sarat air bagian haluan, atau secara matematis dituliskan (Bhattacharya, 1978):

$$Pr = Pr(Zbr > Tb) = \exp\left(-\frac{Tb^2}{2m_{os}}\right) \quad (4)$$

Berikutnya peluang kecepatan relatif vertikal haluan lebih besar dari kecepatan ambang batas *slamming*, atau secara matematis dituliskan (Bhattacharya, 1978):

$$Pr = Pr(Vbr > Vth) = \exp\left(-\frac{Vbr^2}{2m_{2s}}\right) \quad (5)$$

Dengan demikian peluang terjadinya *slamming* adalah kombinasi kedua persamaan di atas, yang dituliskan (Bhattacharya, 1978):

$$Pr(Slam) = Pr(Zbr > Tb \text{ dan } Vbr > Vth) = \exp\left(-\frac{Tb^2}{2m_{os}} - \frac{Vbr^2}{2m_{2s}}\right) \quad (6)$$

dimana:

Zbr = Gerakan relatif vertikal Haluan,

Vbr = Kecepatan relatif Haluan,

Vth = Kecepatan ambang,

Tb = Sarat pada Haluan,

m_{os} = Luasan dari spektrum untuk relatif *bow motion*, dan

m_{2s} = Luasan dari spektrum respon relatif *bow velocity*.

Untuk menghitung intensitas *slamming* per jam dapat menggunakan persamaan (Bhattacharya, 1978):

$$N_T = \frac{3600 \times T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2s}}{m_{os}}} \times \exp\left(-\frac{Tb^2}{2m_{os}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2s}}\right) 1/det \quad (7)$$

dan untuk menghitung intensitas *slamming* setiap detik dapat menggunakan persamaan (Bhattacharya, 1978):

$$N_T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2m_{os}}{2m_{2s}}} \times Pr Slamming \quad (8)$$

1.2.6. Fenomena *Slamming*

Fenomena *slamming* dicirikan oleh durasinya yang sangat singkat dan terjadi saat sebuah objek memasuki air dengan sudut yang kecil antara permukaan objek tersebut dan permukaan air. Dalam penjelasan klasik, tekanan tinggi yang dihasilkan selama *slamming* adalah akibat dari akselerasi yang terjadi antara cairan dan permukaan objek. Ketika objek tersebut masuk ke dalam air, terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan antara cairan dan permukaan objek tersebut, yang menghasilkan tekanan tinggi pada titik kontak (Himaya, 2016).

Slamming menimbulkan gaya besar yang dapat berdampak pada integritas struktural benda yang terkena dampak. Dalam konteks kapal atau struktur laut, ini bisa berarti kerusakan serius pada lambung atau komponen lain. Pentingnya

memahami fenomena ini terletak pada kemampuan untuk merancang struktur yang dapat menahan tekanan dan gaya yang dihasilkan selama *slamming*, sehingga mencegah kerusakan atau kegagalan struktural. Pendekatan ini esensial untuk keselamatan dan keandalan struktur dalam lingkungan maritim yang seringkali menantang.

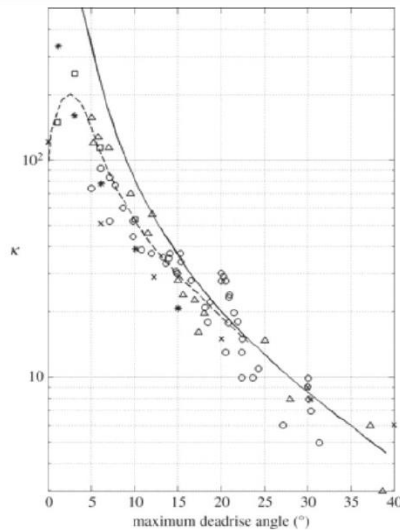


Gambar 3. *Fenomena Slamming*

Sumber : Feen, 2010

Dampak tekanan yang dihasilkan selama fenomena *slamming* sangat tergantung pada sudut relatif antara benda dan permukaan cairan. Hal ini telah dibuktikan melalui eksperimen yang melibatkan penjatuhan berbagai bentuk wedge dengan sudut *deadrise* yang berbeda-beda. Penelitian menunjukkan bahwa ketika sudut relatif kecil, tekanan yang dihasilkan meningkat secara signifikan, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2. Pada kondisi dimana sudut relatif sangat rendah, yaitu di bawah 5° , dampak yang terjadi menjadi lebih kompleks. Dalam fase sebelum terjadi dampak, udara di bawah benda mengalami kompresi. Area tekanan tinggi yang tercipta akibat kompresi ini menyebabkan permukaan cairan atau fluida mengalami depresi. Efek kompresibilitas volume udara ini memainkan peran penting dalam menentukan tekanan yang dialami oleh sebuah benda selama proses *slamming* (Himaya, 2016).

Fenomena ini penting untuk dipahami, terutama dalam desain struktural kapal atau benda lainnya yang sering berinteraksi dengan permukaan air. Memahami bagaimana sudut relatif dan kompresibilitas udara mempengaruhi tekanan *slamming* membantu insinyur dalam merancang struktur yang mampu menahan tekanan ekstrem tersebut, sehingga mengurangi risiko kerusakan atau kegagalan. Ini merupakan aspek kunci dalam memastikan keselamatan dan kinerja struktur dalam kondisi operasional yang menantang.

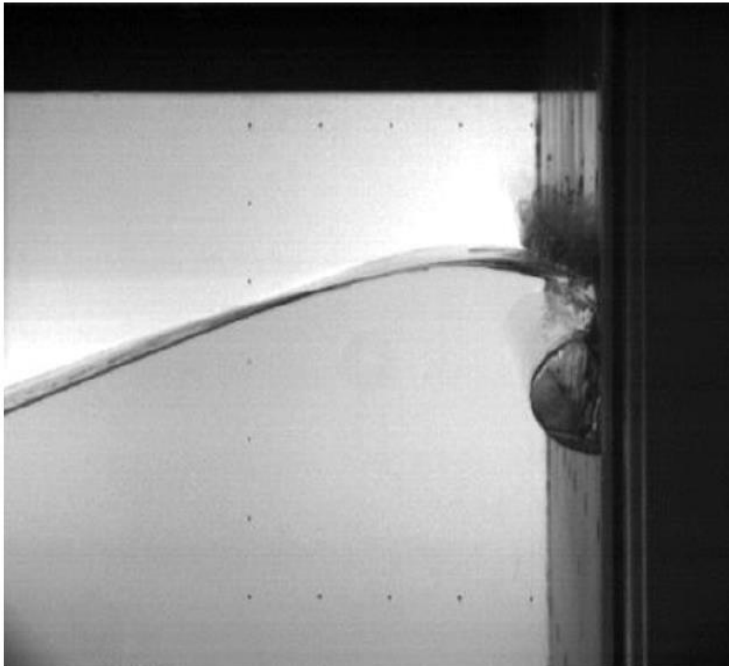


Gambar 4. Koefisien tekanan puncak $k=(p/(1/2\rho v^2))$ dari benda dua dan tiga dimensi sebagai fungsi dari sudut deadrise.

Sumber : *Adapted From Lloyd & Amdrew*

Kompleksitas fenomena *slamming* menyulitkan prediksi nilai pada skala penuh berdasarkan hasil percobaan skala model. Ketika sudut relatif antara benda dan cairan lebih besar dari 5° pada dampak 'normal', Hukum Froude biasanya dapat diaplikasikan. Namun, dalam kasus flat impact, di mana sudut relatif lebih kecil dari 5° , tekanan udara menjadi faktor penting dalam menentukan tekanan *slamming*. Hal ini mengindikasikan perlunya penyesuaian tekanan ambient saat melakukan tes skala model. Meskipun penyesuaian ini dapat meningkatkan kesesuaian fenomena antara pengujian skala model dan kondisi skala penuh, tetap ada tantangan dalam menyelaraskan kedua kondisi tersebut secara akurat (Himaya, 2016).

Dengan demikian, pemahaman mendalam tentang bagaimana tekanan udara dan faktor lain mempengaruhi tekanan *slamming* sangat penting untuk meningkatkan akurasi prediksi dalam percobaan skala model. Ini membantu para insinyur dan peneliti dalam merancang eksperimen yang lebih akurat dan relevan dengan kondisi nyata, yang pada gilirannya meningkatkan keandalan dan keselamatan desain struktural, khususnya dalam konteks struktur maritim dan kapal.



Gambar 5. Penutup udara selama benturan datar dari gelombang yang pecah terhadap dinding vertikal
Sumber : Himaya 2016

1.2.7. Experimen *Slamming*

Pada saat terjadi fenomena *slamming*, dilakukan berbagai eksperimen atau penelitian untuk mengetahui besarnya tekanan yang terjadi akibat *slamming* atau *slamming impact*. Penelitian mengenai fenomena *slamming* telah diteliti oleh beberapa orang sebagai berikut.

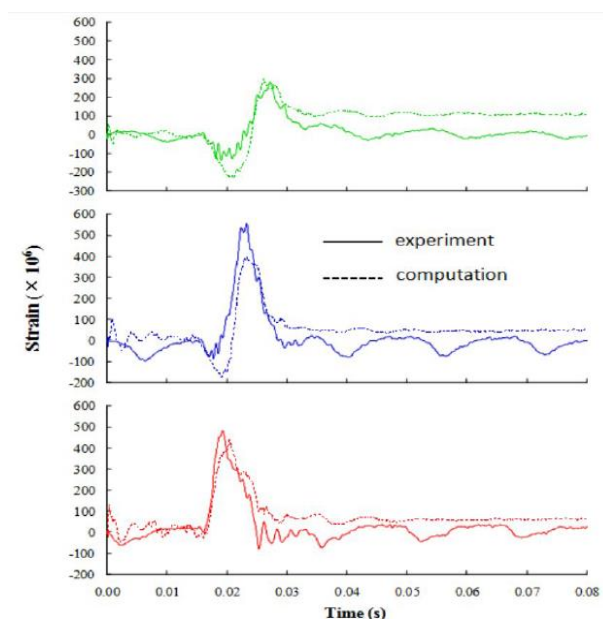
Nasir. (2011) mendeskripsikan, untuk mendapatkan karakteristik beban *impact* hasil pengujian peroses landing model *WISE*, maka dilakukan perancangan sistem pengukuran dan data akuisisi yang digunakan untuk pengambilan data yang dihasilkan oleh sensor impact (PDVF Film). Adapun hasil akhir dari pengujian ini merupakan nilai tekanan sesaat air pada model *WISE* yang nantinya digunakan untuk pembuatan model itu sendiri.

Dalinga. (2006) dalam penelitiannya, sebuah kapal kontainer dimodelkan dengan skala 1:26,7 yang mewakili 200 meter panjang kapal kontainer yang sebenarnya. Hasil penelitian ini ditujukan untuk mengetahui respon badan kapal terhadap adanya *slamming* dan pengaruhnya terhadap operasional kapal dan kesimpulan dari kesimpulan dari pengujian ini merupakan sifat statistik dari respon badan kapal itu sendiri terhadap tekanan yang disebabkan oleh *slamming*. Meskipun menarik, statistik gabungan dari tubuh yang kaku dan respon cambuk mengatur secara praktis konsekuensi dari membanting dalam hal misalnya beban cambukan. Efeknya diperoleh dalam mencari maksimum dalam sinyal total dalam (berdasarkan waktu) kedekatan maksimum dari akselerasi benda tegar. Keuntungan konseptual

dari prosedur ini adalah fakta bahwa masalah mengidentifikasi jumlah “peristiwa” bantingan dielakkan.

Baso. (2014) mengklaim, bahwasanya untuk *dropping test*, percobaan dilakukan dengan menggunakan model tiga dimensi dan dilakukan dalam tangki percobaan yang dilakukan untuk menyelidiki hubungan antara gerak *elastic* dan dampak tekanan akibat adanya *slamming*. Eksperimental dilakukan berdasarkan teori jatuh bebas dengan kecepatan konstan.

Sensor tekanan terletak di permukaan bawah model dan diukur dengan menggunakan piezo-electric sensor. Dalam penelitian ini, tahanan dan gerak kapal dihitung dengan menggunakan metode numerik, untuk menginterpretasi dampak *slamming* kapal hydroelasticity. Secara grafik hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8. dibawah ini.



Gambar 6. Perbandingan Nilai Tegangan pada Perhitungan dan Percobaan.
Sumber : Baso 2010

1.2.8. Teori Skala

Ferdiana. (2014) mengemukakan bahwa setiap jenis gambar mempunyai ukuran yang berbeda-beda, ada yang kecil dan ada yang besar. Oleh karena itu, sering kali tidak memungkinkan menggambar suatu gambar dalam kertas gambar ukuran tertentu dalam ukuran sebenarnya. Untuk itu, ukuran gambar harus diperkecil jika bendanya besar, dan harus diperbesar jika bendanya terlalu kecil, pengecilan atau pembesaran gambar dilakukan dengan skala tertentu. Skala adalah perbandingan ukuran linear pada gambar terhadap ukuran lineardari benda sebenarnya. Ada tiga macam skala gambar, yaitu

A. Skala pembesaran

Pembesaran digunakan jika gambarnya dibuat lebih besar daripada benda sebenarnya. Misalnya, jika bendanya kecil dan rumit seperti pada rangkaian kontrol pada lampu jalan, maka harus menggunakan skala pembesaran untuk menggambarkan rangkaian ini. Penunjukan untuk skala pembesaran adalah $x:1$, sedangkan ukuran lengkap yang dianjurkan adalah 50:1, 20:1, 10:1, 5:1 dan 2:1

B. Skala penuh

Skala penuh digunakan bilamana gambarnya dibuat sama besar dengan benda sebenarnya. Skala ini dianjurkan untuk sedapat mungkin dipergunakan supaya dapat membayangkan benda yang sebenarnya, atau untuk memudahkan pemeriksaan. Penunjukan skala penuh adalah 1:1.

C. Skala pengecilan

Skala pengecilan digunakan bilamana gambar yang dibuat lebih kecil daripada gambar yang sebenarnya, Penunjukannya adalah $1:x$. Adapun daftar penunjukkan skala pengecilan yang dianjurkan yakni 1: 2, 1: 20, 1: 200, 1: 2000, 1: 5, 1: 50, 1: 500, 1:5000, 1: 10, 1: 100, 1: 1000 dan 1: 10000.

1.3. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Menentukan besar tekanan pada lambung kapal untuk setiap *deadrise angle* pada saat kapal mengalami *slamming* melalui percobaan model.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Sebagai informasi dan referensi mengenai besarnya pengaruh gelombang terhadap gerak *slamming* untuk setiap *deadrise angles*.
- 2) Sebagai masukan bagi perancang kapal dalam merancang kapal.
- 3) Sebagai referensi dan acuan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penelitian dilaksanakan terhitung mulai bulan Februari 2024 sampai November 2024.

2.2. Jenis Data dan Teknik Pengambilan Data

2.2.1. Jenis Data

Jenis penelitian ini berbasis eksperimen laboratorium. Pada penelitian ini jenis data yang digunakan adalah data sekunder dan data primer. Data sekunder / tidak langsung, merupakan data yang diperoleh melalui bahan-bahan tertulis dari sumber data yang erat kaitannya dengan penelitian ini, dan data primer / langsung, merupakan data yang diperoleh dari hasil percobaan eksperimen model di laboratorium. Kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis kapal tanker dengan data umum yang dapat di lihat pada Tabel 1 dan gambar linesplan kapal dengan *deadrise angle* 10 derajat, 13 derajat, dan 18 derajat masing -masing dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9.

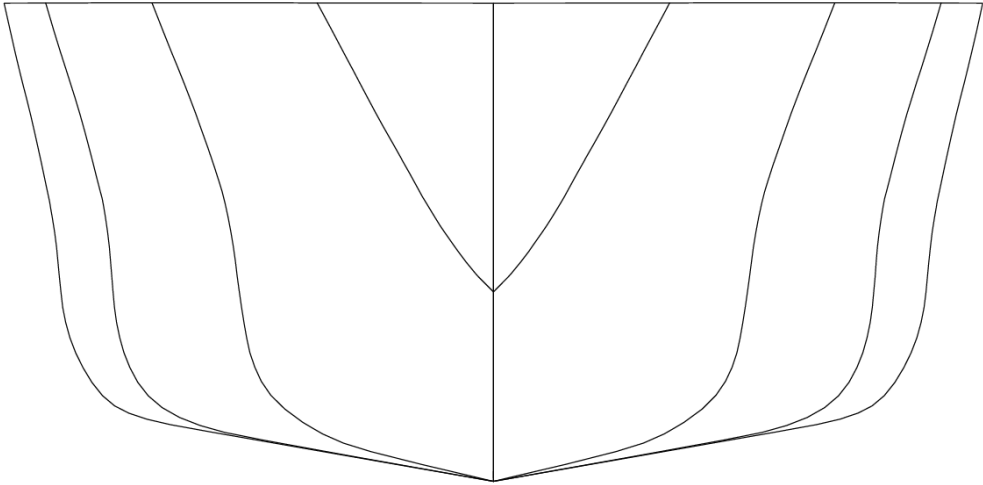
Tabel 1. Ukuran utama kapal

No	Ukuran utama	Nilai	Satuan
1	Length overall	157,7	m
2	Length between perpendicular	149,5	m
3	Breadth	27,7	m
4	Depth	12	m
5	Draught	7	m

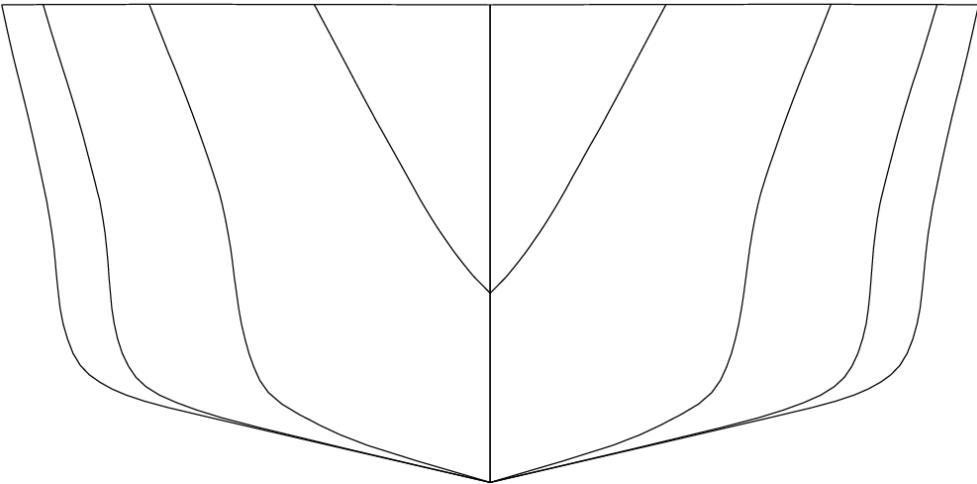
Adapun ukuran model pada skala 1:100 ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ukuran utama kapal skala 1:100

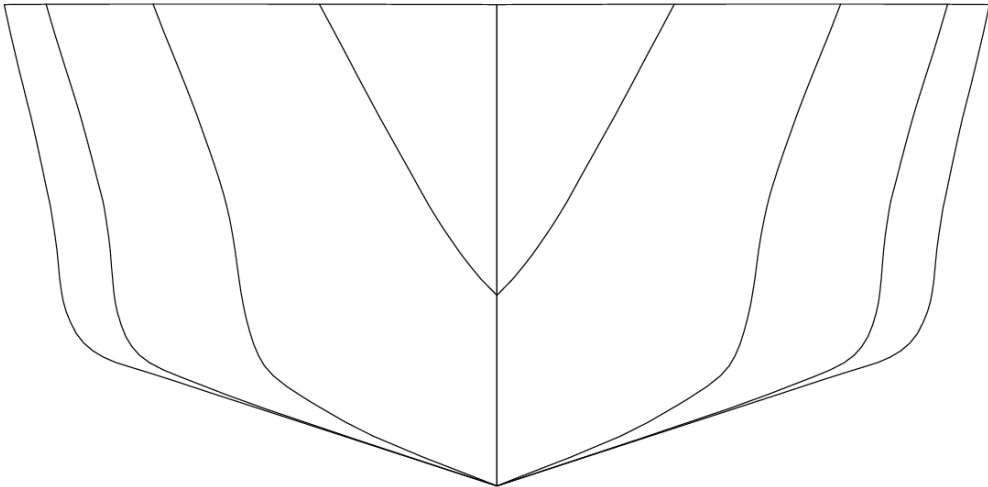
No	Ukuran utama	Nilai	Satuan
1	Length overall	1,58	m
2	Length between perpendicular	1,50	m
3	Breadth	0,28	m
4	Depth	0,12	m
5	Draught	0,07	m



Gambar 7. Linesplan *deadrise angle* 10 derajat
Sumber : Hasil olah data



Gambar 8. Linesplan *deadrise angle* 13 derajat
Sumber: Hasil olah data



Gambar 9. Linesplan *deadrise angle* 18 derajat
Sumber : Hasil olah data

2.2.2. Teknik Pengambilan Data

Adapun metode pengumpulan data penelitian dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- 2.1. Metode pengujian model dan observasi, dalam hal ini melakukan pengujian langsung pada model kapal yang diteliti pada tangki percobaan yang dilengkapi peralatan pendukung. Metode ini merupakan pengamatan secara langsung terhadap kegiatan eksperimen yang sedang berlangsung,
- 2.2. Studi literatur, dimana kita harus terlebih dahulu memahami konsep dasar tekanan impak pada kapal dan bagaimana *deadrise angle* memengaruhi distribusi tekanan tersebut. Tekanan impak terjadi ketika air mengenai bagian depan kapal, terutama di haluan kapal, yang merupakan titik pertama yang berinteraksi dengan air saat kapal bergerak. Pentingnya memahami tekanan impak ini terletak pada kebutuhan untuk merancang kapal yang dapat mengurangi tekanan tersebut guna meningkatkan efisiensi bahan bakar dan keselamatan struktural.

2.3. Metode Pengolahan Data

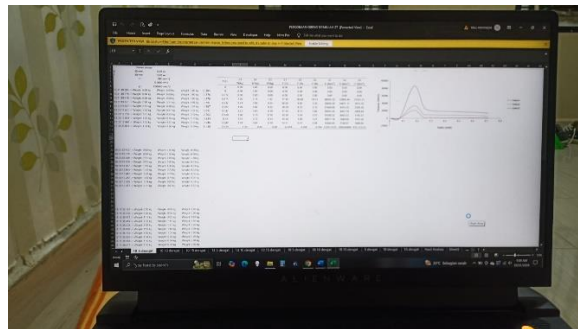
Pengolaan data pada penelitian ini menggunakan metode pengujian model dan observasi, dalam hal ini melakukan pengujian langsung pada tangki percobaan yang telah dilengkapi dengan peralatan pendukung menggunakan model kapal yang akan diteliti. Metode ini merupakan pengamatan secara langsung terhadap kegiatan eksperimen yang sedang berlangsung. Untuk mengolah data tahap – tahap pengolahan yang digunakan sebagai berikut.

2.3.1. Persiapan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1) Laptop

Dalam penelitian ini laptop digunakan sebagai perangkat untuk mencatat hasil yang didapat yang dihubungkan dengan Arduino Uno, selain itu laptop juga digunakan untuk mengolah data yang didapatkan serta mengolah semua aplikasi *software* yang digunakan selama penelitian ini berlangsung yang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Laptop
Sumber : Properti Pengujian

2) Towing Carriage

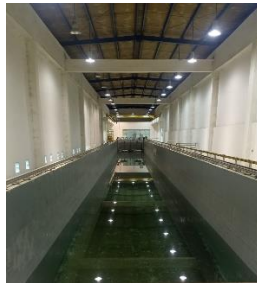
Pada penelitian ini *Towing carriage* dijadikan sebagai rangka pengujian model ketika *dropping test* dilakukan. Adapun *Towing carriage* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Towing carriage
Sumber: Properti Pengujian

3) Towing Tank

Kolam uji atau *towing tank* adalah sebagai media pengujian ketika penarikan model berlangsung, pada fasilitas kolam uji atau *towing tank* yang terdapat pada Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin mempunyai panjang kolam 40 meter dan kedalaman kolam 8 meter dengan lebar 3 meter yang dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Towing tank
Sumber: Properti pengujian

4) Load cell Device

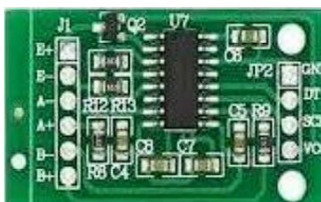
Load Cell Device adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur gaya atau berat. Alat ini biasanya digunakan dalam timbangan digital dan aplikasi pengukuran gaya lainnya. *Load Cell* ini bekerja berdasarkan prinsip deformasi elastis. Ketika gaya atau berat diaplikasikan pada *Load Cell*, material dalam *Load cell* akan mengalami deformasi. Deformasi ini kemudian diubah menjadi sinyal listrik yang dapat diukur. Contoh *Loadcell* yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Loadcell device
Sumber : Properti Pengujian

5) Modul HX711

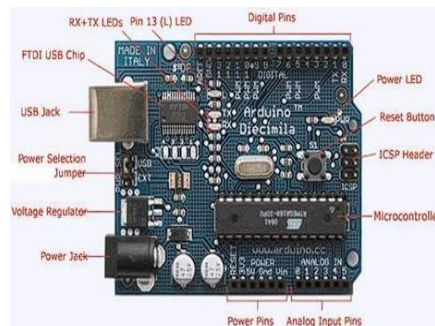
Modul HX711 berfungsi sebagai modul ADC dengan mengubah resistansi yang diterima menjadi besaran tegangan. Hasil modul ini stabil, memiliki sensitivitas tinggi, dan dapat menghitung perubahan dengan cepat. Modul HX711 yang dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Modul HX711
Sumber: Properti Pengujian

6) Arduino

Untuk mengetahui nilai yang dikeluarkan dari sensor tersebut digunakan perangkat Arduino yang berfungsi sebagai pengendali *microcontroller* yang dapat mengatur kecepatan data yang dikeluarkan oleh *load cell device* perangkat Arduino inilah yang dihubungkan ke laptop untuk dapat melihat hasilnya. Arduino yang digunakan ini dilengkapi dengan pengamanan arus di port USB yang berfungsi melindungi PC atau, Laptop dari kerusakan. Arduino yang digunakan memiliki total 14 *pin programmable input/ output* dan 6 *pin analog input*. Arduino yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 15.

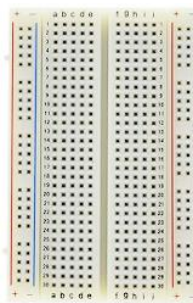


Gambar 15. Perangkat arduino

Sumber : Google picture

7) Breadboard

Breadboard merupakan perangkat *wiring* yang digunakan untuk membuat rangkaian elektronik. Pada penelitian ini *breadboard* digunakan untuk membuat rangkaian instalasi antara perangkat Arduino dengan *microcontroller* pada *load cell device*. Breadboard yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Breadboard

Sumber: Google picture

8) Pemberat

Pemberat pada penelitian kali ini digunakan untuk mengkalibrasi sensor *load cell* yang dimana akan di tempatkan diatas sensor dan sensor akan membaca berat dari pemberat yang berada di atas sensor. Pemberat yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Pemberat
Sumber: Google picture

9) *Jumper wire*

Jumper wire merupakan kabel penghubung yang digunakan untuk menghubungkan Interface Amplifier ke perangkat Arduino Mega dan menghubungkan antara Interface Amplifier ke breadboard maupun perangkat Arduino Mega ke breadboard. Jumper wire yang digunakan dalam percobaan kali ini dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Jumper wire
Sumber: Properti pengujian

2.3.2. Pembuatan Model

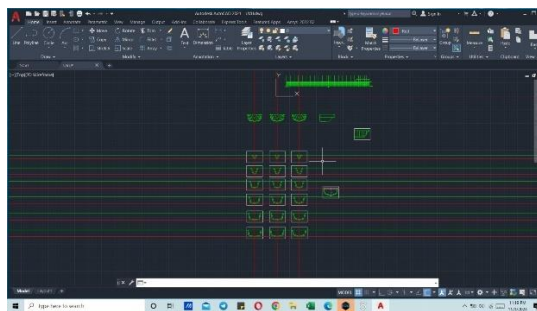
Model dibuat di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Beberapa kebutuhan yang diperlukan selama pembuatan model dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kebutuhan bahan pembuatan model

No	Komponen	Satuan	Jumlah
1	Tripleks 3 mm	Lembar	1
2	Dempul	Kaleng	5
3	Cat Dasar (Abu-abu)	Kaleng	2
4	Cat kuning	Kaleng	3
5	Spidol	Buah	1
6	Kuas	Buah	2
7	Amplas	Meter	3
8	Mata Gerinda Potong	Buah	1
9	Mata Gerinda Amplas	Buah	1
10	Penggaris	Buah	1
11	Gerinda	Buah	1
12	Pisau Dempul	Pack	1
13	Pulpen	Buah	2

Pembuatan model terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Gambar model di bagi beberapa *section (bodyplan)*, yang dimana setelah section di bagi selanjutnya diberikan ketebalan sesuai dengan ketebalan *frame* kapal untuk mendapatkan pola *frame*.

**Gambar 19.** Section model

Sumber: Hasil olah data

2. Setelah gambar *bodyplan* di setiap section telah selesai selanjutnya gambar *bodyplan* di print kemudian di tempel pada tripleks dan lanjut dipotong menggunakan gerinda dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Section model
Sumber: Pembuatan Model

3. *Section* yang telah dipotong selanjutnya di bentuk sesuai nomor *frame*. *Frame* yang telah di potong selanjutnya dilekatkan pada lunas yang telah di bentuk pula menggunakan lem. *Frame* yang telah direkatkan kemudian dipasangkan kulit mengikuti pola *frame* yang telah terpasang. Model yang telah dilakukan pemasangan kulit dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Pemasangan kulit
Sumber: Pembuatan Model

4. Pada bagian luar yang telah terbentuk kemudian diberikan resin. Setelah diberikan resin pada bagian luar, kemudian model di amplas halus. Model yang telah diampas halus kemudian diberikan dempul secara merata. Setelah diberikan dempul kemudian di amplas kasar dan halus. Model yang telah berikan dempul dapat dilihat pada Gambar 22.



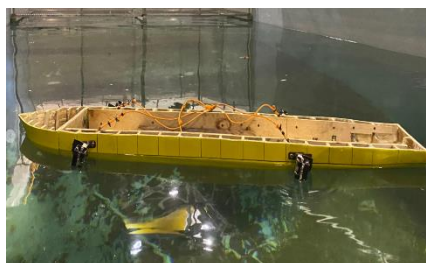
Gambar 22. Pemberian dempul
Sumber: Pembuatan Model

5. Pengecatan model menggunakan cat semprot warna abu-abu sebagai cat dasar model dan selanjutnya menggunakan cat semprot warna kuning sebagai warna asli model. Model yang telah diberikan warna/ cat dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Pengecatan model
Sumber: Pembuatan model

6. Penimbangan model untuk mendapatkan berat kosong model dan tes *draft* di *towing tank*. *Test draft* ini dilakukan dengan menambahkan pemberat pada model hingga kapal mencapai *full draft*. Setelah mencapai *full draft*, total berat dari pemberat ditimbang. Berat kosong model dijumlahkan dengan berat total pemberat sama dengan total *displacement* model. Draft test dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. Draft test
Sumber: Hasil olah data

2.3.3. Pembuatan Rel

Rel dibuat di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Beberapa kebutuhan yang diperlukan selama pembuatan rel dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan bahan pembuatan rel

No	Komponen	Satuan	Jumlah
1	Holo 3.6 inchi	Batang	1
2	Holo 1.5 Inchi	Batang	1
3	Rel	Buah	16
4	Baut	Buah	24
5	Mur kuping	Buah	4
6	Kawat las	Kg	1
7	Mata bor	Buah	4
8	Mata Gerinda amplas	Buah	1
9	Mata gerinda	Buah	3
10	Cat Hitam	Kaleng	1
11	Ring Mur	Plastik	1
12	Tali tis	Buah	20
13	Lem Sling	Rol	1

Rel dalam percobaan *dropping test* memiliki fungsi penting sebagai penuntun atau jalur yang memastikan bahwa kapal yang dijatuhkan mengikuti lintasan yang diinginkan dengan konsisten. Dengan menggunakan rel, kita dapat mengontrol arah dan kecepatan jatuhnya objek sehingga percobaan dapat dilakukan dengan lebih akurat dan presisi. Rel juga membantu mengurangi variasi atau penyimpangan yang tidak diinginkan selama pengujian, sehingga hasil percobaan menjadi lebih dapat diandalkan dan dapat dibandingkan satu sama lain. Rel yang digunakan dalam penelitian kali ini dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Rel

Sumber: Properti pengujian

2.3.4. Persiapan Pengujian

Sebelum melakukan pengujian kapal, terdapat beberapa hal yang harus dipersiapkan. Hal yang harus dipersiapkan diantaranya adalah matriks waktu pengujian, matriks kebutuhan pengujian, dan prosedur pengujian model. Masing-masing hal tersebut akan dibahas berikut ini.

A. Matriks waktu pengujian

Matriks waktu pengujian diperlukan untuk mengetahui berapa lama tiap tahapan pengujian dilakukan. Matriks waktu pengujian secara rinci disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Matriks waktu pengujian

No	Tahapan Pengujian	Waktu
Persiapan		
1	Menyalakan saklar pada sumber listrik	1 menit
2	Menyambungkan alat sensor <i>load cell</i> ke laptop	5 menit
3	Memasang/mengganti haluan pada model kapal	10 menit
4	Memasang model pada kapal pada <i>towing carriage</i>	5 menit
5	Mengatur sudut kemiringan <i>drop test</i> model kapal	5 menit
6	Membuka aplikasi <i>Arduino</i>	1 menit
Pengujian		
7	<i>Dropping Test</i>	5 jam

B. Matriks kebutuhan pengujian

Matriks kebutuhan pengujian merupakan rincian kebutuhan yang dibutuhkan dalam pengujian ini. Matriks kebutuhan pengujian secara rinci dapat di lihat pada tabel 6.

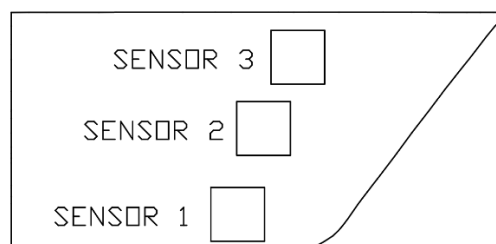
Tabel 6. Matriks kebutuhan pengujian

No	Nama Barang	Jumlah
Model		
1	Model Kapal	1 buah
Peralatan		
2	Laptop	1 buah
3	<i>Towing Carriage</i>	1 buah
4	<i>Load cell device</i>	2 buah
5	<i>Arduino</i>	1 buah
6	<i>bread board</i>	1 buah
7	<i>Jumper wire</i>	16 buah
8	kamera	2 buah
9	Beban	2 buah
10	Rel	4 buah

C. Langkah Instalasi *Loadcell Device* pada haluan kapal

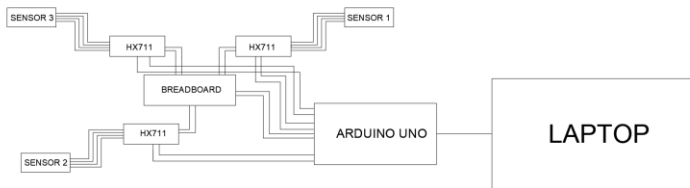
Untuk instalasi *Loadcell Device* pada haluan kapal dapat dilakukan dengan langkah-langkah dibawah ini:

- Pastikan sensor *load cell* siap digunakan dengan memperhatikan kabel/kawat yang terhubung pada sensor.
- Sensor Loadcell ditempelkan pada bagian lambung kapal. Diletak sensor dapat dilihat pada Gambar 26.

**Gambar 26.** Peletakan sensor

Sumber: Hasil olah data

- Sensor *loadcell* dihubungkan pada kabel kemudian disambungkan dengan *jumper wire* pada *breadboard*, dalam hal ini breadboard adalah, skema rangkaian sensor dapat dilihat pada Gambar 27.

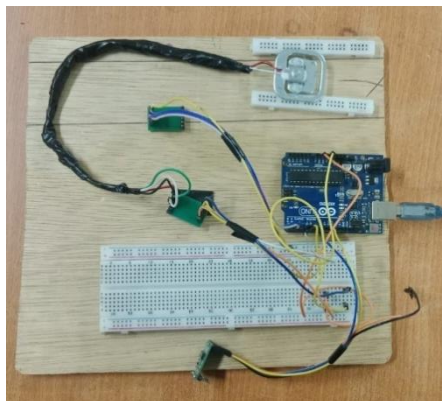


Gambar 27. Skema rangkaian sensor *Loadcell* ke laptop
Sumber: Hasil olah data

Strip kiri dan strip kanan mampu meneruskan nilai yang dihasil dari *microcontroller loadcell device* ke perangkat arduino. Strip kiri memiliki besaran nilai yang sama apabila kabel penghubung dari *loadcell device* ke perangkat Arduino dipasang secara vertikal di strip kiri, begitu pula sebaliknya pada strip kanan yang memiliki besaran nilai yang sama apabila kabel penghubung dari *loadcell device* ke perangkat Arduino dipasang secara horizontal.

d. *Breadboard* dihubungkan ke *arduino uno*

e. *Arduino uno* dihubungkan dengan laptop yang digunakan untuk merekam dan mengolah data yang dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28. Rangkaian *arduino uno* yang disambungkan ke laptop
Sumber: Hasil olah data

2.3.5. Prosedur Pengujian Model

Sebelum melakukan Pengujian perilaku kapal di *towing tank* perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Jumlah air di *towing tank* cukup untuk melakukan pengujian. Kondisi kolam yang bersih dan tidak ada kotoran yang dapat mempengaruhi hasil pengujian.
- 2) Aplikasi arduino dan semua sensor dapat terbaca.
- 3) Komputer dalam kondisi baik dan siap untuk digunakan.

Setelah melakukan beberapa tahapan untuk memastikan perilaku kapal di *towing tank* selanjutnya akan dilakukan pengukuran tekanan kapal melalui prosedur pengujian yang terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1) Persiapan Hardware:

- Rangkaian Loadcell
 - Hubungkan loadcell ke modul HX711 Loadcell Amplifier sesuai dengan petunjuk sebagai berikut:
 - E+ (Merah) ke E+ (HX711)
 - E- (Hitam) ke E- (HX711)
 - A+ (Putih) ke A+ (HX711)
 - A- (Hijau) ke A- (HX711)
 - Hubungkan HX711 ke Arduino dengan bantuan Breadboard
 - VCC HX711 ke 5V, untuk menghubungkan dua sensor atau lebih maka wiring harus terhubung ke breadboard dengan pemasangan sebaris.
 - GND HX711 ke GND pada arduino
 - DT HX711 1 terhubung pada pin 3 arduino
 - DT HX711 2 terhubung pada pin 5 arduino
 - SC HX711 1 terhubung pada pin 2 arduino
 - SC HX711 2 terhubung pada pin 4 arduino

2) Persiapan Software

- Program Arduino
 - Buat sketch baru di Arduino IDE dan Masukkan Kode Berikut:

```
#define DOUT 3
#define CLK 2
#define DOUT1 5
#define CLK1 4
#define DOUT2 8
#define CLK2 9
HX711 scale1 (DOUT, CLK);
HX711 scale2 (DOUT1, CLK1);
HX711 scale3 (DOUT2, CLK2);
```

//Change this calibration factor as per your load cell once it is found you may need to vary it in thousands

```
//=====
//=====
//          SETUP
//=====
//=====
```

```

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Press T to tare");
  scale1.set_scale(-1005210); //-105210//Calibration Factor obtained from first
  sketch
  scale2.set_scale(-97210);
  scale3.set_scale(-10210);
  scale1.tare();      //Reset the scale to 0
  scale2.tare();
  scale3.tare();
}

//=====
//
//          LOOP
//=====
//=====

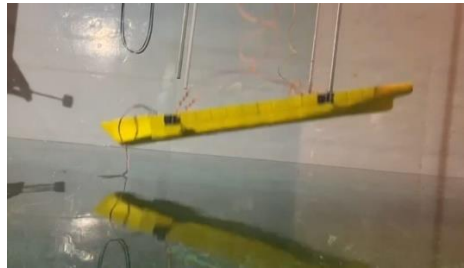
void loop() {
  Serial.print("Weight_1: ");
  Serial.print(scale1.get_units(), 3); //Up to 3 decimal pointsfrf
  Serial.print(" kg ");
  Serial.print("Weight_2: ");
  Serial.print(scale2.get_units(), 3);
  Serial.println(" kg"); //Change this to kg and re-adjust the calibration factor if you
  follow lbs
  Serial.print("Weight_3: ");
  Serial.print(scale3.get_units(), 3);
  Serial.println(" kg");
  if(Serial.available())
  {
    char temp = Serial.read();
    if(temp == 't' || temp == 'T')
      scale1.tare();
      scale2.tare(); //Reset the scale to zero
      scale3.tare();
  }
}

```

- Upload kode Ke Arduino

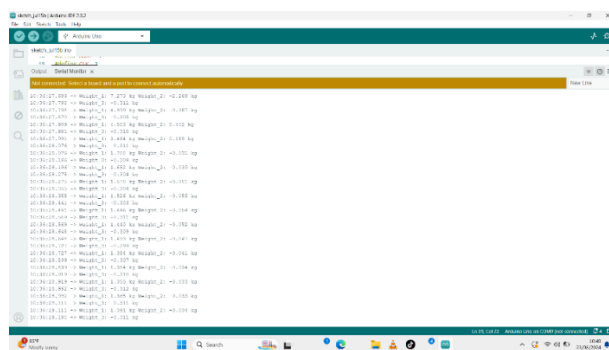
3) Persiapan Dropping Test

- Tempatkan loadcell pada tempat yang akan menerima dampak dari dropping test.
- Pasang model kapal atau bagian kapal yang akan diuji pada rel yang dapat dilihat pada Gambar 29.



Gambar 32. Proses pelepasan kapal
Sumber : Hasil olah data

- Amati perubahan berat yang tercatat oleh Arduino di Serial Monitor yang dapat dilihat pada Gambar 33.



Gambar 33. Hasil pembacaan sensor
Sumber : Hasil olah data

5) Analisis data

- Catat bacaan dari Serial Monitor setiap kali terjadi dampak.
- Analisis data untuk menentukan dampak yang diterima oleh model kapal.
- Lakukan beberapa kali uji untuk mendapatkan data yang konsisten dan akurat

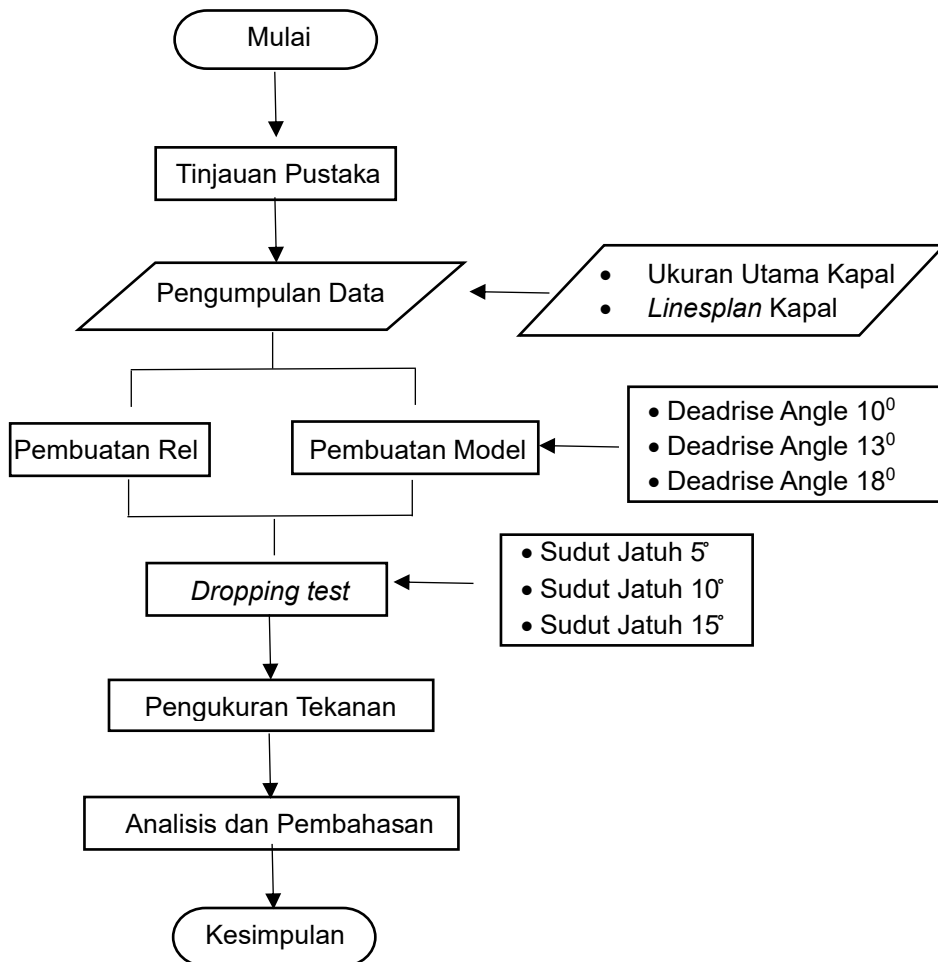
2.3.6. Analisis Data

Setelah pengujian model, dilakukan analisis data dengan tahapan sebagai berikut:

- a) Hasil dari pengujian dropping test model di *towing tank* adalah tekanan dan tegangan total model terhadap waktu (s).
- b) Nilai tekanan dan tegangan total model terhadap waktu (s) kemudian dibuat menjadi grafik tekanan terhadap nilai peningkatan sudut kemiringan model. Hal ini dilakukan untuk melihat bagaimana pengaruh perilaku badan kapal terhadap variasi sudut dropping test model

2.4. Kerangka Pemikiran

Kerangka berpikir merupakan alur dari proses penelitian yang akan membantu dalam menyelesaikan penelitian ini. Adapun kerangka berpikir dari penelitian ini dapat digambarkan dalam bentuk diagram alur (Flowchart) seperti pada Gambar 34.



Gambar 34. Kerangka Pemikiran