

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Ikan



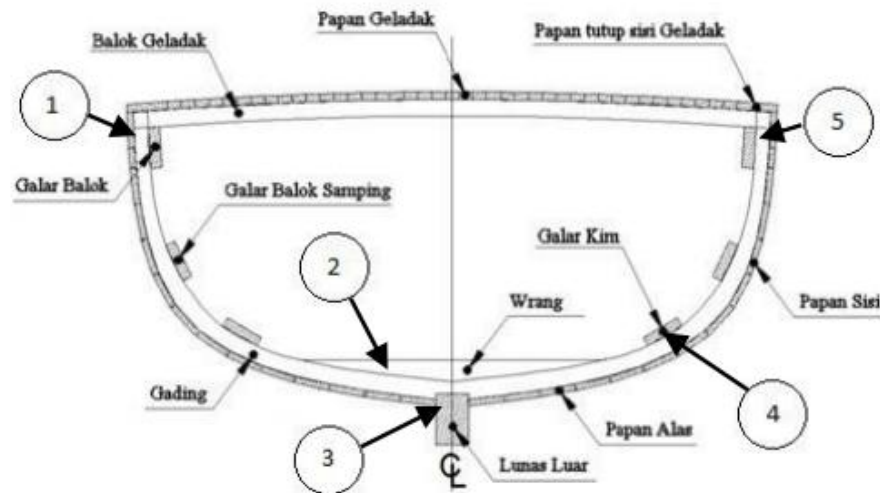
Gambar 2. 1 Kapal Ikan
(sumber : dokumen pribadi)

Kapal ikan merupakan jenis kapal yang dirancang khusus untuk kegiatan penangkapan, pengangkutan, serta penanganan hasil perikanan di laut. Kapal ini memiliki karakteristik operasional yang berbeda dibandingkan kapal niaga karena distribusi beban yang bekerja bersifat tidak tetap dan sangat dipengaruhi oleh jumlah hasil tangkapan serta aktivitas operasional. Variasi distribusi beban ini menyebabkan struktur kapal harus dirancang dengan mempertimbangkan kondisi pembebanan yang dinamis agar tetap aman selama beroperasi (FAO, 2005).

Kapal ikan dengan ukuran 120 *Gross Tonnage* (GT) termasuk dalam kategori kapal menengah yang memiliki kemampuan operasional di perairan lepas. Kapal ini umumnya dilengkapi dengan ruang penyimpanan ikan (fish hold), peralatan penangkapan, serta sistem pendingin, yang menyebabkan distribusi beban tidak merata sepanjang kapal. Kondisi ini menjadikan analisis kekuatan struktur, khususnya kekuatan memanjang, sebagai aspek penting dalam perencanaan konstruksi kapal (Rawson & Tupper, 2001).

Dalam analisis teknik, kapal sering dianalogikan sebagai balok memanjang yang menerima beban terdistribusi sepanjang panjangnya. Pendekatan ini dikenal sebagai *beam theory* dan digunakan untuk menganalisis gaya lintang serta momen lentur sebagai indikator utama kekuatan struktur kapal (Lewis, 1988).

2.2 Konstruksi Kapal



Gambar 2. 2Kontruksi Kapal

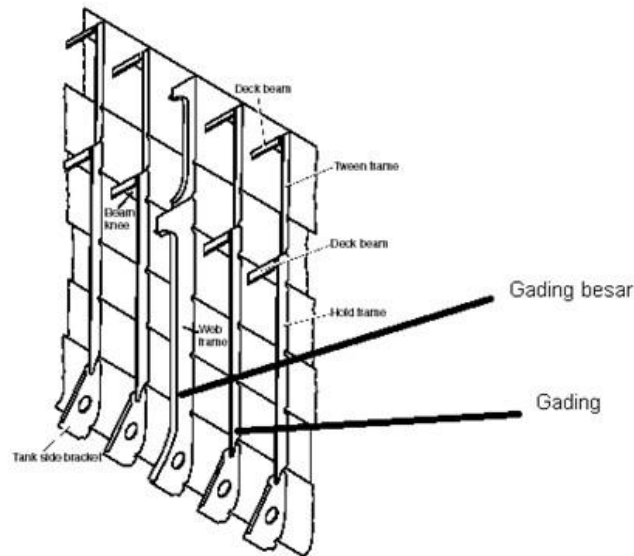
(Sumber : <https://share.google/TQnmVptEDLzEPqkXh>)

Konstruksi kapal merupakan sistem struktur yang dirancang untuk menahan beban yang bekerja selama kapal beroperasi, baik beban statis maupun dinamis. Tujuan utama konstruksi kapal adalah untuk menjamin kekuatan, kekakuan, dan keselamatan struktur sehingga mampu menahan pengaruh lingkungan seperti gelombang laut serta beban internal kapal (Hughes & Paik, 2010).

Secara umum, konstruksi kapal terdiri dari dua sistem utama, yaitu sistem konstruksi melintang dan sistem konstruksi memanjang. Sistem melintang menggunakan frame sebagai elemen utama yang berfungsi menopang pelat lambung, sedangkan sistem memanjang menggunakan elemen longitudinal dan girder untuk meningkatkan kekuatan terhadap beban lentur sepanjang kapal. Pemilihan sistem konstruksi bergantung pada jenis kapal, ukuran kapal, serta kebutuhan kekuatan struktur (Muckle, 2013).

Elemen utama konstruksi kapal meliputi pelat lambung, frame, longitudinal, girder, dan deck. Pelat lambung berfungsi menerima tekanan air, frame menjaga bentuk kapal, longitudinal memperkuat arah memanjang, dan deck berfungsi sebagai elemen struktural yang menahan gaya tarik akibat momen lentur. Kombinasi elemen ini membentuk sistem struktur yang mampu mendistribusikan beban secara efisien (Eyres & Bruce, 2012).

2.3 *Frame spacing*



Gambar 2. 3 Frame

(Sumber <https://berlianarswendokonstruksikapal1.wordpress.com/2016/04/12/gading-besar-web-frame-pada-daerah-haluan-kapal/>)

Frame spacing merupakan jarak antar frame dalam struktur kapal yang berfungsi sebagai penopang pelat lambung dan menjaga bentuk kapal terhadap tekanan eksternal. Penentuan jarak frame sangat penting karena berpengaruh terhadap kekuatan, kekakuan, serta berat konstruksi kapal (ABS, 2020).

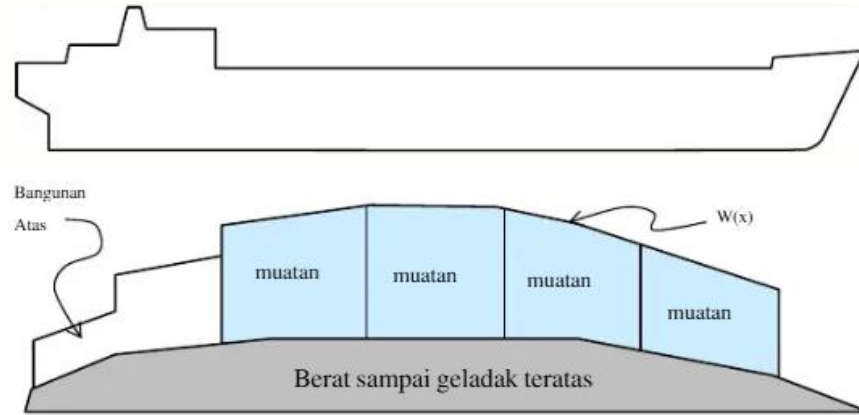
Semakin kecil nilai *frame spacing*, maka jumlah frame akan semakin banyak sehingga distribusi beban menjadi lebih merata. Sebaliknya, *frame spacing* yang lebih besar akan mengurangi jumlah elemen struktur namun dapat meningkatkan beban yang diterima oleh setiap frame. Oleh karena itu, penentuan *frame spacing* harus mempertimbangkan keseimbangan antara kekuatan struktur dan efisiensi material (DNV, 2017).

Dalam konteks kekuatan memanjang, variasi *frame spacing* mempengaruhi distribusi beban dan kekakuan struktur. *Frame spacing* 550 mm menghasilkan struktur yang lebih rapat sehingga distribusi beban lebih merata dibandingkan dengan *frame spacing* 600 mm, yang cenderung menghasilkan beban lebih besar pada setiap elemen struktur.

2.4 **Berat Kontruksi**

Berat konstruksi merupakan total berat seluruh elemen struktur kapal yang meliputi pelat lambung, frame, longitudinal, girder, dan deck. Perhitungan berat konstruksi sangat penting karena menjadi dasar dalam menentukan distribusi beban sepanjang kapal yang selanjutnya digunakan dalam analisis kekuatan memanjang (Watson, 2002). Berat konstruksi tidak hanya bergantung pada ukuran kapal, tetapi juga pada konfigurasi struktur,

termasuk jarak frame (*frame spacing*) yang secara langsung mempengaruhi jumlah elemen yang digunakan.



Gambar 2. 4 Perhitungan Berat Konstruksi

(sumber : [Desain Kapal: Teori dan Perhitungan | PDF | Teknologi & Rekayasa](#))

Secara matematis, berat konstruksi dihitung menggunakan persamaan:

$$W = \rho \cdot V$$

dimana ρ adalah massa jenis material dan V adalah volume total struktur. Untuk elemen pelat, volume dihitung dengan:

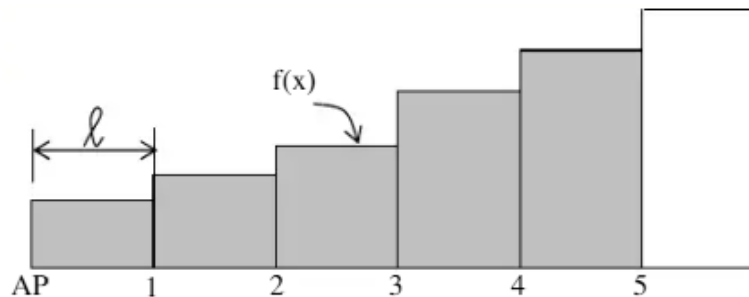
$$V = A \cdot t$$

dengan A adalah luas pelat dan t adalah tebal pelat. Untuk elemen profil seperti frame dan girder, volume dihitung berdasarkan luas penampang dikalikan panjang elemen. Berat konstruksi kemudian dikonversi menjadi beban terdistribusi sepanjang kapal (ton/m) dengan membagi total berat terhadap panjang kapal (Eyres & Bruce, 2012).

Distribusi berat konstruksi tidak selalu merata karena adanya variasi ketebalan pelat dan dimensi struktur pada bagian tertentu, seperti daerah midship yang umumnya memiliki struktur lebih kuat. Variasi *frame spacing* juga mempengaruhi berat konstruksi, dimana spacing yang lebih rapat (550 mm) akan meningkatkan jumlah elemen struktur sehingga berat total meningkat, namun menghasilkan distribusi beban yang lebih merata dibandingkan spacing yang lebih besar (600 mm) (Paik & Thayamballi, 2007).

2.5 Sebaran Beban

Sebaran beban merupakan distribusi seluruh beban yang bekerja pada kapal sepanjang panjang kapal. Beban tersebut terdiri dari berat konstruksi, muatan, mesin, bahan bakar, serta peralatan kapal. Dalam analisis struktur, semua beban tersebut dinyatakan dalam bentuk beban terdistribusi per satuan panjang kapal (Bhattacharyya, 1978).



Gambar 2. 5 Sebaran Beban

(sumber : [Desain Kapal: Teori dan Perhitungan | PDF | Teknologi & Rekayasa](#))

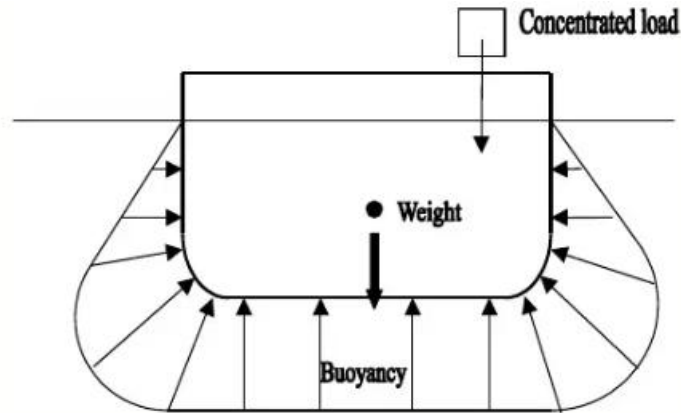
Secara umum, beban terdistribusi dapat dinyatakan dengan:

$$w(x) = \frac{W}{L}$$

dimana W adalah total berat dan L adalah panjang kapal. Namun, dalam kondisi nyata distribusi beban tidak seragam karena dipengaruhi oleh posisi muatan, letak mesin, serta variasi struktur kapal. Oleh karena itu, kapal biasanya dibagi menjadi beberapa segmen (station), dan nilai beban dihitung untuk masing-masing segmen (Tupper, 2013).

Sebaran beban sangat berpengaruh terhadap respon struktur kapal, karena akan menentukan besarnya gaya internal yang terjadi. Distribusi beban yang tidak merata dapat menyebabkan konsentrasi beban pada daerah tertentu, sehingga meningkatkan risiko kegagalan struktur. Oleh karena itu, analisis distribusi beban harus dilakukan secara teliti agar hasil perhitungan gaya lintang dan momen lentur dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya.

2.6 Sebaran Buoyancy



Gambar 2. 6 Sebaran Buoyancy

(Sumber : [Desain Kapal: Teori dan Perhitungan | PDF | Teknologi & Rekayasa](#))

Buoyancy merupakan gaya apung yang bekerja ke atas pada kapal akibat tekanan hidrostatis air laut. Besarnya gaya ini mengikuti prinsip Archimedes, yaitu sama dengan berat air yang dipindahkan oleh kapal (Faltinsen, 1990). Secara matematis, gaya buoyancy dinyatakan sebagai:

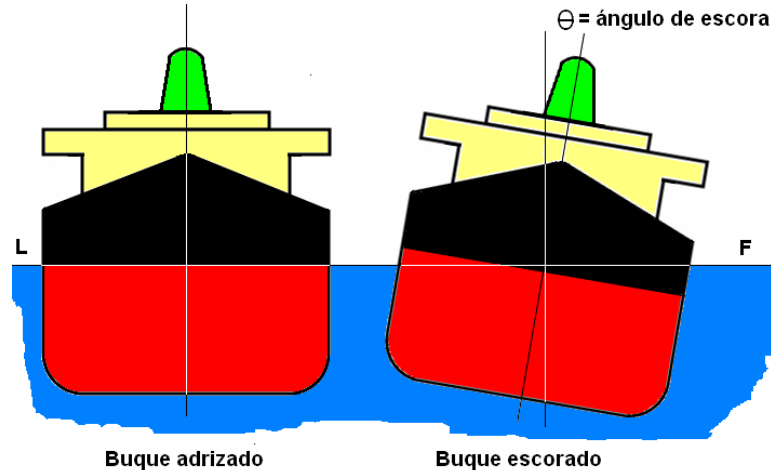
$$B = \rho \cdot g \cdot \nabla$$

dimana ρ adalah massa jenis air laut, g adalah percepatan gravitasi, dan ∇ adalah volume displacement kapal. Gaya buoyancy ini bekerja sepanjang lambung kapal dan distribusinya bergantung pada bentuk geometri lambung.

Distribusi buoyancy sepanjang kapal tidak bersifat seragam, melainkan mengikuti bentuk lambung kapal yang umumnya lebih besar pada bagian tengah (midship) dan lebih kecil pada bagian haluan dan buritan. Oleh karena itu, distribusi buoyancy biasanya direpresentasikan dalam bentuk kurva buoyancy yang diperoleh dari data hidrostatis kapal (Rawson & Tupper, 2001).

Dalam analisis kekuatan memanjang, distribusi buoyancy sangat penting karena berfungsi sebagai gaya penyeimbang terhadap beban kapal. Ketidakseimbangan antara beban dan buoyancy akan menghasilkan gaya internal yang mempengaruhi kekuatan struktur kapal

2.7 Superposisi



Gambar 2. 7 Superposisi Bebandan Buoyancy

(sumber : [Desain Kapal: Teori dan Perhitungan | PDF | Teknologi & Rekayasa](#))

Untuk mendapatkan kondisi pembebanan aktual pada kapal, distribusi beban dan buoyancy harus digabungkan menggunakan prinsip superposisi. Prinsip ini menyatakan bahwa respon total suatu sistem merupakan hasil penjumlahan dari masing-masing komponen beban yang bekerja (Hughes & Paik, 2010).

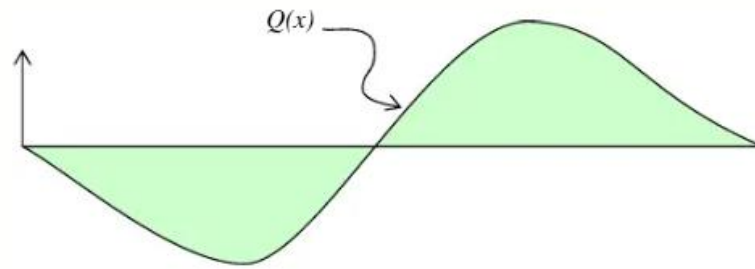
Secara matematis, beban bersih dinyatakan sebagai:

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

dimana $q(x)$ adalah beban bersih, $w(x)$ adalah distribusi beban, dan $b(x)$ adalah distribusi buoyancy. Nilai $q(x)$ inilah yang digunakan sebagai dasar dalam perhitungan gaya lintang dan momen lentur.

Jika nilai $q(x)$ positif, maka beban lebih besar dibandingkan buoyancy, sedangkan jika negatif menunjukkan dominasi gaya apung. Distribusi beban bersih ini biasanya ditampilkan dalam bentuk kurva yang menggambarkan variasi pembebanan sepanjang kapal (Tupper, 2013).

2.8 Gaya Lintang



Gambar 2. 8 Gaya Lintang

(sumber : [Desain Kapal: Teori dan Perhitungan | PDF | Teknologi & Rekayasa](#))

Gaya lintang merupakan gaya internal yang timbul akibat distribusi beban bersih sepanjang kapal. Gaya ini dihitung sebagai integral dari beban bersih terhadap panjang kapal, yaitu:

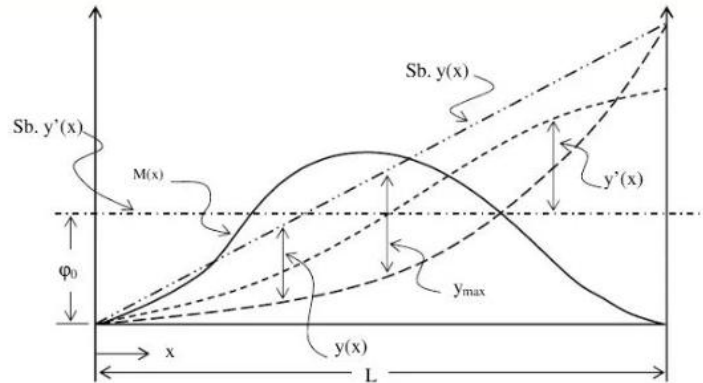
$$V(x) = \int q(x) dx$$

dimana $V(x)$ adalah gaya lintang pada posisi tertentu. Dalam praktik, perhitungan ini sering dilakukan secara numerik menggunakan metode integrasi diskrit karena distribusi beban tidak seragam (Lewis, 1988).

Diagram gaya lintang digunakan untuk menggambarkan distribusi gaya internal sepanjang kapal dan untuk menentukan lokasi dimana gaya mencapai nilai maksimum. Nilai maksimum gaya lintang biasanya terjadi pada daerah tertentu yang dipengaruhi oleh distribusi beban dan buoyancy.

Gaya lintang memiliki peran penting dalam analisis struktur karena menjadi dasar dalam perhitungan momen lentur. Kesalahan dalam menentukan gaya lintang akan berdampak langsung pada hasil perhitungan momen, sehingga diperlukan ketelitian dalam proses perhitungannya.

2.9 Momen Lentur



Gambar 2. 9 Momen Lentur

Momen lentur merupakan parameter utama dalam analisis kekuatan memanjang kapal karena berkaitan langsung dengan tegangan yang terjadi pada struktur. Momen lentur dihitung sebagai integral dari gaya lintang.

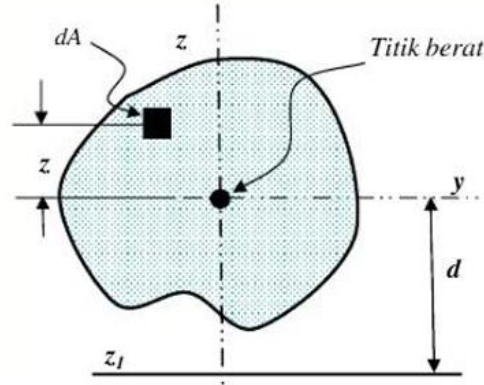
$$M(x) = \int V(x) dx$$

dimana $M(x)$ adalah momen lentur pada posisi tertentu. Momen lentur menunjukkan kecenderungan struktur untuk mengalami deformasi akibat beban yang bekerja (Rawson & Tupper, 2001).

Diagram momen lentur digunakan untuk menentukan nilai maksimum momen yang terjadi sepanjang kapal. Pada umumnya, nilai maksimum momen terjadi di daerah midship, sehingga bagian ini menjadi fokus utama dalam desain struktur kapal.

Besarnya momen lentur sangat dipengaruhi oleh distribusi beban dan buoyancy. Oleh karena itu, analisis momen lentur menjadi tahap penting dalam evaluasi kekuatan memanjang kapal, khususnya dalam membandingkan pengaruh variasi *frame spacing*.

2.10 Momen Inersia Penampang



Gambar 2. 10 Momen Inersia

Momen inersia penampang atau second moment of area merupakan parameter geometris yang menunjukkan distribusi luas penampang terhadap suatu sumbu tertentu. Dalam analisis struktur kapal, momen inersia digunakan untuk mengetahui kemampuan penampang struktur dalam menahan pembebanan lentur. Semakin jauh suatu luas penampang berada dari sumbu netral, semakin besar kontribusinya terhadap momen inersia (Hughes & Paik, 2010).

Pada analisis kekuatan memanjang kapal, penampang melintang kapal dapat dipandang sebagai bagian dari hull girder yang menahan momen lentur longitudinal. Oleh karena itu, distribusi elemen konstruksi seperti pelat dasar, pelat sisi, pelat geladak, longitudinal, beam, dan elemen penguat lainnya akan memengaruhi nilai momen inersia keseluruhan penampang.

Secara matematis, momen inersia terhadap sumbu x didefinisikan sebagai:

$$I_x = \int_A y^2 dA$$

sedangkan terhadap sumbu y :

$$I_y = \int_A x^2 dA$$

dengan:

- I_x = momen inersia terhadap sumbu x (mm^4)
- I_y = momen inersia terhadap sumbu y (mm^4)
- A = luas penampang (mm^2)
- x = jarak elemen luas terhadap sumbu y (mm)
- y = jarak elemen luas terhadap sumbu x (mm).

Konsep tersebut menunjukkan bahwa jarak terhadap sumbu netral memiliki pengaruh kuadrat terhadap momen inersia. Dengan demikian, elemen struktur yang berada jauh dari sumbu netral memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap kekakuan lentur penampang.

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai kekuatan memanjang kapal telah dilakukan dengan berbagai pendekatan, baik secara teoritis maupun numerik. Salah satu penelitian pada tahun 2022 dengan judul *Longitudinal Strength Analysis of Ship Hull Using Beam theory* membahas analisis kekuatan memanjang badan kapal menggunakan pendekatan teori balok (*beam theory*). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa distribusi beban dan gaya apung (*buoyancy*) merupakan parameter yang berpengaruh terhadap pembentukan momen lentur pada badan kapal. Perbedaan antara distribusi berat kapal dan distribusi gaya apung sepanjang kapal menghasilkan beban bersih yang selanjutnya memengaruhi gaya lintang dan momen lentur pada struktur kapal.

Penelitian selanjutnya pada tahun 2021 dengan judul *Structural Assessment of Ship Hull under Distributed Load* melakukan penilaian struktur badan kapal menggunakan pendekatan analitik dan *Finite Element Method* (FEM). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa distribusi beban yang bekerja pada badan kapal menyebabkan timbulnya tegangan pada struktur, dengan respons struktur yang signifikan terutama pada daerah tengah kapal (*midship*). Hasil tersebut memperlihatkan pentingnya analisis distribusi beban dalam mengevaluasi kondisi kekuatan struktur kapal akibat pembebanan yang bekerja sepanjang badan kapal.

Selain aspek pembebanan, parameter geometris konstruksi juga memiliki pengaruh terhadap karakteristik struktur kapal. Penelitian tahun 2023 yang berjudul *Effect of Frame spacing on Ship Structural Weight* membahas pengaruh jarak antar-frame (*frame spacing*) terhadap berat konstruksi kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *frame spacing* yang lebih rapat dapat meningkatkan jumlah elemen konstruksi sehingga berdampak pada peningkatan berat struktur. Namun, jarak *frame* yang lebih rapat juga dapat memberikan dukungan struktural yang lebih sering sehingga berpengaruh terhadap distribusi beban dan kekakuan konstruksi. Dengan demikian, pemilihan *frame spacing* merupakan salah satu aspek desain yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan struktur kapal.

Penelitian dengan judul *Analysis of Bending Moment and Shear Force in Ship Hull* pada tahun 2020 membahas hubungan antara distribusi beban dengan gaya lintang dan momen lentur menggunakan perhitungan teoritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai gaya lintang dan momen lentur dipengaruhi oleh distribusi beban sepanjang badan kapal. Momen lentur yang besar umumnya berkaitan dengan ketidakseimbangan antara distribusi berat kapal dan gaya apung. Penelitian tersebut menjadi dasar bahwa evaluasi

kekuatan memanjang tidak dapat dipisahkan dari analisis distribusi beban, gaya apung, gaya lintang, dan momen lentur.

Pada kapal ikan, perubahan kondisi pembebanan juga dapat memengaruhi respons struktur. Penelitian tahun 2022 dengan judul *Structural Behavior of Fishing Vessel under Load Variation* mengkaji perilaku struktur kapal ikan akibat variasi kondisi beban operasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan kondisi pembebanan dapat menyebabkan perubahan pada respons dan kekuatan struktur kapal. Hal tersebut menunjukkan bahwa analisis kekuatan kapal ikan perlu mempertimbangkan kondisi pembebanan yang berbeda, seperti kondisi kapal kosong maupun kondisi kapal dengan muatan penuh.

Selanjutnya, penelitian *Hull Girder Strength Evaluation Using Analytical Method* pada tahun 2021 membahas evaluasi kekuatan *hull girder* menggunakan metode analitik dengan pemodelan badan kapal sebagai balok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan teori balok dapat digunakan untuk menganalisis kekuatan memanjang kapal secara efektif. Pendekatan tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan distribusi beban sepanjang kapal sehingga dapat diperoleh parameter utama berupa gaya lintang dan momen lentur sebagai dasar dalam mengevaluasi respons kekuatan memanjang kapal.

Penelitian tahun 2020 dengan judul *Load and Buoyancy Distribution on Ship Structure* secara khusus membahas distribusi beban dan gaya apung pada struktur kapal melalui analisis hidrostatik. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa interaksi antara distribusi berat dan distribusi gaya apung menentukan terbentuknya gaya lintang dan momen lentur sepanjang badan kapal. Oleh karena itu, data hidrostatik dan distribusi gaya apung menjadi bagian penting dalam proses analisis kekuatan memanjang, karena keduanya digunakan untuk menentukan keseimbangan beban yang bekerja pada badan kapal.

Sementara itu, penelitian *Influence of Structural Parameters on Ship Strength* menggunakan pendekatan analisis parametrik untuk mengetahui pengaruh parameter konstruksi terhadap kekuatan struktur kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter konstruksi, termasuk *frame spacing*, dapat memengaruhi kekakuan dan tegangan pada struktur kapal. Perubahan jarak antar-*frame* akan mengubah konfigurasi konstruksi dan distribusi elemen penegar sehingga dapat memberikan perbedaan terhadap respons struktur kapal.

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu tersebut, dapat diketahui bahwa analisis kekuatan memanjang kapal pada umumnya berkaitan erat dengan distribusi berat, distribusi gaya apung, gaya lintang, dan momen lentur. Pendekatan teori balok (*beam theory*) dapat digunakan untuk menggambarkan perilaku badan kapal sebagai suatu *hull girder*, sedangkan metode numerik seperti FEM dapat digunakan untuk memperoleh gambaran respons tegangan dan deformasi struktur secara lebih rinci. Selain itu, penelitian terdahulu menunjukkan bahwa parameter konstruksi, khususnya *frame spacing*, memiliki

hubungan dengan karakteristik struktur, seperti berat konstruksi, distribusi beban, kekakuan, dan tegangan yang terjadi pada badan kapal.

Meskipun demikian, penelitian terdahulu tersebut pada umumnya membahas kekuatan memanjang secara umum, pengaruh variasi pembebanan, atau pengaruh *frame spacing* terhadap aspek tertentu seperti berat dan kekakuan struktur. Kajian yang secara khusus membandingkan pengaruh variasi *frame spacing* 550 mm dan 600 mm terhadap kekuatan memanjang pada kapal ikan 120 GT masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perbedaan karakteristik kekuatan memanjang kapal ikan 120 GT dengan variasi *frame spacing* 550 mm dan 600 mm. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan distribusi berat dan gaya apung sepanjang kapal untuk memperoleh distribusi beban bersih, gaya lintang, dan momen lentur, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi respons kekuatan memanjang pada kedua variasi *frame spacing* tersebut.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh perubahan jarak antar-*frame* terhadap perilaku kekuatan memanjang kapal ikan 120 GT. Hasil perbandingan kedua variasi tersebut dapat digunakan untuk melihat bagaimana perubahan konfigurasi konstruksi berhubungan dengan parameter kekuatan memanjang, sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan dalam evaluasi desain konstruksi kapal.