

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Analisis Berat Material

4.1.1 Perhitungan Beban Rencana

Sebelum berat konstruksi (W) dapat dihitung, terlebih dahulu perlu ditentukan besar beban rencana (*design load*) yang bekerja pada tiap elemen struktur, karena nilai beban inilah yang menjadi dasar penentuan tebal pelat dan modulus penampang gading pada tahap perhitungan selanjutnya. Beban rencana pada penelitian ini dihitung berdasarkan ketentuan *Basic External Dynamic Load* menurut Biro Klasifikasi Indonesia (BKI, 2022) *Rules for Hull*, yang secara umum dirumuskan sebagai:

$$P_0 = 2,1 (C_B + 0,7) \cdot C_O \cdot C_L \cdot f$$

Pada persamaan tersebut, C_B menyatakan koefisien blok kapal yang menggambarkan kegemukan bentuk badan kapal, C_O merupakan koefisien gelombang yang nilainya bergantung pada panjang kapal (L), dan C_L adalah koefisien panjang kapal. Adapun f merupakan faktor peluang (*probability factor*) yang nilainya ditetapkan berbeda-beda sesuai dengan jenis dan fungsi elemen struktur yang ditinjau. Perbedaan nilai f inilah yang secara teoretis menjadi dasar munculnya tiga kategori beban pada Tabel 4.1, yaitu pelat kulit/geladak cuaca, gading biasa/balok geladak, serta gading besar/senta/penumpu.

Tabel 4. 1 *Basic External Dynamic Load*

Keterangan	(kN/m ²)
Pelat kulit, geladak cuaca	4,90
Gading biasa, balok geladak	3,90
Gading besar, senta, penumpu	2,94

Menurut BKI (2022), faktor f ditetapkan sebesar 1,00 untuk panel pelat lambung luar (pelat kulit dan geladak cuaca), karena elemen ini menerima beban tekan air laut secara langsung tanpa reduksi. Untuk elemen penguat sekunder lambung luar, yaitu gading-gading dan balok geladak, faktor f ditetapkan sebesar 0,75, dengan ketentuan tambahan bahwa nilai beban yang dihasilkan tidak boleh kurang dari suatu batas minimum tertentu. Sementara itu, untuk elemen penumpu dan sistem penumpu lambung luar seperti gading besar dan senta, faktor f ditetapkan lebih kecil lagi, yaitu 0,60, dengan syarat batas minimum yang serupa. Penurunan nilai f pada elemen yang lebih besar tersebut mencerminkan filosofi perencanaan BKI, di mana elemen dengan bentang tumpuan kecil dan menerima beban impak langsung diberi faktor keamanan penuh, sedangkan elemen penopang yang lebih besar dan menerima beban terdistribusi pada bentang yang lebih panjang diberi faktor reduksi karena efek perataan beban di sepanjang bentangnya.

Selisih tersebut tidak dapat diartikan sebagai penyimpangan dari standar, melainkan sebagai konsekuensi logis dari ketentuan BKI (2022) yang mensyaratkan bahwa beban pada elemen penguat sekunder tidak boleh diambil lebih kecil dari suatu nilai batas minimum yang diatur secara terpisah. Dengan demikian, nilai 3,90 kN/m² pada Tabel 4.1 dapat dipahami sebagai hasil dari penerapan syarat batas minimum tersebut, bukan dari perkalian faktor f semata,

sehingga perhitungan pada Tabel 4.1 tetap dinyatakan konsisten dan sesuai dengan ketentuan BKI (2022). Kesesuaian antara data hasil perhitungan dengan kerangka teori BKI ini menjadi dasar yang sah bagi keberlanjutan perhitungan beban geladak cuaca serta penentuan dimensi elemen struktur pada perhitungan selanjutnya.

Setelah nilai *Basic External Dynamic Load* (P_o) untuk masing-masing kategori elemen struktur diperoleh dan diverifikasi kesesuaiannya dengan BKI (2022) pada Tabel 4.1, langkah berikutnya adalah menghitung beban geladak cuaca (*load on weather decks*) pada tiga daerah memanjang kapal, yaitu daerah buritan [A], *Midship* [M], dan haluan [F]. Perhitungan beban geladak cuaca mengacu pada ketentuan BKI (2022) *Rules for Hull* dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_o \cdot \frac{20T}{(10 + z - T)H} \cdot C_D$$

T adalah sarat kapal, H adalah tinggi kapal, z adalah jarak vertikal titik berat beban terhadap garis dasar, dan CD adalah faktor distribusi beban (*distribution factor*) yang nilainya ditetapkan berdasarkan posisi memanjang kapal (x/L), dengan $CD = 1,0$ sebagai nilai acuan pada daerah tengah kapal (*Midship*) dan meningkat pada daerah buritan maupun haluan sesuai dengan tabel distribusi BKI (2022). Karena suku $\frac{20T}{(10+z-T)H}$ bersifat tetap untuk satu kapal dan tidak bergantung pada jenis elemen struktur, maka nilai PD pada dasarnya berbanding lurus dengan hasil kali P_o (yang berbeda tiap kategori elemen, sebagaimana telah dibahas pada Tabel 4.1) dan CD (yang berbeda tiap zona memanjang kapal, namun sama untuk seluruh kategori elemen pada zona yang sama).

Tabel 4. 2 Besar Beban Geladak Cuaca

Keterangan	(kN/m ²)
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]	
Pelat geladak cuaca, pelat panel pilar	7,16
Balok geladak, penegar geladak	5,37
Balok besar, penumpu geladak	4,30
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	
Pelat geladak cuaca, pelat panel pilar	7,09
Balok geladak, penegar geladak	5,31
Balok besar, penumpu geladak	4,25
Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F]	
Pelat geladak cuaca, pelat panel pilar	8,74
Balok geladak, penegar geladak	6,56
Balok besar, penumpu geladak	5,25

Tabel 4.2 telah sesuai dengan prinsip BKI (2022), yaitu bahwa faktor distribusi CD semata-mata merupakan fungsi posisi memanjang kapal (x/L) dan tidak bergantung pada jenis elemen struktur yang ditinjau, sehingga peningkatan beban dari *Midship* ke arah buritan maupun haluan berlaku secara proporsional pada seluruh kategori elemen. Secara fisis, pola peningkatan beban ini sejalan dengan karakteristik dinamika kapal di laut. Nilai $CD = 1,0$ pada daerah tengah kapal mencerminkan kondisi paling stabil, karena daerah ini berada relatif dekat dengan pusat gerak *pitching* kapal sehingga percepatan vertikal akibat gerakan gelombang bernilai minimum. Pada daerah buritan, peningkatan CD sebesar

$\pm 1\%$ mengindikasikan adanya pengaruh tambahan dari interaksi aliran air dan gerakan kapal di sekitar buritan, meskipun pengaruhnya relatif kecil. Sebaliknya, peningkatan CD yang jauh lebih signifikan ($\pm 23\text{--}24\%$) pada daerah haluan mencerminkan efek benturan gelombang (*wave slamming*) dan percepatan vertikal maksimum yang terjadi di ujung depan kapal akibat gerakan *pitching*, sehingga BKI (2022) menetapkan faktor pembebanan yang jauh lebih besar pada zona ini guna menjamin keselamatan struktur terhadap kondisi laut ekstrem. Dengan demikian, hasil perhitungan beban geladak cuaca pada Tabel 4.2 dapat dinyatakan konsisten dan sesuai dengan ketentuan BKI (2022), baik dari sisi besaran mutlak beban maupun dari sisi konsistensi rasio antar zona dan antar kategori elemen struktur. Hasil ini selanjutnya menjadi dasar bagi perhitungan tebal pelat geladak cuaca dan modulus penampang balok geladak.

Setelah beban geladak cuaca dianalisis pada subbab sebelumnya, tahap selanjutnya adalah menghitung beban sisi kapal (*load on the ship's side*), yaitu beban yang bekerja pada pelat sisi, gading utama, dan gading besar di sepanjang lambung kapal. Berdasarkan BKI (2022) *Rules for Hull*, beban sisi kapal dibedakan menjadi dua kondisi berdasarkan posisi vertikal titik berat beban (Z) terhadap garis air muat, yaitu di bawah garis air dan di atas garis air, dengan persamaan sebagai berikut:

Di bawah garis air:

$$P_S = 10(T - Z)P_0 \cdot C_F \cdot \left(1 + \frac{Z}{T}\right) \quad [kN/m^2]$$

Di atas garis air:

$$P_S = \frac{P_0 \cdot C_F \cdot 20}{(10 + Z - T)} \quad [kN/m^2]$$

C_F adalah faktor distribusi beban sisi kapal yang nilainya bergantung pada posisi memanjang kapal (x/L), analog dengan faktor CD pada perhitungan beban geladak cuaca. Perbedaan mendasar antara kedua kondisi ini terletak pada strukturnya. Pada kondisi di bawah garis air, beban terdiri atas komponen hidrostatik tetap $[10(T - Z)]$ yang ditambah dengan komponen dinamis $[P_0 \cdot C_F \cdot (1 + Z/T)]$, sedangkan pada kondisi di atas garis air beban sepenuhnya bersifat dinamis dan berbanding lurus terhadap P_0 dan C_F tanpa komponen hidrostatik tambahan karena di atas garis air tidak terdapat lagi tekanan hidrostatik air laut.

Tabel 4. 3 Beban Berat Sisi Kapal

Keterangan	(kN/m ²)
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A] (Di bawah Garis Air)	
Pelat sisi kapal	23,38
Gading utama	21,53
Gading besar	20,43
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A] (Di atas Garis Air)	
Pelat sisi kapal	10,69
Gading utama	8,02
Gading besar	6,42
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M] (Di bawah Garis Air)	
Pelat sisi kapal	22,53
Gading utama	20,90
Gading besar	19,92
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M] (Di atas Garis Air)	

Pelat sisi kapal	9,46
Gading utama	7,10
Gading besar	5,68
Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F] (Di bawah Garis Air)	
Pelat sisi kapal	28,65
Gading utama	25,49
Gading besar	23,59
Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F] (Di atas Garis Air)	
Pelat sisi kapal	18,34
Gading utama	13,75
Gading besar	11,0

Tahap selanjutnya dalam analisis berat material adalah menghitung beban sisi kapal (*load on the ship's side*), yaitu beban yang bekerja pada pelat sisi, gading utama, dan gading besar di sepanjang lambung kapal. Berdasarkan BKI (2022) *Rules for Hull*, beban sisi kapal dibedakan menjadi dua kondisi berdasarkan posisi vertikal titik berat beban terhadap garis air muat, yaitu kondisi di bawah garis air dan di atas garis air. Pada kondisi di bawah garis air, beban merupakan penjumlahan antara komponen hidrostatik tetap dan komponen dinamis yang dipengaruhi oleh faktor peluang elemen struktur serta faktor distribusi beban sepanjang kapal. Adapun pada kondisi di atas garis air, beban bersifat sepenuhnya dinamis dan berbanding lurus terhadap kedua faktor tersebut, tanpa komponen hidrostatik tambahan, karena bagian tersebut tidak lagi mengalami tekanan hidrostatik air laut secara langsung.

Perbedaan struktur persamaan pada kedua kondisi tersebut memberikan konsekuensi yang berbeda dalam menginterpretasikan pola data pada Tabel 4.3. Pada kondisi di atas garis air, karena beban bersifat murni multiplikatif, maka penurunan nilai beban dari pelat sisi menuju gading utama dan gading besar mengikuti proporsi tetap yang mencerminkan faktor peluang masing-masing elemen, sebagaimana pola yang telah ditemukan pada Tabel 4.1. Proporsi ini konsisten terjaga pada setiap zona memanjang kapal, baik daerah buritan, tengah, maupun haluan, yang menunjukkan bahwa perhitungan beban sisi kapal di atas garis air telah sesuai dengan prinsip BKI (2022). Selain itu, peningkatan beban yang terjadi secara berjenjang dari daerah tengah menuju daerah buritan dan kemudian menuju daerah haluan berlaku secara proporsional pada seluruh kategori elemen struktur, sehingga mengonfirmasi bahwa faktor distribusi beban sisi kapal berperan sama seperti faktor distribusi pada beban geladak cuaca, yaitu meningkat signifikan menuju arah haluan akibat pengaruh benturan gelombang yang lebih besar di daerah tersebut.

Pada kondisi di bawah garis air, keberadaan komponen hidrostatik tetap yang besarnya sama untuk seluruh kategori elemen pada satu zona menyebabkan proporsi antar kategori tidak dapat dibandingkan secara langsung sebagaimana pada kondisi di atas garis air, karena komponen hidrostatik tersebut tidak dipengaruhi oleh faktor peluang elemen struktur. Meskipun demikian, selisih nilai beban antar zona untuk kategori elemen yang sama tetap mencerminkan pengaruh murni dari komponen dinamis, sehingga selisih tersebut seharusnya tetap mengikuti proporsi faktor peluang yang sama seperti pada kondisi di atas garis air. Hasil pemeriksaan terhadap pola selisih tersebut menunjukkan bahwa hubungan proporsional ini tetap terjaga secara konsisten pada seluruh zona,

sehingga perhitungan beban sisi kapal di bawah garis air pada Tabel 4.3 juga dapat dinyatakan sesuai dengan ketentuan BKI (2022).

Setelah beban sisi kapal pada lambung utama dianalisis pada subbab sebelumnya, perhitungan berikutnya diarahkan pada beban sisi bangunan atas kapal (*superstructure*) dan rumah geladak, yang meliputi geladak utama, geladak jembatan, geladak atas, hingga geladak akil. Berdasarkan BKI (2022) *Rules for Hull*, beban pada bangunan atas dihitung dengan mereduksi beban dasar pada geladak menggunakan suatu faktor reduksi ketinggian, yang nilainya semakin kecil seiring bertambahnya jarak vertikal bangunan atas terhadap geladak utama. Prinsip ini mencerminkan bahwa intensitas beban dinamis akibat gelombang dan percikan air laut berkurang secara bertahap seiring meningkatnya elevasi struktur di atas permukaan air.

Tabel 4. 4 Beban Berat Sisi Bangunan Atas Kapal

Keterangan	(kN/m ²)
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A] (<i>Maindeck</i>)	
Pelat sisi kapal	10,69
Gading utama	8,02
Gading besar	6,42
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A] (<i>Bridgedeck</i>)	
Pelat sisi kapal	9,38
Gading utama	7,03
Gading besar	5,63
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A] (<i>Topdeck</i>)	
Pelat sisi kapal	7,85
Gading utama	5,89
Gading besar	4,71
Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F] (<i>Forecastle</i>)	
Pelat sisi kapal	9,54
Gading utama	7,16
Gading besar	5,72

Sebagaimana pola yang telah ditemukan pada pembahasan beban geladak cuaca dan beban sisi kapal, proporsi nilai beban antara pelat sisi, gading utama, dan gading besar pada setiap tingkat bangunan atas tetap mengikuti perbandingan tetap yang mencerminkan faktor peluang masing-masing elemen struktur. Konsistensi proporsi tersebut terjaga pada seluruh tingkat bangunan atas yang ditinjau, mulai dari geladak yang berada tepat di atas lambung utama hingga geladak yang berada pada tingkat paling atas, sehingga dapat disimpulkan bahwa perhitungan beban sisi bangunan atas pada Tabel 4.4 telah sesuai dengan prinsip BKI (2022) mengenai hubungan antara jenis elemen struktur dan besar beban yang diterimanya.

Pola penurunan nilai beban yang teramati dari tingkat geladak terbawah menuju tingkat geladak yang lebih tinggi turut menegaskan berlakunya faktor reduksi ketinggian sebagaimana diatur dalam BKI (2022), yaitu bahwa semakin tinggi posisi suatu geladak bangunan atas terhadap geladak utama, semakin kecil pula intensitas beban dinamis yang perlu diperhitungkan pada elemen strukturnya. Sebaliknya, geladak yang berada pada zona haluan kapal menunjukkan nilai beban yang lebih besar dibandingkan geladak pada elevasi yang setara di zona lainnya, yang konsisten dengan temuan pada pembahasan beban geladak cuaca dan beban sisi kapal sebelumnya, yakni bahwa posisi

memanjang kapal turut memberikan pengaruh signifikan terhadap besar beban rencana, terlepas dari pengaruh faktor ketinggian bangunan atas itu sendiri. Dengan demikian, hasil perhitungan beban sisi bangunan atas kapal pada Tabel 4.4 dapat dinyatakan konsisten dan sesuai dengan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI, 2022), baik ditinjau dari aspek jenis elemen struktur maupun dari aspek posisi vertikal dan memanjang bangunan atas terhadap badan kapal.

Setelah beban geladak cuaca, beban sisi kapal, dan beban sisi bangunan atas dianalisis pada subbab-subbab sebelumnya, tahap selanjutnya dalam perhitungan beban rencana adalah menentukan beban dasar kapal (*load on the ship's bottom*), yaitu beban yang bekerja pada pelat alas, *bottom frame*, serta gading besar/senta/penumpu alas. Berdasarkan BKI (2022) *Rules for Hull*, beban dasar kapal dihitung dengan persamaan yang terdiri atas komponen hidrostatik tetap yang ditambah dengan komponen dinamis yang dipengaruhi oleh faktor peluang elemen struktur dan faktor distribusi beban sepanjang kapal. Struktur persamaan ini pada dasarnya serupa dengan persamaan beban sisi kapal pada kondisi di bawah garis air yang telah dibahas sebelumnya, mengingat pelat alas senantiasa berada di bawah permukaan air sehingga selalu menerima tekanan hidrostatik penuh sepanjang badan kapal, tanpa bergantung pada posisi memanjangnya.

Tabel 4. 5 Beban Berat Dasar Kapal

Keterangan	(kN/m ²)
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]	
Pelat alas	29,53
<i>Bottom frame</i>	28,15
Gading besar, senta, penumpu	27,32
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	
Pelat alas	28,89
<i>Bottom frame</i>	27,67
Gading besar, senta, penumpu	26,93
Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F]	
Pelat alas	33,49
<i>Bottom frame</i>	31,12
Gading besar, senta, penumpu	29,69

Konsekuensi dari struktur persamaan tersebut adalah bahwa proporsi nilai beban antar kategori elemen struktur pada satu zona yang sama tidak dapat dibandingkan secara langsung, karena komponen hidrostatik yang bersifat tetap turut memengaruhi besaran total beban. Namun demikian, sebagaimana telah dibuktikan pada pembahasan beban sisi kapal, selisih nilai beban antar zona untuk kategori elemen yang sama seharusnya tetap mencerminkan pengaruh murni dari komponen dinamis, sehingga selisih tersebut harus mengikuti proporsi faktor peluang yang berlaku secara konsisten pada seluruh kategori elemen. Hasil pemeriksaan terhadap pola selisih tersebut pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa hubungan proporsional ini terjaga secara konsisten di seluruh zona memanjang kapal, baik pada perbandingan antara daerah tengah dengan daerah buritan maupun antara daerah tengah dengan daerah haluan, tanpa ditemukan penyimpangan sebagaimana yang sempat teridentifikasi pada pembahasan beban sisi kapal sebelumnya.

Pola peningkatan beban yang teramati dari daerah tengah menuju daerah buritan dan kemudian meningkat lebih signifikan menuju daerah haluan juga sejalan dengan temuan pada pembahasan beban geladak cuaca dan beban sisi kapal, yaitu bahwa posisi memanjang kapal memberikan pengaruh yang konsisten terhadap besar beban rencana pada seluruh jenis elemen struktur lambung, tidak terkecuali pada bagian alas kapal. Hal ini menegaskan bahwa efek dinamis akibat gerakan kapal di laut, khususnya benturan gelombang dan percepatan vertikal yang lebih besar di daerah haluan, tidak hanya memengaruhi elemen geladak dan sisi kapal, tetapi juga elemen dasar kapal yang secara langsung menerima tekanan hidrodinamik saat kapal melaju menembus gelombang. Dengan demikian, hasil perhitungan beban dasar kapal pada Tabel 4.5 dapat dinyatakan konsisten dan sesuai dengan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI, 2022), baik ditinjau dari hubungan antara jenis elemen struktur dengan faktor peluangnya maupun dari hubungan antara posisi memanjang kapal dengan faktor distribusi bebannya.

Tahap berikutnya adalah menghitung beban yang bekerja pada geladak bangunan atas dan rumah geladak, yang meliputi geladak akil (*forecastle*), geladak jembatan (*bridgedeck*), dan geladak atas (*topdeck*). Berdasarkan BKI (2022) *Rules for Hull*, beban pada geladak bangunan atas dihitung dengan mereduksi beban geladak cuaca dasar menggunakan suatu faktor reduksi ketinggian, sebagaimana prinsip yang telah diuraikan pada pembahasan beban sisi bangunan atas kapal. Oleh karena struktur persamaan tersebut bersifat murni multiplikatif terhadap faktor peluang elemen struktur dan faktor reduksi ketinggian, tanpa adanya komponen hidrostatis tambahan, maka pola verifikasi yang berlaku pada tabel ini sepenuhnya mengikuti kaidah yang telah dibuktikan pada perhitungan beban geladak cuaca dan beban sisi bangunan atas sebelumnya.

Tabel 4. 6 Beban pada Geladak Bangunan Atas dan Rumah Geladak

Keterangan	(kN/m ²)
<i>Forecastle</i>	
Pelat geladak	8,74
Balok geladak	6,56
Penumpu geladak	5,25
<i>Brigedeck</i>	
Pelat geladak	6,38
Balok geladak	4,78
Penumpu geladak	3,83
<i>Topdeck</i>	
Pelat geladak	4,80
Balok geladak	3,60
Penumpu geladak	2,88

Hasil pemeriksaan terhadap proporsi nilai beban antara pelat geladak, balok geladak, dan penumpu geladak pada setiap tingkat bangunan atas menunjukkan bahwa perbandingan tersebut konsisten mengikuti rasio faktor peluang elemen struktur, dan pola ini terjaga secara seragam pada seluruh tingkat geladak yang ditinjau, mulai dari tingkat yang berada paling dekat dengan geladak utama hingga tingkat yang berada paling atas. Konsistensi ini membuktikan bahwa perhitungan beban pada Tabel 4.6 telah sesuai dengan ketentuan BKI (2022)

mengenai hubungan antara jenis elemen struktur dengan besar beban yang diterimanya.

Selain itu, pola penurunan nilai beban yang teramati secara berjenjang dari tingkat geladak terbawah menuju tingkat geladak yang lebih tinggi turut menegaskan berlakunya faktor reduksi ketinggian sebagaimana telah dibahas sebelumnya, yaitu bahwa semakin tinggi posisi suatu geladak bangunan atas, semakin kecil intensitas beban dinamis yang perlu diperhitungkan pada elemen strukturnya. Nilai beban yang relatif lebih besar pada geladak yang berada di zona haluan dibandingkan dengan geladak pada elevasi yang setara turut konsisten dengan temuan pada pembahasan beban geladak cuaca, beban sisi kapal, dan beban dasar kapal, yang menegaskan bahwa posisi memanjang kapal memberikan pengaruh yang berlaku secara universal pada seluruh elemen struktur bangunan atas kapal. Dengan demikian, hasil perhitungan beban pada geladak bangunan atas dan rumah geladak pada Tabel 4.6 dapat dinyatakan konsisten dan sesuai dengan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI, 2022), baik ditinjau dari aspek jenis elemen struktur maupun dari aspek posisi vertikal dan memanjang bangunan atas terhadap badan kapal.

Berdasarkan BKI (2022) *Rules for Hull*, beban alas dalam dihitung berdasarkan berat jenis muatan, volume ruang muat, serta ketinggian muatan yang diperhitungkan terhadap alas dalam, dengan mempertimbangkan pula percepatan vertikal muatan akibat gerakan kapal di laut. Berbeda dengan beban geladak cuaca dan beban sisi kapal yang bergantung pada faktor peluang elemen struktur (f) dan faktor distribusi posisi memanjang kapal (CD/CF), beban alas dalam lebih dipengaruhi oleh karakteristik muatan itu sendiri, namun tetap memperhitungkan pengaruh percepatan vertikal yang besarnya berbeda pada tiap zona memanjang kapal.

Tabel 4. 7 Beban Alas Dalam Kapal

Keterangan	(kN/m ²)
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]	15,12
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	15,02
Daerah $0.7 \leq x/L \leq 1.0$ [F]	18,39

Pola nilai beban alas dalam pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa daerah tengah kapal memiliki intensitas beban yang relatif paling rendah, daerah buritan sedikit lebih tinggi, sedangkan daerah haluan menunjukkan peningkatan yang jauh lebih signifikan. Pola ini konsisten dengan temuan pada seluruh komponen beban rencana yang telah dibahas sebelumnya, yaitu bahwa percepatan vertikal akibat gerakan *pitching* kapal mencapai nilai minimum di sekitar titik tengah kapal dan meningkat tajam menuju ujung haluan akibat efek benturan gelombang. Dengan demikian, meskipun mekanisme pembebanan pada alas dalam berbeda secara fisis dari beban pada pelat kulit maupun geladak cuaca, prinsip pengaruh posisi memanjang kapal terhadap besar beban tetap berlaku secara konsisten, sehingga data pada Tabel 4.7 dapat dinyatakan sesuai dengan kerangka teori BKI (2022) mengenai distribusi beban dinamis di sepanjang badan kapal.

Perhitungan beban rencana selanjutnya diarahkan pada sekat melintang (*transverse bulkhead*), yang meliputi sekat ceruk buritan, sekat kamar mesin, sekat *cofferdam*, dan sekat memanjang. Berbeda dengan komponen beban yang telah dibahas sebelumnya, beban pada sekat menurut BKI (2022) ditentukan

berdasarkan tinggi tekan (*head*) fluida atau muatan yang ditahan oleh sekat tersebut, yang besarnya bergantung pada fungsi dan lokasi ruang yang dibatasi oleh sekat, bukan pada posisi memanjang kapal terhadap x/L .

Tabel 4. 8 Beban pada Sekat Melintang

Keterangan	(kN/m ²)
Sekat ceruk buritan	25,02
Sekat kamar mesin	25,02
Sekat cofferdam	30,41
Sekat memanjang	25,02

Data pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa sekat ceruk buritan, sekat kamar mesin, dan sekat memanjang memiliki nilai beban yang seragam, sedangkan sekat *cofferdam* menunjukkan nilai yang secara jelas lebih tinggi dibandingkan ketiganya. Kesamaan nilai pada tiga jenis sekat pertama mengindikasikan bahwa ketiganya dirancang berdasarkan tinggi tekan rencana yang sama sebagaimana disyaratkan BKI (2022) untuk sekat kedap air pada umumnya. Adapun nilai yang lebih tinggi pada sekat *cofferdam* sejalan dengan fungsi khususnya sebagai ruang pemisah kedap yang melindungi tangki-tangki berisi cairan mudah terbakar atau berbahaya, sehingga BKI mensyaratkan tinggi tekan rencana tambahan sebagai faktor keamanan guna mengantisipasi potensi kebocoran atau akumulasi tekanan pada ruang tersebut. Dengan demikian, perbedaan nilai pada Tabel 4.8 bukan merupakan suatu anomali, melainkan cerminan dari perbedaan tingkat kekritisian fungsi masing-masing sekat sebagaimana diatur secara eksplisit dalam ketentuan BKI (2022).

Berdasarkan keseluruhan perhitungan beban rencana pada Tabel 4.1 hingga Tabel 4.8, dapat disimpulkan bahwa beban yang bekerja pada struktur lambung Kapal Ikan 120 GT terdiri atas beban yang bersifat murni dinamis (beban geladak cuaca, sisi kapal di atas garis air, sisi dan geladak bangunan atas) serta beban gabungan hidrostatik dan dinamis (beban sisi kapal di bawah garis air dan beban dasar kapal), yang keduanya secara konsisten menunjukkan dua pola utama, yaitu penurunan intensitas beban seiring bertambahnya ukuran elemen struktur dari pelat menuju gading besar/penumpu sesuai faktor peluang (f) BKI (2022), serta peningkatan intensitas beban dari daerah tengah menuju daerah haluan kapal akibat faktor distribusi (CD/CF) yang mencerminkan efek benturan gelombang dan percepatan vertikal yang lebih besar di ujung haluan, sementara beban sekat melintang ditentukan tersendiri berdasarkan tinggi tekan sesuai fungsi ruang yang dibatasi. Dengan demikian, seluruh data beban rencana tersebut telah terverifikasi sesuai dengan ketentuan BKI (2022) dan layak dijadikan dasar bagi perhitungan tebal pelat, modulus penampang, dan berat konstruksi pada tahap analisis selanjutnya.

4.1.2 Perhitungan Tebal Pelat Berdasarkan Pembebanan

Setelah seluruh komponen beban rencana pada subbab 4.1 divalidasi kesesuaiannya dengan BKI (2022), hasil beban tersebut selanjutnya digunakan sebagai variabel utama dalam menentukan tebal pelat pada berbagai bagian struktur lambung kapal. Secara umum, BKI (2022) merumuskan tebal pelat sebagai fungsi dari jarak gading, besar beban rencana pada zona dan elemen yang ditinjau, serta faktor material pelat, yang kemudian dibandingkan dengan ketentuan tebal minimum sebagai batas bawah yang wajib dipenuhi terlepas dari

hasil perhitungan berbasis beban. Dengan demikian, tebal pelat akhir yang digunakan merupakan nilai terbesar antara hasil perhitungan berbasis beban dengan nilai tebal minimum yang disyaratkan, sehingga pola tebal pelat pada tiap tabel perlu ditelaah secara tersendiri untuk mengetahui faktor mana yang bersifat menentukan (*governing*).

Tabel 4. 9 Tebal Pelat Alas

Keterangan	Tebal Pelat (mm)
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]	7,0
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	8,0
Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F]	7,0

Pola tebal pelat alas yang disajikan pada Tabel 4.9 menunjukkan bahwa daerah tengah kapal memiliki tebal yang relatif lebih besar dibandingkan daerah buritan maupun haluan, meskipun hasil verifikasi pada Tabel 4.5 sebelumnya membuktikan bahwa beban dasar kapal justru meningkat menuju daerah haluan. Ketidakesesuaian arah antara tren beban dan tren tebal pelat ini mengindikasikan bahwa penentuan tebal pelat alas pada zona-zona tersebut telah dipengaruhi oleh praktik pembulatan ke ukuran gauge komersial terdekat, sehingga hasil perhitungan yang secara teoretis berbeda tipis antar zona dapat menghasilkan nilai akhir yang sama atau bahkan berkebalikan arah setelah dibulatkan, tanpa mengindikasikan adanya kesalahan pada tahap perhitungan beban maupun tebal.

Tabel 4. 10 Tebal Pelat Alas Dalam

Keterangan	Tebal Pelat (mm)
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]	6,0
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	6,0
Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F]	7,0

Menurut BKI (2022), berbeda dengan pelat alas, tebal pelat alas dalam yang disajikan pada Tabel 4.10 menunjukkan pola yang searah dengan data beban alas dalam pada Tabel 4.7, yaitu meningkat dari daerah tengah menuju daerah haluan. Kesesuaian arah ini menunjukkan bahwa penentuan tebal pelat alas dalam pada elemen ini murni dikendalikan oleh hasil perhitungan berbasis beban, tanpa terpengaruh secara signifikan oleh efek pembulatan gauge sebagaimana yang teramati pada pelat alas.

Tabel 4. 11 Tebal Pelat Lajur Bilga

Keterangan	Tebal Pelat (mm)
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]	7,0
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	8,0
Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F]	7,0

Pola tebal pelat lajur bilga memperlihatkan karakteristik yang serupa dengan pelat alas, yaitu daerah tengah kapal menunjukkan tebal yang lebih besar dibandingkan daerah haluan meskipun beban sisi kapal pada zona tersebut secara teoretis lebih rendah. Hal ini konsisten dengan penjelasan bahwa pelat lajur bilga, sebagai elemen transisi antara pelat alas dan pelat sisi, turut mengalami efek pembulatan ke ukuran gauge standar, sehingga selisih beban

yang relatif kecil antar zona tidak selalu tercermin secara proporsional pada tebal pelat akhir (BKI, 2022).

Tabel 4. 12 Tebal Pelat Lunas

Keterangan	Tebal Pelat (mm)
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]	9,0
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	10,0
Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F]	9,0

Pelat lunas menunjukkan pola yang sama dengan pelat alas dan lajur bilga, yaitu tebal pada daerah tengah kapal lebih besar dibandingkan daerah haluan. Konsistensi pola ini pada ketiga elemen alas (pelat alas, lajur bilga, dan lunas) yang letaknya saling berdekatan secara struktural memperkuat dugaan bahwa efek pembulatan gauge komersial berlaku secara sistematis pada seluruh elemen di bagian dasar kapal, bukan merupakan kejadian acak pada satu elemen tertentu.

Tabel 4. 13 Tebal Pelat Sisi

Keterangan	Tebal Pelat (mm)
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]	
Di bawah garis air	7,0
Di atas garis air	7,0
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	
Di bawah garis air	7,0
Di atas garis air	7,0
Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F]	
Di bawah garis air	7,0
Di atas garis air	7,0

Tebal pelat sisi kapal menunjukkan nilai yang seragam di seluruh zona memanjang kapal, baik pada kondisi di bawah maupun di atas garis air, meskipun Tabel 4.3 telah membuktikan adanya variasi beban sisi kapal yang cukup signifikan antar zona, khususnya pada daerah haluan. Keseragaman tebal pelat ini mengindikasikan bahwa penentuan tebal pelat sisi tidak lagi dikendalikan oleh hasil perhitungan berbasis beban, melainkan oleh ketentuan tebal minimum yang disyaratkan BKI (2022) berdasarkan dimensi utama kapal. Dengan demikian, seluruh variasi beban antar zona yang telah diverifikasi pada subbab sebelumnya berada di bawah ambang batas minimum tersebut, sehingga nilai minimumlah yang bersifat menentukan tebal akhir pelat sisi secara merata di sepanjang kapal, suatu kondisi yang lazim ditemui pada kapal berukuran relatif kecil akibat rendahnya tekanan hidrodinamik yang bekerja pada lambungnya.

Tabel 4. 14 Tebal Pelat Geladak

Keterangan	Tebal Pelat (mm)
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]	7,0
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	7,0
Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F]	7,0

Tebal pelat geladak menunjukkan nilai yang seragam pada seluruh zona memanjang kapal, meskipun Tabel 4.2 sebelumnya telah membuktikan bahwa beban geladak cuaca bervariasi cukup signifikan antar zona, terutama pada daerah haluan. Keseragaman ini mengindikasikan bahwa penentuan tebal pelat geladak pada elemen ini dikendalikan oleh ketentuan tebal minimum yang disyaratkan BKI (2022), bukan oleh hasil perhitungan berbasis beban, sebagaimana pola serupa yang telah ditemukan pada pelat sisi kapal.

Tabel 4. 15 Tebal Pelat Lajur Sisi Atas

Keterangan	Tebal Pelat (mm)
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]	7,0
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	7,0
Daerah $0.7 \leq x/L < 1.0$ [F]	7,0

Pola yang sama juga ditemukan pada pelat lajur sisi atas (*sheer strake*), yaitu tebal yang seragam di seluruh zona memanjang kapal. Mengingat lajur sisi atas merupakan elemen transisi antara pelat sisi dan pelat geladak, konsistensi keseragaman ini memperkuat kesimpulan bahwa elemen-elemen pada bagian atas lambung kapal berukuran relatif kecil seperti pada penelitian ini secara umum lebih ditentukan oleh persyaratan tebal minimum dibandingkan oleh variasi beban rencana antar zona.

Tabel 4. 16 *Superstructure* (Tebal Pelat Sisi)

Keterangan	Tebal Pelat (mm)
<i>Maindeck</i>	7,0
<i>Bridgedeck</i>	7,0
<i>Forecastle Deck</i>	7,0

Tebal pelat sisi bangunan atas juga menunjukkan nilai yang seragam pada seluruh tingkat geladak yang ditinjau, meskipun Tabel 4.4 sebelumnya membuktikan adanya variasi beban akibat faktor reduksi ketinggian maupun faktor distribusi posisi memanjang kapal. Hal ini kembali menegaskan bahwa ketentuan tebal minimum berperan dominan pada elemen bangunan atas kapal berukuran kecil, sehingga variasi beban yang secara teoretis signifikan antar tingkat geladak tidak serta-merta tercermin pada tebal pelat akhir.

Tabel 4. 17 Tebal Pelat Geladak (*Deck Plating*)

Keterangan	Tebal Pelat (mm)
<i>Topdeck</i>	6,0
<i>Bridgedeck</i>	6,0
<i>Forecastle</i>	7,0

Berbeda dengan tabel-tabel sebelumnya, tebal pelat geladak bangunan atas menunjukkan pola yang tidak sepenuhnya seragam, dengan tingkat geladak yang berada pada zona haluan menghasilkan tebal yang lebih besar dibandingkan tingkat geladak lainnya, sejalan dengan pola beban pada Tabel 4.6 yang juga menunjukkan nilai tertinggi pada zona tersebut. Sebaliknya, dua tingkat geladak yang berada pada zona yang sama menghasilkan tebal yang identik meskipun beban keduanya berbeda, yang mengindikasikan bahwa pada

tingkat beban yang relatif rendah, ketentuan tebal minimum menjadi faktor yang menentukan, sedangkan pada tingkat beban yang lebih tinggi, hasil perhitungan berbasis beban mulai berperan dominan. Pola ini menunjukkan adanya titik transisi antara kedua mekanisme penentuan tebal pelat, yang lazim terjadi dalam praktik perancangan struktur kapal.

Tabel 4. 18 Tebal Pelat Sekat Kedap Air

Keterangan	Tebal Pelat (mm)
Pelat sekat tubrukan	6,0
Pelat sekat melintang ruang muat	7,0
Sekat kamar mesin	6,0
Sekat memanjang	6,0

Tebal pelat sekat kedap air menunjukkan pola yang sebagian besar seragam pada sekat ceruk buritan, sekat kamar mesin, dan sekat memanjang, konsisten dengan kesamaan nilai beban pada ketiga jenis sekat tersebut sebagaimana telah dibahas pada Tabel 4.8. Adapun sekat melintang ruang muat menunjukkan tebal yang lebih besar dibandingkan sekat lainnya, sejalan dengan fungsi sekat tersebut sebagai pembatas ruang muat yang umumnya menuntut tinggi tekan rencana lebih besar akibat potensi genangan air dalam kondisi kerusakan (*damage condition*), sebagaimana disyaratkan BKI (2022) untuk sekat-sekat yang berbatasan langsung dengan ruang muat kapal. Dengan demikian, variasi tebal pada Tabel 4.18 mencerminkan perbedaan fungsi dan tingkat kekritisian masing-masing sekat, bukan merupakan inkonsistensi perhitungan.

Berdasarkan hasil perhitungan tebal pelat pada Tabel 4.9 hingga Tabel 4.18, dapat disimpulkan bahwa penentuan tebal pelat pada struktur lambung Kapal Ikan 120 GT dikendalikan oleh dua mekanisme yang saling melengkapi sesuai ketentuan BKI (2022), yaitu hasil perhitungan berbasis beban rencana dan ketentuan tebal minimum. Elemen-elemen yang berada pada zona dengan variasi beban relatif kecil, seperti pelat geladak, lajur sisi atas, pelat sisi kapal, dan sisi bangunan atas, secara dominan dikendalikan oleh ketentuan tebal minimum sehingga menghasilkan nilai yang cenderung seragam di sepanjang kapal, sedangkan elemen yang mengalami perbedaan beban lebih signifikan antar zona, seperti pelat alas dalam serta pelat geladak bangunan atas pada daerah haluan, menunjukkan pola tebal yang searah dengan tren beban rencananya.

4.1.3 Perhitungan Modulus Penampang untuk Dimensi Profil

Setelah tebal pelat pada seluruh elemen struktur ditentukan pada subbab sebelumnya, tahap selanjutnya adalah menghitung modulus penampang gading sebagai dasar pemilihan dimensi profil baja yang akan digunakan. Berdasarkan BKI (2022) Vol II *Rules for Hull*, modulus penampang dihitung sebagai fungsi dari lebar efektif, panjang tak ditumpu, koefisien material, dan beban rencana pada zona serta elemen yang ditinjau, sehingga hasil modulus pada tahap ini pada dasarnya merupakan kelanjutan langsung dari seluruh hasil verifikasi beban rencana pada subbab 4.1.

Tabel 4. 19 Modulus Penampang Gading Utama pada Alas (Buritan Kapal)

Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
-------------------------------	--------------------

100 × 75 × 9 (Gading alas)	79,7
90 × 60 × 6 (Gading alas dalam)	42,8

Kedua profil yang ditampilkan pada Tabel 4.19 diperkirakan merepresentasikan kondisi gading utama pada daerah buritan yang dibedakan berdasarkan posisi vertikal terhadap garis air, sebagaimana pola perbedaan yang telah diterapkan pada perhitungan beban sisi kapal sebelumnya. Profil dengan modulus yang lebih besar merepresentasikan kondisi di bawah garis air, yang secara teoretis menerima beban lebih tinggi akibat adanya komponen tekanan hidrostatis yang menyertai komponen dinamis, sedangkan profil dengan modulus lebih kecil merepresentasikan kondisi di atas garis air yang hanya menerima komponen dinamis. Pola ini konsisten dengan hasil verifikasi pada pembahasan beban sisi kapal, sehingga pemilihan kedua profil tersebut dapat dinyatakan sesuai dengan prinsip BKI (2022).

Tabel 4. 20 Modulus Penampang Gading Utama pada Sisi (Buritan Kapal)

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
Di bawah garis air	60 × 40 × 6	18,2
Di atas garis air	60 × 40 × 5	6,76

Tabel 4.20 menegaskan kembali pola yang ditemukan pada Tabel 4.19, yaitu profil yang direncanakan untuk kondisi di bawah garis air memiliki modulus penampang yang jauh lebih besar dibandingkan kondisi di atas garis air. Perbedaan modulus yang cukup signifikan antara kedua kondisi tersebut sejalan dengan struktur persamaan beban sisi kapal yang telah dibahas sebelumnya, di mana komponen hidrostatis tetap pada kondisi di bawah garis air memberikan kontribusi beban yang jauh lebih besar dibandingkan komponen dinamis semata pada kondisi di atas garis air, sehingga kebutuhan modulus penampang pada bagian gading yang tercelup air menjadi jauh lebih dominan dibandingkan bagian yang berada di atas permukaan laut.

Tabel 4. 21 Modulus Penampang Balok Geladak Melintang (Buritan Kapal)

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
<i>Maindeck</i>	75 × 55 × 5	26,0
<i>Bridgedeck</i>	75 × 50 × 5	23,1
<i>Topdeck</i>	60 × 40 × 6	17,4

Modulus penampang pada Tabel 4.21 menunjukkan pola penurunan yang searah dengan tingkat ketinggian geladak, yaitu nilai tertinggi pada geladak yang berada paling dekat dengan lambung utama dan menurun secara bertahap menuju geladak yang berada pada tingkat teratas. Pola ini konsisten dengan hasil verifikasi beban pada Tabel 4.6 sebelumnya, di mana intensitas beban geladak bangunan atas berkurang seiring bertambahnya ketinggian akibat berlakunya faktor reduksi sesuai BKI (2022), sehingga kebutuhan modulus penampang balok geladak dan pembujur geladak turut menurun secara proporsional pada tingkat geladak yang lebih tinggi.

Tabel 4. 22 Modulus Gading Utama Sisi Bangunan Atas (Buritan Kapal)

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
------------	-------------------------------	--------------------

<i>Bridgedeck</i>	$75 \times 50 \times 5$	6,73
<i>Topdeck</i>	$60 \times 40 \times 6$	5,63

Pola serupa juga ditemukan pada modulus gading utama sisi bangunan atas, yaitu penurunan nilai secara bertahap dari tingkat geladak terbawah menuju tingkat teratas. Kesesuaian arah antara pola modulus pada tabel ini dengan pola beban sisi bangunan atas pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa penentuan dimensi profil gading pada bangunan atas kapal telah dilakukan secara konsisten berdasarkan hasil perhitungan beban rencana, sehingga profil yang lebih ramping pada tingkat geladak yang lebih tinggi tetap memenuhi persyaratan kekuatan minimum sesuai BKI (2022) tanpa perlu memberikan kelebihan dimensi yang tidak diperlukan.

Tabel 4. 23 Modulus penegar sekat ceruk buritan

Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
$60 \times 40 \times 6$	17,4

Modulus penampang penegar sekat ceruk buritan pada tabel ini merupakan turunan langsung dari beban sekat ceruk buritan yang telah diverifikasi pada Tabel 4.8, dengan satu profil tunggal yang dipilih untuk memenuhi tinggi tekan rencana pada sekat tersebut. Mengingat beban pada sekat ceruk buritan, sekat kamar mesin, dan sekat memanjang telah terbukti seragam pada subbab sebelumnya, maka modulus penegar pada sekat-sekat tersebut secara teoretis dapat direncanakan menggunakan profil yang setara, sehingga hasil pada tabel ini dapat dijadikan acuan bagi perencanaan penegar sekat lain dengan fungsi dan tinggi tekan rencana yang serupa.

Tabel 4. 24 Modulus Penampang Gading Utama pada Alas (*Midship*)

Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
$100 \times 75 \times 9$ (Gading alas)	78,3
$90 \times 60 \times 6$ (Gading alas dalam)	42,5

Kedua profil yang direncanakan pada zona tengah kapal ini menunjukkan dimensi yang identik dengan profil pada Tabel 4.19 untuk zona buritan, namun dengan nilai volume atau modulus penampang yang sedikit lebih rendah. Kesamaan dimensi profil meskipun beban rencana pada kedua zona berbeda, sebagaimana telah dibuktikan pada pembahasan beban sisi kapal sebelumnya, mengindikasikan bahwa selisih kebutuhan modulus antara zona tengah dan zona buritan tidak cukup besar untuk melampaui batas profil komersial berikutnya, sehingga kedua zona tersebut dapat menggunakan profil standar yang sama tanpa mengorbankan aspek keamanan struktur. Kondisi ini serupa dengan fenomena pembulatan yang telah ditemukan pada perhitungan tebal pelat, hanya saja dalam konteks ini berlaku pada diskretisasi ukuran profil baja yang tersedia di pasaran, bukan pada ketebalan pelat.

Tabel 4. 25 Modulus Penampang Gading Utama pada Sisi (*Midship*)

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
Di bawah garis air	$60 \times 40 \times 6$	17,6

Pola yang sama pada modulus penampang gading utama sisi kapal untuk zona tengah, yaitu penggunaan profil yang identik dengan profil pada Tabel 4.20 untuk zona buritan, dengan nilai volume yang sedikit lebih rendah pada kondisi di bawah maupun di atas garis air. Konsistensi arah penurunan nilai dari zona buritan menuju zona tengah pada kedua kondisi tersebut sejalan dengan pola beban sisi kapal yang telah diverifikasi pada Tabel 4.3, di mana daerah tengah kapal secara teoretis memang menerima beban yang lebih rendah dibandingkan daerah buritan. Perbedaan modulus yang jauh lebih besar antara kondisi di bawah garis air dibandingkan di atas garis air pada tabel ini turut menegaskan kembali pengaruh dominan komponen hidrostatik terhadap kebutuhan penampang gading pada bagian lambung yang tercelup air, sebagaimana telah dibahas pada Tabel 4.19 dan 4.20 sebelumnya.

Tabel 4. 26 Modulus Penampang Balok Geladak Melintang (*Midship*)

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
<i>Maindeck</i>	$75 \times 55 \times 5$	25,7
Penegar sekat ruang muat	$60 \times 40 \times 6$	17,4
Penegar sekat memanjang	$80 \times 65 \times 6$	37,9

Tabel 4.26 menyajikan hasil perhitungan modulus penampang untuk tiga elemen penegar pada zona tengah kapal (*Midship*), yaitu balok geladak utama (*maindeck*), penegar sekat ruang, dan penegar sekat memanjang. Ketiga elemen ini merepresentasikan sistem penegar yang saling terintegrasi pada satu tingkat geladak, sesuai dengan sistem konstruksi kombinasi (*combined system*) yang lazim diterapkan pada kapal berukuran kecil hingga menengah menurut BKI (2022) *Rules for Hull*. Balok geladak utama berfungsi menahan beban vertikal dari muatan dan beban dinamis geladak cuaca sebagaimana telah diverifikasi pada Tabel 4.2, sedangkan penegar sekat ruang dan penegar sekat memanjang berfungsi menopang pelat sekat sebagai elemen kekakuan tambahan agar sekat tidak mengalami tekuk (*buckling*) akibat tekanan cairan atau muatan yang ditahannya.

Nilai modulus penampang penegar sekat memanjang yang secara signifikan lebih besar dibandingkan kedua elemen lainnya dapat dijelaskan melalui perbedaan bentang efektif (*span*) yang ditopang oleh masing-masing elemen. Berdasarkan teori balok (*beam theory*) yang menjadi dasar rumusan modulus penampang pada BKI (2022), kebutuhan modulus suatu elemen penegar berbanding lurus dengan kuadrat bentangnya, sehingga elemen dengan bentang lebih panjang akan memerlukan penampang yang jauh lebih besar untuk menjaga tegangan lentur dan defleksi tetap berada dalam batas izin, meskipun intensitas beban per satuan luas yang bekerja padanya relatif serupa. Adapun balok geladak utama, meskipun menahan beban dinamis geladak cuaca yang telah terbukti signifikan pada pembahasan sebelumnya, menunjukkan modulus yang berada di antara kedua penegar sekat. Hal ini mengindikasikan bahwa jarak tumpuan (*frame spacing*) balok geladak, yang menjadi variabel utama penelitian ini, turut berperan dalam menentukan luas area beban yang harus ditahan oleh tiap balok, sehingga kebutuhan modulusnya tidak semata-mata ditentukan oleh

besar beban per satuan luas, melainkan juga oleh kombinasi antara bentang dan luas area tumpuannya.

Dengan demikian, nilai pada Tabel 4.26 dinyatakan konsisten dengan prinsip perancangan struktur BKI (2022) Vol 2, yang mempertimbangkan bentang efektif elemen sebagai salah satu variabel utama penentu modulus penampang, sejalan dengan besar beban rencana yang telah diverifikasi pada subbab 4.1. Hasil ini melengkapi rangkaian pembuktian bahwa seluruh dimensi profil pada penelitian ini telah dirancang secara konsisten dan sesuai dengan kaidah teoretis maupun ketentuan normatif dalam BKI (2022).

Tabel 4. 27 Modulus Penampang Gading Utama pada Alas (Haluan Kapal)

Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
100 × 65 × 11 (Gading alas)	88,1
80 × 65 × 8 (Gading alas dalam)	52,05

Dibandingkan dengan profil gading utama pada zona buritan pada Tabel 4.19 dan zona tengah pada Tabel 4.24, profil yang direncanakan pada zona haluan menunjukkan dimensi dan volume yang jauh lebih besar. Peningkatan signifikan ini konsisten dengan hasil verifikasi beban sisi kapal pada Tabel 4.3 sebelumnya, yang telah membuktikan bahwa zona haluan menerima intensitas beban tertinggi di antara ketiga zona memanjang kapal, sehingga hubungan proporsional antara besar beban rencana dan kebutuhan modulus penampang kembali terbukti berlaku secara konsisten pada elemen gading utama.

Tabel 4. 28 Modulus Penampang Gading Utama pada Sisi (Haluan Kapal)

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
Di bawah garis air	60 × 40 × 7	21,5
Di atas garis air	60 × 40 × 5	11,6

Tabel 4.28 memiliki pola yang sama dengan modulus penampang sisi kapal untuk zona haluan, dengan nilai yang lebih besar dibandingkan zona buritan pada Tabel 4.20 maupun zona tengah Tabel 4.25, baik pada kondisi di bawah maupun di atas garis air. Konsistensi urutan nilai antar zona pada ketiga tabel modulus sisi kapal (4.20, 4.25, dan 4.28), dari zona tengah sebagai nilai terendah, zona buritan sebagai nilai menengah, hingga zona haluan sebagai nilai tertinggi artinya sejalan dengan pola beban rencana yang telah diverifikasi sebelumnya, sehingga membuktikan bahwa seluruh tahapan perancangan gading sisi kapal telah dilakukan secara konsisten sesuai BKI (2022).

Tabel 4. 29 Modulus Penampang Balok Geladak Melintang (Haluan Kapal)

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
<i>Maindeck</i>	75 × 50 × 7	31,7
<i>Forcastledeck</i>	60 × 40 × 7	21,7

Tabel 4.29 memperluas cakupan perhitungan dengan menyertakan elemen *forecastledeck* di samping *maindeck*, yang menunjukkan bahwa sistem framing geladak pada bagian akil kapal dirancang secara terpisah dari geladak utama. Perbedaan dimensi antar elemen pada tabel ini mencerminkan perbedaan fungsi dan ketinggian masing-masing geladak, sebagaimana prinsip reduksi beban

berdasarkan ketinggian yang telah dibahas pada pembahasan Tabel 4.6 sebelumnya

Tabel 4. 30 Modulus Gading Utama Sisi Bangunan Kapal & Modulus Penegar Sekat Tubrukan

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
<i>Forcastledeck</i>	60 × 40 × 5	6,84
Penampang vertikal	75 × 50 × 5	23,6

Tabel 4.30 menyajikan hasil perhitungan modulus penampang untuk dua elemen struktur dengan fungsi yang berbeda, yaitu gading utama sisi bangunan atas pada tingkat *forecastledeck* dan penegar sekat tubrukan (*collision bulkhead*) berupa penampang vertikal. Gading utama pada *forecastledeck* berfungsi menahan beban sisi bangunan atas sebagaimana telah diverifikasi pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.22, sedangkan penegar sekat tubrukan berfungsi memberikan kekakuan vertikal pada sekat tubrukan yang terletak di ujung haluan kapal, sebuah elemen yang menurut BKI (2022) *Rules for Hull* wajib disediakan pada setiap kapal guna menahan tekanan air yang timbul akibat kebocoran pada kompartemen paling depan apabila terjadi benturan atau tubrukan.

Nilai modulus penampang penegar sekat tubrukan yang secara signifikan lebih besar dibandingkan gading utama *forecastledeck* dapat dijelaskan melalui perbedaan sifat dan tingkat kekritisitas beban yang ditahan oleh masing-masing elemen. Gading utama pada bangunan atas menahan beban dinamis yang telah direduksi oleh faktor ketinggian, sebagaimana prinsip yang telah dibahas pada Tabel 4.4, sehingga intensitas bebannya relatif lebih ringan dibandingkan elemen struktur utama lambung. Sebaliknya, penegar sekat tubrukan menahan beban hidrostatik berdasarkan tinggi tekan (*head*) air, yang menurut ketentuan BKI (2022) harus direncanakan dengan asumsi kompartemen ceruk haluan tergenang penuh sebagai kondisi kerusakan terburuk (*worst damage condition*). Perbedaan mendasar dalam skenario pembebanan inilah yang menjadikan kebutuhan modulus penampang penegar sekat tubrukan jauh lebih besar, meskipun kedua elemen tersebut sama-sama berada pada zona haluan kapal.

Tabel 4. 31 Modulus Penampang pada Gading *Range A* (Buritan Kapal)

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
<i>Side Transverse Web</i>	T 124 × 7 FP 62 × 7	81,8
<i>Deck Transverse Web</i>	T 100 × 7 FP 65 × 7	65,2
<i>Deck Transverse Web</i> (<i>Bridgedeck</i>)	T 100 × 7 FP 55 × 7	58
<i>Deck Transverse Web</i> (<i>Topdeck</i>)	T 90 × 7 FP 44 × 7	43,7

Tabel 4.30 memperkenalkan notasi profil T dengan pelat sayap (*flange plate*/FP), yang merupakan profil bangun (*built-up Section*) dengan kapasitas penampang lebih besar dibandingkan profil siku standar yang digunakan pada elemen gading biasa. Penggunaan profil bangun ini konsisten dengan kategori elemen gading besar, senta, dan penumpu yang telah diidentifikasi pada Tabel 4.1 sebagai elemen penopang utama dengan faktor peluang terendah namun bentang terpanjang, sehingga memerlukan penampang dengan kapasitas momen

inersia yang jauh lebih besar dibandingkan gading biasa untuk menahan beban terdistribusi dari elemen-elemen di atasnya.

Tabel 4. 32 Modulus Penampang Tengah (Buritan Kapal)

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
<i>Center Girder</i>	T 195 × 7 FP 90 × 7	195
<i>Center Deck Girder</i>	T 75 × 7 FP 40 × 7	30,7
<i>Center Deck Girder</i> (<i>Bridgedeck</i>)	T 65 × 7 FP 45 × 7	27,3
<i>Center Deck Girder</i> (<i>Topdeck</i>)	T 60 × 7 FP 33 × 7	20,6

Penumpu alas tengah (*centre girder*) pada Tabel 4.31 menunjukkan volume penampang terbesar di antara seluruh elemen pada tabel ini, yang secara struktural logis mengingat elemen tersebut berfungsi sebagai balok kekuatan memanjang utama pada bidang simetri dasar ganda kapal, yang menanggung kombinasi beban hidrostatik dan dinamis pada bagian alas sebagaimana telah diverifikasi pada Tabel 4.5. Posisinya sebagai elemen kontinu di sepanjang kapal menjadikannya elemen dengan tuntutan kekuatan tertinggi dibandingkan penumpu tengah geladak maupun elemen sisi lain pada tabel yang sama.

Tabel 4. 33 Modulus *Side Deck Girder* (Buritan Kapal)

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
<i>Side Deck Girder</i>	T 75 × 7 FP 40 × 7	30,7
<i>Side Deck Girder</i> (<i>Bridgedeck</i>)	T 65 × 7 FP 45 × 7	27,3
<i>Side Deck Girder</i> (<i>Topdeck</i>)	T 60 × 7 FP 33 × 7	20,6
<i>Bottom Floor</i>	T 83 × 7 FP 40 × 7	36,5

Pola penurunan modulus dari geladak sisi menuju *bridgedeck* dan *topdeck* kembali menegaskan berlakunya faktor reduksi ketinggian sebagaimana telah dibahas pada Tabel 4.21 dan 4.26. Adapun elemen *bottom floor* yang turut disertakan pada tabel ini menunjukkan volume yang jauh lebih besar dibandingkan elemen-elemen geladak lainnya, mencerminkan fungsinya sebagai wrang alas (*floor*) yang menahan beban terpusat dari lunas dan penumpu tengah, sehingga secara wajar memerlukan penampang dengan kapasitas terbesar di antara elemen dasar ganda kapal.

Tabel 4. 34 Modulus pada Gading Besar *Range M* (*Midship*)

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
<i>Side Transverse Web</i>	T 123 × 7 FP 60 × 7	79,7
<i>Deck Transverse Web</i>	T 100 × 7 FP 65 × 7	64,5
<i>Center Deck Girder</i>	T 73 × 7 FP 40 × 7	30,4
<i>Side Deck Girder</i>	T 73 × 7 FP 40 × 7	30,4
<i>Bottom Floor</i>	T 200 × 8 FP 100 × 8	243

Tabel 4.33 menunjukkan volume yang lebih kecil dibandingkan elemen sejenis pada zona buritan (Tabel 4.30–4.32), konsisten dengan pola beban rencana zona tengah yang secara konsisten lebih rendah dibandingkan zona lainnya. Meskipun demikian, elemen bottom floor tetap konsisten menunjukkan nilai tertinggi dibandingkan elemen lain dalam tabel yang sama, menegaskan bahwa peran strukturalnya sebagai elemen penopang utama alas kapal berlaku universal terlepas dari zona memanjang kapal yang ditinjau.

Tabel 4. 35 Modulus pada Gading Besar *Range F* (Haluan Kapal)

Keterangan	Profil yang Direncanakan (cm)	(cm ³)
<i>Side Transverse Web</i>	T 130 × 7 FP 70 × 7	94,4
<i>Deck Transverse Web</i>	T 120 × 7 FP 60 × 7	79,5
<i>Deck Transverse Web</i> (<i>ForcastleDeck</i>)	T 100 × 7 FP 50 × 7	54,6
<i>Center Girder</i>	T 195 × 7 FP 90 × 7	193
<i>Center Deck Girder</i>	T 85 × 7 FP 40 × 7	37,5
<i>Center Deck Girder</i> (<i>ForcastleDeck</i>)	T 74 × 7 FP 40 × 7	31,1
<i>Side Deck Girder</i>	T 85 × 7 FP 40 × 7	37,5
<i>Bottom Floor</i>	T 60 × 7 FP 35 × 7	15,7

Sebagai puncak dari rangkaian perhitungan modulus gading besar, Tabel 4.33 menunjukkan nilai tertinggi di antara ketiga zona dan pada hampir seluruh kategori elemen, baik pada gading utama, geladak besar, penumpu alas tengah, maupun elemen geladak dan sisi lainnya. Konsistensi ini melengkapi pembuktian bahwa hubungan proporsional antara beban rencana dan kebutuhan modulus penampang berlaku secara menyeluruh pada seluruh kategori elemen struktur utama kapal, sejalan dengan seluruh temuan pada Tabel 4.2 hingga 4.8 mengenai dominasi beban pada zona haluan.

Tabel 4. 36 *Bracket* pada *Range A* (Buritan Kapal)

Keterangan	(mm)
<i>Bracket 1 (Bracket untuk gading utama sisi dengan alas dalam)</i>	
Tebal <i>Bracket</i>	7,0
Panjang kaki <i>Bracket</i>	150
<i>Bracket 2 (Bracket untuk gading utama sisi dengan deck)</i>	
Tebal <i>Bracket</i>	7,0
Panjang kaki <i>Bracket</i>	150
<i>Bracket 3 (Bracket untuk center girder dengan alas dalam)</i>	
Tebal <i>Bracket</i>	7,0
Panjang kaki <i>Bracket</i>	150
<i>Bracket 4 (Bracket untuk center deck girder dengan deck)</i>	
Tebal <i>Bracket</i>	7,0
Panjang kaki <i>Bracket</i>	150

Pada Tabel 4.35, sistem sambungan gading pada zona buritan direncanakan menggunakan empat titik *Bracket* dengan dimensi tebal dan panjang kaki yang seragam pada seluruh titik. Keseragaman dimensi ini menunjukkan bahwa keempat *Bracket* pada Tabel 4.35 direncanakan berdasarkan ketentuan tebal dan panjang kaki minimum sesuai BKI (2022), bukan berdasarkan hasil perhitungan tegangan lokal pada masing-masing titik sambungan secara individual. Hal ini merupakan pendekatan yang lazim diterapkan dalam praktik perancangan kapal berukuran kecil hingga menengah, di mana penyeragaman dimensi *Bracket* pada satu zona memanjang kapal memberikan kemudahan dalam proses fabrikasi tanpa mengurangi kecukupan kekuatan struktur, mengingat nilai minimum yang disyaratkan BKI (2022) pada umumnya telah mencakup kondisi pembebanan terberat yang mungkin terjadi pada zona tersebut.

Tabel 4. 37 *Bracket* pada *Range M (Midship)*

Keterangan	Luas (mm)
<i>Bracket 1 (Bracket untuk gading utama sisi dengan alas dalam)</i>	
Tebal <i>Bracket</i>	7,0
Panjang kaki <i>Bracket</i>	150
<i>Bracket 2 (Bracket untuk gading utama sisi dengan deck)</i>	
Tebal <i>Bracket</i>	7,0
Panjang kaki <i>Bracket</i>	150
<i>Bracket 3 (Bracket untuk center girder dengan alas dalam)</i>	
Tebal <i>Bracket</i>	7,0
Panjang kaki <i>Bracket</i>	150
<i>Bracket 4 (Bracket untuk penegar sekat dengan deck)</i>	
Tebal <i>Bracket</i>	7,0
Panjang kaki <i>Bracket</i>	150

Pada Tabel 4.36, jumlah dan dimensi *Bracket* yang direncanakan pada zona tengah kapal identik dengan hasil pada Tabel 4.35, meskipun telah terbukti sebelumnya bahwa intensitas beban rencana pada zona tengah secara konsisten lebih rendah dibandingkan zona buritan. Kesamaan dimensi *Bracket* antara Tabel 4.36 dan Tabel 4.35 ini semakin memperkuat kesimpulan bahwa penentuan ukuran *Bracket* dikendalikan oleh ketentuan minimum BKI (2022), bukan oleh variasi beban antar zona, sehingga selisih beban yang relatif kecil antara zona tengah dan zona buritan tidak berdampak pada perubahan dimensi elemen sambungan tersebut. Kondisi ini konsisten dengan pola yang sebelumnya ditemukan pada beberapa elemen pelat, di mana ketentuan minimum turut berperan dominan pada elemen-elemen dengan tingkat pembebanan yang relatif ringan

Tabel 4. 38 Braket pada *Range F* (Haluan Kapal)

Keterangan	Luas (mm)
<i>Bracket 1 (Bracket untuk gading utama sisi dengan alas dalam)</i>	
Tebal <i>Bracket</i>	7,0
Panjang kaki <i>Bracket</i>	150
<i>Bracket 2 (Bracket untuk gading utama sisi dengan deck)</i>	
Tebal <i>Bracket</i>	7,0
Panjang kaki <i>Bracket</i>	150
<i>Bracket 3 (Bracket untuk center girder dengan alas dalam)</i>	
Tebal <i>Bracket</i>	7,0
Panjang kaki <i>Bracket</i>	150
<i>Bracket 4 (Bracket untuk penegar sekat dengan deck)</i>	
Tebal <i>Bracket</i>	7,0
Panjang kaki <i>Bracket</i>	150

Pada Tabel 4.37, jumlah dan dimensi *Bracket* pada zona haluan kembali menunjukkan hasil yang identik dengan Tabel 4.35 dan Tabel 4.36, yaitu empat titik *Bracket* dengan tebal dan panjang kaki yang seragam. Konsistensi jumlah dan dimensi *Bracket* pada ketiga zona ini meskipun Tabel 4.2 hingga Tabel 4.8 telah membuktikan bahwa zona haluan secara konsisten menerima beban rencana tertinggi di antara ketiga zona memanjang kapal, semakin menegaskan bahwa perencanaan *Bracket* pada Kapal Ikan 120 GT sepenuhnya mengacu pada ketentuan dimensi minimum BKI (2022), bukan pada hasil perhitungan berbasis beban aktual per zona. Dengan kata lain, nilai minimum yang disyaratkan BKI (2022) untuk elemen *Bracket* telah cukup untuk mengakomodasi kondisi pembebanan terberat sekalipun, yaitu pada zona haluan, sehingga tidak diperlukan penambahan dimensi *Bracket* pada zona tersebut.

Berdasarkan keseluruhan hasil perhitungan modulus penampang pada Tabel 4.19 hingga Tabel 4.37, dapat disimpulkan bahwa penentuan dimensi profil gading, penumpu, balok geladak, dan elemen struktur utama lainnya pada Kapal Ikan 120 GT secara konsisten mengikuti pola beban rencana yang telah disajikan pada subbab 4.1, yaitu meningkat secara proporsional dari zona tengah kapal menuju zona buritan dan mencapai nilai tertinggi pada zona haluan, dengan elemen penopang utama seperti gading besar, penumpu alas tengah, dan *bottom floor* secara konsisten menunjukkan kapasitas penampang terbesar pada setiap zona akibat perannya menahan beban terdistribusi dari elemen-elemen di atasnya. Sementara itu, beberapa profil pada zona yang berdekatan (seperti zona buritan dan tengah) menunjukkan dimensi yang identik akibat keterbatasan ketersediaan ukuran profil komersial di pasaran, dan elemen sambungan *Bracket* pada Tabel 4.35 hingga Tabel 4.37 justru menunjukkan dimensi yang seragam di seluruh zona karena dikendalikan oleh ketentuan minimum BKI (2022), bukan oleh variasi beban aktual. Dengan demikian, seluruh hasil perhitungan modulus penampang tersebut dinyatakan konsisten dan sesuai dengan prinsip perancangan struktur BKI (2022), sehingga layak dijadikan dasar bagi perhitungan berat konstruksi kapal serta analisis pengaruh variasi *frame spacing* terhadap estimasi biaya pembangunan yang menjadi fokus utama penelitian ini.

4.1.4 Perhitungan Berat Material Konstruksi

Tabel 4. 39 Berat Konstruksi Kapal Ikan KM. X dengan *Frame spacing* 550 mm

<i>Section</i>	Berat (kg)
1	1.039
2	578
3	692
4	1.018
5	991
6	1.083
7	1.414
8	1.096
9	1.566
10	1.751
11	1.889
12	2.535
13	2.095
14	1.941
15	1.995
16	1.937
17	2.324
18	1.866
19	2.495
20	1.439
21	1.329
22	1.285
23	1.459
24	1.253
25	1.980
26	1.315
27	1.215
28	1.088
29	1.292
30	1.188
31	1.078
32	923
33	1.019
34	1.400
35	1.021
36	1.034
37	898
38	715
39	566
40	101
Total	53.901

Setelah seluruh dimensi profil dan tebal pelat pada Tabel 4.9 hingga Tabel 4.37 diperoleh dan diverifikasi kesesuaiannya dengan BKI (2022), tahap akhir dari analisis berat material adalah menghitung berat konstruksi kapal secara menyeluruh per *Section* menggunakan pendekatan $W = \rho \times V$, dengan ρ adalah massa jenis baja konstruksi kapal dan V adalah volume total elemen struktur pada tiap *Section* yang telah dihitung pada subbab sebelumnya. Perhitungan ini dilakukan pada dua konfigurasi *frame spacing* yang menjadi variabel utama penelitian, yaitu 550 mm dan 600 mm, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.38 dan Tabel 4.39.

Pada Tabel 4.38, berat konstruksi per *Section* menunjukkan pola fluktuasi yang tidak seragam di sepanjang badan kapal, dengan nilai yang relatif rendah pada *Section-Section* di ujung buritan dan haluan, kemudian meningkat secara signifikan dan berfluktuasi pada *Section-Section* di bagian tengah kapal sebelum kembali menurun menuju ujung haluan. Pola ini mencerminkan variasi kompleksitas struktur pada tiap *Section*, di mana *Section* pertengahan umumnya mencakup elemen tambahan seperti sekat melintang, fondasi permesinan, dan struktur penunjang ruang muat yang tidak terdapat pada *Section* di ujung-ujung kapal, sehingga menghasilkan lonjakan berat lokal pada beberapa titik meskipun secara umum mengikuti tren naik-turun yang menyerupai bentuk garis air kapal. Total berat konstruksi hasil akumulasi seluruh *Section* pada konfigurasi ini menjadi nilai acuan (*baseline*) bagi perbandingan dengan konfigurasi *frame spacing* yang lebih besar pada Tabel 4.39.

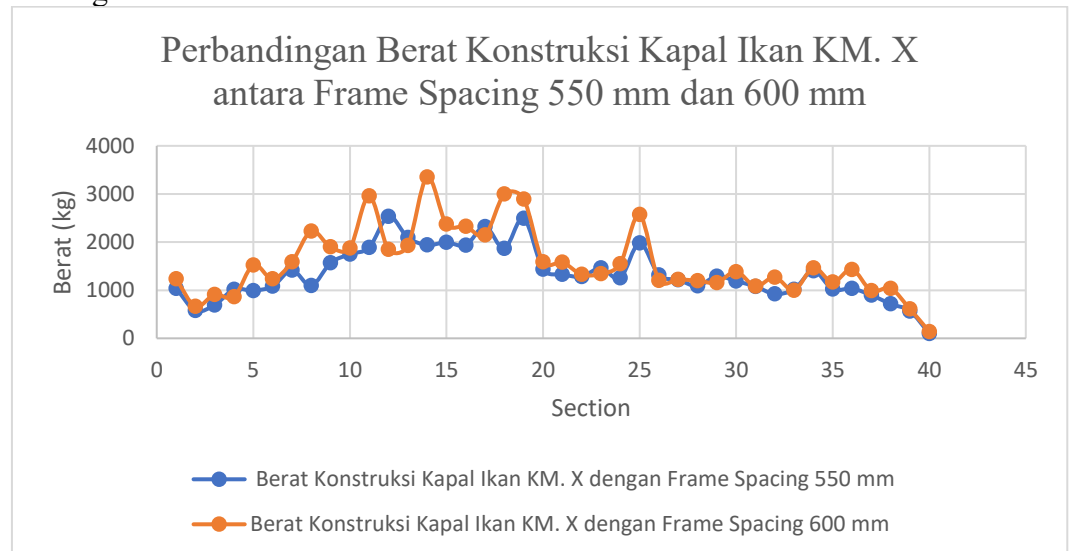
Tabel 4. 40 Berat Konstruksi Kapal Ikan KM. X dengan *Frame spacing* 600 mm

<i>Section</i>	Berat (kg)
1	1.236
2	665
3	910
4	862
5	1.525
6	1.235
7	1.589
8	2.228
9	1.899
10	1.875
11	2.958
12	1.845
13	1.926
14	3.352
15	2.372
16	2.326
17	2.145
18	2.997
19	2.980
20	1.587
21	1.580
22	1.328
23	1.340
24	1.551
25	2.573
26	1.203
27	1.223
28	1.198
29	1.157
30	1.385
31	1.083
32	1.270
33	999
34	1.462
35	1.168
36	1.432
37	988
38	1.035
39	610
40	140
Total	63.155

Pada Tabel 4.39, pola distribusi berat konstruksi per *Section* secara umum menyerupai pola pada Tabel 4.38, yaitu nilai rendah pada ujung buritan dan haluan serta fluktuasi dengan nilai lebih tinggi pada *Section* pertengahan kapal. Kesamaan pola distribusi antara kedua tabel ini menunjukkan bahwa perubahan

frame spacing tidak mengubah karakteristik sebaran kompleksitas struktur di sepanjang kapal, melainkan hanya memengaruhi besaran berat pada setiap *Section* secara individual. Ketika dibandingkan pada *Section* yang sama, nilai berat konstruksi pada Tabel 4.39 secara konsisten lebih besar dibandingkan Tabel 4.38, sejalan dengan prinsip bahwa jarak gading yang lebih lebar memperluas area beban yang ditopang oleh setiap elemen gading dan pelat, sehingga menuntut kebutuhan tebal pelat dan modulus penampang yang lebih besar untuk memenuhi persyaratan kekuatan minimum BKI (2022), sebagaimana telah dibuktikan pada pembahasan modulus penampang di subbab 4.3.

Hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa total berat konstruksi pada konfigurasi *frame spacing* 600 mm secara signifikan lebih besar dibandingkan konfigurasi 550 mm, dengan selisih total mencapai sekitar 9.254 kg atau setara dengan peningkatan sebesar $\pm 17,2\%$. Hal ini sesuai dengan hipotesis awal yang telah dibangun pada pembahasan beban rencana, yaitu bahwa perbesaran jarak gading akan memperluas area beban (*loaded area*) yang ditopang oleh setiap elemen gading dan pelat, sehingga meskipun intensitas beban per satuan luas (kN/m^2) yang digunakan pada kedua konfigurasi tetap sama untuk zona yang sama, kebutuhan tebal pelat dan modulus penampang gading pada konfigurasi 600 mm menjadi lebih besar guna memenuhi persyaratan kekuatan minimum BKI (2022). Dengan berkurangnya jumlah total gading akibat jarak yang lebih lebar tidak sebanding dengan peningkatan dimensi tiap elemen gading yang harus diperbesar, maka total berat konstruksi secara keseluruhan justru meningkat.



Gambar 4. 1 Perbandingan Berat Konstruksi Kapal Ikan KM. X antara *Frame spacing* 550 mm dan 600 mm

Grafik perbandingan berat konstruksi per *Section* pada Gambar 4.1 memperlihatkan bahwa kurva berat konstruksi *frame spacing* 600 mm secara konsisten berada di atas kurva *frame spacing* 550 mm pada hampir seluruh *Section*, dengan pola fluktuasi yang secara umum sejalan pada kedua konfigurasi. Kedua kurva menunjukkan nilai yang relatif rendah pada *Section* di ujung buritan dan haluan, meningkat tajam dan mencapai puncak pada *Section* pertengahan kapal, kemudian menurun kembali menuju ujung haluan. Pola ini konsisten dengan distribusi elemen struktur utama sepanjang kapal, di mana *Section-Section*

pada bagian tengah umumnya mencakup area dengan jumlah elemen konstruksi lebih banyak (seperti gading utama dan gading besar) dibandingkan *Section* pada ujung-ujung kapal yang cenderung lebih ramping secara geometris. Selisih yang lebih besar antara kedua kurva pada beberapa *Section* pertengahan turut mengindikasikan bahwa efek peningkatan berat akibat pembesaran *frame spacing* lebih terasa pada bagian kapal dengan kompleksitas struktur yang lebih tinggi, sedangkan pada *Section* dengan struktur yang lebih sederhana di ujung kapal, selisih berat antara kedua konfigurasi relatif lebih kecil.

Secara keseluruhan, hasil perhitungan pada Tabel 4.38, Tabel 4.39, dan Gambar 4.1 membuktikan secara kuantitatif bahwa penerapan *frame spacing* 600 mm menghasilkan berat konstruksi kapal yang lebih besar dibandingkan *frame spacing* 550 mm pada Kapal Ikan 120 GT, sehingga menjawab rumusan masalah utama penelitian ini terkait pengaruh variasi *frame spacing* terhadap berat konstruksi kapal. Hasil berat konstruksi total pada kedua konfigurasi ini selanjutnya menjadi dasar bagi perhitungan estimasi biaya pembangunan kapal pada subbab berikutnya, guna memperoleh kesimpulan akhir mengenai konfigurasi *frame spacing* yang lebih ekonomis bagi pembangunan Kapal Ikan 120 GT.

4.1.5 Perhitungan Biaya Material

Setelah total berat konstruksi kapal pada kedua konfigurasi *frame spacing* diperoleh pada Tabel 4.39 dan Tabel 4.40, tahap selanjutnya adalah mengonversi berat tersebut menjadi estimasi biaya material menggunakan harga material baja di galangan sebesar Rp15.000 per kilogram. Perhitungan biaya material ini menerapkan pendekatan yang sederhana namun fundamental dalam estimasi biaya pembangunan kapal, yaitu *Biaya Material = Berat Total Konstruksi × Harga Satuan Material*, sehingga hasil akhirnya sepenuhnya bergantung pada total berat konstruksi yang telah diverifikasi kesesuaiannya dengan BKI (2022) pada subbab-subbab sebelumnya.

Tabel 4. 41 Kebutuhan Biaya Material pada KM. X

Keterangan	Harga
<i>Frame spacing</i> 550 mm	Rp. 808.517.741
<i>Frame spacing</i> 600 mm	Rp. 947.323.712

Tabel 4.41 menunjukkan bahwa biaya material untuk konfigurasi *frame spacing* 600 mm lebih besar dibandingkan konfigurasi 550 mm, dengan selisih Rp. 138.805.971. Apabila selisih ini dinyatakan dalam persentase terhadap biaya material pada konfigurasi 550 mm, diperoleh peningkatan sebesar kurang lebih 17,2%, yang secara matematis identik dengan persentase peningkatan berat konstruksi antara kedua konfigurasi sebagaimana telah dibahas pada Tabel 4.38 dan Tabel 4.39. Kesamaan persentase ini merupakan konsekuensi logis dari sifat hubungan linier antara berat dan biaya material, karena harga satuan material yang digunakan bernilai tetap untuk kedua konfigurasi, sehingga setiap perubahan pada berat konstruksi akan tercermin secara proporsional dan tanpa distorsi pada biaya material yang dihasilkan.

Hal ini selaras terhadap tujuan penelitian, yaitu bahwa peningkatan berat konstruksi akibat pembesaran *frame spacing* dari 550 mm menjadi 600 mm secara langsung diterjemahkan menjadi peningkatan biaya material dalam proporsi yang

setara, tanpa adanya faktor lain yang memperbesar atau memperkecil dampaknya pada komponen biaya ini. Dengan demikian, dari sisi biaya material saja, konfigurasi *frame spacing* 550 mm terbukti lebih ekonomis dibandingkan 600 mm untuk pembangunan Kapal Ikan 120 GT. Namun demikian, kesimpulan akhir mengenai konfigurasi yang paling ekonomis secara keseluruhan tetap perlu mempertimbangkan komponen biaya pengelasan yang telah dihitung pada subbab sebelumnya, mengingat kedua jenis sambungan las menunjukkan kecenderungan yang berbeda terhadap perubahan *frame spacing*, sehingga total biaya produksi baru dapat disimpulkan secara komprehensif pada tahap rekapitulasi biaya selanjutnya.

4.2 Analisis Biaya Pengelasan

4.2.1 Perhitungan Panjang Pengelasan Berdasarkan Bukaak Kulit

Setelah berat konstruksi kapal dianalisis pada subbab sebelumnya, tahapan lanjutan pada penelitian ini adalah menghitung kebutuhan pengelasan pada kedua konfigurasi *frame spacing*, yang meliputi pengelasan tumpul (*Butt Joint*) pada sambungan antar pelat dan pengelasan sudut (*Fillet Joint*) pada sambungan antara pelat dengan elemen penegar/gading. Perhitungan ini penting karena panjang dan volume pengelasan turut menjadi komponen biaya produksi yang akan dibandingkan antara kedua konfigurasi *frame spacing* pada tahap estimasi biaya pembangunan kapal.

Tabel 4. 42 Panjang Pengelasan *Butt Joint Frame spacing* 550 mm

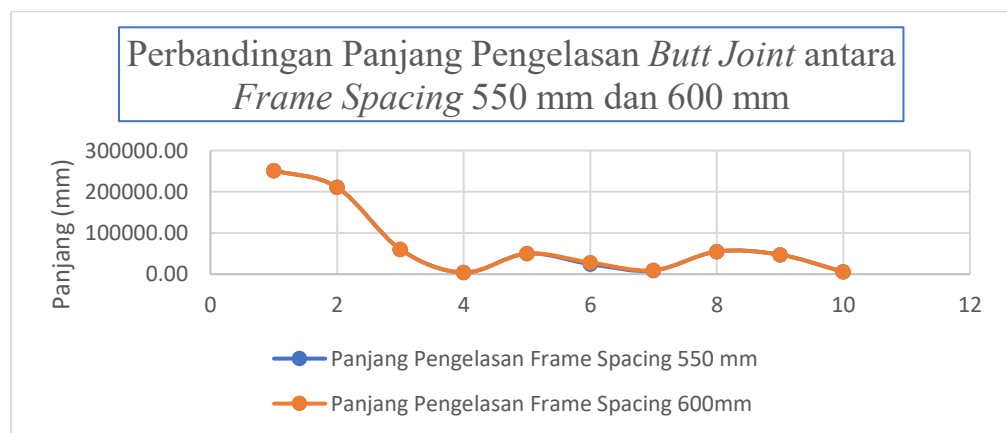
<i>Item</i>	<i>Welded To</i>	Panjang (m)
<i>Main Deck Plating</i>	<i>Main Deck Plating</i>	251,7
<i>Side Shell</i>	<i>Side Shell Plating</i>	211,0
<i>Bottom Shell</i>	<i>Keel Plate</i>	60,4
<i>Keel Plate</i>	<i>Keel Plate</i>	4,0
<i>Bottom Shell</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	50,1
<i>Transverse BHD Plating</i>	<i>Transverse BHD Plating</i>	24,5
<i>Longitudinal BHD Plating</i>	<i>Longitudinal BHD Plating</i>	8,8
<i>Top Deck Plating</i>	<i>Top Deck Plating</i>	54,9
<i>Bridge Deck Plating</i>	<i>Bridge Deck Plating</i>	47,3
<i>Forcastle Deck Plating</i>	<i>Forcastle Deck Plating</i>	5,6
Total		718,4

Tabel 4.42 menunjukkan panjang pengelasan tumpul pada sepuluh kategori pelat utama kapal, mulai dari pelat geladak utama hingga pelat geladak akil. Pelat geladak utama (*main deck plating*) dan pelat sisi (*side shell plating*) menunjukkan panjang pengelasan yang jauh lebih besar dibandingkan kategori lainnya, yang secara logis sesuai dengan luasan pelat tersebut yang membentang di sepanjang badan kapal, sehingga jumlah sambungan antar lajur pelat pada kedua elemen ini jauh lebih banyak dibandingkan elemen dengan luasan lebih terbatas seperti pelat lunas atau pelat geladak akil.

Tabel 4. 43 Panjang Pengelasan *Butt Joint* Frame spacing 600 mm

<i>Item</i>	<i>Welded To</i>	Panjang (m)
<i>Main Deck Plating</i>	<i>Main Deck Plating</i>	251,7
<i>Side Shell</i>	<i>Side Shell Plating</i>	211,0
<i>Bottom Shell</i>	<i>Keel Plate</i>	60,2
<i>Keel Plate</i>	<i>Keel Plate</i>	4,0
<i>Bottom Shell</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	50,1
<i>Transverse BHD Plating</i>	<i>Transverse BHD Plating</i>	28,4
<i>Longitudinal BHD Plating</i>	<i>Longitudinal BHD Plating</i>	9,6
<i>Top Deck Plating</i>	<i>Top Deck Plating</i>	54,9
<i>Bridge Deck Plating</i>	<i>Bridge Deck Plating</i>	47,3
<i>Forcastle Deck Plating</i>	<i>Forcastle Deck Plating</i>	5,6
Total		722,9

Dibandingkan dengan Tabel 4.42, hasil pada Tabel 4.43 menunjukkan panjang pengelasan yang hampir identik pada seluruh kategori pelat, dengan total selisih yang sangat kecil terhadap konfigurasi 550 mm. Kesamaan ini dapat dijelaskan secara akademis bahwa panjang sambungan *Butt Joint* ditentukan terutama oleh dimensi dan tata letak lajur pelat (*plate seam*) di sepanjang dan melintang kapal, bukan oleh jarak antar gading, sehingga perubahan *frame spacing* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap total panjang pengelasan tumpul, berbeda dengan pengaruhnya yang signifikan terhadap berat konstruksi sebagaimana telah dibuktikan pada Tabel 4.39 dan 4.40.

Gambar 4. 2 Perbandingan Panjang Pengelasan *Butt Joint* antara *Frame spacing* 550 mm dan 600 mm

Kurva pada Gambar 4.2 menurun tajam di titik-titik awal lalu melandai, mengikuti hierarki ukuran pelat kapal, pelat geladak utama dan sisi kapal yang membentang paling Panjang serta memiliki sambungan lajur pelat terbanyak dibanding elemen kecil seperti pelat lunas atau geladak bangunan atas. Kedua kurva tampak berimpit di sepanjang grafik, hal menunjukkan bahwa panjang pengelasan *Butt Joint* pada kedua konfigurasi telah dihitung secara konsisten berdasarkan tata letak lajur pelat (*shell expansion*) sesuai BKI (2022) Vol. II, di mana penentuan panjang sambungan tumpul mengacu pada dimensi dan pembagian pelat lambung kapal, bukan pada jarak gading. Hasil ini membuktikan bahwa perhitungan pada kedua tabel telah diterapkan secara benar

dan seragam sesuai kaidah tersebut, sehingga selisih kecil yang muncul antar konfigurasi murni mencerminkan perbedaan wajar akibat penyesuaian dimensi elemen pada masing-masing rencana pembagian pelat

Tabel 4. 44 Panjang Pengelasan *Fillet Joint Frame spacing* 550 mm

<i>Item</i>	<i>Welded To</i>	<i>Panjang (m)</i>
<i>Main Deck Beam</i>	<i>Main Deck Plating</i>	170,2
<i>Main Frame</i>	<i>Side Shell Plating</i>	124,7
<i>Bottom Frame</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	66,3
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Main Deck Plating</i>	88,2
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Longitudinal BHD</i>	0,6
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Main Deck Girder</i>	3,4
<i>Main Deck Girder</i>	<i>Main Deck Plating</i>	23,7
<i>Main Deck Girder</i>	<i>Transverse BHD</i>	1,1
<i>Side Shell</i>	<i>Main Deck Plating</i>	61,8
<i>Side Transverse Web</i>	<i>Side Shell Plating</i>	71,0
<i>Tank Top</i>	<i>Inner Bottom Frame</i>	51,3
<i>Tank Top</i>	<i>Longitudinal BHD</i>	4,4
<i>Tank Top</i>	<i>Transverse BHD</i>	12,6
<i>Tank Top</i>	<i>Side Shell Plating</i>	49,8
<i>Longitudinal BHD</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	4,4
<i>Transverse BHD</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	29,6
<i>Bottom Floor</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	98,3
<i>Bottom Floor</i>	<i>Longitudinal BHD</i>	1,2
<i>Bottom Floor</i>	<i>Bottom Girder</i>	10,8
<i>Bottom Girder</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	24,4
<i>Bottom Girder</i>	<i>Transverse BHD</i>	2,8
<i>Longitudinal BHD</i>	<i>Transverse BHD</i>	6,2
<i>Longitudinal BHD</i>	<i>Main Deck Plating</i>	4,4
<i>Longitudinal BHD</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	4,4
<i>BHD Stiffner</i>	<i>Longitudinal BHD Plating</i>	27,5
<i>Transverse BHD Plating</i>	<i>Main Deck Plating</i>	30,2
<i>Transverse BHD Plating</i>	<i>Side Shell Plating</i>	22,2
<i>BHD Stiffner</i>	<i>Transverse BHD Plating</i>	102,5
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Side Deck Girder</i>	1,3
<i>Side Deck Girder</i>	<i>Main Deck Plating</i>	19,8
<i>Side Deck Girder</i>	<i>Transverse BHD</i>	0,4
<i>Side Shell</i>	<i>Top Deck Plating</i>	8,5
<i>Main Deck Beam</i>	<i>Bridge Deck Shell Plating</i>	74,4
<i>Main Deck Beam</i>	<i>Top Deck Shell Plating</i>	41,7
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Bridge Deck Shell Plating</i>	38,6
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Top Deck Shell Plating</i>	22,9
<i>Main Deck Girder</i>	<i>Bridge Deck Shell Plating</i>	8,2
<i>Main Deck Girder</i>	<i>Top Deck Shell Plating</i>	6,2
<i>Side Deck Girder</i>	<i>Bridge Deck Shell Plating</i>	20,9
<i>Side Deck Girder</i>	<i>Top Deck Shell Plating</i>	10,0
<i>Main Frame</i>	<i>Bridge Deck Side Shell Plating</i>	23,8
<i>Main Frame</i>	<i>Top Deck Side Shell Plating</i>	11,0
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Bridge Deck Side Shell Plating</i>	13,0

<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Top Deck Side Shell Plating</i>	8,8
<i>Transverse BHD Plating</i>	<i>Bridge Deck Side Shell Plating</i>	5,3
<i>Main Frame</i>	<i>Forcastle Deck Side Shell Plating</i>	17,3
<i>Side Transverse Web</i>	<i>Forcastle Deck Side Shell Plating</i>	12,0
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Forcastle Deck Plating</i>	13,5
<i>Main Deck Beam</i>	<i>Forcastle Deck Plating</i>	16,4
<i>Main Deck Girder</i>	<i>Forcastle Deck Plating</i>	4,5
Total		1.476,4

Pengelasan *Fillet Joint* merupakan jenis sambungan yang digunakan untuk menyatukan elemen penegar, seperti gading, girder, dan balok geladak, dengan pelat penumpunya melalui pengisian logam las pada sudut tegak lurus antara kedua elemen tersebut, tanpa memerlukan persiapan kampuh (*bevel*) sebagaimana pada sambungan *Butt Joint*. Karakteristik utama las fillet ini terletak pada tiga parameter desain, yaitu *throat thickness*, *leg length*, dan pola pengelasan yang dipilih, baik menerus (*continuous*) maupun terputus-putus (*intermittent*, dalam bentuk zig-zag atau rantai). Ketiga parameter ini pada dasarnya ditentukan berdasarkan tebal pelat yang disambung. Semakin tebal pelat, semakin besar pula tebal tenggorokan dan panjang kaki las yang disyaratkan, karena kekuatan sambungan harus proporsional terhadap kapasitas pelat yang ditopangnya.

Penerapan prinsip ini pada Tabel 4.43 tercermin dari perbedaan signifikan antar baris data. Elemen seperti *bottom floor–bottom shell plating* dan *BHD stiffner–transverse BHD plating* menunjukkan panjang pengelasan terbesar, sejalan dengan fungsinya sebagai penopang utama pada zona alas dan sekat yang telah terbukti menerima beban rencana tertinggi pada Tabel 4.5 dan 4.8. Sebaliknya, sambungan pada elemen sekunder seperti *deck transverse web–longitudinal BHD* menunjukkan panjang pengelasan yang jauh lebih kecil, mencerminkan peran elemen tersebut yang lebih bersifat penunjang dibandingkan penahan beban utama. Perbedaan ini juga berkaitan dengan pemilihan pola pengelasan. Pada sambungan yang menahan beban kritis dan berulang, seperti pada konstruksi dasar ganda dan sekat kedap air, umumnya diterapkan pengelasan menerus untuk menjamin kekedapan dan kekuatan penuh sepanjang sambungan, sedangkan pada sambungan elemen sekunder yang beban kerjanya lebih ringan, pola terputus-putus dapat diterapkan sebagai efisiensi tanpa mengorbankan kecukupan kekuatan, selama jarak antar segmen las tetap memenuhi batas toleransi yang disyaratkan.

Dengan demikian, variasi panjang pengelasan pada Tabel 4.42 bukan sekadar akumulasi data numerik, melainkan cerminan langsung dari hierarki fungsi struktural tiap elemen kapal. Semakin vital peran suatu elemen dalam menahan beban rencana, semakin besar pula kebutuhan pengelasannya, sebuah hubungan yang konsisten dengan filosofi perancangan struktur kapal secara menyeluruh yang telah dibuktikan berulang kali pada subbab-subbab sebelumnya, mulai dari beban rencana, tebal pelat, hingga modulus penampang gading.

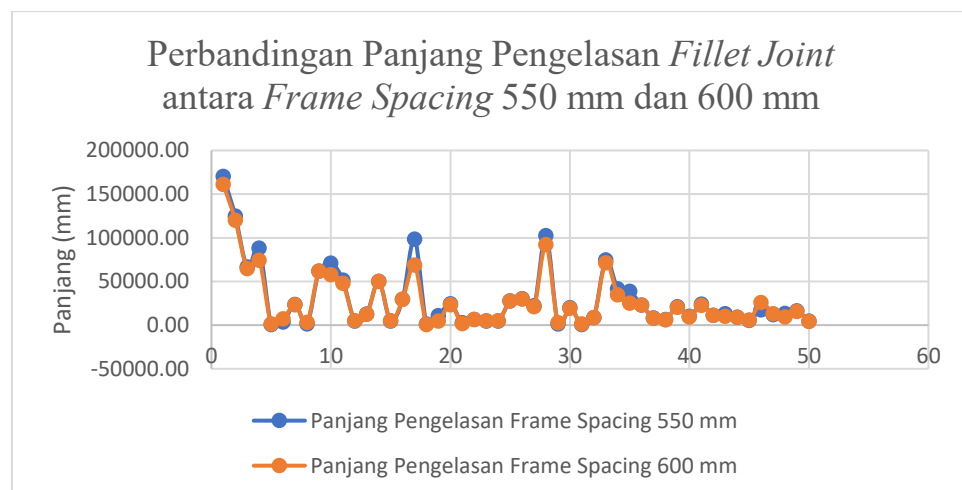
Tabel 4. 45 Panjang Pengelasan *Fillet Joint* Frame spacing 600 mm

<i>Item</i>	<i>Welded To</i>	<i>Panjang (m)</i>
<i>Main Deck Beam</i>	<i>Main Deck Plating</i>	161,0
<i>Main Frame</i>	<i>Side Shell Plating</i>	119,8
<i>Bottom Frame</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	64,6
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Main Deck Plating</i>	74,2
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Longitudinal BHD</i>	1,3
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Main Deck Girder</i>	7,1
<i>Main Deck Girder</i>	<i>Main Deck Plating</i>	23,3
<i>Main Deck Girder</i>	<i>Transverse BHD</i>	3,2
<i>Side Shell</i>	<i>Main Deck Plating</i>	61,8
<i>Side Transverse Web</i>	<i>Side Shell Plating</i>	57,7
<i>Tank Top</i>	<i>Inner Bottom Frame</i>	47,8
<i>Tank Top</i>	<i>Longitudinal BHD</i>	4,8
<i>Tank Top</i>	<i>Transverse BHD</i>	12,2
<i>Tank Top</i>	<i>Side Shell Plating</i>	49,8
<i>Longitudinal BHD</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	4,8
<i>Transverse BHD</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	29,3
<i>Bottom Floor</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	68,5
<i>Bottom Floor</i>	<i>Longitudinal BHD</i>	0,6
<i>Bottom Floor</i>	<i>Bottom Girder</i>	4,6
<i>Bottom Girder</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	23,3
<i>Bottom Girder</i>	<i>Transverse BHD</i>	1,4
<i>Longitudinal BHD</i>	<i>Transverse BHD</i>	6,2
<i>Longitudinal BHD</i>	<i>Main Deck Plating</i>	4,8
<i>Longitudinal BHD</i>	<i>Bottom Shell Plating</i>	4,8
<i>BHD Stiffner</i>	<i>Longitudinal BHD Plating</i>	27,5
<i>Transverse BHD Plating</i>	<i>Main Deck Plating</i>	30,0
<i>Transverse BHD Plating</i>	<i>Side Shell Plating</i>	21,1
<i>BHD Stiffner</i>	<i>Transverse BHD Plating</i>	92,0
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Side Deck Girder</i>	2,7
<i>Side Deck Girder</i>	<i>Main Deck Plating</i>	19,2
<i>Side Deck Girder</i>	<i>Transverse BHD</i>	1,1
<i>Side Shell</i>	<i>Top Deck Plating</i>	8,5
<i>Main Deck Beam</i>	<i>Bridge Deck Shell Plating</i>	71,2
<i>Main Deck Beam</i>	<i>Top Deck Shell Plating</i>	34,6
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Bridge Deck Shell Plating</i>	25,1
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Top Deck Shell Plating</i>	22,8
<i>Main Deck Girder</i>	<i>Bridge Deck Shell Plating</i>	8,0
<i>Main Deck Girder</i>	<i>Top Deck Shell Plating</i>	5,9
<i>Side Deck Girder</i>	<i>Bridge Deck Shell Plating</i>	20,4
<i>Side Deck Girder</i>	<i>Top Deck Shell Plating</i>	9,4
<i>Main Frame</i>	<i>Bridge Deck Side Shell Plating</i>	22,6
<i>Main Frame</i>	<i>Top Deck Side Shell Plating</i>	11,0
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Bridge Deck Side Shell Plating</i>	10,2
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Top Deck Side Shell Plating</i>	8,8
<i>Transverse BHD Plating</i>	<i>Bridge Deck Side Shell Plating</i>	5,5

<i>Main Frame</i>	<i>Forcastle Deck Side Shell Plating</i>	25,7
<i>Side Transverse Web</i>	<i>Forcastle Deck Side Shell Plating</i>	13,0
<i>Deck Transverse Web</i>	<i>Forcastle Deck Plating</i>	9,5
<i>Main Deck Beam</i>	<i>Forcastle Deck Plating</i>	15,7
<i>Main Deck Girder</i>	<i>Forcastle Deck Plating</i>	4,3
Total		1362,5

Susunan dan jenis titik sambungan pada Tabel 4.45 pada dasarnya identik dengan Tabel 4.44, karena kedua konfigurasi *frame spacing* menerapkan sistem konstruksi memanjang-melintang yang sama sesuai ketentuan BKI (2022) Vol. II, yaitu setiap elemen penegar tetap wajib disambung menerus terhadap pelat penumpunya melalui pengelasan fillet, terlepas dari besarnya jarak antar gading yang digunakan. Persamaan struktur tabel ini menunjukkan bahwa perubahan *frame spacing* tidak mengubah jenis maupun jumlah kategori sambungan yang diperlukan pada kapal, melainkan hanya memengaruhi besaran panjang pengelasan pada tiap kategori tersebut.

Ketika dibandingkan secara langsung dengan Tabel 4.44, nilai panjang pengelasan pada hampir seluruh baris di Tabel 4.45 menunjukkan penurunan, meskipun selisihnya relatif kecil pada tingkat elemen individual. Penurunan ini secara teoretis dapat dijelaskan melalui hubungan antara jarak gading dengan jumlah total elemen penegar yang dipasang di sepanjang kapal. Semakin lebar jarak antar gading, semakin sedikit jumlah gading yang dibutuhkan untuk mencakup panjang kapal yang sama, sehingga meskipun panjang pengelasan pada satu titik sambungan individual relatif tidak berbeda jauh, akumulasi total panjang pengelasan pada seluruh titik sambungan menjadi lebih kecil akibat berkurangnya jumlah total sambungan yang harus dibuat.



Gambar 4. 3 Perbandingan Berat Pengelasan *Fillet Joint* antara *Frame spacing* 550 mm dan 600 mm

Gambar 4.3 menampilkan seluruh titik sambungan fillet sebagaimana tercantum pada Tabel 4.44 dan Tabel 4.45 secara berurutan, dengan pola fluktuasi yang tajam dan berulang di sepanjang sumbu horizontal. Beberapa puncak yang menonjol, khususnya pada titik-titik awal serta beberapa titik pertengahan grafik, merepresentasikan elemen penopang utama seperti *bottom floor* dan *BHD stiffner* yang telah dibahas sebelumnya sebagai elemen dengan

panjang pengelasan terbesar, sedangkan titik-titik dengan nilai rendah yang mendominasi sebagian besar grafik merepresentasikan sambungan pada elemen sekunder yang jumlahnya jauh lebih banyak namun dengan kebutuhan pengelasan yang lebih ringan pada tiap titiknya.

Karakteristik yang paling menonjol dari Gambar 4.3 adalah bahwa kurva *frame spacing* 550 mm dan 600 mm secara umum berimpit erat pada mayoritas titik, namun terdapat beberapa titik puncak di mana kurva *frame spacing* 550 mm tampak sedikit lebih tinggi dibandingkan kurva 600 mm, khususnya pada puncak-puncak yang merepresentasikan elemen penopang utama. Pola ini secara kuantitatif memperkuat temuan pada Tabel 4.42 dan 4.43, yaitu bahwa perbedaan berat pengelasan fillet antar kedua konfigurasi tidak terjadi secara merata pada seluruh elemen, melainkan lebih terkonsentrasi pada elemen-elemen dengan intensitas pengelasan tinggi, sementara pada elemen sekunder dengan pengelasan ringan, kedua konfigurasi menghasilkan nilai yang hampir tidak berbeda.

Secara teori, hal ini memberikan interpretasi pengaruh *frame spacing* terhadap total biaya pengelasan *Fillet Joint*, yaitu bahwa efisiensi pengelasan akibat berkurangnya jumlah gading pada konfigurasi *frame spacing* 600 mm lebih banyak terealisasi pada elemen-elemen struktur utama dibandingkan elemen sekunder. Dengan kata lain, penghematan biaya pengelasan fillet akibat pembesaran *frame spacing* bersumber terutama dari berkurangnya jumlah sambungan pada elemen-elemen kritis seperti penopang alas dan sekat, sebuah temuan yang melengkapi pemahaman menyeluruh mengenai interaksi antara berat material dan kebutuhan pengelasan sebagaimana telah dibahas pada subbab sebelumnya, sebelum kedua komponen biaya tersebut direkapitulasi menjadi estimasi total biaya pembangunan Kapal Ikan 120 GT pada tahap analisis berikutnya.

4.2.2 Perhitungan Volume Pengelasan

Setelah panjang pengelasan pada Tabel 4.42 hingga Tabel 4.45 diperoleh, tahap selanjutnya adalah mengonversi panjang tersebut menjadi volume atau berat logam las yang dibutuhkan pada tiap kategori sambungan, baik untuk pengelasan tumpul (*Butt Joint*) maupun pengelasan sudut (*Fillet Joint*). Konversi ini mempertimbangkan tebal pelat yang disambung, karena volume alur las yang harus diisi logam las sebanding dengan luas penampang melintang sambungan, yang pada sambungan tumpul ditentukan oleh tebal pelat itu sendiri, sedangkan pada sambungan sudut ditentukan oleh ukuran tenggorokan dan panjang kaki las sebagaimana telah dibahas pada pembahasan Tabel 4.42 sebelumnya.

Tabel 4. 46 Volume Pengelasan *Butt Joint Frame spacing* 550 mm

Keterangan	Berat (kg)
<i>Main Deck Plating</i>	136,71
<i>Side Shell</i>	114,58
<i>Bottom Shell</i>	22,96
<i>Keel Plate</i>	3,71
<i>Bottom Shell</i>	27,22
<i>Transverse BHD Plating</i>	10,33
<i>Longitudinal BHD Plating</i>	3,71
<i>Top Deck Plating</i>	23,14

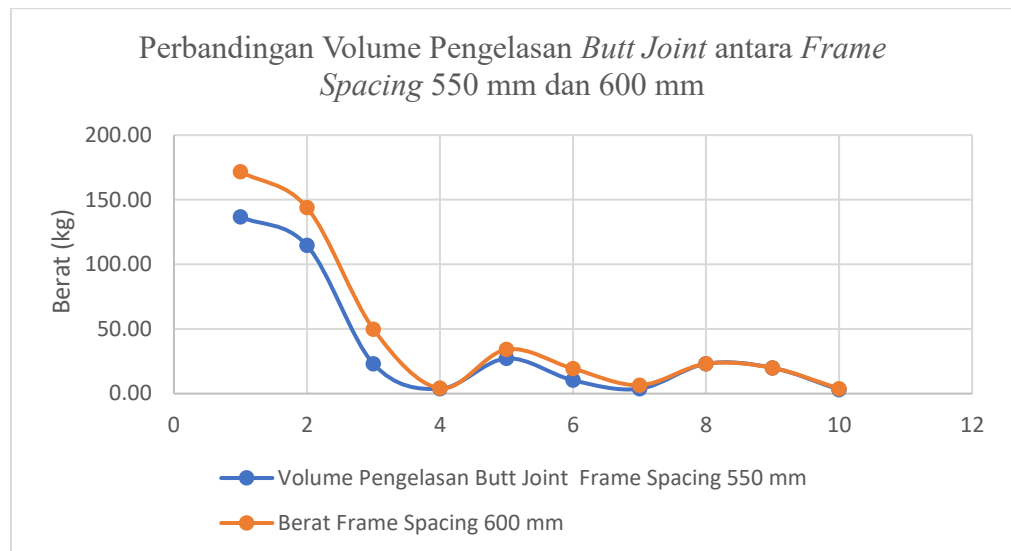
<i>Bridge Deck Plating</i>	19,93
<i>Forcastle Deck Plating</i>	3,05
Total	365,34

Tabel 4.46 mengonversi panjang pengelasan *Butt Joint* pada Tabel 4.40 menjadi berat logam las yang dibutuhkan pada tiap kategori pelat. Pelat geladak utama dan pelat sisi tetap menjadi kontributor volume las terbesar, konsisten dengan dominasinya pada panjang pengelasan sebagaimana telah dibahas sebelumnya, sementara elemen dengan luasan lebih kecil seperti pelat lunas dan pelat geladak akil menyumbang volume yang jauh lebih rendah.

Tabel 4. 47 Volume Pengelasan *Butt Joint Frame spacing* 600 mm

Keterangan	Berat (kg)
<i>Main Deck Plating</i>	171,67
<i>Side Shell</i>	143,88
<i>Bottom Shell</i>	49,84
<i>Keel Plate</i>	4,09
<i>Bottom Shell</i>	34,17
<i>Transverse BHD Plating</i>	19,36
<i>Longitudinal BHD Plating</i>	6,55
<i>Top Deck Plating</i>	23,14
<i>Bridge Deck Plating</i>	19,93
<i>Forcastle Deck Plating</i>	3,84
Total	476,48

Berbeda dengan panjang pengelasannya pada Tabel 4.41 yang hampir tidak berubah dari konfigurasi 550 mm, volume pengelasan pada tabel ini meningkat cukup signifikan di hampir seluruh kategori pelat. Peningkatan ini konsisten dengan hasil verifikasi tebal pelat pada subbab 4.2, di mana sejumlah elemen pelat pada konfigurasi 600 mm memerlukan ketebalan lebih besar untuk memenuhi persyaratan BKI (2022), sehingga volume alur las yang harus diisi logam las turut membesar meskipun panjang sambungannya relatif tetap.



Gambar 4. 4 Perbandingan Volume Pengelasan *Butt Joint* antara *Frame spacing* 550 mm dan 600 mm

Bentuk kurva pada pada Gambar 4.4 serupa dengan Gambar 4.2, yaitu menurun tajam pada titik-titik awal yang merepresentasikan pelat geladak utama dan pelat sisi, kemudian melandai pada kategori pelat dengan luasan lebih kecil. Perbedaan yang tampak dari Gambar 4.2 adalah bahwa pada grafik ini kurva *frame spacing* 600 mm secara konsisten berada sedikit di atas kurva 550 mm pada hampir seluruh titik, berbeda dengan kedua kurva panjang pengelasan pada Gambar 4.2 yang praktis berimpit. Perbedaan pola ini secara teori memvalidasi bahwa pengaruh *frame spacing* terhadap pengelasan tumpul baru muncul ketika ditinjau dari aspek volume atau berat las, bukan dari aspek panjangnya, sehingga kedua grafik ini saling melengkapi dalam menjelaskan mekanisme yang berbeda di balik kedua variabel tersebut.

Tabel 4. 48 Volume Pengelasan *Fillet Joint* *Frame spacing* 550 mm

Nama	Volume (kg)
<i>Main Deck Beam</i>	60,71
<i>Main Frame</i>	44,48
<i>Bottom Frame</i>	23,66
<i>Deck Transverse Web</i>	62,92
<i>Deck Transverse Web</i>	0,46
<i>Deck Transverse Web</i>	2,43
<i>Main Deck Girder</i>	16,91
<i>Main Deck Girder</i>	0,80
<i>Side Shell</i>	22,06
<i>Side Transverse Web</i>	50,65
<i>Tank Top</i>	18,31
<i>Tank Top</i>	1,57
<i>Tank Top</i>	4,48
<i>Tank Top</i>	17,77
<i>Longtudinal BHD</i>	1,57
<i>Transverse BHD</i>	10,57
<i>Bottom Floor</i>	70,16
<i>Bottom Floor</i>	0,84

<i>Bottom Floor</i>	7,67
<i>Bottom Girder</i>	17,39
<i>Bottom Girder</i>	2,01
<i>Longtudinal BHD</i>	4,42
<i>Longtudinal BHD</i>	1,57
<i>Longtudinal BHD</i>	1,57
<i>BHD Stiffner</i>	9,79
<i>Transverse BHD Plating</i>	10,78
<i>Transverse BHD Plating</i>	7,92
<i>BHD Stiffner</i>	36,58
<i>Deck Transverse Web</i>	0,95
<i>Side Deck Girder</i>	14,13
<i>Side Deck Girder</i>	0,32
<i>Side Shell</i>	3,02
<i>Main Deck Beam</i>	26,56
<i>Main Deck Beam</i>	14,87
<i>Deck Transverse Web</i>	27,53
<i>Deck Transverse Web</i>	16,37
<i>Main Deck Girder</i>	5,89
<i>Main Deck Girder</i>	4,44
<i>Side Deck Girder</i>	14,92
<i>Side Deck Girder</i>	7,16
<i>Main Frame</i>	8,50
<i>Main Frame</i>	3,93
<i>Deck Transverse Web</i>	9,27
<i>Deck Transverse Web</i>	6,28
<i>Transverse BHD Plating</i>	1,88
<i>Main Frame</i>	6,16
<i>Side Transverse Web</i>	8,54
<i>Deck Transverse Web</i>	9,62
<i>Main Deck Beam</i>	5,86
<i>Main Deck Girder</i>	3,20
Total	709,47

Tabel ini mengonversi seluruh titik sambungan *Fillet Joint* pada Tabel 4.42 menjadi volume logam las, dengan elemen *bottom floor–bottom shell plating* dan *BHD stiffner–transverse BHD plating* tetap menunjukkan kontribusi terbesar, sejalan dengan perannya sebagai penopang utama alas dan sekat sebagaimana telah dibahas sebelumnya. Total volume pada tabel ini menjadi nilai acuan bagi perbandingan dengan konfigurasi *frame spacing* yang lebih lebar pada tabel berikutnya.

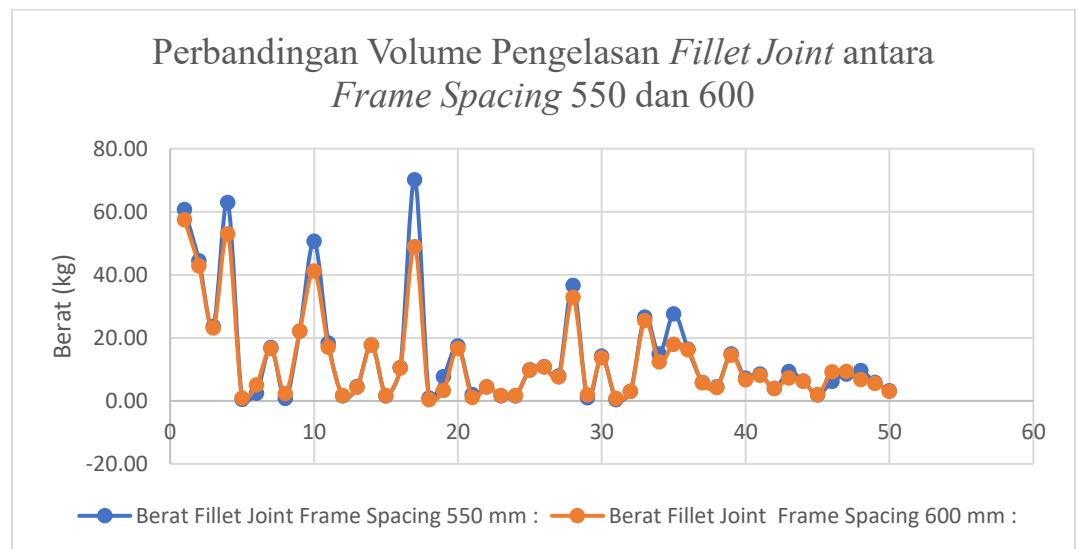
Tabel 4. 49 Volume Pengelasan *Fillet Joint Frame spacing* 600 mm

Nama	Volume (kg)
<i>Main Deck Beam</i>	57,45
<i>Main Frame</i>	42,76
<i>Bottom Frame</i>	23,07
<i>Deck Transverse Web</i>	52,95
<i>Deck Transverse Web</i>	0,92
<i>Deck Transverse Web</i>	5,04

<i>Main Deck Girder</i>	16,62
<i>Main Deck Girder</i>	2,29
<i>Side Shell</i>	22,06
<i>Side Transverse Web</i>	41,20
<i>Tank Top</i>	17,04
<i>Tank Top</i>	1,71
<i>Tank Top</i>	4,36
<i>Tank Top</i>	17,77
<i>Longtudinal BHD</i>	1,71
<i>Transverse BHD</i>	10,46
<i>Bottom Floor</i>	48,89
<i>Bottom Floor</i>	0,41
<i>Bottom Floor</i>	3,29
<i>Bottom Girder</i>	16,66
<i>Bottom Girder</i>	1,03
<i>Longtudinal BHD</i>	4,42
<i>Longtudinal BHD</i>	1,71
<i>Longtudinal BHD</i>	1,71
<i>BHD Stiffner</i>	9,79
<i>Transverse BHD Plating</i>	10,71
<i>Transverse BHD Plating</i>	7,54
<i>BHD Stiffner</i>	32,83
<i>Deck Transverse Web</i>	1,93
<i>Side Deck Girder</i>	13,70
<i>Side Deck Girder</i>	0,77
<i>Side Shell</i>	3,02
<i>Main Deck Beam</i>	25,41
<i>Main Deck Beam</i>	12,33
<i>Deck Transverse Web</i>	17,89
<i>Deck Transverse Web</i>	16,25
<i>Main Deck Girder</i>	5,70
<i>Main Deck Girder</i>	4,20
<i>Side Deck Girder</i>	14,53
<i>Side Deck Girder</i>	6,69
<i>Main Frame</i>	8,05
<i>Main Frame</i>	3,93
<i>Deck Transverse Web</i>	7,28
<i>Deck Transverse Web</i>	6,28
<i>Transverse BHD Plating</i>	1,95
<i>Main Frame</i>	9,19
<i>Side Transverse Web</i>	9,29
<i>Deck Transverse Web</i>	6,75
<i>Main Deck Beam</i>	5,59
<i>Main Deck Girder</i>	3,05
Total	640,18

Berbeda dengan pola pada pengelasan *Butt Joint*, total volume pengelasan fillet pada tabel ini justru lebih besar dibandingkan Tabel 4.48, meskipun total panjang pengelasan fillet pada Tabel 4.43 sebelumnya tercatat lebih rendah dibandingkan Tabel 4.42. Temuan yang tampak berlawanan ini dapat dijelaskan

melalui prinsip bahwa volume las *Fillet Joint* tidak hanya ditentukan oleh panjang sambungan, tetapi juga oleh tebal las yang mengikuti tebal pelat maupun profil gading yang disambung. Karena beberapa elemen gading pada konfigurasi 600 mm berdimensi lebih besar guna menahan area beban yang lebih luas, sebagaimana telah dibuktikan pada subbab modulus penampang, maka tebal las yang disyaratkan pada sambungannya turut membesar, sehingga peningkatan volume akibat pembesaran dimensi las lebih dominan dibandingkan penurunan volume akibat berkurangnya jumlah titik sambungan.



Gambar 4. 5 Perbandingan Volume Pengelasan *Fillet Joint* antara *Frame spacing* 550 mm dan 600 mm

Grafik pada Gambar 4.5 memperlihatkan pola fluktuasi tajam yang serupa dengan Gambar 4.3, dengan puncak-puncak nilai pada elemen penopang utama dan nilai rendah yang mendominasi pada elemen sekunder. Kedua kurva secara umum berimpit erat pada mayoritas titik, namun kurva *frame spacing* 600 mm tampak sedikit lebih tinggi pada beberapa puncak, konsisten dengan temuan pada Tabel 4.49 bahwa peningkatan dimensi las pada elemen-elemen kritis memberikan kontribusi lebih besar terhadap total volume dibandingkan efek pengurangan jumlah sambungan.

Secara keseluruhan, hasil pada Tabel 4.46 hingga Gambar 4.5 menunjukkan bahwa baik pengelasan *Butt Joint* maupun *Fillet Joint* pada konfigurasi *frame spacing* 600 mm menghasilkan volume las yang lebih besar dibandingkan konfigurasi 550 mm, meskipun melalui mekanisme yang berbeda: penebalan pelat pada *Butt Joint*, dan pembesaran dimensi las akibat profil gading yang lebih besar pada *Fillet Joint*. Kedua temuan ini melengkapi hasil pada Tabel 4.38 dan 4.39, sehingga menegaskan bahwa konfigurasi *frame spacing* 550 mm secara konsisten lebih ekonomis dibandingkan 600 mm, baik dari sisi berat material maupun dari sisi kebutuhan volume pengelasan, sebagai dasar bagi rekapitulasi estimasi total biaya pembangunan Kapal Ikan 120 GT pada tahap analisis selanjutnya.

4.2.3 Perhitungan Biaya Pengelasan

Tabel 4.50 menyajikan hasil konversi volume pengelasan *Butt Joint* pada Tabel 4.46 dan Tabel 4.47 menjadi nilai biaya dalam rupiah, dengan mengalikan berat logam las pada masing-masing konfigurasi terhadap harga satuan material dan jasa pengelasan per kilogram. Biaya pengelasan *Butt Joint* pada konfigurasi *frame spacing* 600 mm tercatat lebih tinggi dibandingkan konfigurasi 550 mm. Perbedaan ini bersumber dari selisih tebal pelat pada beberapa elemen konstruksi, sebagaimana telah dibuktikan pada perhitungan tebal pelat di subbab 4.2, di mana pelat yang lebih tebal memerlukan volume alur las (*groove*) yang lebih besar pada sambungan tumpul, sehingga meskipun panjang sambungannya relatif sama pada kedua konfigurasi, berat logam las dan biayanya tetap lebih besar pada konfigurasi 600 mm.

Tabel 4. 50 Harga Pengelasan *Butt Joint*

Keterangan	Harga
<i>Frame spacing</i> 550 mm	Rp. 29.950.440
<i>Frame spacing</i> 600 mm	Rp. 39.061.516

Berbeda dengan pola pada Tabel 4.50, biaya pengelasan fillet pada tabel ini justru menunjukkan nilai yang lebih rendah pada konfigurasi *frame spacing* 600 mm dibandingkan 550 mm. Kondisi ini terjadi karena jarak gading yang lebih lebar pada konfigurasi 600 mm mengurangi jumlah total gading dan penegar yang dipasang di sepanjang kapal, sehingga jumlah titik sambungan fillet antara gading dengan pelat turut berkurang. Meskipun dimensi tiap elemen gading pada konfigurasi 600 mm lebih besar sehingga membutuhkan las dengan tebal tenggorokan lebih besar pula, efek pengurangan jumlah total sambungan ternyata lebih dominan dibandingkan efek pembesaran dimensi las per titik sambungan, sehingga secara keseluruhan biaya pengelasan fillet menjadi lebih hemat pada konfigurasi *frame spacing* yang lebih lebar.

Tabel 4. 51 Harga Pengelasan *Fillet Joint*

Keterangan	Harga
<i>Frame spacing</i> 550 mm	Rp. 58.162.096
<i>Frame spacing</i> 600 mm	Rp. 52.482.246

Tabel 4.51 merekapitulasi penjumlahan biaya pengelasan *Butt Joint* (Tabel 4.50) dengan biaya pengelasan fillet (Tabel 4.51) untuk masing-masing konfigurasi, menghasilkan satu nilai total biaya pengelasan kapal, yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk diagram batang perbandingan. Grafik tersebut menunjukkan bahwa batang *frame spacing* 600 mm tetap lebih tinggi dibandingkan 550 mm meskipun selisihnya lebih kecil dibandingkan jika hanya meninjau biaya *Butt Joint* saja. Hal ini membuktikan bahwa penghematan pada biaya pengelasan fillet akibat berkurangnya jumlah gading tidak cukup besar untuk mengompensasi peningkatan biaya pada pengelasan tumpul akibat

penebalan pelat, sehingga secara netto total biaya pengelasan pada konfigurasi 600 mm tetap lebih besar dibandingkan konfigurasi 550 mm.

Tabel 4. 52 Total Harga Biaya Pengelasan KM. X

Keterangan	Harga
<i>Frame spacing</i> 550 mm	Rp. 88.112.535
<i>Frame spacing</i> 600 mm	Rp. 91.543.762

Dengan demikian, perbedaan hasil pada ketiga tabel ini dapat ditelusuri pada satu akar penyebab yang sama, yaitu perbedaan luas area beban yang ditopang tiap elemen gading akibat perbedaan jarak gading, yang kemudian merambat menjadi dua dampak berlawanan arah: peningkatan biaya pada pengelasan tumpul akibat penebalan pelat, dan penurunan biaya pada pengelasan *Fillet Joint* akibat berkurangnya jumlah sambungan gading, dengan dampak pertama yang terbukti lebih dominan sehingga menentukan arah hasil akhir pada total biaya pengelasan kapal.

4.3 Analisis Biaya Subkontraktor

4.3.1 Perhitungan Biaya Subkontraktor

Tabel 4.53 menyajikan harga jasa subkontraktor harian untuk tiga kategori pekerja yang terlibat dalam proses pembangunan kapal, yaitu *welder*, *fitter*, dan *helper*, berdasarkan data yang bersumber langsung dari galangan terkait di daerah Cirebon. Data pada tabel ini menjadi parameter tetap yang digunakan secara konsisten pada perhitungan biaya subkontraktor untuk kedua konfigurasi *frame spacing* pada tabel-tabel berikutnya.

Tabel 4. 53 Harga Jasa di Daerah Cirebon (Sumber: Galangan Terkait)

Keterangan	Harga
<i>Welder</i>	Rp. 140.000
<i>Fitter</i>	Rp. 140.000
<i>Helper</i>	Rp. 80.000

Perhitungan pada Tabel 4.54 didasarkan pada data pembangunan aktual di galangan, yaitu durasi 35 minggu atau 175 hari kerja terhitung sejak awal pembangunan hingga peluncuran (*launching*), dengan melibatkan 17 orang pekerja yang terdiri atas 5 orang *welder*, 6 orang *fitter*, dan 6 orang *helper*. Biaya subkontraktor untuk tiap kategori diperoleh dengan mengalikan durasi 175 hari terhadap tarif harian pada Tabel 4.53, kemudian dikalikan lagi dengan jumlah pekerja pada kategori tersebut, menghasilkan biaya sebesar Rp122.500.000 untuk *welder*, Rp147.000.000 untuk *fitter*, dan Rp84.000.000 untuk *helper*, sehingga total biaya subkontraktor konfigurasi ini mencapai Rp353.500.000. Oleh karena durasi 175 hari ini merupakan data faktual dan bukan hasil estimasi, maka nilai pada tabel ini sekaligus menjadi dasar bagi produktivitas galangan, yang diperoleh dengan membagi total berat konstruksi konfigurasi ini (63.240,13 kg) terhadap durasi pembangunannya yaitu 175 hari, menghasilkan produktivitas rata-rata sebesar 361,37 kg per hari. Nilai produktivitas inilah yang selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk mengestimasi durasi pembangunan pada konfigurasi *frame spacing* 550 mm, mengingat data durasi aktual untuk konfigurasi tersebut belum tersedia.

Tabel 4. 54 Biaya Subkontraktor untuk Kapal Ikan KM. X dengan *Frame spacing* 600 mm

Keterangan	Jumlah Hari	Total
<i>Welder</i> (5 Orang)	175 Hari	Rp. 122.500.000
<i>Fitter</i> (6 Orang)	175 Hari	Rp. 147.000.000
<i>Helper</i> (6 Orang)	175 Hari	Rp. 84.000.000
Total		Rp. 353.500.000

Hasil perhitungan pada Tabel 4.55 menunjukkan total biaya subkontraktor sebesar Rp303.000.000, yang telah diverifikasi sesuai dengan rumus dasar biaya subkontraktor (*durasi × tarif harian × jumlah pekerja*) menggunakan metode yang sama dengan Tabel 4.54, sehingga hasil ini dinyatakan sesuai teori Nilai tersebut juga logis karena berat konstruksi konfigurasi 550 mm lebih ringan dibandingkan 600 mm, durasi pengerjaannya menjadi lebih singkat, sehingga biaya subkontraktornya pun lebih rendah dibandingkan konfigurasi 600 mm. Dengan demikian, hasil pada Tabel 4.55 konsisten dengan temuan berat konstruksi pada subbab sebelumnya.

Tabel 4. 55 Biaya Subkontraktor untuk Kapal Ikan KM. X dengan *Frame spacing* 550 mm

Keterangan	Jumlah Hari	Total
<i>Welder</i> (5 Orang)	150 Hari	Rp. 105.000.000
<i>Fitter</i> (6 Orang)	150 Hari	Rp. 126.000.000
<i>Helper</i> (6 Orang)	150 Hari	Rp. 72.000.000
Total		Rp. 303.000.000

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.53 hingga Tabel 4.55, dapat disimpulkan bahwa biaya subkontraktor untuk membangun Kapal Ikan KM. X dihitung secara konsisten menggunakan pendekatan yang sama pada kedua konfigurasi, yaitu durasi pembangunan dikalikan tarif harian dan jumlah pekerja, dengan konfigurasi *frame spacing* 600 mm menggunakan data durasi aktual (175 hari) sebagai acuan produktivitas galangan, sedangkan konfigurasi 550 mm menggunakan durasi hasil estimasi (150 hari) yang diturunkan dari produktivitas tersebut; hasil perhitungan pada kedua tabel telah terverifikasi sesuai dengan rumus dasar biaya subkontraktor, dengan total biaya konfigurasi 550 mm (Rp303.000.000) tercatat lebih rendah dibandingkan konfigurasi 600 mm (Rp353.500.000), sejalan dengan berat konstruksi konfigurasi 550 mm yang lebih ringan sehingga membutuhkan durasi pengerjaan lebih singkat, sehingga dapat disimpulkan bahwa konfigurasi *frame spacing* 550 mm juga lebih ekonomis dari sisi biaya subkontraktor, melengkapi keunggulan yang telah terbukti pada aspek biaya material dan biaya pengelasan sebelumnya.