

Analisis *Weight Control* Material Baja Pada Panel *Main Deck* Berdasarkan Perbandingan MTO Dan Berat Aktual Produksi Pada Proyek Pembangunan Kapal Tongkang 300 Feet

Yesika Eva Liana Aruan^{*1}, Windy Stefani^{*} and Nurman Pamungkas^{*}

^{*} Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: yesikaaruan07@gmail.com

Abstrak

Pengendalian berat material baja (*weight control*) merupakan aspek penting dalam pembangunan kapal untuk memastikan kesesuaian antara perencanaan material berdasarkan *material take off* (MTO) dengan penggunaan material aktual selama proses produksi. Perbedaan antara data MTO dan berat aktual berpotensi memengaruhi efisiensi material, biaya produksi, serta ketepatan pengendalian material. Penelitian ini bertujuan menghitung deviasi berat antara data MTO dan berat aktual hasil fabrikas panel *main deck* kapal tongkang 300 feet, mengevaluasi tingkat deviasi *weight control*, mengidentifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya selisih berat material, serta menganalisis efisiensi penggunaan material menggunakan pendekatan *nesting plan*. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif melalui pengumpulan data MTO dan data aktual produksi, perhitungan deviasi berat menggunakan metode persentase selisih, serta analisis *nesting* menggunakan perangkat lunak *CypCut*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa deviasi total *weight control* sebesar 19,67%, melebihi batas toleransi $\pm 10\%$, dengan deviasi tertinggi terjadi pada material AB 150 $\times$ 90 $\times$ 9 mm sebesar 100,05%. Faktor utama penyebab deviasi meliputi penambahan material akibat penyesuaian konstruksi di lapangan, *cutting allowance*, serta tambahan material pengelasan. Analisis *nesting plan* menunjukkan efisiensi material *plate* 12 mm sebesar 85,71% dengan waste 14,29%, sedangkan *plate* 14 mm memiliki efisiensi 49,87% dengan waste 50,13%. Berdasarkan hasil tersebut, seluruh tujuan penelitian telah tercapai, yaitu berhasil menghitung deviasi berat material, mengevaluasi tingkat deviasi *weight control*, mengidentifikasi faktor-faktor penyebab selisih berat material, serta menganalisis efisiensi penggunaan material melalui pendekatan *nesting plan*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa deviasi berat material antara MTO dan berat aktual pada panel *main deck* masih melebihi batas toleransi yang ditetapkan.

Kata kunci: *Weight control*, deviasi berat, material baja, MTO, panel *main deck*

Abstract

Steel material Weight Control is a crucial aspect of shipbuilding, ensuring alignment between material planning based on the Material Take-Off (MTO) and actual material usage during production. Discrepancies between MTO data and actual weight can impact material efficiency, production costs, and the accuracy of material management. This study aims to calculate the weight deviation between MTO data and the actual fabricated weight of Main deck panels for a 300-foot barge, evaluate the Weight Control deviation level, identify the factors causing these weight discrepancies, and analyze material usage efficiency using a Nesting Plan approach. The research employs a quantitative descriptive method involving the collection of MTO and actual production data, weight deviation calculations using the percentage difference method, and nesting analysis using *CypCut* software. The results indicate a total Weight Control deviation of 19.67%, exceeding the $\pm 10\%$ tolerance limit; the highest deviation occurred with the AB 150 $\times$ 90 $\times$ 9 mm material, reaching 100.05%. Primary causes of deviation include material additions due to on-site construction adjustments, cutting allowances, and welding material additions. Nesting Plan analysis reveals a material efficiency of 85.71% (with 14.29% waste) for 12 mm plates, whereas 14 mm plates showed an efficiency of 49.87% (with 50.13% waste). Consequently, all research objectives were achieved: calculating material

weight deviation, evaluating the Weight Control deviation level, identifying causes of weight discrepancies, and analyzing material usage efficiency via the Nesting Plan approach. The findings demonstrate that the material weight deviation between MTO data and actual weight for the Main deck panels remains above the established tolerance limit.

Keywords: Weight control, weight deviation, steel material, MTO, main deck panel

1 Pendahuluan

Pembangunan kapal merupakan proses manufaktur yang kompleks dan melibatkan berbagai tahapan perencanaan serta pengendalian produksi. Salah satu aspek penting dalam proses tersebut adalah pengendalian berat struktur kapal *weight control*. Pengendalian berat dilakukan untuk memastikan bahwa berat material yang digunakan selama proses produksi sesuai dengan perencanaan desain. Dalam industri perkapalan, perhitungan kebutuhan material umumnya didasarkan pada dokumen *material take off* (MTO) yang berisi daftar dan estimasi berat material berdasarkan desain. Data MTO digunakan sebagai acuan dalam proses pengadaan material, perencanaan produksi, serta pengendalian penggunaan material selama pembangunan kapal [1,2]. Selain faktor perencanaan dan proses produksi, deviasi berat material juga dapat dipengaruhi oleh efisiensi pemotongan material baja. Proses pemotongan yang tidak optimal dapat menghasilkan sisa material (*waste*) yang cukup besar sehingga mempengaruhi penggunaan material aktual. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan tambahan berupa analisis *nesting plan* untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan material pada panel *main deck* [9].

Dalam praktik produksi, sering terjadi perbedaan antara berat material yang direncanakan pada dokumen MTO dengan berat aktual yang digunakan di lapangan. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh berbagai pengelasan, serta ketidaktepatan estimasi awal. Apabila deviasi berat tersebut tidak dikendalikan dengan baik, maka dapat mempengaruhi efisiensi penggunaan material, perencanaan produksi, serta deviasi pengendalian berat secara keseluruhan. Oleh karena itu, evaluasi terhadap deviasi *weight control* menjadi penting untuk mengetahui kesesuaian antara perencanaan material dan realisasi penggunaannya selama proses produksi [3,4].

Penelitian mengenai estimasi dan pengendalian berat material kapal telah banyak dilakukan sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Cheng-Kuan Lin dan Heiu-Jou Shaw mengembangkan metode estimasi berat baja kapal menggunakan pendekatan feature-based segmen estimation yang memanfaatkan analisis parameter desain kapal dan model *CAD* tiga dimensi. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa estimasi berat baja kapal dapat dilakukan secara lebih akurat dengan membagi struktur kapal menjadi beberapa segmen utama seperti forepeak, ruang mesin, ruang muat, dan bagian buritan kapal. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa estimasi berat struktur kapal merupakan faktor penting dalam tahap desain awal karena berat struktur kapal dapat mencapai lebih dari 70% dari total berat kapal kosong (*light ship weight*) [3].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih banyak membahas metode estimasi berat struktur kapal pada tahap desain [5]. Penelitian yang secara khusus menganalisis kesesuaian antara berat material berdasarkan dokumen MTO dengan berat aktual material yang digunakan selama proses produksi masih relatif terbatas, khususnya pada bagian struktur tertentu seperti panel *main deck*. Meskipun begitu, dek utama adalah salah satu elemen penting dalam struktur kapal yang memberikan kontribusi berat yang cukup besar dalam keseluruhan konstruksi kapal, mengingat bahwa material baja bisa mencapai sekitar 75–85% dari berat ringan kapal di sektor industri pembangunan kapal [6]. Dan perbedaan konfigurasi beban konstruksi juga dapat mempengaruhi total berat struktur kapal [8]. Oleh karena itu, analisis terhadap deviasi

pengendalian berat material pada bagian ini menjadi penting untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara perencanaan dan realisasi penggunaan material [5]. Penelitian terkait analisis deviasi *weight control* yang dikombinasikan dengan pendekatan *nesting plan* untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan material pada panel *main deck* masih terbatas [9].

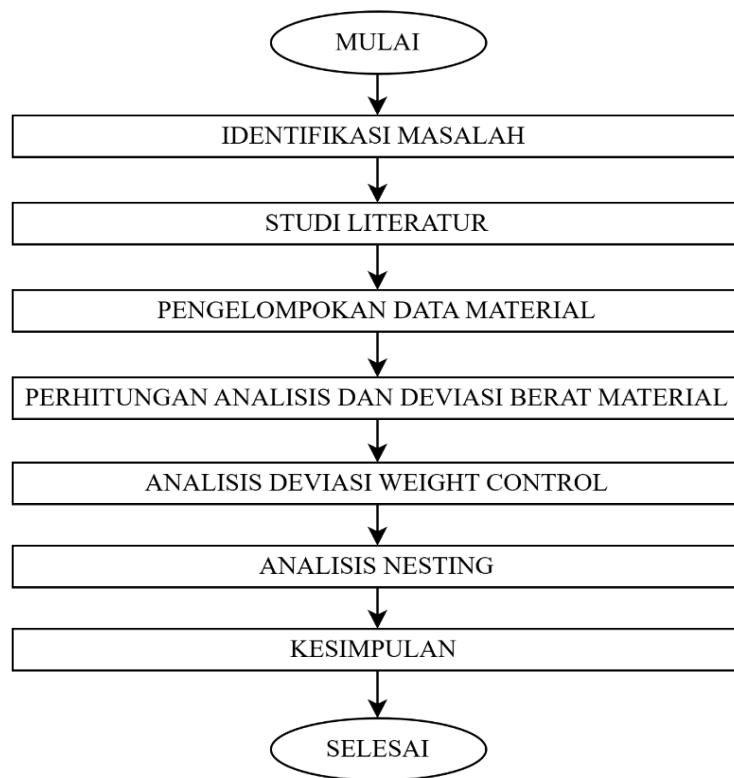
Berdasarkan masalah ini, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung deviasi berat antara data *material take off* (MTO) dengan berat aktual hasil fabrikasi panel *main deck*. Selain itu, penelitian ini mengevaluasi tingkat deviasi sistem *weight control* dalam administrasi proyek, mengidentifikasi faktor-faktor utama penyebab terjadinya selisih berat material, menganalisis efisiensi penggunaan material menggunakan pendekatan *nesting plan* pada proses pemotongan panel *main deck*. Dengan analisis yang dilakukan selama fase produksi pada proyek kapal tersebut, diharapkan dapat diperoleh pemahaman tentang tingkat penyimpangan berat material yang muncul serta tingkat presisi pengendalian berat material sepanjang proses produksinya.

Penelitian ini menggunakan studi kasus pada proyek pembangunan kapal tongkang 300 *feet* di salah satu galangan kapal sebagai representasi penerapan sistem *weight control* dalam industri konstruksi kapal. Pada proyek tersebut, dokumen *material take off* (MTO) digunakan sebagai dasar perencanaan kebutuhan material sekaligus acuan dalam proses pengadaan dan fabrikasi. Namun, selama pelaksanaan produksi ditemukan adanya perbedaan antara berat material yang tercantum dalam dokumen MTO dengan berat material aktual yang digunakan di lapangan. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya evaluasi terhadap tingkat kesesuaian antara perencanaan dan realisasi penggunaan material selama proses pembangunan kapal. Oleh karena itu, proyek pembangunan kapal tongkang 300 *feet* dipilih sebagai studi kasus karena menyediakan data aktual yang relevan untuk menganalisis deviasi *weight control*, mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi perbedaan berat material, serta mengevaluasi efisiensi penggunaan material pada proses fabrikasi panel *main deck*.

2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif untuk menganalisis tingkat deviasi pengendalian berat material baja (*weight control*) pada panel *main deck* kapal. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi penggunaan material baja selama proses produksi berdasarkan data *material take off* (MTO) dan data berat aktual material di lapangan. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menghitung selisih dan persentase deviasi berat material antara data MTO dan berat aktual produksi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara perencanaan material dan penggunaan material selama proses pembangunan kapal.

Pengendalian berat material merupakan aspek penting dalam pembangunan kapal karena berat struktur baja memiliki kontribusi besar terhadap total berat kapal. Oleh karena itu, pengendalian berat material perlu dilakukan dengan baik agar penggunaan material tetap sesuai dengan perencanaan desain kapal [3,7].



Gambar 1: Diagram Alur Penelitian

2.1 Identifikasi Masalah

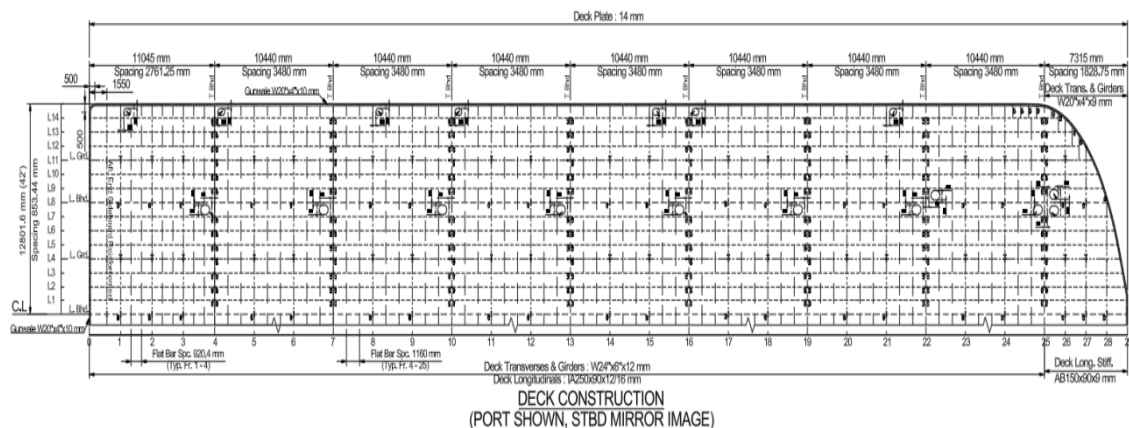
Tahap awal dalam penelitian ini adalah menentukan masalah yang muncul dalam proses konstruksi kapal, terutama berkaitan dengan pengelolaan berat bahan baja. Masalah yang diteliti adalah adanya ketidaksesuaian antara berat bahan yang tertera dalam dokumen *material take off* (MTO) dan berat aktual bahan yang dipakai selama proses produksi. Ketidaksesuaian ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor seperti perubahan desain, proses pemotongan bahan, dan kesalahan dalam perkiraan bahan pada fase perencanaan [4].

2.2 Studi Literatur

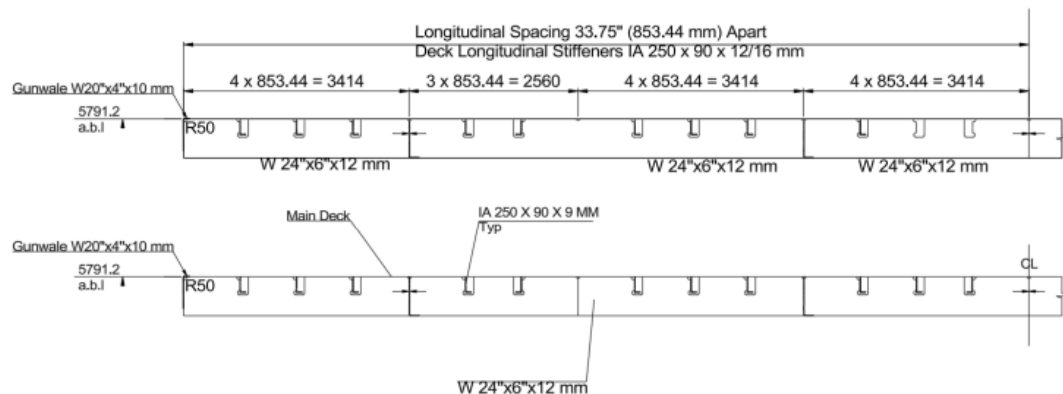
Studi literatur dilakukan dengan cara menelaah berbagai sumber akademis seperti buku referensi, artikel penelitian, dan prosiding seminar seperti Marstruct 2023 yang membahas tentang perhitungan berat struktur kapal, pengaturan beban material, serta pengelolaan material dalam tahapan pembangunan kapal. Penelitian terdahulu mengindikasikan bahwa estimasi berat struktur kapal memiliki peranan yang krusial karena berat baja adalah elemen utama dalam proses konstruksi kapal [3].

2.3 Penentuan Objek Penelitian

Objek yang dianalisis dalam tugas akhir ini adalah panel dek utama pada tongkang berukuran 300 kaki. Panel tersebut dipilih karena merupakan salah satu elemen penting dalam struktur kapal yang memiliki kontribusi dalam menahan beban serta mengatur distribusi material sepanjang proses produksi.



Gambar 2. Drawing 2D Main deck Tongkang 300 Feet Tampak Atas



Gambar 3. Drawing 2D Panel Main deck Tongkang 300 Feet Tampak Depan

Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan panel *main deck* yang digunakan sebagai objek penelitian. Drawing tersebut digunakan sebagai acuan identifikasi jenis material, dimensi, serta penyusunan data *material take off* (MTO) yang dianalisis pada penelitian ini.

2.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengambil data dari dokumen perencanaan dan data produksi pada galangan kapal. Data yang dikumpulkan meliputi data berat material berdasarkan dokumen *material take off* (MTO), data berat aktual material yang digunakan selama proses produksi, serta spesifikasi material baja pada panel *main deck*. Untuk memperjelas jenis data yang digunakan dalam penelitian, parameter penelitian yang dianalisis ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1

Parameter Data Penelitian

No	Parameter	Keterangan	Satuan	Sumber Data
1	Berat material MTO	Berat material baja yang tercantum dalam dokumen <i>Material Take Off</i> berdasarkan perencanaan desain	Kg/ton	Dokumen MTO
2	Berat aktual material	Berat material baja yang digunakan pada proses fabrikasi panel <i>Main deck</i>	Kg/ton	Data produksi
3	Ketebalan plat baja	Ketebalan plat baja yang digunakan pada struktur panel <i>Main deck</i>	mm	Drawing / spesifikasi material

4	Selisih berat material	Perbedaan antara berat material MTO dengan berat aktual material produksi	Kg/ton	Hasil perhitungan
5	Presentase deviasi	Persentase perbedaan antara berat material MTO dan berat aktual produksi	%	Hasil perhitungan
6	Efisiensi material	Tingkat efisiensi penggunaan material	%	Hasil <i>Nesting</i>
7	<i>Waste material</i>	Sisa material hasil pemotongan	%	Hasil <i>Nesting</i>

2.5 Pengelompokan data material

Setelah data diperoleh, tahap selanjutnya adalah melakukan pengelompokan data material untuk mempermudah proses analisis. Data material dikelompokkan berdasarkan beberapa parameter, yaitu:

- 1) Jenis plat baja
- 2) Ukuran plat baja
- 3) Jumlah material yang digunakan

Pengelompokan data ini bertujuan untuk mempermudah proses perbandingan antara data MTO dan data aktual material produksi pada panel *main deck*.

2.6 Perhitungan deviasi berat material

Pada tahap ini dilakukan perhitungan deviasi berat material dengan membandingkan berat material berdasarkan dokumen MTO dengan berat aktual material yang digunakan selama proses produksi. Perhitungan deviasi dilakukan untuk mengetahui selisih berat material antara perencanaan dan realisasi penggunaan material pada panel *Main deck*. Deviasi berat material dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Deviasi Berat (\%)} = \frac{\text{Berat Aktual} - \text{Berat MTO}}{\text{Berat MTO}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

- Deviasi (%) = Presentase selisih antara berat MTO dan aktual
- Berat MTO = Berat material berdasarkan perencanaan
- Berat Aktual = Berat material yang digunakan di lapangan

Rumus ini merupakan bentuk *percentage error* yang digunakan untuk mengukur tingkat deviasi estimasi terhadap nilai aktual dalam analisis *engineering* dan *cost estimation*. Dalam penelitian ini, tingkat deviasi ditentukan berdasarkan besar kecilnya nilai deviasi. Semakin kecil nilai deviasi menunjukkan tingkat kesesuaian yang semakin tinggi. Dalam penelitian ini, penentuan tingkat akurasi mengacu pada kriteria yang diterapkan di salah satu perusahaan galangan kapal di Batam sebagai lokasi penelitian, yaitu deviasi $\leq 5\%$ dikategorikan sangat baik, deviasi 5–10% dikategorikan baik, dan deviasi $> 10\%$ dikategorikan kurang baik. Kriteria tersebut digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi kesesuaian antara berat material berdasarkan dokumen *material take off* (MTO) dengan berat aktual material yang digunakan pada proses produksi. Studi ini dilakukan memakai *microsoft excel* untuk mempermudah perhitungan deviasi serta visualisasi data. Informasi berat material yang bersumber dari dokumen MTO dan berat aktual produksi dimasukkan ke dalam spreadsheet kemudian dilakukan penghitungan selisih berat serta persentase deviasi secara otomatis menggunakan rumus yang telah ditentukan sebelumnya.

Selain itu, gambar panel dek utama dianalisis menggunakan *AutoCAD* guna memverifikasi dimensi geometris dan mengidentifikasi jenis serta posisi material pada struktur panel. Hasil verifikasi ini dimanfaatkan untuk memastikan konsistensi antara data MTO dan situasi aktual di lapangan. Dengan

pemanfaatan perangkat lunak tersebut, proses analisis menjadi lebih tepat, terstruktur, dan lebih mudah dalam memperlihatkan hasil. Selain perhitungan deviasi berat, dilakukan juga analisis efisiensi penggunaan material menggunakan pendekatan *nesting plan* untuk mengetahui potensi *waste* material pada proses pemotongan.

2.7 Analisis Deviasi *Weight Control*

Tahap berikutnya adalah melakukan kajian terhadap hasil perhitungan d eviasi berat bahan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memahami seberapa sesuai berat bahan yang direncanakan dengan berat bahan yang digunakan dalam proses produksi. Temuan dari analisis ini selanjutnya dimanfaatkan untuk menilai efektivitas sistem pengendalian bahan baja pada panel *main deck* serta untuk mengetahui kemungkinan faktor penyebab deviasi berat bahan selama proses pembangunan kapal. Analisis ini juga dilaksanakan secara terpisah berdasarkan jenis dan ketebalan bahan untuk mengenali sumber utama deviasi.

2.8 Analisis *Nesting Plan*

Pada penelitian ini, selain dilakukan analisis deviasi berat material antara *material take off* (MTO) dan data aktual produksi, juga dilakukan analisis efisiensi penggunaan material melalui pendekatan rencana *nesting plan*. *Nesting* adalah proses mengatur atau menempatkan bagian material ke dalam lembaran plat baja dengan tujuan untuk meningkatkan pemanfaatan material dan mengurangi limbah yang dihasilkan dari pemotongan. Dalam industri perkapalan, proses *nesting* sangat krusial karena berpengaruh langsung pada efisiensi penggunaan baja, biaya produksi, dan jumlah material yang terbuang selama proses fabrikasi. Proses tersebut melibatkan pengaturan bentuk potongan berdasarkan desain, ukuran, dan ketebalan material di dalam satu lembar plat baja.

Berdasarkan penelitian terbaru, pengoptimalan *nesting* dalam industri kapal memiliki dampak yang penting dalam mengurangi limbah material dan meningkatkan efisiensi produksi, di mana algoritma seperti heuristik dan algoritma genetik sering digunakan untuk mendapatkan konfigurasi pemotongan yang paling efisien [9]. Analisis *nesting* tidak hanya dilakukan pada material plat baja karena material profil seperti IA (*inverted angle*) dan (*angle bar*) AB merupakan material yang tidak melalui proses pemotongan dua dimensi.

Efisiensi material digunakan untuk mengetahui tingkat optimal penggunaan material terhadap total material yang tersedia. Semakin tinggi nilai efisiensi material, maka penggunaan material dianggap semakin normal.

$$Efisiensi\ Material\ (\%) = \frac{Material\ Terpakai}{Material\ Tersedia} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

Material Terpakai = Material yang digunakan pada proses fabrikasi

Material Tersedia = Total material sebelum pemotongan

Selain efisiensi material, dilakukan perhitungan *waste material* untuk mengetahui presentase sisa material hasil proses pemotongan.

$$Waste = Luas\ Material\ Tersedia - Luas\ Material\ Terpakai \quad (3)$$

$$Waste\ Material\ (\%) = \frac{Sisa\ Material}{Total\ Material} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

Sisa Material = Material yang sisa tidak terpakai

Total Material = Total material sebelum pemotongan

Selain menghitung efisiensi dan waste material, pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan total berat material hasil nesting. Perhitungan tersebut bertujuan untuk memperoleh estimasi berat material yang dibutuhkan berdasarkan hasil optimasi penyusunan part, sehingga dapat dibandingkan dengan berat material berdasarkan Material Take Off (MTO) dan berat aktual produksi. Perhitungan berat material hasil nesting dilakukan menggunakan metode Steel Weight Calculation berdasarkan luas material hasil nesting, ketebalan material, dan massa jenis baja.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung berat material adalah sebagai berikut:

$$Weight = \frac{Area \times Thiknes \times Density}{1000} \quad (5)$$

Keterangan:

Weight = Berat material baja

Area = Luas part hasil nesting

Thickness = Ketebalan material

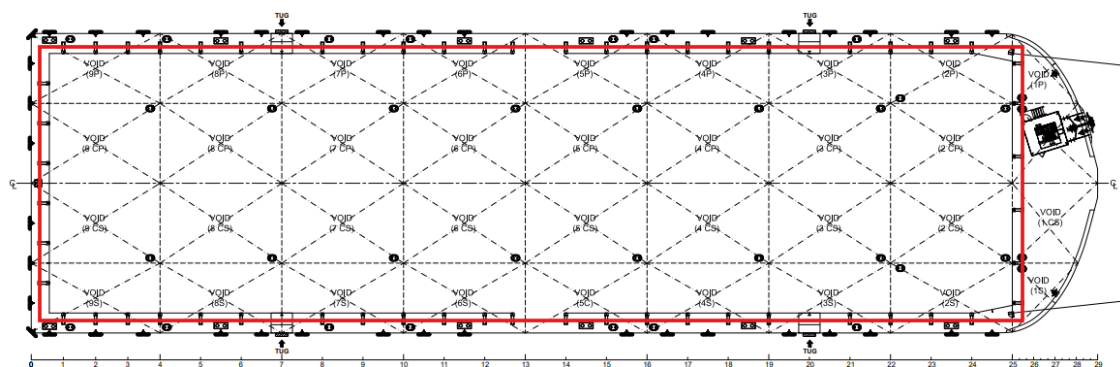
7850 = Massa jenis baja

2.9 Kesimpulan

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah menyusun kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan berisi hasil utama penelitian terkait tingkat deviasi sistem *weight control* pada penggunaan material baja pada panel *main deck*.

3 Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Gambaran Umum Objek Penelitian



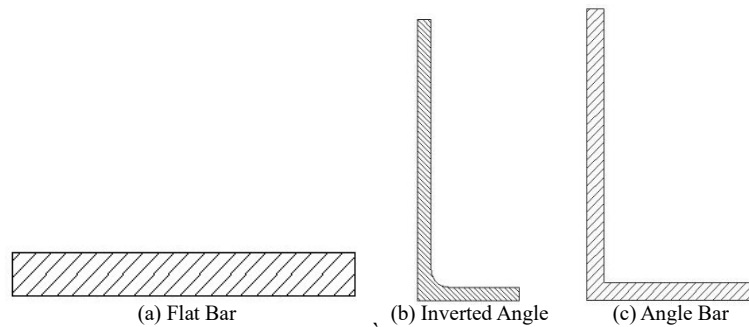
Gambar 4. Main deck sebagai objek penelitian

Objek penelitian pada tugas akhir ini adalah panel main deck kapal tongkang 300 feet. Area penelitian ditunjukkan pada Gambar 4 yang merupakan potongan dari gambar *General Arrangement* (GA) kapal. Panel *main deck* dipilih karena merupakan salah satu struktur utama yang memiliki kontribusi penggunaan material yang cukup besar sehingga di perlukan pengendalian berat material (*weight control*) selama proses produksi. Pada proses fabrikasi material baja, penelitian dilakukan dengan membandingkan data *material*

take off (MTO) dengan data aktual penggunaan material produksi untuk mengetahui tingkat deviasi *weight control panel main deck*.

Selain itu dilakukan analisis *nesting plan* untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan material serta mengidentifikasi kemungkinan terjadinya *waste material* selama proses pemotongan material plat baja.

Material yang dianalisis pada penelitian ini terdiri atas material plat dan material profil baja. Material profil yang digunakan meliputi *Flat Bar* (FB), *Inverted Angle* (IA), dan *Angle Bar* (AB), sedangkan material plat yang dianalisis adalah plate baja 14 mm.



Gambar 5. Profil Material Yang Digunakan Pada Penelitian

Gambar 5 menunjukkan bentuk penampang material profil yang digunakan pada panel *main deck*. Profil *Flat Bar* (FB) berukuran 100×12 mm, *Inverted Angle* (IA) berukuran $250 \times 90 \times 12/16 \times 9$ mm, sedangkan *Angle Bar* (AB) berukuran $150 \times 90 \times 9 \times 9$ mm. Ketiga profil tersebut digunakan sebagai elemen struktur panel *main deck* dan menjadi acuan dalam identifikasi jenis material pada proses analisis deviasi berat antara data MTO dan berat aktual produksi.

3.2 Analisis Deviasi *Weight Control*

Material yang dianalisis terdiri atas *Flat Bar* (FB), *Plate* 14 mm, *Inverted Angle* (IA), dan *Angle Bar* (AB). Material tersebut dipilih karena merupakan material utama penyusun panel *main deck* serta tersedia pada dokumen *Material Take Off* (MTO) dan data aktual produksi sehingga dapat dibandingkan untuk analisis deviasi. Perhitungan deviasi antara kebutuhan material berdasarkan *material take off* (MTO) dengan penggunaan material aktual pada proses produksi panel *main deck*. Nilai deviasi dihitung menggunakan persamaan (1) berikut.

Perhitungan material *Flat Bar* (FB) 100 x 12

$$\begin{aligned} \text{Deviasi} &= \frac{14,238 - 11,461}{11,461} \times 100\% \\ &= \frac{2,777}{11,461} \\ &= 0,2423 \times 100\% \\ &= \mathbf{24,23\%} \end{aligned}$$

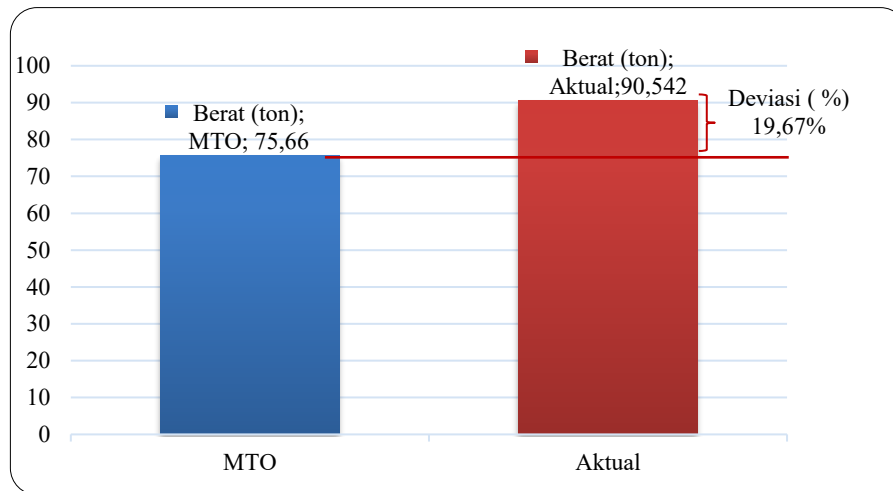
Tabel 2

Perbandingan Data MTO, Aktual, dan Deviasi Material

No	Material	MTO (ton)	Aktual (ton)	Deviasi (%)
1	<i>Flat Bar</i> (FB) 100×12 mm $\times$ 6 m	11,461	14,238	24,23
2	<i>Plate</i> 14 mm $\times$ 9144 mm $\times$ 2438 mm	0,26	0,289	11,15
3	<i>Inverted Angle</i> (IA) $250 \times 90 \times 12/16 \times 9$ mm	61,873	71,882	16,18
4	<i>Angle Bar</i> (AB) $150 \times 90 \times 9$ mm $\times$ 9 m	2,066	4,133	100,05
Total		75,66	90,542	19,67

Berdasarkan hasil perhitungan deviasi pada masing-masing material, diperoleh nilai deviasi yang berbeda-beda sesuai dengan selisih antara berat material berdasarkan dokumen *material take off* (MTO) dan berat aktual penggunaan material selama proses produksi. Nilai deviasi tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian penggunaan material pada panel *main deck*.

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa seluruh material mengalami kenaikan berat aktual dibandingkan dengan berat yang tercantum pada dokumen *Material Take Off* (MTO). Hal ini ditunjukkan oleh seluruh nilai deviasi yang bernilai positif, sehingga penggunaan material selama proses produksi lebih besar daripada kebutuhan material yang telah direncanakan. Deviasi terbesar terjadi pada material AB 150 × 90 × 9 mm, yaitu sebesar 100,05%, sedangkan deviasi terkecil terjadi pada plate 14 mm sebesar 11,15%.



Grafik 1. Deviasi Total *Weight Control*

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa deviasi total penggunaan material pada panel *main deck* sebesar 19,67 %. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa tingkat deviasi *weight control* material pada panel *main deck* masih belum optimal dibandingkan kebutuhan material berdasarkan MTO. Dengan menggunakan batas toleransi deviasi sebesar $\pm 10\%$. Maka nilai deviasi sebesar 19,67% menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan antara berat material berdasarkan MTO dan berat aktual produksi. Besarnya deviasi ini mengindikasikan bahwa penggunaan material selama proses fabrikasi belum sepenuhnya sesuai dengan perencanaan awal. Material yang memberikan kontribusi terbesar terhadap deviasi adalah AB 150, FB 100 x 12, dan IA 250. Selain analisis deviasi *weight control*, dilakukan analisis *nesting plan* untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan material plat dan mengetahui presentase *waste material* hasil pemotongan pada panel *main deck*.

3.3 Faktor Penyebab Deviasi *Weight Control*

Berdasarkan hasil analisis deviasi dan keterangan dari pihak galangan, terdapat beberapa faktor utama yang menyebabkan terjadinya perbedaan antara berat material MTO dan berat aktual produksi pada panel *main deck*, yaitu:

a) Penambahan Material di Lapangan

Penambahan material yang tidak direncanakan dalam dokumen MTO merupakan faktor penyebab deviasi terbesar. Hal ini terjadi karena selama proses fabrikasi ditemukan kebutuhan penyesuaian dimensi komponen, penggantian material akibat kesalahan pemotongan (*misscut*), deformasi material, yang mengharuskan penambahan material. Akibatnya, kebutuhan material aktual menjadi lebih besar dibandingkan estimasi pada dokumen MTO.

b) *Allowance* Pemotongan Material

Dokumen MTO menghitung kebutuhan material berdasarkan dimensi bersih (*net dimension*) setiap komponen, sedangkan proses produksi memerlukan plat utuh yang masih menyisakan

cutting allowance, *part gap*, dan sisa pemotongan (*scrap*). Oleh karena itu, berat material aktual yang dikeluarkan dari gudang umumnya lebih besar daripada berat bersih yang tercantum pada MTO.

c) Pengelasan dan Material Tambahan (*Consumable*)

Proses pengelasan menghasilkan penambahan massa berupa logam las (*weld metal*). Namun, dibandingkan dengan berat material utama berupa plat baja, kontribusi berat logam las relatif kecil sehingga diperkirakan tidak menjadi faktor dominan terhadap deviasi berat material. Meskipun demikian, pada struktur yang memiliki jumlah sambungan las sangat banyak, akumulasi berat logam las tetap dapat memberikan tambahan berat, meskipun nilainya tidak sebesar faktor penambahan material maupun *cutting allowance*.

3.4 Analisis Nesting

Analisis *nesting* adalah cara menyusun berbagai bentuk *part* seperti *bracket* dan web di atas satu lembar *plate* baja agar mudah muat sebanyak mungkin dan sisa material (*waste*) menjadi sekecil mungkin. Penyusunan tersebut dilakukan menggunakan *software nesting* dapat diketahui jumlah kebutuhan plat serta tingkat efisiensi penggunaan material.

TOTAL PLATE 12mm X 8' X 30' = 29 SHEET

24"+6"Flg x 3414 mm	x 12mm : 69 Pcs	→	Deck Web	
24"+6"Flg x 2316 mm	x 12mm : 33 Pcs	→	Deck Web	
24"+6"Flg x 1098 mm	x 12mm : 33 Pcs	→	Deck Web	Join
24"+6"Flg x 4572 mm	x 12mm : 64 Pcs	→	Deck Girder	
24"+6"Flg x 1901 mm	x 12mm : 4 Pcs	→	Deck Girder	
24"+6"Flg x 1296 mm	x 12mm : 28 Pcs	→	Deck Girder	
BKT 18"x16"x14 mm			= 90 pcs	

Gambar 6. Data *Part* Material *Plate* 12 dan 14 mm yang Digunakan pada Proses *Nesting*

Data yang digunakan untuk proses *nesting* berasal dari data drawing dan dilihat di bagian panel *main deck*. *Part* yang digunakan terdiri dari beberapa ukuran web dan *bracket* (BKT) dengan jumlah yang berbeda-beda. Seluruh *part* dengan ketebalan yang sama dikelompokkan menjadi satu sehingga dapat disusun bersama dalam satu lembar *plate*.

Tabel 3

Data Material *Plate* yang di *Nesting*

Ukuran Flat Bar	Tebal	Jumlah
3414 mm	12 mm	69 pcs
2316 mm	12 mm	33 pcs
1098 mm	12 mm	33 pcs
4572 mm	12 mm	64 pcs
1901 mm	12 mm	4 pcs
1296 mm	12 mm	28 pcs
Total		231 pcs
Bracket 18"×16"×14	14 mm	90 pcs

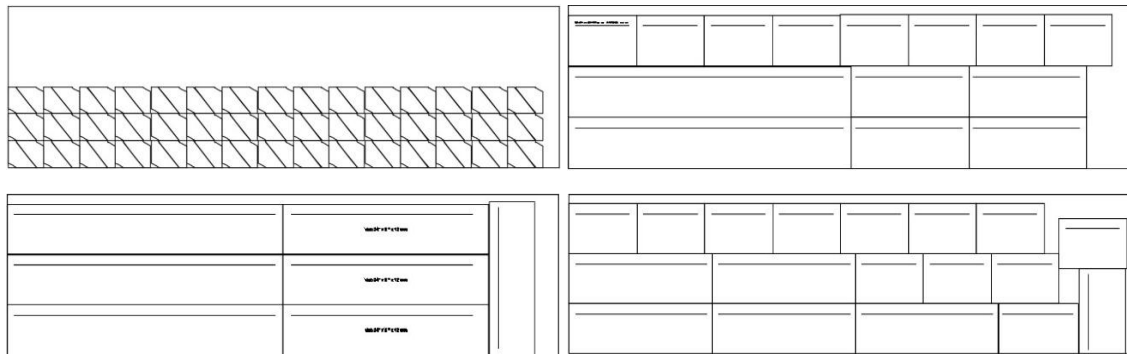
Berdasarkan Tabel 4 material *plate* 12 mm terdiri dari beberapa ukuran web yang berbeda dengan jumlah total 231 *part*. Walaupun memiliki ukuran yang berbeda-beda, seluruh *part* tersebut tidak dipisahkan, melainkan digabungkan menjadi satu pada proses *nesting* agar penggunaan material lebih maksimal dan sisa material yang dihasilkan lebih sedikit. Material *plate* 14 mm yang digunakan untuk jenis *bracket* dengan jumlah 90 *part*. Seluruh *bracket* tersebut disusun secara bersamaan dalam satu *layout nesting* sehingga seluruh dapat memanfaatkan area *plate* secara optimal dan mengurangi material yang terbuang.

3.4.1 Proses Penyusunan *Part* Menggunakan *Software Nesting*

Proses *nesting* dilakukan dengan cara mengelompokkan *part* berdasarkan ketebalan material. Agar proses pemotongan dapat dilakukan pada material yang memiliki spesifikasi yang sama. Pada penelitian ini, proses *nesting* hanya dilakukan pada material plat baja 12 mm dan 14 mm karena material profil seperti (*inverted angle*) IA dan (*angle bar*) AB merupakan material jadi yang tidak melalui proses pemotongan dua dimensi.

Part yang diperoleh dari gambar kerja panel *main deck* kemudian dikonversi kedalam format yang dapat dibaca oleh *software nesting*. Setelah itu file *part* dimasukkan kedalam *software nesting* dan disusun pada *plate* berukuran 2438,4 x 9144 mm. Penyusunan *part* mempertimbangkan bentuk *part*, jarak antar *part*, arah peletakan, serta pemanfaatan luas *plate* agar *waste material* seminimal mungkin.

Proses *nesting* dilakukan secara bertahap hingga seluruh *part* dapat tersusun pada lembar plat dengan penggunaan material yang optimal. Hasil penyusunan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung efisiensi material dan persentase *waste material* yang dihasilkan selama proses pemotongan. Semakin tinggi tingkat pemanfaatan luas plat, maka efisiensi material yang dihasilkan akan semakin baik dan jumlah material terbuang dapat diminimalkan.



Gambar 7. Hasil Penyusunan *Part* Menggunakan *Software CypCut*

Dari Gambar 7 menunjukkan hasil penyusunan *part* pada lembar plat baja menggunakan *software CypCut*. Dari hasil tersebut dapat diketahui luas material yang terpakai dan sisa material yang tidak digunakan.

Tabel 5

Hasil *Nesting* Material *Plate* 12 mm dan 14 mm

<i>Thickness</i> (mm)	Jumlah <i>Part</i>	Jumlah <i>Plate</i> Aktual	Jumlah <i>Plate</i> Hasil <i>Nesting</i>	Total Area <i>Part</i> (m ²)
12 mm	231	29	26	496,86
14 mm	90	1	1	11 ,12

Berdasarkan hasil perbandingan, jumlah *plate* hasil *nesting* lebih kecil dibandingkan jumlah *plate* aktual. Hal ini menunjukkan bahwa penyusunan *part* menggunakan *software nesting* (*CypCut*) dapat memberikan penggunaan material yang lebih efisien. Efisiensi tersebut diperoleh karena *software* mampu menyusun *part* secara optimal pada setiap lembar *plate* dengan memanfaatkan area material yang tersedia secara maksimal. Penyusunan yang lebih rapat dan teratur mengurangi ruang kosong (*unused area*) serta meminimalkan sisa material (*waste*), sehingga kebutuhan *plate* menjadi lebih sedikit dibandingkan kondisi aktual. Pada material *plate* 12 mm, optimasi penyusunan *part* berhasil menurunkan kebutuhan material dari 29 lembar menjadi 26 lembar, sedangkan pada *plate* 14 mm jumlah *plate* tetap sama karena seluruh *part* memang masih dapat ditampung dalam satu lembar *plate*.

3.4.2 Perhitungan Analisis *Nesting*

Persamaan Efisiensi Material

Nilai efisiensi material dihitung menggunakan persamaan (2) berikut.

Contoh Perhitungan Efisiensi Material *Plate* 12 mm

Luas material tersedia diperoleh dari jumlah *plate* yang digunakan pada hasil nesting dikalikan dengan luas satu lembar *plate*. Pada penelitian ini digunakan *plate* baja berukuran 2438,4 mm × 9144 mm sehingga luas satu lembar *plate* adalah 22,297 m². Hasil nesting menunjukkan bahwa proses pemotongan panel *main deck* membutuhkan 26 lembar *plate*, sehingga luas material adalah 579,722 m²

Selanjutnya, luas material terpakai diperoleh dari penjumlahan seluruh luas part yang berhasil ditempatkan pada proses nesting. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan *software CypCut*, total luas material yang digunakan untuk proses pemotongan adalah sebesar 496,86 m².

Diketahui :

Luas material tersedia = 579,722 m²

Luas material terpakai = 496,86 m²

Maka:

$$\begin{aligned} Efisiensi\ Material\ (\%) &= \frac{496,86}{579,722} \times 100\% \\ &= 85,71\% \end{aligned}$$

Persamaan *Waste Material*

Besarnya *waste material* dapat dihitung menggunakan persamaan (3) dan (4).

Contoh Perhitungan *Waste Material Plate* 12 mm

$$\begin{aligned} Waste &= 579,722 - 496,86 \\ &= 82,862\ m^2 \end{aligned}$$

Presentase *waste material*nya:

$$\begin{aligned} Waste\ Material\ (\%) &= \frac{82,862}{579,722} \times 100\% \\ &= 14,29\% \end{aligned}$$

Persamaan *Steel weight calculation*

Perhitungan *Steel Weight Calculation* dilakukan menggunakan luas part hasil *nesting*, ketebalan material, dan massa jenis baja sebesar 7850 kg/m³. Perhitungan berat material dilakukan menggunakan Persamaan (5) berikut .

Contoh Perhitungan *Steel weight Material Plate* 12 mm

Diketahui:

Luas part = 496,86 m²

Tebal material = 0,012 m

Massa jenis baja = 7850 kg/m³

$$\begin{aligned} Weight &= \frac{496,86 \times 0,012 \times 7850}{1000} \\ &= \frac{46.804,212}{1000} \\ &= 46,804 \end{aligned}$$

Perhitungan efisiensi material, *waste material*, dan *steel weight calculation* untuk plate 14 mm dilakukan menggunakan persamaan yang sama. Hasil lengkap perhitungan efisiensi, *waste material*, dan *steel weight calculation* disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6

Hasil Perhitungan Efisiensi, Waste Material, dan Steel Weight Calculation

Thickness (mm)	Luas Material Tersedia (m ²)	Luas Material Terpakai (m ²)	Waste Material (m ²)	Efisiensi Material (%)	Waste Material (%)	Weight (Ton)	Waste Weight (Ton)
12	579,722	496,86	82,862	85,71	14,29	46,804	7,804
14	22,297	11,12	11,17	49,87	50,13	1,222	1,228

Berdasarkan Tabel 6, hasil analisis *nesting* menunjukkan bahwa material plate 12 mm memiliki efisiensi penggunaan material sebesar 85,71% dengan waste material sebesar 14,29%, sedangkan plate 14 mm memiliki efisiensi sebesar 49,87% dengan waste material sebesar 50,13%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa penyusunan *part* pada plate 12 mm lebih optimal dibandingkan plate 14 mm karena jumlah dan variasi *part* yang lebih banyak memungkinkan pemanfaatan luas plate secara lebih maksimal. Selain menghasilkan nilai efisiensi dan waste material, analisis *nesting* juga digunakan untuk menghitung estimasi berat material (*steel weight calculation*). Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh estimasi berat material sebesar 46,804 ton untuk plate 12 mm dan 1,222 ton untuk plate 14 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil *nesting* tidak hanya memberikan informasi mengenai tingkat pemanfaatan material, tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar estimasi kebutuhan berat material pada proses produksi.

4. Kesimpulan

Total deviasi berat material MTO terhadap berat aktual produksi panel *main deck* adalah sebesar 19,67% yang menunjukkan bahwa tingkat akurasi weight control material baja kurang baik. Kondisi tersebut dipengaruhi adanya penambahan material di lapangan akibat penyesuaian dimensi komponen, penggantian material, serta kesalahan pemotongan (*misscut*), dan adanya cutting allowance pada proses pemotongan material yang menyebabkan berat material aktual yang digunakan lebih besar dibandingkan berat bersih yang tercantum dalam dokumen MTO. Berdasarkan kriteria yang diterapkan pada salah satu perusahaan galangan kapal di Batam sebagai lokasi penelitian, batas toleransi deviasi yang ditetapkan adalah sebesar $\pm 10\%$, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem *weight control* pada panel *main deck* masih belum memenuhi kriteria tersebut.

Efisiensi penggunaan material menggunakan pendekatan Nesting Plan juga telah tercapai. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak *CypCut* menunjukkan bahwa material plate 12 mm memiliki efisiensi penggunaan material sebesar 85,71% dengan waste material sebesar 14,29%, sedangkan material plate 14 mm memiliki efisiensi sebesar 49,87% dengan waste material sebesar 50,13%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa penyusunan *part* pada plate 12 mm lebih optimal dibandingkan plate 14 mm. Rendahnya efisiensi pada plate 14 mm disebabkan oleh jumlah dan konfigurasi *part* yang terbatas sehingga masih terdapat area kosong yang cukup besar pada lembar plate setelah proses penyusunan.

Berdasarkan hasil perhitungan Steel Weight Calculation dari analisis *nesting*, diperoleh estimasi berat material sebesar 46,804 ton untuk plate 12 mm dan 1,222 ton untuk plate 14 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pendekatan *nesting* tidak hanya mampu mengevaluasi efisiensi penggunaan material dan waste material, tetapi juga dapat digunakan untuk mengestimasi kebutuhan berat material sebagai acuan dalam perencanaan penggunaan material pada proses produksi.

5 Daftar Pustaka

- [1] E. Paul, P. M. Kallanickal, and B. Paul, Design of an accuracy control system in shipbuilding industry, in Proc. Int. Conf. Innovations in Design and Manufacturing (ICIDM), Kerala, India, Jan. 2013.
- [2] G. J. Bruce, Basic design of the ship, dalam Ship Construction, Elsevier, 2012, hlm. 3–9. doi: 10.1016/B978-0-08-097239-8.00001-5.
- [3] C.-K. Lin dan H.-J. Shaw, Feature-based estimation of steel weight in shipbuilding, Ocean Eng., vol. 107, hlm. 193–203, Okt 2015, doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.06.013.
- [4] W.-S. Choi, D.-H. Kim, J.-H. Nam, M.-J. Kim, dan Y.-B. Son, Estimating Production Metric for Ship Assembly Based on Geometric and Production Information of Ship Block Model, J. Mar. Sci. Eng., vol. 9, no. 1, hlm. 39, Jan 2021, doi: 10.3390/jmse9010039.
- [5] J. W. Ringsberg dan C. Guedes Soares, Advances in the Analysis and Design of Marine Structures: Proceedings of the 9th International Conference on Marine Structures (Marstruct 2023, Gothenburg, Sweden, 3-5 April 2023), 1 ed. London: CRC Press, 2023. doi: 10.1201/9781003399759.
- [6] B. Kwon, S. Oh, B. Jeong, Y. Park, dan S. Shin, Life Cycle Assessment of Shipbuilding Materials and Potential Exposure Under the EU CBAM: Scenario-Based Assessment and Strategic Responses, J. Mar. Sci. Eng., vol. 13, no. 10, hlm. 1938, Okt 2025, doi: 10.3390/jmse13101938.
- [7] M. F. Ridho dan A. Fadillah, Study On Estimation of Cargo Hold Ship Construction Container 100 Teus With Mathematical And 3D Modelling Method Autodesk Inventor, Int. J. Mar. Eng. Innov. Res., vol. 9, no. 1, Mar 2024, doi: 10.12962/j25481479.v9i1.20195.
- [8] D. L. Mustikawati, Komparasi Berat Konstruksi 300 Feet Barge dengan Deck Load 5 T/m² dan 8 T/m², Inovotek Polbeng, vol. 14, no. 02, hlm. 176–187, Nov 2024, doi: 10.35314/77yt8m86.
- [9] S. W. Rulita, Gunawan, dan M. D. A. Fakhri, “Optimization of *Nesting* Systems in Shipbuilding: A Review,” *J. Mar. Sci. Appl.*, vol. 24, no. 1, hlm. 152–175, Feb 2025, doi: 10.1007/s11804-025-00644-1.