

Analisis Kebutuhan Material Pelat dan Profil pada Purwarupa Kapal Penyeberangan Rakyat (KPR) Danau Towuti menggunakan Metode Nesting Heuristik

Rahmi Afifa Ode Syarif¹, Wahyuddin Mustafa^{1,*}, Moh. Rizal Firmansyah¹, Syamsul Asri¹, Farianto Fachruddin L¹, Baharuddin²

¹Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia

²Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia

*Email: wahyuddinmustafa09@gmail.com

Abstrak

Material pelat dan profil merupakan komponen utama dalam pembangunan kapal yang berperan penting dalam menentukan kekuatan struktur, efisiensi pemanfaatan material, dan biaya produksi. Analisis kebutuhan material pelat dan profil pada purwarupa Kapal Penyeberangan Rakyat (KPR) Danau Towuti dilakukan menggunakan metode *heuristic nesting* untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan material selama proses pembangunan kapal. Kebutuhan material diidentifikasi berdasarkan gambar konstruksi kapal yang diuraikan melalui konsep *Product Work Breakdown Structure* (PWBS), sehingga komponen pelat dan profil dapat diidentifikasi secara sistematis berdasarkan blok dan subblok konstruksi. Penyusunan *nesting plan* dilakukan menggunakan pelat berukuran 20 ft x 8 ft dengan mempertimbangkan jarak antar komponen sebesar 10 mm serta optimasi orientasi dan posisi komponen untuk menghasilkan susunan yang padat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan material terpasang (*net weight*) dan suplai (*gross weight*) menggunakan metode *nesting heuristic*. Hasil analisis menunjukkan bahwa material terpasang (*net weight*) adalah sebesar 82,80 ton, terdiri atas material pelat seberat 71,10 ton dan material profil seberat 11,70 ton, material suplai (*gross weight*) sebesar 105,04 ton, mencakup material pelat 20 ft x 8 ft sebanyak 99 lembar atau 91,93 ton dan material profil siku sebanyak 177 batang atau 13,11 ton.

Abstract

Analysis of Plate and Profile Material Requirements for the Prototype of the Towuti Lake People's Ferry (Kapal Penyeberangan Rakyat) using the Heuristic Nesting Method. Plate and profile materials are the primary components in shipbuilding, playing a crucial role in determining structural strength, material utilization efficiency, and production costs. An analysis of the plate and profile material requirements for the prototype of the Towuti Lake People's Ferry (Kapal Penyeberangan Rakyat/KPR) was conducted using the heuristic nesting method to improve material utilization efficiency during the ship construction process. Material requirements were identified based on the ship's structural drawings, which were organized using the Product Work Breakdown Structure (PWBS) concept, enabling plate and profile components to be systematically classified according to construction blocks and sub-blocks. The nesting plan was developed using standard steel plates measuring 20 ft × 8 ft, considering a spacing of 10 mm between components while optimizing their orientation and placement to achieve a compact arrangement. This study aims to analyze both the installed material requirements (*net weight*) and the supplied material requirements (*gross weight*) using the heuristic nesting method. The analysis results indicate that the total installed material (*net weight*) is 82.80 tons, consisting of 71.10 tons of plate material and 11.70 tons of profile material. Meanwhile, the total supplied material (*gross weight*) is 105.04 tons, comprising 99 steel plates (20 ft × 8 ft) with a total weight of 91.93 tons and 177 angle bars with a total weight of 13.11 tons.

Kata Kunci: Kapal penyeberangan rakyat; material pelat; material profil; metode heuristik; nesting

1. Pendahuluan

Kapal Penyeberangan Rakyat (KPR) Danau Towuti merupakan salah satu sarana transportasi air yang memiliki peranan penting dalam menunjang

aktivitas masyarakat, khususnya dalam mendukung mobilitas orang dan barang antar wilayah di sekitar Danau Towuti [1]. Dalam proses pembangunan purwarupa KPR, perencanaan kebutuhan material

menjadi salah satu aspek yang sangat krusial karena berhubungan langsung dengan kekuatan struktur kapal, efisiensi biaya pembangunan, serta efektivitas proses produksi di galangan.

Estimasi kebutuhan material dapat dilakukan menggunakan pendekatan berbasis berat (*weight-based approach*), yakni dengan membagi total jumlah berat komponen-komponen struktur kapal dengan berat material suplai [1]. Pendekatan berbasis berat masih memiliki keterbatasan, karena belum mempertimbangkan aspek geometris pemotongan pelat, bentuk komponen (pola), sisa material (*scrap*), serta tingkat efisiensi penggunaan pelat sumber. Akibatnya, meskipun total berat material dapat ditentukan, potensi penghematan material melalui pengaturan tata letak pemotongan pelat belum dapat dievaluasi secara menyeluruh.

Seiring perkembangan teknologi manufaktur, isu efisiensi pemanfaatan material semakin banyak dikaji melalui penerapan metode nesting dua dimensi. Permasalahan *nesting* termasuk ke dalam kategori masalah kompleks (*NP-hard*), di mana kebutuhan waktu komputasi meningkat secara signifikan seiring bertambahnya jumlah komponen dan variasi bentuk (pola) [2]–[5]. Dalam konteks industri, besarnya jumlah kemungkinan solusi menyebabkan penerapan metode deterministik murni menjadi kurang efisien.

Saat ini, sejumlah perangkat lunak CAD/CAM komersial telah dilengkapi dengan fitur nesting otomatis. Namun, perangkat lunak tersebut umumnya memiliki biaya lisensi yang tinggi serta memerlukan keterampilan khusus dalam pengoperasiannya. Hal ini menjadi kendala tersendiri bagi galangan kapal berskala kecil dan menengah, termasuk dalam pembangunan purwarupa KPR. Oleh karena itu, praktik di lapangan masih banyak mengandalkan metode *nesting* interaktif yang sangat bergantung pada pengalaman operator, sehingga hasil tata letak pemotongan belum tentu mencapai tingkat optimal.

Metode *nesting* heuristik mampu menghasilkan solusi yang mendekati kondisi optimal dengan waktu komputasi yang relatif singkat, meskipun tidak menjamin tercapainya solusi optimum global. Selain itu, pendekatan ini memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam menangani komponen dengan bentuk tidak beraturan, pembatasan orientasi pemotongan, jarak antar potongan, serta berbagai kendala proses produksi [6], [7].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan material terpasang (*net weight*) dan suplai (*gross weight*) menggunakan metode *nesting* heuristik serta membandingkannya dengan pendekatan berbasis berat.

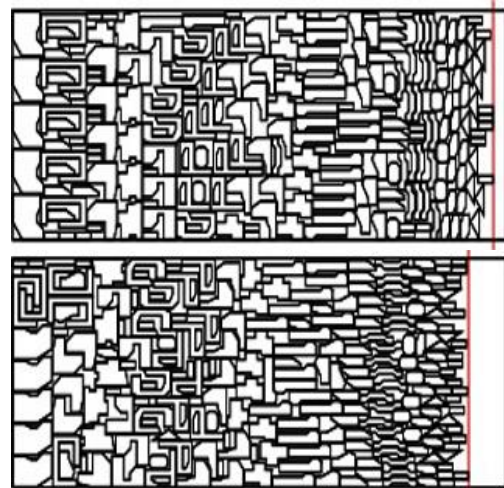
2. Metode

Objek penelitian adalah material konstruksi purwarupa KPR Danau Towuti berupa pelat baja

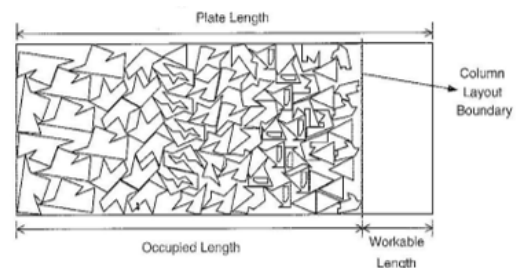
Marine Plate Grade A dan profil baja siku (L). Data geometris komponen diidentifikasi dari desain utama (*basic design*) yang meliputi *lines plan*, *general arrangement*, *shell expansion*, *profile construction*, *midship section*, dan sekat. Desain KPR seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain 3D kapal penyeberangan rakyat



Gambar 2. *Nesting plan* menggunakan metode heuristik



Gambar 3. Parameter efisiensi nestin (η) dan utilitas pelat (u)

2.1. Berat struktur baja kapal

Berat material terpasang (*net weight*) tidak lain adalah berat struktur kapal, perhitungan berat struktur komponen baja ditentukan menggunakan persamaan berikut [8]:

$$W = V_{\text{komponen}} \times \rho_{\text{baja}} \quad (1)$$

dimana,

W : berat struktur kapal (kg)

V_{komponen} : volume struktur kapal

ρ_{baja} : massa jenis baja (7,85 ton/m³)

2.2. Metode nesting heuristik

Proses nesting adalah proses untuk menyusun pola (komponen struktur) ke bahan baku (material suplai). Metode nesting heuristik adalah metode penyusunan pola yang berukuran besar terlebih dahulu kemudian pola yang berukuran kecil, seperti terlihat pada Gambar 2. Efisiensi nesting diperoleh berdasarkan Persamaan 2 dan Gambar 3 [3].

Parameter efisiensi nesting (η) didefinisikan sebagai rasio pemanfaatan pelat suplai berdasarkan Persamaan (2).

$$\eta = (W_L * 100) / P_L \quad (2)$$

Utilitas pelat (u) dihitung untuk memaksimalkan daerah pelat terpakai berdasarkan Persamaan (3):

$$u = (O_L * 100) / P_L \quad (3)$$

Dimana P_L adalah panjang pelat tersedia (mm), W_L adalah panjang sisa yang masih dapat digunakan (mm), dan O_L adalah panjang pelat terpakai (mm).

Analisis tingkat kesesuaian (T_{ki}) dan tingkat kesenjangan (T_{kg}) antara metode *nesting* heuristik dan pendekatan berbasis berat dilakukan berdasarkan Persamaan (4) dan (5).

$$T_{ki} = \left(\frac{X_i}{Y_i} \right) 100\% \quad (4)$$

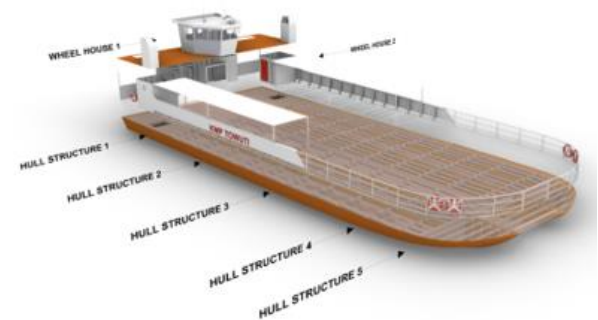
$$T_{kg} = \frac{(Y_i - X_i)}{Y_i} 100\% \quad (5)$$

Dimana X_i mewakili nilai *gross weight* metode *nesting* heuristik dan Y_i mewakili nilai *gross weight* metode pendekatan berat.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Desain blok kapal

KPR Danau Towuti dirancang dengan ukuran utama sebagai berikut: $LOA = 28$ m; $LWL = 27,01$ m; $BM = 11,50$ m; $B = 7,75$ m; $H = 1,60$ m; $T = 0,77$ m; dan kecepatan dinas $V = 10$ knot [1]. Pembagian blok menggunakan konsep *Product Work Breakdown Structure* (PWBS) yang membagi kapal menjadi 5 blok *Hull Structure* (HS1 hingga HS5) dan 2 blok *Wheelhouse* (WH1 dan WH2) [1], seperti terlihat pada Gambar 4. Rincian karakteristik dimensi dan berat tiap blok disajikan pada Tabel 1.



Gambar 4. Desain blok kapal penyeberangan rakyat

Tabel 1. Karakteristik desain blok kapal

Kode Blok	Nama Blok	Posisi Gading	Dimensi (P × L × T) (mm)	Berat (ton)
HS 1	Hull Structure 1	0 – 11	5875 × 11516 × 1588	13,39
HS 2	Hull Structure 2	12 – 20	6000 × 11515 × 1608	14,15
HS 3	Hull Structure 3	21 – 32	6000 × 11521 × 1608	14,16
HS 4	Hull Structure 4	33 – 44	6000 × 11375 × 1600	13,91
HS 5	Hull Structure 5	45 – 55	4130 × 11375 × 1579	9,45
WH 1	Wheelhouse 1	0 – 7	4267 × 11500 × 2267	14,17
WH 2	Wheelhouse 2	8 – 55	4065 × 11500 × 2000	11,91

3.2. Desain pola pemotongan pelat dan profil

Penyusunan pola pemotongan pelat (*nesting plan*) dilakukan menggunakan material pelat standar berukuran 20 ft × 8 ft (6096 mm × 2438 mm) [9], dengan memberikan batas jarak antar komponen (*gap*) sebesar 10 mm untuk memfasilitasi pemotongan berbasis CNC.

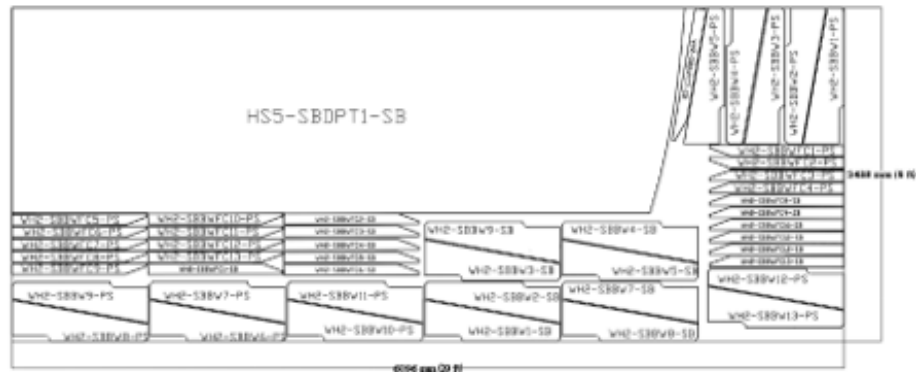
Sebagai contoh untuk penyusunan pola pemotongan tebal pelat 6 mm, dengan kode P6-23, dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil pengaturan pola sebanyak 1110 buah komponen konstruksi atau total berat material terpasang (*net weight*) sebesar 71,10 ton dapat dilihat Tabel 2.

Tabel 2. Rincian kebutuhan pelat suplai (20 ft x 8 ft)

Tebal pelat (mm)	Jumlah komponen	Rata-rata utilitas	Rata-rata efisiensi	Net Weight (ton)	Gross Weight (ton)	Jumlah Pelat (lembar)
6	193	0,97	0,03	29,34	39,20	56
8	529	0,98	0,02	19,23	25,20	27
12	178	0,99	0,01	5,60	5,60	4
15	202	0,97	0,03	15,38	17,50	10
18	4	0,66	0,34	0,28	2,10	1
20	4	0,76	0,24	1,26	2,33	1
Total/Rata-rata	1110	0,89	0,11	71,10	91,93	99

Penyusunan pola pemotongan profil menggunakan profil siku dengan panjang standar batang 6 meter. Sebagai contoh pola penyusunan untuk kode L

75x50x7, terlihat pada Gambar 6. Hasil penyusunan dari 164 bentuk komponen profil atau dengan *total net weight* sebesar 11.70 ton, seperti terlihat pada Tabel 3.

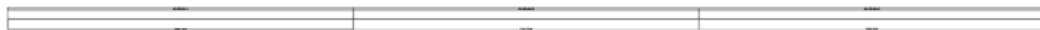


Gambar 5. Nesting plan tebal 6 mm

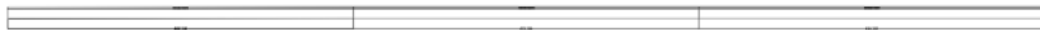
Tabel 3. Rincian kebutuhan material profil

Dimensi Profil (mm)	Panjang Batang (mm)	Rata-Rata Utilitas (%)	Net Weight (ton)	Gross Weight (ton)	Jumlah Batang (buah)
125 × 75 × 8	3333	85,86	0,59	0,42	10
125 × 75 × 8	6367	98,69	3,36	3,60	45
125 × 75 × 8	6000	100,00	3,17	3,17	42
125 × 75 × 8	7608	95,93	4,01	5,35	56
125 × 75 × 8	3284	54,73	0,37	0,37	9
75 × 50 × 7	2000	100,00	0,21	0,21	15

L 75x50x7-1



L 75x50x7-2



Gambar 6. Nesting plan profil 75x50x7

Hasil integrasi *total net weight* dan *gross weight* material pelat serta profil antara metode *nesting* heuristik dan pendekatan berbasis berat konvensional

menunjukkan perbandingan nilai yang signifikan. Perbandingan total kebutuhan material dari kedua pendekatan dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Tingkat kesesuaian antar metode

Metode Perhitungan	Total Net Weight (ton)	Total Gross Weight (ton)	Tingkat Kesesuaian (%)	Tingkat Kesenjangan (%)
Nesting heuristik	82,80	105,04	85%	15%
Pendekatan berat	82,80	88,87		

Nilai *net weight* pada kedua metode bernilai sama sebesar 82,80 ton karena jumlah komponen konstruksi tetap. Terdapat selisih *gross weight* sebesar 16,17 ton antara kedua metode. Pendekatan berat konvensional menghasilkan nilai *gross weight* yang lebih rendah sebesar 88,87 ton. Perbedaan ini muncul disebabkan faktor dimensi material, faktor penyusunan pola pemotongan, dan bentuk komponen struktur kapal yang dimetode berat diabaikan.

Berdasarkan analisis kesesuaian antar kedua metode diperoleh tingkat kesesuaian hasilnya sebesar 85 % dengan tingkat kesenjangan hasil sebesar 15 % tergolong masih dekat, seperti terlihat pada Tabel 4. Kedua metode ini dapat digunakan dalam tahapan proses pembangunan kapal, metode berat memungkinkan untuk digunakan dalam desain awal (*concept design*) sedangkan metode *nesting* saat desain detail (*detail design*).

4. Kesimpulan

Hasil analisis memperoleh *net weight* sebesar 82,80 ton, terdiri atas komponen pelat seberat 71,10 ton dan profil seberat 11,70. *Gross weight* sebesar 105,04 ton, mencakup pelat suplai 20 ft sebanyak 99 lembar atau 91.93 ton dan profil siku sebanyak 177 batang atau 13,11 ton, dan tingkat kesesuaian kedua metode mencapai 85% dengan tingkat kesenjangan sebesar 15%.

Referensi

- [1] F. Farianto, "Analisis Pembangunan Purwarupa Kapal Penyeberangan Rakyat (KPR) Danau Towuti," Universitas Hasanuddin, 2025.
- [2] C. D. Jang and Y. K. Han, "An Approach to Efficient Nesting and Cutting Path Optimization of Irregular Shapes," *J. Sh. Prod.*, vol. 15, no. 3, pp. 145–153, 1999.
- [3] E. Lo Valvo, "Meta-heuristic Algorithms for Nesting Problem of Rectangular Pieces," *Procedia Eng.*, vol. 183, pp. 291–296, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.041.
- [4] R. Baldacci, M. A. Boschetti, M. Ganovelli, and V. Maniezzo, "Algorithms for Nesting with Defects," *Discret. Appl. Math.*, vol. 163, no. 1, pp. 17–33, 2014, doi: 10.1016/j.dam.2012.03.026.
- [5] S. Y. Son, K. S. Kim, and J. H. Woo, "Aggregate Nesting: Transforming Multi-Material Dynamic Allocation for Cost-Effective Manufacturing," *J. Comput. Des. Eng.*, vol. 12, no. 9, pp. 21–31, 2025, doi: 10.1093/jcde/qwaf074.
- [6] Y. Kim, K. Gotoh, and M. Toyosada, "Automatic Two-Dimensional Layout using a Rule-Based Heuristic Algorithm," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 8, pp. 37–46, 2003, doi: 10.1007/s10773-003-0152-9.
- [7] W. R. Sari, Gunawan, and D. A. F. Muzhoffar, "Systematic Review of Optimization of Nesting System in Shipbuilding Available to Purcha," in *International Conference on Information Technology, Advanced Mechanical and Electrical Engineering*, Yogyakarta: AIP Publishing, 2025, p. 020002. doi: 10.1063/5.0286217.
- [8] W. Mustafa *et al.*, "Characteristics of SPOB Ship Hull Block Design Based on the Plate Supply Requirements," *Int. J. Metacentre*, vol. 2, no. 2, pp. 1–8, 2022.
- [9] Hiap Chuan Hardware (Pte) Ltd, "Mild Steel Plates (Product Handbook / eCatalog)." Accessed: Apr. 20, 2026. [Online]. Available: <https://hiapchuan.com.sg/plate>.