

Analisis Beban Pengelasan Konstruksi Sebuah Kapal Tug Boat 2x2200 HP Type ASD

Farianto Fachruddin^{1*}, Syamsul Asri², Inezca Anyelin³

^{1,2} Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia

³ Alumni Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia

*Corresponding Author: fariantofachruddin@gmail.com

Abstract	Article Info
<p>In assembling shipbuilding blocks, 90% of ship steel plates are used. The welding method is used to connect shipbuilding construction components. The objectives of this paper are: (a) identifying the construction weight of each ship block and the total weight of construction steel; (b) identification of the length of the welding object for each block based on the type of welding; (c) identification of the complexity index of welding work for each ship block. Achievement of objectives is carried out by measuring the work drawings for each block. The analysis results show that: (a) The total weight of the steel construction is 283.5 tons; (b) the Total length or welding load is equal to 24.84 km; (c) The workload index based on weight for each block is 0.02 – 0.42; (d) The workload index based on the length of the welding object for each block is 0.03 – 0.39. The work complexity index value in block 7 is 1.40 (the largest), and block 4 is 0.75 (the smallest).</p> <p>Keywords: Welding; SMAW; FCAW; Tug boats; Work Index</p>	<p>Article History: Received 5 August 2024 Revised 24 September 2024 Accepted 29 December 2024 Available online 31 December 2024</p>

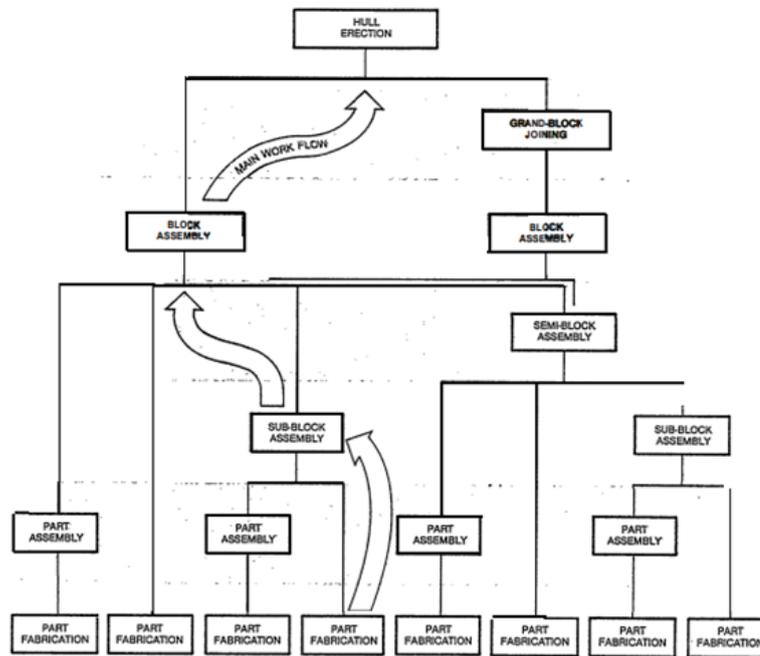
1. Pendahuluan

Pada tahun 1980an, konsep *Product Work Breakdown Structure* (PWBS) dikembangkan pada industri Jepang bernama Ishikawajima-Harima Heavy Industries. Konsep tersebut merupakan aplikasi dari metode pendetailan struktur pekerjaan, yang dikenal dengan sebutan *Work Breakdown Structure* (WBS) yang berfokus pada produk [6] sehingga membentuk konsep PWBS untuk pembangunan kapal dagang. Beberapa contoh representatif dari studi tentang WBS dengan focus orientasi pada produk generik, yaitu: 1. Tahapan dan jenis proses produksi dengan penggabungan produk yang dinyatakan dalam WBS [7], dan 2. Studi perkiraan biaya pembangunan kapal menggunakan WBS [8]. Adapun skema dari metode *Hull Block Construction Method* (HBCM) ditunjukkan pada Gambar 1.

Metode konstruksi blok lambung (HBCM) adalah sistem pembangunan kapal dimana komponen [*part*] dan sub-blok rakitan [*sub-block assembly*] diproduksi untuk blok terpisah. Setelah pekerjaan selesai pada blok-blok tersebut, kemudian dipindahkan ke landasan pembangunan [*building berth*] untuk dilakukan penggabungan blok besar [*grand block erection*] menjadi penggabungan lambung utama kapal [*hull erection*]. Langkah-langkah proses HBCM secara umum dapat diringkas dalam urutan berikut [9]: 1. Bagian fabrikasi [*part fabrication*]; 2. Perakitan komponen-bagian [*assembly part*]; 3. Perakitan sub-blok atau semi-blok [*sub-block assembly*]; 4. Perakitan blok [*block assembly*]; 5. Penggabungan blok besar [*grand block erection*]; dan 6/ Penggabungan blok menjadi lambung kapal [*hull erection*]. Terapan metode HBCM ini baru dapat terlaksana setelah ditemukan teknologi pengelasan untuk menggabungkan komponen blok tadi menjadi sebuah lambung kapal.

Deutche Industrie Normen (IDN) mendeskripsikan tentang definisi dari las yaitu ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Merujuk definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas [10]. Teknologi pengelasan telah mengalami perkembangan signifikan

dalam beberapa tahun terakhir, dengan kemunculan berbagai teknik dan alat baru yang meningkatkan kualitas dan kecepatan proses pengelasan. Metode pengelasan seperti *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), *Submerged Arc Welding* (SAW), dan *Laser Welding* telah menjadi pilihan utama dalam industri perkapalan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan teknologi pengelasan otomatis dan robotik dapat mengurangi waktu pengelasan dan meningkatkan konsistensi serta kekuatan sambungan las.



2.

Gambar 1. Skema Metode HBCM dalam Proses Pembangunan Kapal
Sumber: [6]

Salah satu studi relevan dari deskripsi sebelumnya adalah penelitian tentang evaluasi efektivitas penggunaan robot dalam proses pengelasan kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan robot pengelasan dapat mengurangi variasi dalam kualitas sambungan dan meningkatkan produktivitas hingga 30% [11]. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi pengelasan modern sangat berkontribusi terhadap efisiensi proses pembangunan kapal.

Keterkaitan antara teknologi pengelasan dan metode HBCM sangat penting dalam konteks pembangunan kapal. Pengelasan merupakan salah satu proses kunci dalam HBCM, di mana sambungan antar elemen struktural harus dilakukan dengan presisi tinggi untuk memastikan integritas struktural. Teknologi pengelasan canggih memungkinkan pencapaian kualitas sambungan yang lebih baik yang pada gilirannya meningkatkan performa keseluruhan dari struktur kapal. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi pengelasan canggih dalam HBCM telah meningkatkan kekuatan sambungan hingga 25% dibandingkan dengan metode pengelasan konvensional. Penelitian ini menekankan pentingnya pemilihan teknik pengelasan yang tepat dalam konteks HBCM untuk mencapai hasil yang optimal [12]. Penelitian lain mengeksplorasi penerapan metode HBCM dalam pembangunan kapal tanker. Hasil penelitian menunjukkan bahwa HBCM dapat mengurangi berat total kapal hingga 15% dibandingkan dengan metode konstruksi tradisional. Selain itu, metode ini juga mengurangi waktu pembangunan kapal secara keseluruhan, dengan pengurangan waktu hingga 20% dalam fase perakitan [13].

Tren utama keterkaitan teknologi pengelasan dan HBCM antara lain adalah; a. otomatisasi dan robotika dimana tren penggunaan robot dalam pengelasan kapal semakin meningkat. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi tetapi juga mengurangi risiko kesalahan manusia. Integrasi robotika dalam HBCM memungkinkan proses pengelasan yang lebih cepat dan akurat, serta sangat penting untuk memenuhi tuntutan proyek yang ketat; b. *new material*, dimana penggunaan material baru seperti baja ringan dan komposit dalam metode HBCM memerlukan teknik pengelasan yang sesuai. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa teknologi pengelasan seperti *Laser Welding* sangat efektif untuk material ini yang memberikan hasil yang lebih baik dalam hal kekuatan dan keawetan sambungan; c. *Sustainability*, dalam era keberlanjutan, teknologi pengelasan yang efisien dan metode HBCM yang mengurangi limbah menjadi semakin penting.

HBCM memungkinkan penggunaan material yang lebih efisien, sementara teknologi pengelasan modern dapat mengurangi konsumsi energi selama proses konstruksi.

Dalam perakitan atau assembly setiap block bangunan kapal dengan plat baja sebagai material dasarnya, metode pengelasan digunakan untuk penyambungan material plat, profil dan pipa sebagai elemen struktur bangunan kapal. Selanjutnya pada proses perakitan tersebut 90% dikerjakan dengan metode pengelasan [1]. Berbagai jenis pengelasan dengan bermacam variasinya digunakan sesuai peruntukan dan spesifikasi teknisnya seperti: *Submerged Arc Welding* (SAW), *Shield Metal Arc Welding* (SMAW), *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dan lain sebagainya. Pada umumnya pengelasan badan kapal menggunakan metode pengelasan terbanyak yaitu: *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) [2].

Metode pengelasan ini secara umum berlaku untuk semua jenis kapal baja termasuk kapal tunda yang menjadi objek penelitian ini. Kapal tunda merupakan jenis kapal khusus umumnya digunakan untuk menarik atau mendorong kapal di area pelabuhan, laut lepas atau sungai. Kapal ini digunakan pula untuk menarik tongkang, kapal rusak dan peralatan lainnya dan memiliki tenaga yang besar bila dibandingkan dengan ukurannya. Sesuai dengan daerah pelayarannya kapal tunda dapat digolongkan menjadi beberapa golongan [5], sebagai berikut:

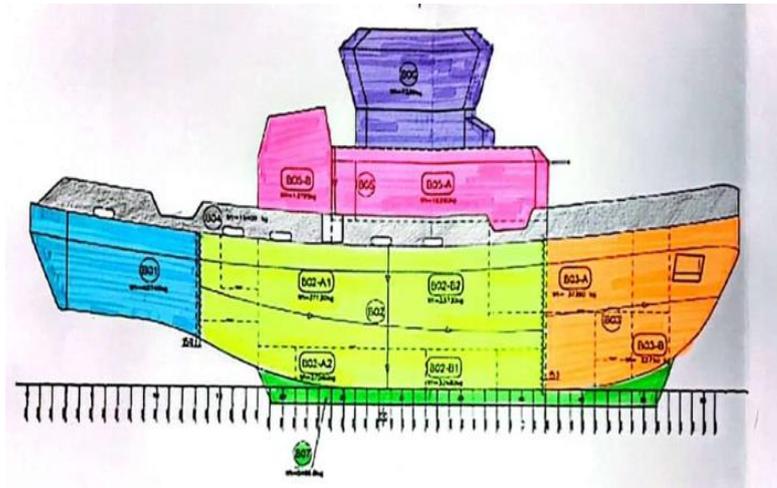
1. Kapal tunda pelayaran besar (*Ocean Going Tug*), merupakan salah satu jenis kapal tunda yang daerah pelayarannya di laut luar dan kapal ini biasanya digunakan sebagai penyuplai bahan bakar dari hasil kilang minyak (*Anchor Handling Supply Vessel*).
2. Kapal tunda pelayaran pantai (*Coastwise and Estuary Tug*) merupakan jenis kapal tunda yang daerah pelayarannya hanya disekitar perairan pantai.
3. Kapal tunda pelabuhan dan pengerukan (*Estuary and Harbor*) merupakan salah satu jenis kapal tunda yang digunakan untuk menarik atau mendorong kapal yang ada di pelabuhan dan juga berfungsi sebagai penarik kapal keruk.
4. Kapal tunda perairan dangkal (*Shallow Draught Pusher Tug*) merupakan jenis kapal tunda yang memiliki sarat rendah.
5. Kapal tunda sungai dan dok (*River and Dock Tug*) merupakan jenis kapal tunda yang memiliki kemampuan tarik kurang dari 3 knot dan hanya menunda kapal disekitar area sungai.

Secara spesifik, kapal tunda yang menjadi obyek kajian dalam penelitian ini adalah kapal baru tunda (*tugboat*) 2 x 2200 HP berkarakter *Azimuth Stern Drive-ASD* [3], dimana pembangunannya menggunakan konsep *Hull Block Construction Metode* (HBCM) [4]. Pembagian struktur kapal pada konsep HBCM menggunakan metode PWBS. Fakta empiris penggunaan metode tersebut menunjukkan bahwa setiap blok bangunan kapal akan berbeda-beda baik dari aspek berat dan panjang pengelasannya. Keadaan ini berpengaruh terhadap tingkat [indeks] kerumitan kerja saat dilakukan perakitan blok bangunan kapal. Karenanya, tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisa untuk menentukan besarnya beban kerja pengelasan pada setiap blok bangunan kapal *tugboat*. Parameter dari beban kerja tersebut berupa nilai panjang objek las sesuai gambar kerja perakitan bangunan kapal *tugboat*.

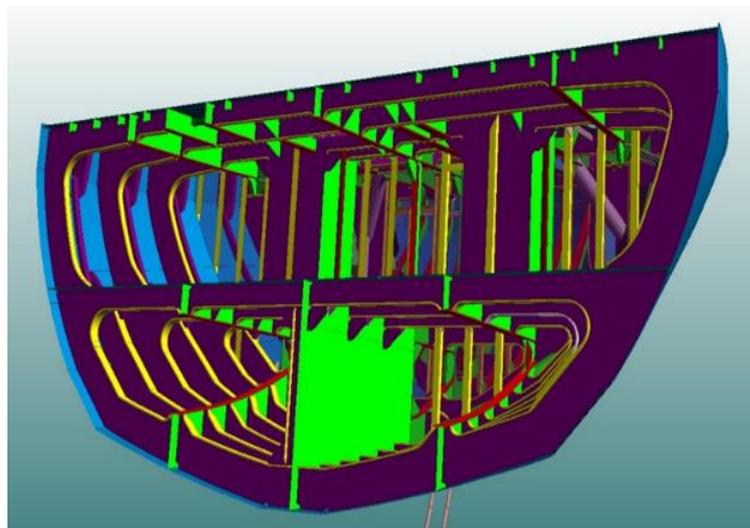
2. Metode

Penerapan metode penelitian terfokus pada bagaimana mencapai tujuan dari analisa untuk menentukan beban kerja pengelasan pada perakitan blok bangunan kapal, dalam hal ini adalah bangunan kapal *tugboat* type 2x2200 HP *Azimuth Stern Drive* [ASD]. Fakta empiris menunjukkan bahwa penggunaan ASD memiliki tren signifikan dalam efisiensi bahan bakar dan manuverabilitas kapal, meningkatkan efisiensi bahan bakar hingga 15% dibandingkan dengan sistem propulsi tradisional. Selain itu, kemampuan manuver yang *superior* dari ASD membuatnya sangat cocok pada kapal pesiar dan kapal kerja [*tugboat*] di pelabuhan yang padat.

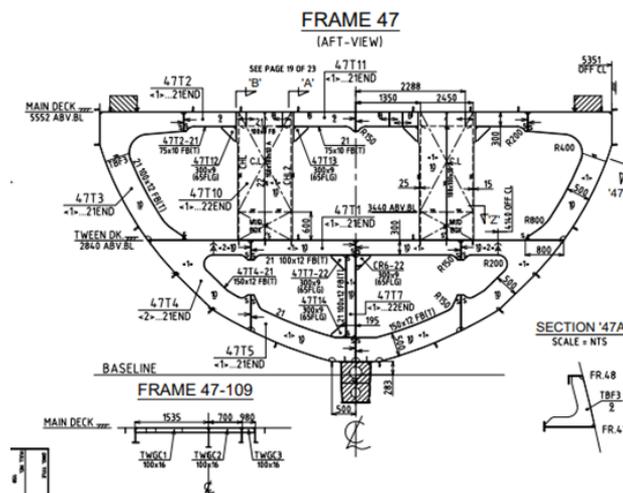
Metode penelitian terdiri dari tiga tahapan yaitu: a. Pengumpulan data detail gambar kerja produksi dan daftar komponen konstruksi setiap blok bangunan kapal merupakan komponen dasar sebagai materi pembahasan di tahap pertama. Gambar dimaksud ditunjukkan pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 4; b. Identifikasi elemen konstruksi menurut jenis sambungan dan posisi pengelasan menggunakan dokumen WPS sebagai tahap kedua; c. langkah selanjutnya adalah penentuan panjang alur pengelasan setiap blok bangunan kapal sebagai tahap ketiga.



Gambar 2. Division Blok Kapal Tunda 2x2200 HP Type ASD



Gambar 3. Desain 3D Blok 03 Kapal Tunda 2x2200 HP Type ASD



Gambar 4. Assembly Drawing Frame 47

3. Hasil dan Pembahasan

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dikenal juga dengan istilah *Manual Metal Arc Welding* (MMAW) atau las elektroda terbungkus adalah suatu proses penyambungan dua keping logam atau lebih, menjadi suatu sambungan yang tetap, dengan menggunakan sumber panas listrik dan bahan tambah/pengisi berupa elektroda terbungkus [14]. Las *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW) merupakan las busur gas yang

menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda. Elektroda tersebut berupa gulungan kawat (rol) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Las ini menggunakan gas argon sebagai pelindung busur. Las FCAW adalah proses otomatis yang memanfaatkan elektroda *wire roll* untuk mencairkan logam. Selain itu, FCAW memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan teknik pengelasan umum karena teknik ini memiliki kontrol yang lebih baik serta sifat tarik las baja rendah [15].

Panjang pengelasan diperoleh dari pengukuran pada gambar kerja (*Assembly Drawing*) dengan variabel jenis pengelasan FCAW dan SMAW. Berdasarkan Persamaan (1) dapat ditentukan indeks beban kerja perakitan berdasarkan panjang objek pengelasan.

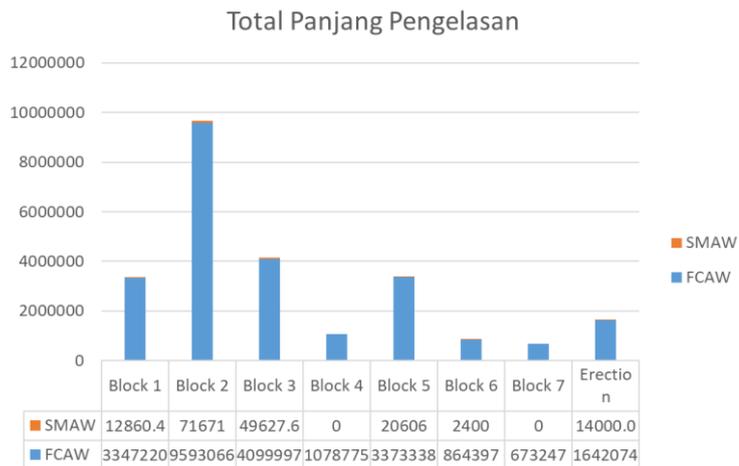
$$\text{Indeks beban kerja (panjang)} = \frac{\text{Panjang Objek Las Tiap Blok (mm)}}{\text{Total Panjang Objek Las Kapal (mm)}} \tag{1}$$

Karenanya harus diketahui panjang objek pengelasan setiap blok, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Adapun total panjang pengelasan tiap blok secara visual ditunjukkan Gambar 5.

Tabel 1. Panjang Objek Pengelasan

No.	Objek	Panjang pengelasan (mm)		Total panjang pengelasan (mm)		Bobot pekerjaan (%)	
		FCAW	SMAW	FCAW	SMAW	FCAW	SMAW
1	Block 1	3,347,220	12,860	3,360,080		13.53	
2	Block 2	9,593,066	71,671	9,664,737		38.9	
3	Block 3	4,099,997	49,628	4,149,624		16.70	
4	Block 4	1,078,775		1,078,775		4.34	
5	Block 5	3,373,338	20,606	3,393,944		13.66	
6	Block 6	864,397	2,400	866,797		3.49	
7	Block 7	673,247		673,247		2.71	
8	Block 8	1,642,074	14,000	1,656,074		6.67	
		Total (mm)		24,843,278			100

Sumber: Data Olahan



Gambar 5. Total Panjang Pengelasan

Penentuan indeks beban kerja harus didasarkan pada berat konstruksi setiap blok bangunan kapal. Dimana hasil perhitungan sesuai gambar kerja maka berat konstruksi baja pada tiap blok sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Dari tabel tersebut diketahui total berat konstruksi adalah 283,5 ton. Berat terbesar berada pada Blok 2 dengan nilai 118,4 ton dan berat terkecil berada pada Blok 7 dengan nilai 5,5 ton.

Tabel 2. Total Berat Konstruksi Kapal

No	Item	Berat (ton)
Hull Construction		
1	Block B01	42.749
2	Block B02	118.412
3	Block B03	61.213
4	Block B04	16.489
5	Block B05	31.817
6	Block B06	7.339
7	Block B07	5.470
Total Berat (ton)		283.489

Sumber: Data Olahan

Nilai indeks beban kerja pengelasan didasarkan pada panjang pengelasan dan berat konstruksi bangunan [blok] kapal, kemudian disebut indeks kompleksitas kerja. Dimana nilai indeks kompleksitas kerja

ditunjukkan pada Tabel 3 dan perhitungannya didasarkan pada Persamaan (2) dan (3). Nilai indeks terbesar berada pada Blok 7 dengan nilai 1,40 dan terkecil berada pada Blok 4 dengan nilai 0,75. Semakin besar nilai indeks tersebut, maka perbandingan panjang pengelasan terhadap berat konstruksi baja semakin besar. Hal ini berpengaruh dan bermakna bahwa kerumitan dalam pengerjaan pada perakitan kapal akan berbeda-beda. Nilai indeks ini bermakna tentang kerumitan pekerjaan pengelasan perakitan blok lambung kapal.

$$\text{Indeks beban kerja (berat)} = \frac{\text{Berat Konstruksi Tiap Blok (Ton)}}{\text{Total Berat Konstruksi Kapal (Ton)}} \quad (2)$$

$$\text{Indeks kompleksitas kerja} = \frac{\text{Indeks beban kerja berdasarkan panjang}}{\text{Indeks beban kerja berdasarkan berat}} \quad (3)$$

Tabel 3. Indeks Kerumitan Kerja Pengelasan

Object	Panjang Pengelasan (mm)	Indeks Panjang Pengelasan	Berat Tiap Blok (Ton)	Indeks Berat	Indeks Kompleksitas Kerja
		[1]		[2]	(1/2)
Block 1	3360080	0.14	42.75	0.15	0.90
Block 2	9664737	0.39	118.41	0.42	0.93
Block 3	4149624	0.17	61.21	0.22	0.77
Block 4	1078775	0.04	16.49	0.06	0.75
Block 5	3393944	0.14	31.82	0.11	1.22
Block 6	866797	0.03	7.34	0.03	1.35
Block 7	673247	0.03	5.47	0.02	1.40
Erection	1656074	0.07	-	-	-
Total	24843278		283.49		

Sumber: Data Olahan

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat disusun terhadap objek kajian Kapal Tunda 2x2200 HP berdimensi panjang [Lbp] kapal 32 m, lebar kapal [B] 11,6 m dan sarat kapal [T] 3,80 m sebagai berikut:

1. Total Berat Konstruksi baja adalah 283,489 ton. Dengan block terberat adalah block 2 yaitu 118,412 ton.
2. Total panjang atau beban pengelasan sama dengan 24.838,50 m. Bobot pengerjaan pengelasan terbesar terletak pada blok 2 yaitu konstruksi main deck dan double bottom dengan persentasi pengerjaan 38,90 % dan terkecil terletak pada blok 7 yaitu konstruksi *Skeg* dengan persentasi pengerjaan 2,71%.
3. Indeks beban kerja berdasarkan berat dari tiap block bernilai 0,02 – 0,42, untuk indeks berdasarkan panjang pengelasan yaitu 0,03 – 0,39. Sehingga dihasilkan Nilai indeks kesulitan kerja terbesar, terletak pada block 7 yaitu konstruksi *skeg* dengan indeks 1,40 dan terkecil terletak pada block 4 yaitu konstruksi bulwark dengan indeks 0,75.

4. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diperuntukkan kepada semua stake-holder, terkhusus pada PT Dumas Tanjung Perak Shipyards Surabaya yang telah mengizinkan pengambilan dan penggunaan data. Selanjutnya pada pihak Departemen Teknik Perkapalan dan pihak Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin terhadap dukungannya.

Daftar Pustaka

- [1] Okayama, L. C. Y, "Product Work Breakdown Structure," U.S. Department of Commerce, Bethesda, 1980.
- [2] Koenig, P.C, MacDonald, P. L, Lamb, T, Dougherty, J. J, Towards a generic product-oriented work breakdown structure for shipbuilding, dalam The national shipbuilding Research Program; Ship Production Symposium, David Taylor Model Basin Washington DC, 1997.
- [3] Ennis, K. J, Dougherty J. J, Lamb, T, Greenwell, C. R, Zimmermann, R, Product-Oriented Design and Construction Cost Model – An Update," The 1997 Ship Production Symposium, New Orleans Hilton Hotel, New Orleans, Louisiana.
- [4] Benmusa, A, The Hull Block Construction Method (HBCM) of Shipbuilding, BeamCut System, 31 December 2019.
- [5] Wiryosumarto dan Harsono, Teknologi Pengelasan Logam, Jakarta: PT Pradmya Paramita, 2000.
- [6] Zhang, Y. E. A. "The Impact of Robotic Welding on Shipbuilding Efficiency," Journal of Shipbuilding Technology, 2022.

- [7] Kim, H. E. A. Advanced Welding Techniques in Hybrid Beam Construction, *International Journal of Marine Engineering*, vol. 21, no. 2, 2023.
- [8] Li, J. E. A. Application of Hybrid Beam Construction Method in Tanker Shipbuilding, *Marine Engineering Journal*, vol. 10, no. 3, 2023.
- [9] Hadi, E. S, Analisa Pengelasan Mild Steel Dengan Proses SMAW, FCAW dan SAW Ditinjau Dari Segi Kekuatan dan Nilai Ekonomis, *Kapal* , p. 107, 2009.
- [10] Sopian dan Susetyo, F. B, Pengaruh Besar Sudut Kampuh Terhadap Kekuatan, *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 99-105, 2017.
- [11] Fajar dan Basuki, “Perhitungan Berat Kapal Kosong Sebagai Fungsi Dari Daya Mesin Utama,” *Teknologi Kebumihan dan Kelautan*, p. 247, 2020.
- [12] Dokkum, K. V, *Ship Knowledge*, The Netherlands: DOKMAR, 2003.
- [13] Storch, R. L, Hammon, C. P, Bunch, H. M, Moore, R. C, *Ship Production*, United States of America: Cornell Maritime Press Inc., 1995.
- [14] Nurfitriana, M. A, Analisa Pengaruh Pengelasan SMAW dan FCAW-SS Pada Material Low Carbon Steel Grade S355J2+N Terhadap Perubahan Distorsi dengan Variasi Heat Input dengan menggunakan Metode Eksperimen dan Metode Numerik, *Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya*, 2016.
- [15] Pratama, M. Y, Budiarto, U, Jokosisworo, S, Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja SS 400 Akibat Pengelasan FCAW (Flux-Cored Arc Welding) dengan Variasi Jenis Kampuh dan Posisi Pengelasan, *Jurnal Teknik Perkapalan*, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 203-214, 2019.