



TEKNIK PENANGANAN DEFORMASI PENGELOASAN ELEMEN PENDUKUNG KONSTRUKSI BANGUNAN KAPAL

Bulan Purnama dan Taufiqur Rahman
Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia
*Email: bulan13122@gmail.com

Abstrak

Deformasi merupakan perubahan bentuk akibat tegangan pada logam yang disebabkan oleh ekspansi dari logam las selama proses pemanasan dan pendinginan yang berpotensi mengurangi kekuatan struktur maupun efisiensi operasional kapal. Bentuk deformasi akibat proses pengelasan pada elemen pendukung konstruksi kapal adalah deformasi penyusutan, deformasi sudut, deformasi *buckling*, dan deformasi memanjang. Penelitian ini menganalisis faktor-faktor penyebab deformasi pengelasan pada elemen pendukung konstruksi kapal, mengidentifikasi teknik penanganan deformasi pengelasan yang telah ada, dan menganalisis efektivitas teknik penanganan deformasi guna menjaga integritas struktur bangunan kapal. Penelitian ini diharapkan dapat memberi kontribusi ilmiah dalam peningkatan kualitas, estetika, dan keamanan konstruksi kapal, serta meningkatkan efisiensi proses produksi pembangunan kapal. Metode penelitian yang digunakan dalam bentuk studi literatur dengan mengakses dokumen kepustakaan atau data sekunder dari studi kasus yang telah ada. Deformasi ini disebabkan oleh panas pada material, harga koefisien muai dan harga koefisien perambatan panas. Teknik penanganan deformasi pengelasan pada elemen pendukung konstruksi kapal dapat diterapkan dengan cara pemanasan (*firing*) dan pendinginan. Hal ini akan memberikan hasil yang sangat baik jika dilakukan dengan prosedur yang benar dalam penanganan deformasi yang terjadi antar elemen pendukung konstruksi kapal pada proses fabrikasi.

Kata Kunci: Deformasi, Konstruksi Kapal, Pengelasan.

Abstract

*Deformation is a change in shape due to stress in the metal caused by expansion of the weld metal during the heating and cooling process which has the potential to reduce the structural strength and operational efficiency of the ship. The forms of deformation due to the welding process on supporting elements of ship construction are shrinkage deformation, corner deformation, deformation buckling, and longitudinal deformation. This research analyzes the factors that cause welding deformation in supporting elements of ship construction, identifies existing welding deformation handling techniques, and analyzes the effectiveness of deformation handling techniques to maintain the structural integrity of ship buildings. It is hoped that this research can make a scientific contribution in improving the quality, aesthetics and safety of ship construction, as well as increasing the efficiency of the shipbuilding production process. The research method used is in the form of a literature study by accessing library documents or secondary data from existing case studies. This deformation is caused by heat in the material, the expansion coefficient and the heat propagation coefficient. Techniques for handling welding deformation on supporting elements of ship construction can be applied by heating (*firing*) and cooling. This will provide excellent results if carried out with the correct procedures in handling deformations that occur between supporting elements of ship construction during the fabrication process.*

Keywords: Deformation, Ship Construction, Welding.



1. PENDAHULUAN

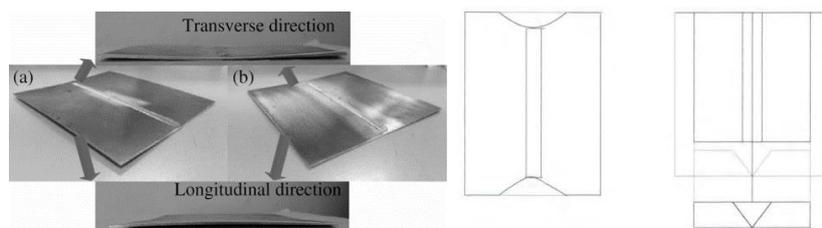
Konstruksi bangunan kapal merupakan struktur yang kompleks dan harus sesuai dengan standar klasifikasi yang berlaku, serta memiliki tingkat keakuratan yang sangat tinggi. Hal ini dikarenakan kapal merupakan struktur mengapung yang mendapatkan gaya-gaya hidrostatis maupun beban muatan oleh kapal itu sendiri sehingga penting untuk memenuhi standar keselamatan. Salah satu tahapan yang memegang peran penting dalam membentuk elemen pendukung konstruksi bangunan kapal adalah proses pengelasan. Jika proses pengelasan salah maka akan menimbulkan kerusakan seperti mengurangi keakuratan produk, sementara tegangan sisa pengelasan yang terjadi dapat mengurangi ketahanan sambungan las dan menyebabkan pecah yang disebabkan oleh kerapuhan [1].

Deformasi adalah perubahan bentuk akibat tegangan pada logam yang disebabkan oleh ekspansi dari logam las selama proses pemanasan dan pendinginan yang berpotensi mengurangi kekuatan struktur kapal maupun efisiensi operasional kapal [2]. Deformasi yang terjadi dapat berupa deformasi elastis atau deformasi plastis. Deformasi elastis terjadi jika beban yang bekerja pada material dihilangkan kemudian material tersebut dapat kembali ke bentuk semula. Sebaliknya, deformasi plastis terjadi jika beban yang bekerja pada material dihilangkan, namun material tidak dapat kembali ke bentuk semula [3].

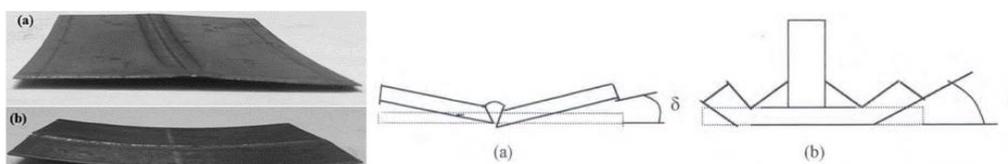
Selama proses pengelasan, logam las dan logam induk mengalami regangan termal di daerah jalur las selama proses pemanasan dan pendinginan. Regangan ini disertai dengan perubahan plastis yang menghasilkan gaya dalam, yang menyebabkan benturan, buckling, dan rotasi [4]. Adapun bentuk-bentuk deformasi selama proses pengelasan pada elemen pendukung konstruksi bangunan kapal seperti deformasi penyusutan, deformasi sudut, deformasi buckling, dan deformasi memanjang [5].

Berikut adalah beberapa kasus deformasi pada proses fabrikasi elemen pendukung konstruksi bangunan kapal seperti deformasi penyusutan akibat pengelasan yaitu penyusutan memanjang maupun penyusutan melintang, seperti pada Gambar 1, yang disebabkan oleh faktor tebal pelat, berat logam las, dan celah pengelasan. Lebih lanjut, pada konstruksi sambungan las terjadi perubahan bentuk dan ukuran karena terdapat penyusutan atau pengembangan, seperti pada Gambar 2. Hal ini dikategorikan sebagai deformasi sudut yang dapat terjadi pada sambungan las tumpul (*butt joint*) dan sambungan las T (*fillet*) dimana deformasi las *fillet* lebih besar dua kali dari sambungan las *butt joint* [6].

Selanjutnya, apabila deformasi tidak terkontrol dapat menyebabkan keretakan, deformasi permanen hingga pada kegagalan struktur yang sangat fatal [7]. Variabilitas sifat-sifat mekanis bahan dan perbedaan penanganan menjadi tantangan dalam pengendalian deformasi [8]. Oleh karena itu, diperlukan teknik penanganan deformasi pengelasan pada elemen pendukung konstruksi bangunan kapal yang tepat sesuai dengan kasus yang dihadapi untuk menjaga kualitas konstruksi bangunan kapal.



Gambar 1. Penyusutan Memanjang dan Melintang [6]



Gambar 2. Deformasi Sudut (a) *Butt Joint* dan (b) *Fillet* [6]

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis faktor-faktor penyebab deformasi pengelasan pada elemen pendukung konstruksi bangunan kapal, mengidentifikasi teknik penanganan deformasi pengelasan yang telah ada, dan menganalisis efektivitas teknik penanganan deformasi tersebut guna menjaga integritas struktur bangunan kapal. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberi kontribusi ilmiah dalam peningkatan kualitas, estetika, dan keamanan konstruksi bangunan kapal, serta meningkatkan efisiensi proses produksi pembangunan kapal.

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam bentuk studi literatur yang dilakukan dengan mengakses dokumen kepustakaan atau data sekunder dari studi kasus yang ada seperti artikel ilmiah, buku, serta laporan penelitian terkait dengan deformasi pengelasan pada elemen pendukung konstruksi bangunan kapal. Selanjutnya, hasil analisis literatur ini akan membentuk dasar pemahaman yang kuat tentang masalah deformasi pengelasan pada konstruksi kapal, yang akan menjadi landasan untuk mengembangkan rekomendasi terkait teknik penanganan yang lebih efektif dalam upaya meningkatkan integritas dan kekuatan konstruksi bangunan kapal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Deformasi

Proses pengelasan elemen pendukung konstruksi bangunan kapal pada pembangunan kapal sangat kompleks, sehingga sering terjadi deformasi. Beberapa faktor yang sangat mempengaruhi proses pengelasan yang menyebabkan deformasi, yakni : [6]

- a. Panas pada material
- b. Harga koefisien muai
- c. Harga koefisien perambatan panas

3.2. Teknik Penanganan Deformasi

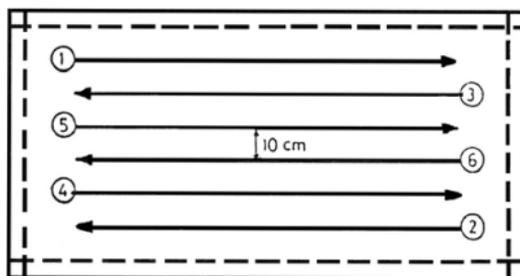
Deformasi terjadi akibat permukaan pelat menjadi tidak rata akibat proses pemanasan pengelasan. Ada dua cara untuk meluruskan pelat akibat deformasi tersebut yaitu dengan cara pemanasan dan pendinginan. Berikut adalah penjelasan lebih lengkapnya.

1. Pemanasan (*Firing*)

Untuk mengatasi deformasi diperlukan perlakuan agar permukaan dapat kembali lurus seperti semula yang dikenal dengan istilah *firing*. *Firing* adalah prosedur yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan keuletan pelat setelah ditekuk [9].

a. Pelurusan dengan Pemanasan Garis

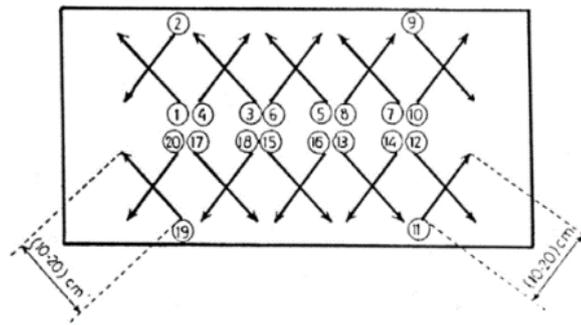
Pemanasan garis (*line heating*) dilakukan pada daerah gading-gading ataupun pelat tebal dengan deformasi yang besar ke arah keluar [10]. Pemanasan dilakukan pada pelat sisi luar dengan urutan pemanasan garis seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemanasan Garis (*Line Heating*) [10]

b. Pelurusan dengan Sistem Menyilang

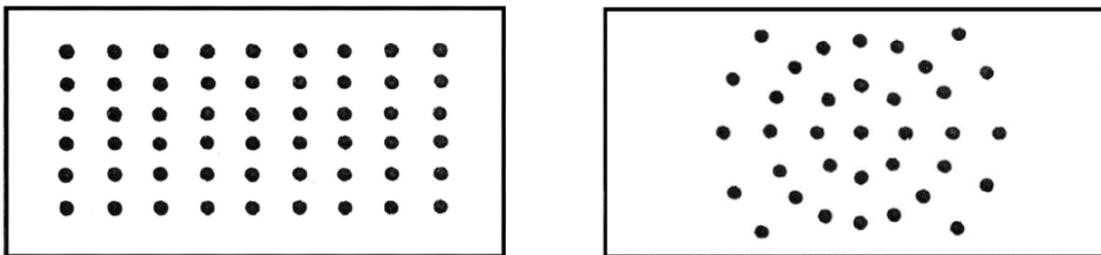
Pemanasan menyilang (*cross heating*) digunakan untuk deformasi kecil dengan hasil yang sangat bagus. Cara ini tidak tergantung arah deformasi hanya perlu mengikuti urutan [10], seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Pemanasan Sistem Melintang (*Cross Heating*) [10]

c. Pelurusan dengan Pemanasan Titik

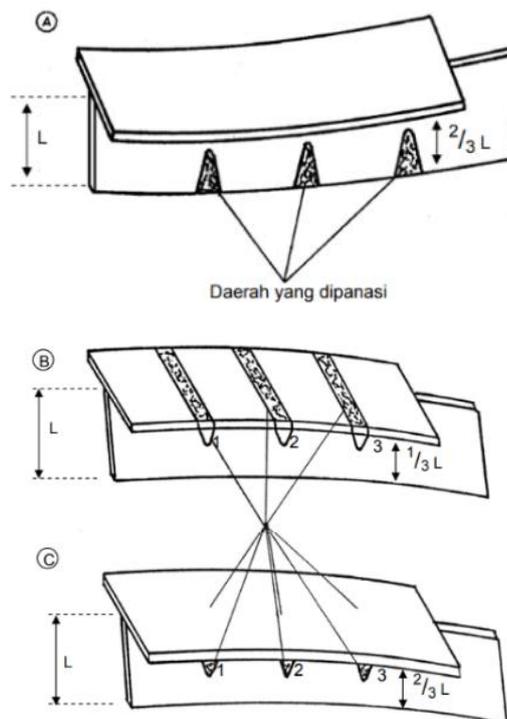
Pemanasan Titik (*spot heating*) diterapkan bersamaan dengan pemanasan garis untuk menghindari pengkerutan yang besar, sesuai Gambar 5. Cara ini digunakan untuk pelat tipis yang terletak diantara dua gading yang berdekatan. Untuk ukuran dan jarak antara titik pemanasan tidak memiliki aturan khusus [10].



Gambar 5. Pemanasan Titik (*Spot Heating*) [10]

d. Pelurusan dengan Pemanasan Segitiga

Pemanasan Segitiga (*triangle heating*) diperuntukkan pada deformasi memanjang pada profil. Metode A untuk deformasi arah kelengkungan ke dalam sementara metode B dan C untuk deformasi arah kelengkungan ke luar [10]. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan seperti pada Gambar 6.



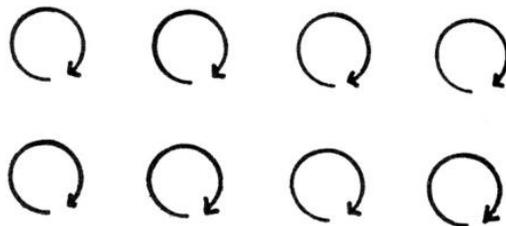
Gambar 6. Pemanasan Segitiga (*Triangle Heating*) [10]



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

e. Pelurusan dengan Pemanasan Melingkar

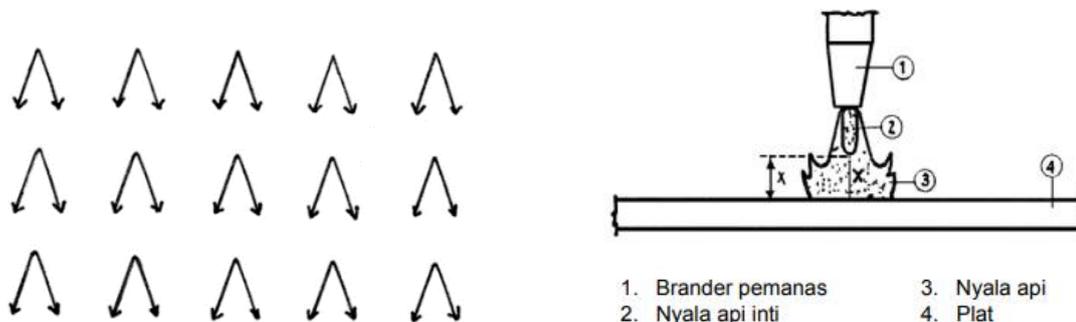
Pemanasan melingkar (*ring heating*) digunakan bersamaan pemanasan lurus sebagai pemanasan terakhir, sesuai Gambar 7. Pemanasan ini digunakan untuk deformasi yang besar [10].



Gambar 7. Pemanasan Melingkar (*Ring Heating*) [10]

f. Pelurusan dengan Pemanasan Dua Anak Panah

Pemanasan dua anak panah (*pine needle heating*) digunakan untuk deformasi kecil dengan hasil yang baik, sesuai Gambar 8. Metode ini tidak tergantung pada arah deformasi [10].



Gambar 8. Pemanasan Melingkar (*Pine Needle Heating*) [10]

Untuk jarak dan kecepatan pemanasan dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan kecepatan pemanasan dapat dilihat pada Tabel 2 [10].

Tabel 1. Jarak Pemanasan

No	Tebal Pelat (mm)	Jarak Pemanasan : x (mm)
1	3 - 4,5	-2 - 0
2	6 - 8	0
3	10 - 14	0 - 3
4	16 - 22	3 - 4
5	24 - 28	4 - 5
6	30 - ...	6 - 10

Tabel 2. Kecepatan Pemanasan

No	Tebal Pelat (mm)	Nomor Brander	Kecepatan Pemanasan (mm/mt)
1	3 - 4,5	0,500	0,800 - 1,500
2	5 - 8	1,000	0,700 - 1,000



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

No	Tebal Pelat (mm)	Nomor Brander	Kecepatan Pemanasan (mm/mt)
3	9 – 12,7	1,600	0,500 – 1,000
4	13 – 16	2,000	0,400 – 0,800
5	17 – 22	2,500	0,350 – 0,800
6	23 – 28	3,150	0,300 – 0,600
7	29 - ...	3,500	0,250 – 0,500

2. Pendinginan

Setelah dilakukan pemanasan maka selanjutnya adalah proses pendinginan yang terdiri dari tiga macam [10], yakni:

- Pendinginan menggunakan air untuk pelat dengan temperatur 650⁰C untuk pelat 9 – 12 mm.
- Pendinginan menggunakan udara untuk pelat dengan temperatur 900⁰C untuk pelat lebih dari 12 mm.
- Pendinginan menggunakan air dan udara untuk pelat dengan temperatur 900⁰C. Pendinginan udara hingga 500⁰C kemudian didinginkan menggunakan air diperuntukkan untuk pelat tipis

3.3. Penanggulangan Penyimpangan Bentuk Deformasi Akibat Proses Pengelasan

Penyimpangan bentuk dalam pengelasan tidak hanya mengurangi ketelitiannya dan kekuatannya, tetapi juga memerlukan waktu dan usaha yang lebih banyak untuk meluruskannya kembali. Oleh karena itu, sebisa mungkin untuk menghindari penyimpangan bentuk ini sebelum pengelasan dilakukan. Berikut adalah cara penanggulangan penyimpangan bentuk deformasi pada tahap sebelum dan sesudah pengelasan.

1. Sebelum Pengelasan

Cara yang dilakukan adalah terlebih dahulu meluruskan bagian yang akan dilas sesuai dengan dimensi dan bentuk yang telah ditentukan, memilih elektrode yang tepat untuk material yang akan dilas, memilih bentuk kampuh yang tepat, memilih prosedur pengelasan yang tepat, dan menggunakan *welder* yang bermutu [6].

2. Saat Pengelasan

Untuk menghindari deformasi, dapat dilakukan cara berikut seperti pastikan ada pemberat di setiap sisi yang dapat melengkung. Pengelasan harus dilakukan secara bersambung, jika dilakukan terus menerus, plat akan melengkung [9].

3. Setelah Pengelasan

Cara yang dilakukan adalah mengurangi masukan panas, mengurangi logam las khususnya dengan mengurangi panjang las, jumlah lapisan, dan bentuk alur yang tepat, memilih urutan pengelasan yang tepat, memberikan tekanan pada bagian yang akan dilas, dan mengubah bentuk awal yang berlawanan dengan arah deformasi [6].

Secara garis besar cara perbaikan penyimpangan deformasi karena pengelasan terbagi menjadi dua kelompok. Pertama, perbaikan mekanik mencakup pengerolan, penekanan, penempaan, dan pemukulan. Perbaikan dengan cara mekanik selain pelaksanaannya lama dan sulit, hasilnya yang didapatkan kurang baik. Sedangkan perbaikan kedua adalah perbaikan termal berupa pemanasan (*firing*). Metode ini dipilih karena mudah dilakukan, menghasilkan hasil yang lebih baik dari pada metode mekanis dan kerusakan pada material kecil selama proses *firing* dilakukan dengan teknik yang tepat.



4. KESIMPULAN

Dalam pembangunan kapal, deformasi yang mungkin terjadi akibat proses pengelasan pada elemen pendukung konstruksi bangunan kapal meliputi deformasi penyusutan, deformasi sudut, deformasi buckling, dan deformasi memanjang. Faktor-faktor seperti panas pada material, harga koefisien muai, dan harga koefisien perambatan panas berperan dalam menyebabkan deformasi tersebut. Untuk mengatasi deformasi ini, diperlukan penerapan teknik penanganan deformasi pengelasan yang tepat.

Rekomendasi untuk meningkatkan integritas dan kekuatan konstruksi bangunan kapal melalui penanganan deformasi pengelasan meliputi:

1. Memperluas ruang lingkup penelitian untuk mencakup lebih banyak faktor penyebab deformasi dan teknik penanganan yang relevan.
2. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan metode yang lebih terperinci, termasuk studi kasus dan eksperimen langsung untuk validasi hasil.
3. Memberikan rekomendasi yang lebih spesifik dan terperinci untuk setiap jenis deformasi yang terjadi, serta teknik penanganan yang sesuai.
4. Mendorong kolaborasi antara peneliti, insinyur, dan praktisi industri kapal untuk mengimplementasikan solusi yang efektif dalam praktek konstruksi kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Sunaryo, Teknik Pengelasan Kapal. Jilid 1. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [2] I. K. Djaya, Teknik Konstruksi Kapal Baja. Jilid 2. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [3] A. Ciptiandi, "Analisis Kekuatan dengan Variasi Konstruksi *Transverse Watertight Bulkhead* pada Kapal *Container* 8842 DWT dengan Metode Elemen Hingga". *Doctoral Dissertation*, Institut Teknologi Kalimantan, 2021.
- [4] B.I. Fathkurokhim, "Analisis Pengaruh Tegangan Sisa dan Perubahan Distorsi pada Pengelasan Struktur *Pressure Vessels* PT. Petrokimia Gresik dengan Variasi *Welding Sequence* dengan menggunakan Metode Elemen Hingga". Departemen Teknik Kelautan. Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2017.
- [5] T.K. Febion. "Komputerisasi Standar Penyimpangan dan Perbaikan pada Proses Produksi Kapal". Jurusan Teknik Perkapalan. Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. 1998.
- [6] T. Yulianto. "Penerapan Grafik Database untuk Standarisasi *Fairing Work* Penyimpangan Bentuk Komponen Kapal". Jurusan Teknik Perkapalan. Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. 1999.
- [7] M. Fathurakhman, "Analisis Pengaruh Deformasi Ruang Muat *Doble-Hull* Tanker terhadap Kekuatan Kapal". Departemen Teknik Kelautan. Fakultas Teknik. Universitas Hasanuddin. 2020.
- [8] H. Nurdin, Metalurgi Logam. Padang: UNP Press, 2019.
- [9] B. Utomo, "Perbaikan Deformasi Plat Baja pada Konstruksi Block SS1A Kapal Cepat Rudal 60M akibat Proses *Assembly*". *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, Vol. 2, No. 1, Hal. 31-36, 2019.
- [10] H. Sunaryo, Teknik Pengelasan Kapal. Jilid 2. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.

