G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan
Vol. 8, No. 4, Oktober 2024, hlmn. 2883-2894
E-ISSN: 2623-064X | P-ISSN: 2580-8737

# Pengaruh Variasi Suhu *Tempering* Pada Struktur Makro Material Untuk Pengelasan Material Bekas *(Used Material)* dengan Material Baru

**Taufan Prasetyo[1]✉, Ach. Choseiri[2], Aurista Miftahatul Ilmah[3]**

[1] Prodi D3 Teknik Bangunan Kapal, Jurusan Teknologi Kemaritiman, Politeknik Negeri Madura, Indonesia
[2, 3] Prodi D3 Teknik Bangunan Kapal, Jurusan Teknologi Kemaritiman, Politeknik Negeri Madura, Indonesia

**Informasi Artikel**

**Riwayat Artikel**

**Diserahkan** : 19-09-2024
**Direvisi** : 16-10-2024
**Diterima** : 20-10-2024

**Kata Kunci:**

Pengelasan, HAZ, *Heat Treatment*

***Keywords*** **:**

*Weld, HAZ, Heat Treatment*

**ABSTRAK**

*Annual survey* adalah proses pemeriksaan secara berkala tiap satu tahun sekali pada kapal yang beroperasi yang bertujuan untuk memeriksa kemungkinan terjadinya kerusakan pada bagian lambung kapal. Apabila dalam proses *annual survey* tersebut. ditemukan kerusakan pada pelat terutama pelat lambung kapal, maka penggantian pelat perlu dilakukan. Penggantian pelat artinya membuang sebagian pelat yang rusak untuk diganti dengan pelat yang baru menggunakan melalui proses pemotongan dan pengelasan. Dan pada proses pengelasan tersebut, terjadi proses penyambungan antara pelat baru dengan pelat lama (bekas) di mana kedua material tersebut memiliki struktur mikro dan karakteristik yang tentunya berbeda. Dalam penelitian ini, dilakukan proses perlakuan panas *(heat treatment)* sebelum pengelasan *(Pre Heat)* menggunakan metode *tempering* pada pelat lama tersebut dengan tujuan untuk memperbaiki struktur mikro dan karakteristik material. Proses *tempering* dilakukan dengan menggunakan tiga variasi suhu antara lain suhu 200°C, 300°C, dan 400°C. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan suhu yang sesuai adalah suhu 200°C yang tidak terindikasi cacat, dan memiliki lebar rata-rata HAZ 1,35mm terkecil dibandingkan dengan suhu 300°C, 400°C dan *non heat treatment*.

***ABSTRACT***

*Annual survey is a periodic inspection process conducted once a year on ongoing ships, aimed at checking the possibility of damage to the hull of the ship. If during the annual survey process damage is found on the plates, especially the hull plates of the ship, then the plates need to be replaced. Plate replacement means removing part of the damaged plate to replace it with a new plate through cutting and welding processes. And in the welding process, there is a joining process between the new plate and the old (used) plate where both materials have different microstructures and characteristics. In this study, a heat treatment process (Pre Heat) was carried out before welding using the tempering method on the old plate with the aim of improving the microstructure and material characteristics. The tempering process was carried out using three temperature variations, namely 200°C, 300°C, and 400°C. From the test results, it was found that the suitable temperature was 200°C, which showed no defects and had the smallest average HAZ width of 1.35mm compared to 300°C, 400°C, and non-heat treatment.*

***Corresponding Author*** **:**
Taufan Prasetyo
Prodi D3 Teknik Bangunan Kapal, Jurusan Teknologi Kemaritiman, Politeknik Negeri Madura, Indonesia
Jalan Raya Camplong KM 4, Taddan, Camplong, Sampang, Madura, Jawa Timur
Email: sekretariat@poltera.ac.id

*This is an open access article under the CC BY license*

## PENDAHULUAN

Layaknya sebuah moda transportasi pada umumnya, kapal baja khususnya juga perlu melakukan pemeriksaan rutin untuk memeriksa kemungkinan terjadinya kerusakan pada seluruh bagian kapal sehingga mengurangi resiko kecelakaan dan kapal tetap layak untuk beroperasi di laut. Pemeriksaan rutin yang minimal dilakukan setiap tahun sekali disebut *Annual Survey* dan berfokus pada pemeriksaan bagian lambung yang tercelup dalam air dan harus dilakukan *docking* pada kapal. Tidak jarang selama proses pemeriksaan, ditemukan kerusakan pada pelat lambung baik itu yang disebabkan oleh benturan atau ketebalan yang sudah tidak memenuhi akibat korosi. Apabila ditemukan hal-hal tersebut, maka yang harus dilakukan adalah penggantian pelat *(replating)*.

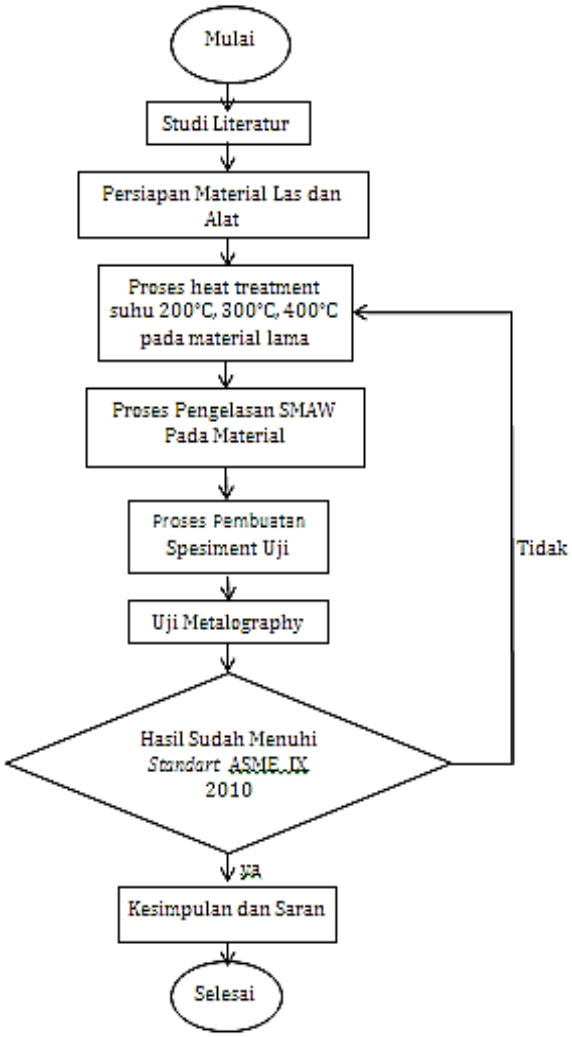
*Replating* dilakukan dengan memotong panel pelat yang mengalami kerusakan atau yang ketebalannya tidak memenuhi (di bawah 80% dari ketebalan awal) menggunakan pemotong api bertekanan, kemudian menggantinya dengan pelat baru melalui proses penyambungan dengan pengelasan. Pada proses penyambungan ini, terjadi proses pengelasan pelat baru sebagai pengganti pelat yang sudah tidak layak tersebut dengan pelat lama yang masih layak *(used material)*. Meskipun layak, pelat lama *(used material)* yang telah melalui berbagai kondisi alam dan berbagai suhu dalam waktu yang lama, pastinya memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda jika dibandingkan saat pelat tersebut masih baru. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk memperbaiki sifat dan karakteristik material tersebut dan saah satunya adalah melalui proses *Heat Treatment.*

*Heat treatment* merupakan suatu proses pemanasan material baik sebelum proses pengelasan (*Pre Heat*) maupun setelah proses pengelasan (*Post Weld Heat Treatment - PWHT*) dengan tujuan untuk memperbaiki struktur, sifat, dan karakteristik material logam. Terdapat beberapa metode *heat treatment* antara lain *annealing, tempering, normalizing,* dan *quenching* dengan masing-masing memiliki manfaat dan kegunaannya tersendiri pada material logam. Perbedaan utama masing-masing metode *heat treatment* terletak pada range suhu pemanasan dan metode pendinginannya. Salah satu yang banyak digunakan adalah metode tempering. Metode *tempering* memiliki kegunaan antara lain yaitu meningkatkan keuletan atau duktilitas, menghilangkan tegangan dalam, namun mengurangi kekerasan. Metode tempering dilakukan dengan range suhu 150°C hingga 650°C dengan metode pendinginan lambat pada suhu ruang (27°C).

Pada penelitian sebelumnya terkait *tempering* yang dilakukan pada material baja K-460 untuk penggunaan pada rel kereta api menggunakan pengujian mikroskopis pada range suhu 100°C, 200°C , 300°C dan 400 °C, menunjukkan bahwa pada suhu pemanasan 100°C dan 200°C ditemukan struktur *martensit,* sedangkan pada suhu 300°C dan 400°C ditemukan struktur partikel karbida yang bulat dalam matrik martensit (Haryadi, 2006). Oleh karena itu penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi terkait penerapan metode *tempering* untuk jenis baja yang lain yaitu ASTM A36 yang umum digunakan pada kapal dan juga analisa hasil pengujian secara makroskopis ditinjau dari segi lebar dan luasan HAZ.

## METODE PENELITIAN

Seluruh proses penelitian mulai dari persiapan, pembuatan specimen, pengelasan, hingga pengujian dilaksanakan di bengkel pengelasan dan laboratorium uji material Politeknik Negeri Madura dengan langkah - langkah pelaksanaan penelitian dijelaskan pada diagram alir berikut (***Gambar 1***)




**Gambar 1 Diagram Alir Penelitian**

1. **Studi Literatur**

   Proses pengumpulan data referensi yang mendukung pada penelitian meliputi data tebal material, kampuh yang digunakan, jenis pengelasan, dan metode yang digunakan.

2. **Persiapan Material Las dan Alat**

   Sebelum pembuatan specimen, dilakukan pengamatan terhadap bentuk visual material bekas dan material baru tanpa perlakuan apapun untuk memastikan perbedaan material baru dan lama sebelum melakukan proses heat treatment dan pengelasan hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini

**Gambar 2 Visual Permukaan Material Bekas (a) dan Material Baru (b)**

Dari hasil pengujian material baru digambar (b) lebih terlihat solid dibandingkan dengan material lama (a) yang mengalami cacat korosi berkurangnya material dari material baru. Selanjutnya mempersiapkan peralatan dan perlengkapan meliputi material baja ASTM A36 bekas dan baru (tebal 10 mm), APD (alat pelindung diri), mesin las SMAW, sikat baja, gerinda, penjepit baja, palu chiping, sarung tangan las, sepatu safety, dan helm las.

**3. Proses *Heat treatment Tempering***

Selanjutnya adalah proses *heat treatment* sebelum dilakukan pengelasan (*Pre Heat)* dengan 3 variasi suhu 200ºC, 300ºC, 400ºC menggunakan api langsung ke material secara merata selama kurang lebih 20 hingga 30 menit, kemudian didinginkan dengan media udara pada suhu ruang (27 ºC).

**Gambar 3 Perlakuan Heat Treatment Pada Material Bekas *(Used Material)***

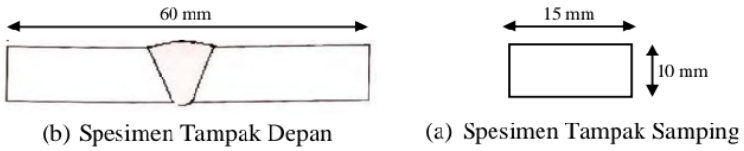
**4. Proses Pengelasan SMAW Pada Material**

Langkah selanjutnya adalah proses pengelasan SMAW dengan spesifikasi pengelasan sebagai berikut

- Elektroda : E7016
- Diameter : 2,6 mm
- Posisi pengelasan : 1G (datar)
- Jenis arus : AC
- Ampere (range) : 70 – 90 Ampere

**5. Proses Pembuatan *Spesimen* struktur makro *Non heat treatment* dan heat Treatment**

Proses pembuatan *spesimen* struktur makro *Non heat treatment* dan heat Treatment di lakukan sesuai menurut standart ASTM E92.




**Gambar 4 Dimensi spesimen menurut ASTM E92**

**Tahap Pembuatan Spesimen**

Pembuatan spesimen mengikuti tahap-tahap berikut ini:

a. Melakukan *Tempering Heat Treatment* atau proses pemanasan material dengan variasi suhu pemanasan 200°C, 300°C, dan 400°C yang didinginkan pada suhu ruang dan dilakukan sebelum pengelasan *(Pre Heat)* pada material lama atau bekas

**Gambar 5 Pemanasan material pada suhu 200°C**

b. Melakukan penyambungan atau pengelasan material lama atau bekas yang sudah diberi perlakuan panas dengan material baru
c. Melakukan uji visual pada spesimen
d. Pembuatan spesimen *Metalography* dengan memotong baja yang sudah dilas sebelumnya menjadi beberapa bagian menggunakan bendsaw

**Gambar 6 Spesimen yang sudah dipotong**

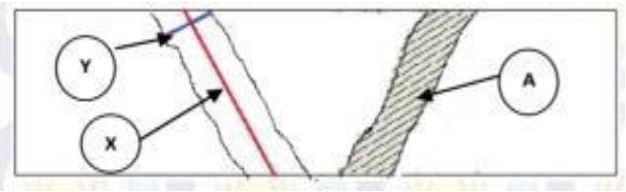
**6. Pengujian Metallography**

Metode pengujian metallography yang dilakukan adalah pengujian makroskopis dengan output berupa hasil Analisa HAZ *(Heat Affected Zone*).

**Gambar 7 Alat pengujian Metallography**

Proses pengamatan struktur makro dilakukan secara visual berdasarkan standart ASME IX 2010, untuk memeriksa penetrasi hasil las-lasan, ukuran dari daerah pengaruh panas HAZ (Heat Affected Zone), dan kemungkinan munculnya cacat las. HAZ merupakan logam dasar

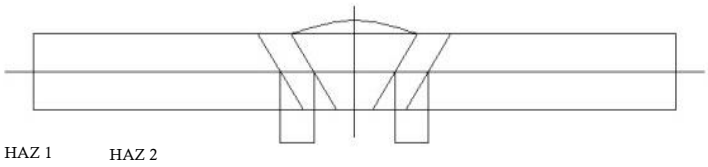
yang bersebelahan dengan logam las dan selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendiginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan pengelasan




**Gambar 8 Sketsa daerah HAZ** *(Haryadi, 2006)*

Keterangan :

A = luas HAZ (daerah yang diarsir)
X = Panjang Acuan HAZ (garis warna merah)
Y = lebar rata-rata garis HAZ (garis biru)




**Gambar 9 Acuan lebar *HAZ***

**Tahapan Pengujian Makroskopis**

Pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM E381 dengan prosedur sebagai berikut:

a. *Polishing*
Proses *polishing* adalah proses penghalusan pada permukaan spesimen untuk memudahkan observasi, ada beberapa tahapan penghalusan pada spesimen menggunakan amplas sesuai dengan urutan 120 grade, 240 grade, 320 grade, 400 grade, 600 grade, 800 grade, 1000 grade, dan 2000 grade.

**Gambar 10 Proses *Polishing* dan Hasilnya**

b. Etsa (*Etching)*
Proses *etching* adalah *bertujuan* untuk memunculkan struktur makro pada logam atau material sampel dengan mengunakan cairan nitrid acid (nital), sesuai ketentuan tabel di bawah ini.

**Tabel 1 Jenis Cairan Etsa** *(Manurung, 2020)*

| Reagen Etsa | Material | Waktu Etsa |
|---|---|---|
| Nitrid Acid (nital) | 1. Semua jenis baja karbon<br>2. Low alloy steel | 5-10 detik<br>1 detik |
| Picric acid (picral) | 1. Stainess steel<br>2. Autenitic nickel<br>3. Paduan tembaga | 10-15 detik |
| Ammonim hydroxide<br>Hydrogen peroxide | Tembaga dan paduannya | ± 1 menit |
| Hydrofluoric acid | Aluminium dan paduannya | < 5 detik |

Tahapan proses etsa adalah sebagai berikut
- Persiapan alat (cairan nital dan kapas) dan APD (masker, sarung tangan karet, kacamata)
- Menuangkan cairan nital kedalam wadah secukupnya
- Menyelupkan permukaan spesimen yang akan di obsevsi pada wadah cairan nital (pastikan seluruh area tercelup) dan didiamkan selama 5-10 detik hingga area HAZ berubah warna menjadi buram keabu-abuan
- Membilas spesimen dengan air dan sabun.
- Proses pengeringan

Setelah dilakukan tahap-tahap etsa akan di ketahui perubahan pada permukaan spesimen yang buram keabu-abuan dan diketahui area perbedaan base metal HAZ dan weld metal.

**Gambar 11 Hasil Proses Etsa Pada Spesimen**

c. Observasi secara makroskopis
Observasi secara makroskopis dilakukan secara visual atau menggunakan mata secara langsung dengan pencahayaan yang cukup pada material hasil etsa. Pengamatan yang dilakukan pada spesimen meliputi ukuran dari HAZ dan cacat yang ada di area *Weld Metal*.

**7. Analisis Data dan Pembahasan**

Analisa dilakukan berdasarkan standar ASME IX 2010 atau aturan yang berkaitan yang mendukung secara ilmiah dari pengambilan data pembahasan dan tujuan dari permasalahan yang dirumuskan pada awal pembahasan.

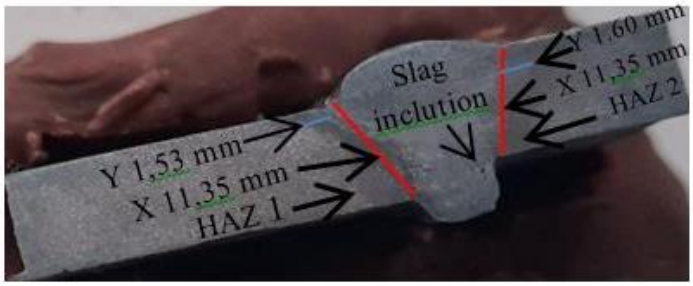
**8. Kesimpulan Dan Saran**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian

Hasil pemeriksaan makroetsa berfokus pada perbandingan ukuran lebar dan luasan HAZ terhadap variasi suhu *tempering* dan *non heat treatment* yang digunakan. Berdasarkan hasil observasi makroetsa, didapatkan data-data terkait dimensi HAZ sebagai berikut:

1. **Spesimen *Non heat treatment***



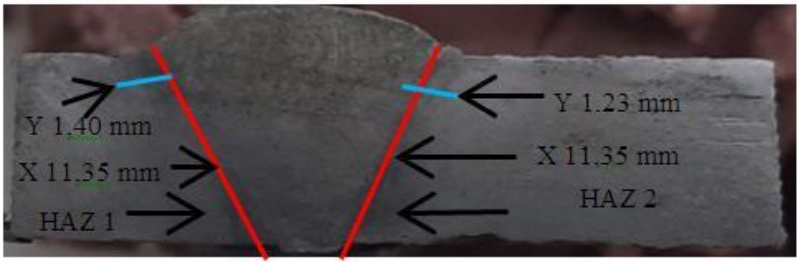

**Gambar 12 Lebar *HAZ Non heat treatment***

**Tabel 2 Rata-rata *HAZ 1* dan *HAZ 2 Non heat treatment***

| **Benda Uji** | **Lebar HAZ** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Suhu | Lebar HAZ 1 | | | Lebar HAZ 1 | | |
| *Non heat treatment* | A | X | Y | A | x | Y |
| | 17,35 $mm^2$ | 11,35 $mm^2$ | 1,53 $mm^2$ | 18,16 $mm^2$ | 11,35 $mm^2$ | 1,6 $mm^2$ |
| **Lebar Rata-Rata HAZ (Y1+Y2)=1,56 mm** | | | | | | |

Hasil analisa menunjukkan pada struktur makro spesimen *non heat treatment* terlihat cacat slag inclusion daerah weld metal dan memiliki lebar rata-rata HAZ sebesar 1,56 mm.

2. **Spesimen *Tempering 200°C***



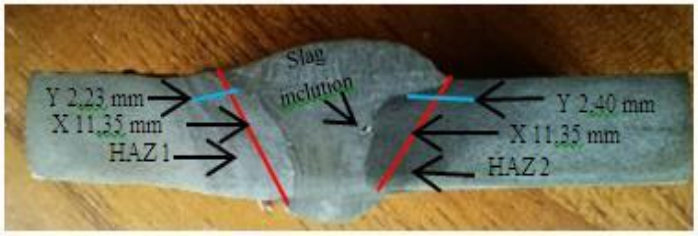

**Gambar 13 Lebar *HAZ* Suhu 200°C**

**Tabel 3 Rata-rata *HAZ 1* dan *HAZ 2* suhu 200°C**

| **Benda Uji** | **Lebar HAZ** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Suhu | Lebar HAZ 1 | | | Lebar HAZ 1 | | |
| 200° C | A | x | Y | A | X | Y |
| | 15,89 $mm^2$ | 11,35 $mm^2$ | 1,4 $mm^2$ | 13,96 $mm^2$ | 11,35 $mm^2$ | 1,23 $mm^2$ |
| **Lebar Rata-Rata HAZ (Y1+Y2)=1,35 mm** | | | | | | |

Hasil analisa menunjukkan pada struktur makro spesimen suhu 200°C menunjukkan tidak adanya indikasi cacat linear pada daerah weld metal dan memiliki lebar rata-rata HAZ 1,35 mm, lebih kecil dibandingkan dengan *non heat treatment*.

### 3. Spesimen *Tempering 300°C*



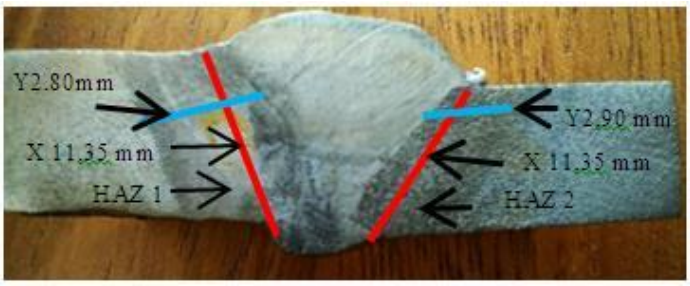

**Gambar 14 Lebar HAZ Suhu 300°C**

**Tabel 4 Rata Rata *HAZ 1* dan *HAZ 2* suhu 300°C**

| **Benda Uji** | **Lebar HAZ** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Suhu | Lebar HAZ 1 | | | Lebar HAZ 1 | | |
| 300° C | A | x | Y | A | X | Y |
| | 25,35 $mm^2$ | 11,35 $mm^2$ | 2,23 $mm^2$ | 27,35 $mm^2$ | 11,35 $mm^2$ | 2,4 $mm^2$ |
| **Lebar Rata-Rata HAZ (Y1+Y2)=2,31 mm** | | | | | | |

Hasil analisa menunjukkan pada struktur makro spesimen suhu 300°C terdapat indikasi cacat slag inclusion pada daerah weld metal dan memiliki lebar rata-rata HAZ 2,31 mm lebih besar dibandingkan dengan *non heat treatment* dan suhu 200°C

### 4. Spesimen *Tempering 400°C*




**Gambar 15 Lebar *HAZ* Suhu 400°C**

**Tabel 5 Rata Rata *HAZ 1* dan *HAZ 2* suhu 400°C**

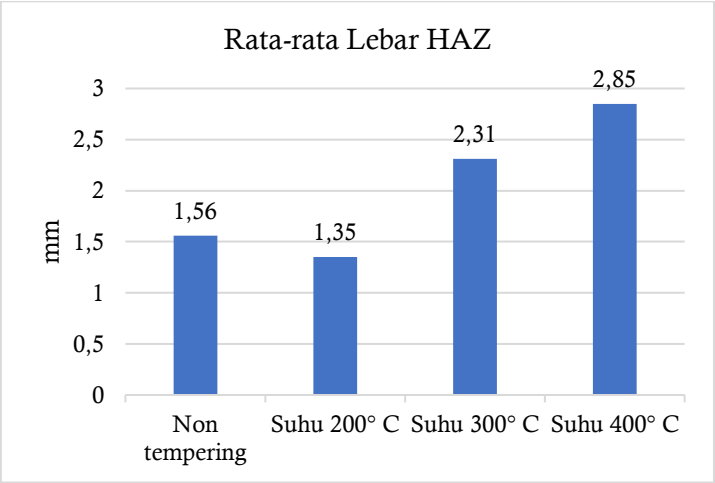
| **Benda Uji** | **Lebar HAZ** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Suhu | Lebar HAZ 1 | | | Lebar HAZ 1 | | |
| 400° C | A | x | Y | A | X | Y |
| | 31,78 $mm^2$ | 11,35 $mm^2$ | 2,8 $mm^2$ | 31,91 $mm^2$ | 11,35 $mm^2$ | 2,9 $mm^2$ |
| **Lebar Rata-Rata HAZ (Y1+Y2)=2,85 mm** | | | | | | |

Hasil analisa menunjukkan pada struktur makro spesimen 400°C menunjukkan tidak adanya indikasi cacat di weld metal sama seperti suhu 200°C, namun memiliki perbedaan pada lebar HAZ. Diketahui lebar rata-rata HAZ 2,85 mm, lebih besar dibandingkan dengan suhu 200°C,300°C dan *non heat treatment.*

## 5. Rekapitulasi

**Tabel 6 Perhitungan Nilai Lebar Rata-Rata *HAZ***

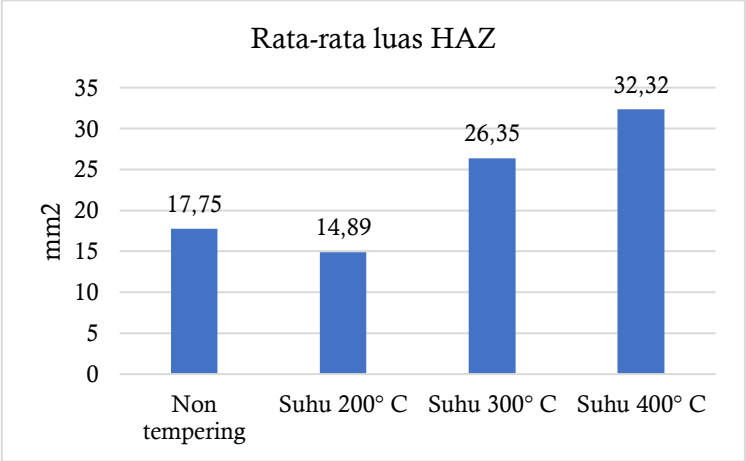
| Benda Uji | Lebar HAZ 1 | Lebar HAZ 2 | Lebar HAZ Rata-Rata |
|---|---|---|---|
| *Non heat treatment* | 1,53 mm | 1,6 mm | 1,56 mm |
| Suhu 200° C | 1,9 mm | 1,86 mm | 1,35 mm |
| Suhu 300° C | 2,23 mm | 2,4 mm | 2,31 mm |
| Suhu 400° C | 2,9 mm | 2,8 mm | 2,85 mm |




**Gambar 16 Grafik Perbandingan Lebar Rata-Rata *HAZ***

**Tabel 7 Perhitungan Nilai Luas Rata-Rata HAZ**

| Benda Uji | Luas HAZ 1 | Luas HAZ 2 | Luas HAZ Rata-Rata |
|---|---|---|---|
| *Non heat treatment* | 17,35 $mm^2$ | 18,16 $mm^2$ | 17,75 $mm^2$ |
| Suhu 200° C | 15,89 $mm^2$ | 13,96 $mm^2$ | 14,89 $mm^2$ |
| Suhu 300° C | 25,35 $mm^2$ | 27,35 $mm^2$ | 26,35 $mm^2$ |
| Suhu 400° C | 31,78 $mm^2$ | 32,91 $mm^2$ | 32,32 $mm^2$ |




**Gambar 17 Grafik Perbandingan Luas Rata-Rata *HAZ***

Dari pengamatan diatas, dapat dilihat bahwa spesimen yang mendapat perlakuan panas tempering pada suhu 200°C memiliki ukuran HAZ yang lebih kecil dari spesimen yang lain, sehingga berdasarkan definisi dari HAZ itu sendiri sebagai area kritis atau area yang rentan terhadap kerusakan material maka penggunaan suhu 200°C bisa dijadikan acuan sebagai suhu yang mampu meminimalisir hal tersebut disamping untu memperbaiki sifat dan karakteristik material logam.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disimpulkan bahwa hasil yang terbaik ditunjukkan pada proses *tempering* dengan suhu 200°C yang di mana tidak terdapat indikasi cacat linear slag inclusion pada daerah weld metal jika dibandingkan dengan suhu 300°C dan *non heat treatment* yang terindikasi cacat slag inclusion. Dan suhu 200°C ini memiliki lebar rata-rata HAZ yang terkecil yaitu sebesar 1,35 mm dan luas HAZ 14,89 $mm^2$, lebih kecil dibandingkan dengan suhu 300°C (lebar 2,31 mm; luas 26,35 $mm^2$), 400°C (lebar 2,85 mm; luas 32,32 $mm^2$) dan *non heat treatment* (lebar 1,56 mm; luas 17,75 $mm^2$).

### Saran

Untuk penelitian berikutnya sebaiknya dilakukan analisa perbandingan *heat treatment* dengan metode lainnya dan pengujiannya ditambahkan dengan pengujian mikroskopik.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat diselesaikan berkat bantuan banyak pihak, oleh karena diucapkan terimakasih kepada;

1. Tim pengelola Laboratorium Metalurgi dan Bahan Politeknik Negeri Madura
2. Tim pengelola Laboratorium Pengelasan Politeknik Negeri Madura
3. Tim penelitian dan tugas akhir di Jurusan Teknologi Kemaritiman Politeknik Negeri Madura

## REFERENSI

Achmadi. (2016). *Pengertian WPS*. Retrieved from www.pengelasan.net: https://www.pengelasan.net/pengertian-wpswelding-procedure-specification-adalah/

American Society for Testing and Material. (2012). In *Standart Method of Macroetch Testing Steel Bars, Billets, Blooms, And Forgings.*

American Welding Society. (2004). In *Spesification for Carbon Steel Electrodes.*

American Welding Society. (2010). In *Under Water Welding Code.*

Amit Joshi, M. (2012). Underwater Welding. *Indian Institut of Technology*.

Ananda, T. F. (2018). Pengaruh Proses Post Weld Heat Treatment Pada Hasil Pengelasan SMAW Terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah. *Fakultas Teknik Universitas Padang.*

Anggraini. (2016). Perbandingan Proses Pengelasan SMAW Pada Lingkungan Darat dan Lingkungan Air Terhadap Ketahanan Uji Bending Weld Join A36. *Departement of Ocean Engineering*.

Arifin, J., & Purwanto, H. (2017). Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Hasil. 1-5.

Baihaqi, I. (2018). Analisa Teknis Sambungan Butt Joint Pada Kontruksi Badan Kapal Pasca Terbakar Dengan Material Baru Berbasis Pendekatan. *Teknik Perkapalan*, 44-50.

Haryadi, G. D. (2006). Pengaruh Tempering Terhadap Kekerasan Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja K-460.

Kusuma, R. C. (2017). Analisa Perbandingan Tarik Impak, Tekuk dan Micrografi Aluminium 5083. *Perkapalan Universitas Punigoro*.

Manurung, V. A. (2020). *Panduan Metalografi.* Jakarta.

Nursahid. (2016, February 06). *Teknik Las SMAW Komponen dan Prosedur*. Retrieved januari 25, 2021, from cnzahid.com: https://www.cnzahid.com/2016/06/teknik-las-smaw-komponen-dan-prosedur.html

Rusiyanto, W. (2012). Pengaruh Variasi suhu post weld heat treatment annaling terhadap sifat mekanis material baja EMS-45 dengan metode pengelasan shielded metal arc welding (SMAW). *fakultas teknik universitas negeri semarang*.

Sandewo, G. P. (2019). Pengaruh Penyambungan Pelat Dari Aspek Teknis Pelat Lama Dengan Pelat Baru Pada Reparasi Pelat Baja Badan Kapal.

Saputra, F. (1985). *Ilmu Pengetahuan Teknologi.* Jakarta: 2011.

Sholeh, B. (2020). perbandingan kekuatan bending dan tarik pada pengelasan FCAW dengan tebal plat yang berbeda dengan metode non champering.

Siswanto, R. (2018). *Teknologi Pengelasan (HMKB791).*

Soejitno. (2002). Diktat Reparasi Kapal. *Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya*.

Suzuki. (2019). *Tips dan Trik*. Retrieved 2021, from www.suzuki.co.id: https://www.suzuki.co.id/tips-trik/ayo-mengenal-lebih-dekat-apa-itu-kapal

Wiryosumarto, H. T. (1996). Teknologi Pengelasan Logam.

Zaki, A. F. (2008). Analisa Kekuatan Tarik Penyambungan Pelat Dengan Ketebalan Berbeda Pada Tipe Sambungan Butt Join. *Teknik Perkapalan*, 152-158.