

# Analisis Pengaruh Variasi *Heat Straightening Temperature* dan *Taper Angle* pada Pengelasan Beda Ketebalan (*Unequal Thickness*) SM 490YA terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro

Agwitya Naufan Kinanda<sup>1</sup>, Bachtiar<sup>2</sup>, Mochammad Karim Al Amin<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111<sup>1\*</sup>

Email : [agwityanaufan@student.ppns.ac.id](mailto:agwityanaufan@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>, [bachtiar@ppns.ac.id](mailto:bachtiar@ppns.ac.id)<sup>2</sup>, [karim@ppns.ac.id](mailto:karim@ppns.ac.id)<sup>3</sup>

**Abstract** – The heat straightening process is one of the deformation straightening methods after the welding process. In this research, the effect of heat straightening temperature and taper angle was analyzed on toughness, hardness, and microstructure. This study used SM490YA material with heat straightening temperature variations of 600°C, 700°C and 800°C as well as taper angle variations of 0:0 and 1:2.5 on a metal base with a thickness of 20 mm connected to a plate with a thickness of 14 mm using a single V connection design. -Grooves. Then visual test, impact test, hardness test, two-way ANOVA analysis, and microstructure test were carried out. Visual test results showed no defects in all test specimens. From the results of the impact energy on the HAZ the highest value is 114 J while the lowest impact energy value is 35 J. The vickers hardness test results the highest average value is obtained at 171.7 HVN while the lowest average value is 131.24 HVN. Then for the microstructure test results obtained in this study there are several phases including ferrite, acicular ferrite, and pearlite.

**Keyword:** Mechanical properties, Heat straightening temperature, Taper transition, Unequal thickness.

## 1. PENDAHULUAN

Pengelasan sangat berperan penting terhadap pengerjaan sebuah konstruksi. Pengelasan merupakan proses penyambungan logam yang dilakukan dengan mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi pada material yang disambung dengan cara dengan atau tanpa menggunakan tekanan dan dengan atau tanpa logam pengisi (Utama, 2020).

Salah satu permasalahan yang sering dijumpai setelah proses pengelasan adalah terjadinya deformasi akibat masukan panas pada saat pengelasan serta proses pendinginan material setelah pengelasan yang relatif cepat. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dilakukan proses *heat straightening* dengan batasan temperatur yang telah diatur dalam standart dan seringkali diabaikan dalam proses pelaksanaannya. Serta tidak jarang terdapat beberapa parameter yang kurang diperhatikan dalam pelaksanaan proses pengelasan seperti penggunaan *taper transition* ketika dilakukan pengelasan beda ketebalan (*unequal thickness*).

Pada AWS D1.1 : 2020 *Clause 11* tertera suhu maksimal untuk *other steel* adalah 650°C, namun pada aktualnya temperatur yang digunakan mencapai 800°C. Dugaan awal penulis hal tersebut akan mempengaruhi *mechanical properties* dikarenakan telah melewati temperatur A1 (723°C) dan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sohn dkk (2018) tentang penggunaan suhu *heat straightening* yang tidak sesuai akan berpengaruh terhadap *mechanical properties* berupa peningkatan pada kekuatan tarik dan diikuti dengan penurunan pada nilai ketangguhan. Dugaan tersebut juga diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh

Leksonowati dkk (2021) tentang pengaruh *flame straightening* terhadap kekerasan material HSLA didapatkan hasil berupa peningkatan nilai kekerasan pada variasi suhu 800°C

Proses pengelasan umumnya dilakukan pada material dengan ketebalan yang sama, akan tetapi dalam proses perakitan *beam* yang telah jadi akan disambung dengan *bracket* yang tidak jarang memiliki ketebalan yang berbeda atau *unequal thickness*. Sehingga, harus dilakukan *taper transition* pada material yang lebih tebal berdasarkan pada AWS D1.1 2020 Figure 4.17.

Berdasarkan permasalahan diatas, penulis melakukan penelitian terhadap pengaruh variasi *heat straightening temperature* dan sudut *taper transition* pada pengelasan beda ketebalan (*unequal thickness*).

## 2. METODOLOGI .

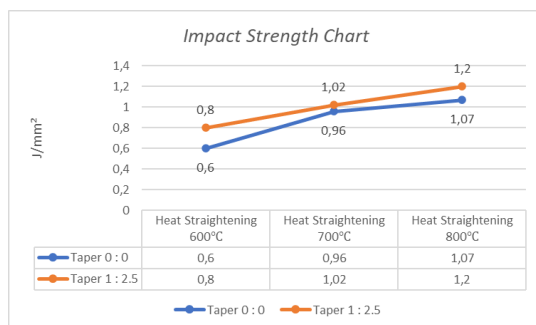
Penelitian ini dilakukan secara ekperimental dengan membuat sambungan pengelasan berbeda ketebalan yang telah mengalami proses *heat straightening* menggunakan material SM 490YA dengan proses pengelasan FCAW. Tes kupon berjumlah 2 *joint* tiap variasi *heat straightening temperature* dengan 1 *joint* untuk variasi *taper transition* 0 : 0 dan 1 *joint* untuk variasi *taper transition* 1 : 2.5 dengan dimensi tiap – tiap tes kupon adalah 400x400 mm. Variasi *heat straightening*

temperature yang digunakan adalah 600°C, 700°C, 800°C. Filler metal yang digunakan pada penelitian ini adalah filler metal E71T-1C. Desain sambungan butt joint dengan bentuk kampuh single-V groove sudut kampuh 35° dan root opening sebesar 6 mm menggunakan backing ceramic. Parameter pengelasan yang digunakan pada penelitian ini disesuaikan dengan Welding Procedure Specifications (WPS). Dengan menggunakan arus sebesar 149 – 231 A, voltase 22-28 V, dan polaritas DECP. Setelah proses pengelasan dilakukan, tes kupon dipotong dan dibentuk menjadi spesimen uji. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik pada penelitian ini adalah pengujian ketangguhan (impact test) dan pengujian kekerasan (hardness test), serta dilakukan micro examination untuk mengetahui struktur mikro.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Pengujian Impact

Berikut adalah grafik rata-rata nilai pengujian ketangguhan (impact strength) tiap specimen dapat dilihat pada Gambar 1.



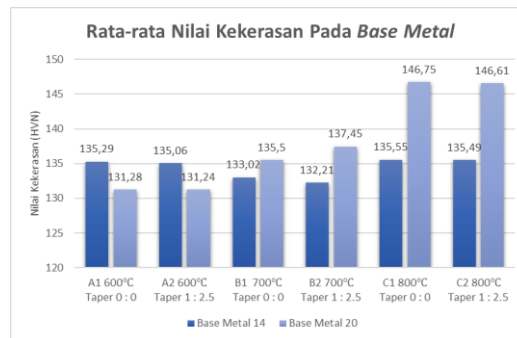
Gambar 1. Grafik Rata-Rata Nilai Pengujian Impact

Berdasarkan grafik rata-rata nilai pengujian impact, setiap kenaikan variasi heat straightening temperature diikuti peningkatan nilai ketangguhan serta nilai ketangguhan meningkat ketika material mendapatkan perlakuan taper transition 1 : 2.5. Nilai ketangguhan terbesar didapatkan pada variasi heat straightening temperature 800°C dan variasi taper transition 1 : 2.5 dengan rata-rata nilai ketangguhan 1.2 J/mm<sup>2</sup>, sedangkan rata-rata nilai ketangguhan terkecil didapatkan pada variasi heat straightening temperature 600°C dan variasi taper transition 0 : 0 dengan rata-rata nilai ketangguhan 0.6 J/mm<sup>2</sup>.

#### 3.1 Hasil Pengujian Hardness

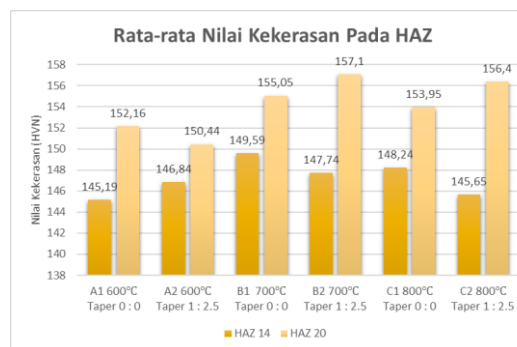
Pengujian hardness dilakukan pada daerah base metal ketebalan 14 mm dan 20 mm, HAZ ketebalan 14 mm dan 20 mm serta weld metal, dengan masing-masing daerah dilakukan 3 indentasi. Grafik rata-rata hasil pengujian hardness pada daerah base metal dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Hardness pada Base Metal



Dari hasil grafik diatas dapat dilihat peningkatan heat straightening temperature pada base metal menyebabkan terjadinya peningkatan nilai kekerasan dibandingkan dengan base metal tanpa perlakuan heat straightening. Grafik rata-rata hasil pengujian hardness pada daerah HAZ dapat dilihat pada Gambar 3.

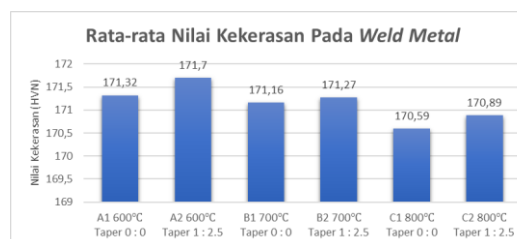
Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Hardness pada HAZ



Pada daerah HAZ peningkatan heat straightening temperature juga diikuti peningkatan nilai kekerasan. Grafik rata-rata pengujian kekerasan pada daerah weld metal dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Hardness pada Weld Metal

Dari keseluruhan pengujian hardness

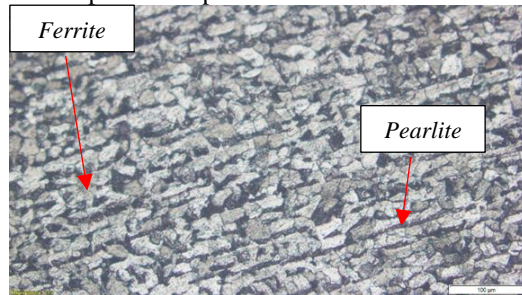


didapatkan nilai terkecil terdapat pada daerah base metal dengan nilai kekerasan 131.24 HVN dan nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada daerah weld metal dengan nilai kekerasan 171.7 HVN. Dengan peningkatan heat straightening temperature diikuti dengan peningkatan nilai kekerasan, sejalan dengan penelitian sebelumnya dimana penggunaan metode heat straightening pada material carbon steel mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai ketangguhan serta peningkatan nilai kekerasan dibandingkan dengan material tanpa proses heat straightening. (Kowalkowski, 2007).

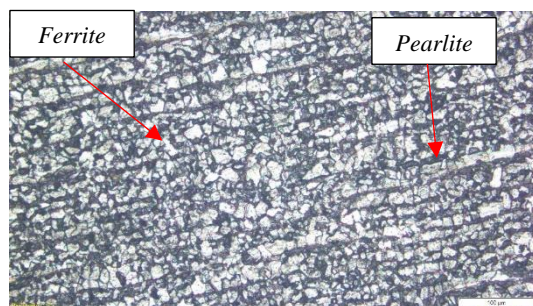


### 3.3 Hasil Micro Examination

Sama seperti pada pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro dilakukan pada daerah *base metal* dengan ketebalan 14 mm dan 20 mm, HAZ dengan ketebalan 14 mm dan 20 mm, serta pada daerah *weld metal*. Hasil pengujian struktur mikro pada daerah *base metal* dengan variasi *heat straightening temperature* 800°C dan *taper transition* 0 : 0 dapat dilihat pada Gambar 5.



(a)

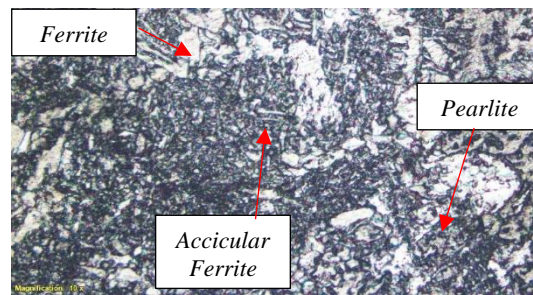
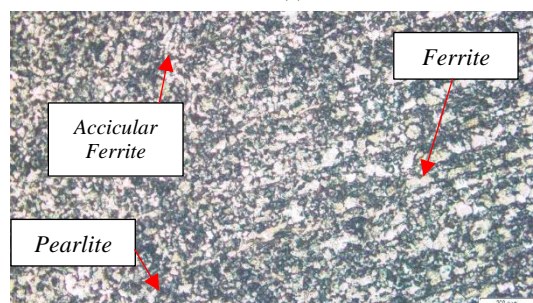


(b)

Gambar 5. Hasil Struktur Mikro Perbesaran 200x (a) *Base Metal* Ketebalan 14 mm Tanpa Perlakuan *Heat Straightening*; dan (b) *Base Metal* Dengan Ketebalan 20 mm Dengan Variasi *Heat Straightening Temperature* 800°C

Dari hasil pengujian struktur mikro pada daerah *base metal* dengan variasi *heat straightening temperature* 800°C terlihat pertumbuhan dan persebaran *pearlite* lebih merata dibandingkan dengan *base metal* tanpa perlakuan *heat straightening*, hal tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan nilai kekerasan pada material. Hasil pengujian struktur mikro pada daerah HAZ ketebalan 14 mm dan 20 mm dengan variasi *heat straightening temperature* 800°C dapat dilihat pada Gambar 6.

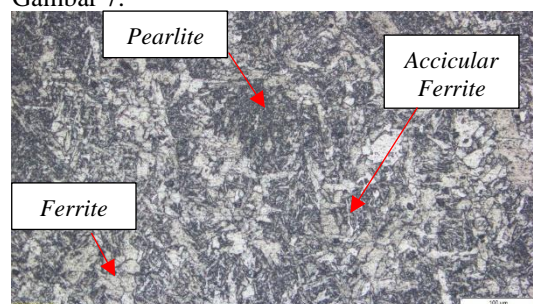
(a)



(b)

Gambar 6. Hasil Struktur Mikro Perbesaran 200x (a) HAZ Ketebalan 14 mm Tanpa Perlakuan *Heat Straightening*; dan (b) HAZ Dengan Ketebalan 20 mm Dengan Variasi *Heat Straightening Temperature* 800°C

Dari Gambar 6. diatas didapatkan daerah HAZ telah mengalami siklus *thermal* dan pendinginan yang relatif lebih cepat sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan struktur mikro (Wirjosumarto & Okumura, 2000). Struktur mikro yang muncul pada daerah HAZ adalah *accicular ferrite* (AF), *ferrite* (F), dan *pearlite* (P). Terlihat pada setiap kenaikan variasi *heat straightening* terlihat persebaran *accicular ferrite* dan *pearlite* lebih tersebar dibandingkan dengan daerah HAZ tanpa perlakuan *heat straightening*. Peningkatan persebaran *accicular ferrite* tersebut mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai ketangguhan sekaligus nilai kekerasan pada material. Hasil pengujian struktur mikro pada daerah *weld metal* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Struktur Mikro Perbesaran 200x pada Daerah *Weld Metal*

Dari hasil Gambar 7. struktur mikro pada *weld metal* terlihat tidak jauh berbeda dengan struktur mikro pada HAZ, yang membedakan adalah persebaran *pearlite*, *accicular ferrite*, maupun *ferrite* lebih merata. Dimana hal tersebut menyebabkan meningkatnya nilai kekerasan pada daerah *weld metal*. Hal tersebut juga didukung oleh uji mekanik *hardness vickers* yang dilakukan dalam penelitian ini menghasilkan nilai kekerasan paling tinggi berada pada daerah *weld metal*.

### 4. KESIMPULAN

1. Dari hasil pengujian *impact* yang telah dilakukan didapatkan nilai ketangguhan terbesar didapatkan pada variasi *heat straightening temperature* 800°C dan variasi *taper transition* 1 : 2.5 dengan rata-rata nilai ketangguhan 1.2 J/mm<sup>2</sup>, sedangkan rata-rata nilai ketangguhan

terkecil didapatkan pada variasi *heat straightening temperature* 600°C dan variasi *taper transition* 0 : 0 dengan rata-rata nilai ketangguhan 0.6 J/mm<sup>2</sup>. Dan dapat disimpulkan setiap kenaikan *heat straightening temperature* dan perlakuan *taper transition* 1 : 2.5 diikuti peningkatan nilai ketangguhan pada material.

2. Dari hasil pengujian *hardness vickers* didapatkan nilai kekerasan material paling tinggi berada pada daerah *weld metal* dengan nilai kekerasan 171.7 HVN dan nilai kekerasan paling kecil pada daerah *base metal* dengan nilai kekerasan 131.24 HVN. Berdasarkan hasil uji analisis anova dua arah disimpulkan tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari variasi *heat straightening temperature* dan variasi *taper transition* terhadap nilai kekerasan.
3. Peningkatan *heat straightening temperature* dan variasi *taper transition* menyebabkan peningkatan pertumbuhan *acicular ferrite* pada daerah HAZ. dengan bertambahnya *acicular ferrite* pada logam las menyebabkan terjadi peningkatan nilai *impact strength* (ketangguhan) dan diikuti peningkatan nilai kekerasan pada material. Hal ini dapat dilihat dari hasil uji mekanik *impact test* dan *hardness vickers test* yang menunjukkan peningkatan nilai ketangguhan dan kekerasan pada setiap peningkatan *heat straightening temperature* dan variasi *taper angle*.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan, kepercayaan, doa, serta dukungan berupa tenaga, pikiran, materi, maupun moril. Diantaranya penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Waloya Eka Widiwiyono dan Ibu Endah Sulistyani yang tidak pernah putus dalam mendoakan, memberikan dukungan baik moril maupun materil kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., FRINA Selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Ruddianto, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Bangunan Kapal.
4. Bapak Moh Syaiful Amri, S.ST., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Pengelasan.
5. Bapak Mukhlis, ST., M.T Selaku Koordinator Tugas Akhir.
6. Bapak Bachtiar S.T., M. T Selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, membantu dan memberikan masukan yang sangat bermanfaat serta

mengarahkan penulis selama proses penyelesaian Tugas Akhir.

7. Bapak Mochammad Karim Al Amin S.ST., MT. Selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, membantu dan memberikan masukan yang sangat bermanfaat serta mengarahkan penulis selama proses penyelesaian Tugas Akhir.
8. Dosen pengajar dan staff progam studi D4 - Teknik Pengelasan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah membantu dan berbagi ilmu yang bermanfaat.
9. Bapak Condro Widiyanto selaku D. G. QA/QC Manager PT. Korindo Heavy Industry, yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama pelaksanaan OJT.
10. Bapak Andika Eka Putra. Selaku Staf QA/QC Department PT. Korindo Heavy Industry, yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama pelaksanaan OJT.
11. Bapak Marseline Andre Hermawan. Selaku alumni Teknik Pengelasan 2017 serta Staf Production Department PT. Korindo Heavy Industry, yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama pelaksanaan OJT.
12. Seluruh Staf QA/QC Department PT. Korindo Heavy Industry, yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama pelaksanaan OJT.
13. Saudara Fajar Bayu Bagas Koro, Saudara, Eka Bima Fadzikri, Saudara Abyan Naufal Aldiza Arifin, dan Saudara Azriel Harsa Novaldi yang telah memberikan dukungan serta telah menjadi tim yang solid selama masa OJT hingga penyelesaian Tugas Akhir.
14. Seluruh teman-teman D4 Teknik Pengelasan 2019 yang selalu mendukung dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

## 6. PUSTAKA

- [1] American Welding Society. (2020). AWS D1. 1/D1. 1M:2020, Structural Welding Code - Steel An American National Standard. In *American Welding Society*.
- [2] American Welding Society. (2005). AWS A5. 20/A5.2M:2005, Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding. In *American Welding Society*.
- [3] HYUNDAI WELDING VINA CO ., L. . (2022). *Mill Certificate filler metal SC-71LH-MF22120J71-E71T1-C*, 2022.

- [4] Japanese Standards Association. (2015). JIS G 3106:2015, Rolled Steel for Welded Structure. In *Japanese Standards Association*.
- [5] Kowalkowski, K. (2007). Effects Of Multiple Damage-Heat Straightening Repairs On Steel Beams
- [6] Leksonowati, N.F.P., & Faris, S.A. (2021). Studi Pengaruh *Flame Straightening* Terhadap Kekerasan Material *High Strength Low Alloy (HSLA)*, *JATRA*, 2685-4910.
- [7] POSCO, K. (2019). Mill Test Certificate Sertifikat Pengujian Pabrik.
- [8] Sohn, Y. M., Varma, A. H., & Connor, R. J. (2018). Effects of Imperfections in Heat Straightening Repair of Steel Beam Bridges.
- [9] Utama, I., Pramudya, I.S., & Pranatal, E., Pengaruh Variasi Arus Las Pada Pengelasan FCAW Dari Material Baja Kapal ASTM SS 400. *SEMITAN II Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*
- [10] Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (2000). Teknologi Pengelasan Logam. In *PT PRADNYA PARAMITA* (Vol. 8).