

# PENGARUH VARIASI TEMPERATUR INTERPASS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN FRAKTOGRAFI HAZ HASIL PENGELASAN GMAW METODE *TEMPER BEAD WELDING* PADA BAJA KARBON SEDANG

Ahmadil Amin

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Kotabaru  
Jl. Raya Stagen Km. 9,5 Kotabaru. Kalimantan Selatan  
*E-mail: ahmadil.poltek\_ktb@yahoo.co.id*

## ABSTRAK

Kekuatan dan ketangguhan sambungan las berkaitan erat dengan struktur mikro yang terbentuk setelah proses pengelasan, yaitu ketika proses pendinginan berlangsung. Temperatur interpass sering kali tidak diperhatikan dalam proses pengelasan di lapangan. Temperatur Interpass pada Temper Bead Welding dapat mempengaruhi laju pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk pada daerah las. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur interpass terhadap struktur mikro dan fraktografi HAZ hasil pengelasan GMAW metode Temper Bead Welding pada baja karbon sedang, dengan variasi temperatur interpass 75<sup>o</sup>C, 100<sup>o</sup>C, 125<sup>o</sup>C, dan 150<sup>o</sup>C. Elektroda yang digunakan E70S-6 diameter 0,8 mm. Sebagai gas pelindung selama pengelasan digunakan 100% gas CO<sub>2</sub>. Analisis data dilakukan melalui analisis struktur mikro (metalografi) dan analisis fraktografi. Peningkatan temperatur interpass sampai dengan 150<sup>o</sup>C memperlihatkan terjadinya peningkatan struktur bainit. Peningkatan temperatur interpass juga memberikan bentuk cleavage yang semakin lebar.

**Kata kunci:** Temperatur Interpass, HAZ, GMAW, Temper Bead Welding, Baja karbon sedang.

## PENDAHULUAN

Selama proses pengelasan berlangsung, logam las dan HAZ akan mengalami serangkaian siklus thermal berupa pemanasan sampai mencapai suhu maksimum dan diikuti dengan pendinginan. Panas yang terjadi akan mempengaruhi distribusi suhu, tegangan sisa (residual stress), dan distorsi. Selain itu panas juga mempengaruhi transformasi fasa yang selanjutnya berpengaruh pada struktur mikro dan

sifat-sifat fisik dan mekanik las. Proses terbentuknya struktur mikro berkaitan erat dengan fenomena laju pendinginan yang terjadi. Mengingat faktor laju pendinginan mempunyai arti yang sangat krusial pada temperatur kritis (antara 800<sup>o</sup>C sampai dengan 500<sup>o</sup>C) karena pada temperatur ini sangat rentan sekali akan terbentuknya fasa-fasa keras yang sangat tidak diharapkan yang dapat menimbulkan kemungkinan terjadinya cacat pengelasan yang dapat mengurangi ketangguhan hasil las. Melalui Temper Bead Welding secara tidak langsung telah

dilakukan usaha penurunan penggetasan. Dalam hal ini lapisan las yang ada di bawah dipanaskan oleh lapisan di atasnya sehingga dicapai temperatur di atas titik transformasi  $Ac_3$  yang menyebabkan terbentuknya butir-butir kristal yang halus. *Temperatur Interpass* dapat mempengaruhi cepat lambatnya laju pendinginan dan turut menentukan prosentasi terbentuknya *accicular ferrite*, laju pendinginan lebih lambat akan terbentuk *accicular ferrite* yang lebih banyak. *Accicular ferrite* ini merupakan struktur yang diharapkan dari setiap proses pengelasan karena memiliki *properties* yang lebih tangguh. Kapan harus dilakukan pengelasan pada setiap layer ditentukan melalui pengontrolan temperatur antar layer (*Temperatur Interpass*).

Oleh karenanya kajian untuk mengetahui pengaruh variasi temperature interpass terhadap struktur mikro dan permukaan patahan (*fraktografi*) HAZ hasil pengelasan GMAW metode *Temper Bead Welding* pada baja karbon sedang menjadi sangat penting untuk dipelajari.

### Baja Karbon

Baja merupakan salah satu jenis logam ferro (Fe) dengan unsur carbon (C) 1,7%. Di samping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh prosentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja.

Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam yaitu :

1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah dan tidak dapat dikeraskan.
2. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon 0,3% C – 0,45% C. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.
3. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung 0,45% – 1,7% C, memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah.

### Las Listrik Gas Metal

#### (*Gas Metal Arc Welding/GMAW*)

Las listrik gas metal atau Gas Metal Arc Welding (GMAW) adalah proses las listrik yang menggunakan busur listrik yang berasal dari elektrode yang dipasang terus-menerus secara tetap dari suatu mekanisme ke kolam las (Sri Widharto, 2007). Untuk mencegah terjadinya oksidasi, pengelasan ini dilindungi oleh aliran gas lindung yang dapat berupa gas aktif, misalnya  $CO_2$ , sehingga disebut *Metal Active Gas* (MAG) atau gas inert (misalnya argon) sehingga disebut *Metal Inert Gas* (MIG). Menurut Sri Widharto (2007), beberapa variabel las GMAW yang mempengaruhi penetrasi, ukuran jalur (*bead geometry*) dan mutu keseluruhan las adalah :

- 1) Arus pengelasan
- 2) Polaritas
- 3) Tegangan busur (*arc voltage*) atau panjang busur
- 4) Diameter elektrode
- 5) Kecepatan Pengelasan
- 6) Orientasi elektrode (*trail or lead angle*)

7) Komposisi gas lindung dan laju aliran gas

**Struktur Mikro dan Sifat-Sifat Mekanik**

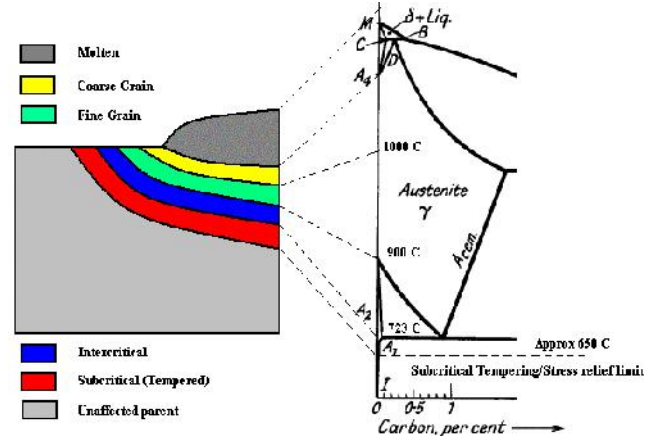
Pada proses pengelasan, transformasi  $\gamma$  (austenit)  $\alpha$  (ferit) merupakan tahap yang paling krusial karena struktur mikro logam las yang berarti juga sifat-sifat mekanisnya sangat ditentukan pada tahap ini. Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi  $\gamma$  (austenit) ke  $\alpha$  (ferit) adalah masukan panas (heat input), komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las seperti ditunjukkan oleh diagram CCT (*Continuous Cooling Transformstion*), struktur mikro logam las baja terdiri dari kombinasi dua atau lebih fasa-fasa berikut yang disusun berdasarkan suhu pembentuknya :

1. Ferit batas butir (*grain boundary ferrite*), terbentuk antara suhu 1000 sampai 650 °C sepanjang batas butir austenit.
2. Ferit Widmanstatten (*Widmanstatten ferrite side plates*), terbentuk antara suhu 1000 sampai 650 °C
3. Ferit acicular (*acicular ferrite*), terbentuk antara suhu 650 °C
4. Bainit, terbentuk antara suhu 500 °C
5. Martensit, terbentuk jika proses pendinginannya sangat cepat.

**Prinsip metalurgi Temper Bead Welding**

Untuk memahami apa yang terjadi di HAZ akibat proses *Temper Bead Welding*, perlu untuk mendefinisikan istilah-istilah terkait dalam diagram fase besi-karbon seperti pada Gambar 1. Selama pengelasan dapat terbentuk empat sub-zona dalam HAZ menurut suhu maksimum yang terjadi dan durasi waktu pada saat suhu maksimum tersebut. Sub-

zona ini adalah: (1) *Sub-critical* : 650 - 723°C; (2) *Inter-critical*: 723 - 900°C; (3) *Fine Grain*: 900 - 1000°C; (4) *Coarse Grain* > 1000°C < titik lebur.



Gambar 1. Prinsip metalurgi Temper Bead Welding (Walter J. Sperko ,2005)

Pembentukan sub-zona ini ditentukan oleh karakteristik transformasi dari baja. Garis putus-putus yang menghubungkan diagram fase besi-karbon dengan sub-zona HAZ disebelah kiri menunjukkan perubahan yang terjadi selama proses pengelasan.

**Fraktografi**

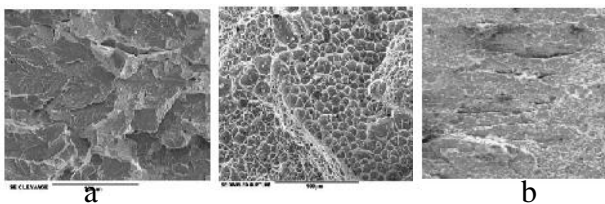
Fraktografi adalah ilmu metalurgi fisik yang mempelajari permukaan patahan. Informasi penting mengenai sifat patah suatu bahan dapat diamati melalui pemeriksaan mikroskopik permukaan patah.

Penampakan utama atau mode patahan yang diamati dalam analisis mikro-fraktografi secara umum adalah belahan (*cleavage*), *dimple* dan *beach marks*.

1. *Cleavage* merupakan penampakan patah yang transgranular atau lintas butiran. Penampakan lintas butiran ini akan lebih jelas dalam pemeriksaan metalografi. Patah jenis ini merupakan jenis patah getas yang umumnya terjadi pada temperatur rendah, terjadi pada

kondisi tegangan triaksial yang tinggi pada sebuah takikan atau terjadi pada deformasi laju tinggi seperti pada pembebanan impak. Patah jenis ini juga dapat diakibatkan oleh faktor-faktor lingkungan. Patah transgranular dicirikan oleh bentuk kipas atau sungai yang memiliki anak-anak sungai. Arah perambatan retak seperti halnya pada arah aliran sungai yaitu menuju ke hilir, seperti pada gambar 2a.

2. *Dimple* merupakan penampakan khas patah ulet yang akan terlihat bila menggunakan SEM. Arah dan bentuk dimple ini dapat menunjukkan arah/jenis tegangan yang membentuknya. Dimple ini dicirikan dengan adanya cekungan-cekungan yang berbentuk sama sumbu, parabola, atau seperti elips, yang mana tergantung pada keadaan tekanan beban, seperti pada gambar 2b.
3. *Beach Marks* umumnya terlihat pada kerusakan lelah yang diakibatkan oleh beban dinamik (pembebanan berulang), seperti pada gambar 2c.



c  
Gambar 2. Contoh penampakan pada mikro-fraktografi

## METODE PENELITIAN

Bahan penelitian yaitu baja karbon sedang (S45C). Pengisian kampuh las menggunakan pengelasan berlapis dengan masukan panas 4,26 Kj/cm. Pengelasan *Temper Bead Welding* dilakukan dengan masukan panas 4,26 Kj/cm. variasi temperatur interpass 75°C, 100°C,

125°C, dan 150°C. Elektroda yang digunakan E70S-6 diameter 0,8 mm. Sebagai gas pelindung selama pengelasan digunakan 100% gas CO<sub>2</sub>. Pengujian impak dilaksanakan menurut standar ASTM E 23-96. Analisis data dilakukan melalui analisis struktur mikro (metalografi) dan analisis fraktografi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama proses pengelasan, pada daerah logam las dan HAZ akan mengalami serangkaian siklus termal, yaitu pemanasan sampai mencapai suhu tertentu yang kemudian diikuti dengan pendinginan. Siklus termal tersebut mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik logam las dan HAZ.

Pengelasan dengan metode *Temper Bead welding* menyebabkan logam las dan daerah terpengaruh panas yang ada di bawahnya akan mengalami pemanasan kembali (*reheating*). Selama proses pemanasan kembali (*reheating*) logam las mengalami pemanasan hingga temperatur austenit yang dapat melarutkan berbagai paduan yang terdapat dalam baja.

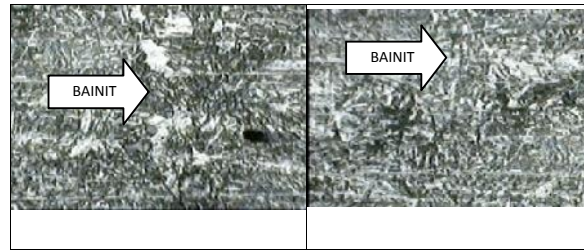
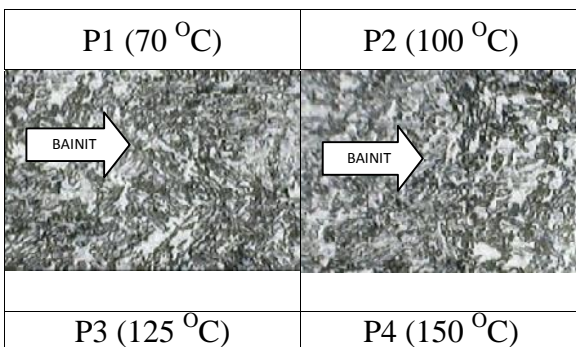
Oleh karenanya masukan panas yang diberikan selama pengelasan menjadi sangat penting karena dapat diprediksi mikrostruktur akhir yang akan terbentuk. Masukan panas yang semakin besar akan menghasilkan temperatur puncak yang semakin tinggi dan *gradient* temperatur terhadap waktu pendinginan yang semakin besar. *Gradient* yang semakin besar menunjukkan *cooling rate* atau laju pendinginan pasca pengelasan semakin tinggi.

*Temper bead welding* yang dilakukan secara berlapis (multi layer) menyebabkan terjadi pendinginan yang tidak kontinyu. Selama pengelasan daerah las akan mengalami pendinginan dari suhu yang lebih tinggi hingga mencapai

temperatur interpass dan kemudian akan mengalami pemanasan kembali oleh lapisan selanjutnya. Kondisi ini akan menyebabkan terjadinya struktur mikro dengan karakteristik masing-masing sesuai karakteristik transformasinya.

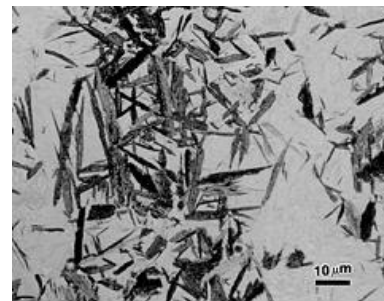
*Heat Affected Zone* adalah daerah pada logam induk yang berdekatan dengan logam las. Selama proses pengelasan daerah ini mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan agak cepat (sedang), sehingga daerah ini merupakan daerah yang paling kritis pada sambungan las. Perubahan struktur mikro yang terjadi pada HAZ akibat perubahan suhu interpass memperlihatkan dominasi struktur *ferrite* pada temper bead welding dengan temperatur interpass 70 °C. Seiring peningkatan temperatur interpass memperlihatkan penurunan jumlah struktur *ferrite* dan peningkatan jumlah struktur *bainite*. Untuk pengelasan temper bead welding dengan suhu interpass 150 °C memperlihatkan struktur *bainite* yang lebih banyak dibandingkan dengan benda uji lainnya.

Dari Gambar 3 tampak bahwa struktur mikro pada HAZ yang diamati dengan mikroskop optik pada perbesaran 400 kali terdiri dari *ferrite* dan *bainite*.



Gambar 3. Struktur mikro *Heat Affected Zone* ( HAZ ) pembesaran 400X

Pengamatan struktur *bainite* menggunakan mikroskop elektron ditunjukkan pada Gambar 4 dimana tampak struktur *bainite* berupa *ferrite* yang tumbuh dari batas butir austenite yang berbentuk pelat dengan (Fe<sub>3</sub>C) berada di antara plat-plat tersebut.

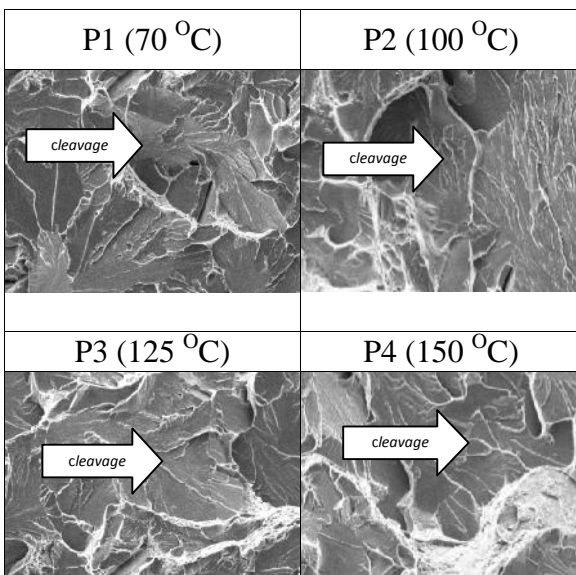


Gambar 4. Struktur mikro bainite, pengamatan dengan mikroskop elektron

Hasil foto SEM permukaan patahan HAZ pada gambar 5 menunjukkan jenis patahan yang terjadi adalah patah *cleavage* yang merupakan penampakan patah yang *transgranular* atau lintas butiran. Patah *transgranular* dicirikan oleh bentuk yang seperti kipas. Peningkatan temperatur interpass memberikan bentuk *cleavage* yang semakin lebar disertai adanya bentuk seperti *dimple*.

Hasil foto SEM permukaan patahan HAZ pada temperatur interpass 70 °C tampak

jenis patahan *cleavage*, terdapat indikasi adanya retak tetapi belum sampai terjadi bidang patahan. Hasil foto SEM permukaan patahan HAZ pada temperatur interpass 150 °C tampak jenis patahan *cleavage*, dengan bentuk yang lebih lebar dan bidang patahannya lebih dalam dari pada benda uji dengan temperatur interpass 70 °C. terlihat adanya alur yang memperlihatkan bidang dengan sedikit dimple. Keadaan ini dapat menjadi pertanda bahwa perlakuan ini memiliki sifat ketangguhan yang lebih baik.



Gambar 5. Hasil foto SEM permukaan patahan HAZ pembesaran 500X

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan temperatur interpass memperlihatkan pengurangan jumlah struktur *ferrite* dan penambahan jumlah struktur *bainit*.

2. Peningkatan temperatur interpass memberikan bentuk *cleavage* yang semakin lebar disertai adanya bentuk seperti *dimple*.

## REFERENSI

- [1] Anang Setiawan dan Yusa Asra Yuli Wardana. 2006. *Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding pada Baja SM 490*. Jurnal Teknik Mesin Vol.8, No.2(10).
- [2] Arianto Leman S. dan Suharno. 2004. *Pengaruh kecepatan pengelasan pada SAW baja SM 490 terhadap ketangguhan beban impak*. Jurnal Teknik Mesin Vol.6, No.2(10).
- [3] Kou S. 1999. *Welding Metallurgy*. John Wiley & Son. New York.
- [4] Sri Widharto, 2007, *Menuju juru las tingkat dunia*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [5] Suharno. 2008. *Prinsip-Prinsip Teknologi dan Metalurgi Pengelasan Logam*. UNS Press. Surakarta.
- [6] Suharno. 2008. *Struktur Mikro Las Baja C-Mn Hasil Pengelasan Busur Terendam dengan Variasi Masukan Panas*. Jurnal Teknik Mesin Vol.10. No.1 (4).
- [7] Subarmono dan Jasmari. 1999. *Pengaruh pemanasan lokal terhadap ketangguhan dan laju perambatan retak plat baja "grade B"*. Jurnal Media Teknik No.1 Tahun XXI Edisi Pebruari No. ISSN 0216-3012.

- [8] Walter J. Sperko. 2005. *Exploring Temper Bead Welding*, Welding Journal, pp37 to 40
- [9] Wiryosumarto, H. dan Okumura, T., 1994, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.