

Pengaruh PWHT dan *Preheat* pada Kualitas Pengelasan *Dissimilar Metal* antara Baja Karbon (A-106) dan Baja Tahan Karat (A312 TP-304H) dengan *Filler Metal* Inconel 82

Sri Nugroho, Wiko Sudiarso*

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

*E-mail: wiko_89@yahoo.com

ABSTRAK

Sebuah alat di Primary Reformer adalah suatu alat yang dioperasikan pada suhu 600-800°C dan tekanan 30-40 kg/cm². Primary reformer dibuat material yang berbeda, material baja karbon (flange) dan material baja tahan karat(top tube). Kedua material tersebut disambung dengan menggunakan las GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) dengan filler metal inconel 82. Namun ditemukan kobocoran (disbonding) antara sambungan pada material baja karbon dan weld metal. Tugas Akhir ini meneliti pengaruh preheat dan PWHT terhadap kualitas hasil pengelasan DMW. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini dapat mengungkap lebih jelas penyebab kebocoran pada pipa Primary Reformer di atas. Beberapa pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain : PWHT (tungku heatreatment), struktur mikro (mikroskop optik), dan nilai kekerasan (mikro vikers). Pengujian struktur mikro didapatkan hasil pelebaran ukuran dark band efek dari variasi temperatur PWHT pada batas fusi sambungan baja karbon dan weld metal, serta terjadi pengkasaran butir pada daerah HAZ baja karbon yang berstruktur full ferit. Nilai kekerasan pada daerah dark band ini lebih tinggi dibanding daerah lainnya, dan menurunnya nilai kekerasan pada daerah HAZ baja karbon. Turunya nilai kekerasan pada HAZ baja karbon dapat menimbulkan kegagalan jika komponen ini semakin lama dipakai pada aplikasi tersebut.

Kata Kunci: Primary Reformer, disbonding, DMW, preheat, PWHT, struktur mikro, nilai kekerasan, dark band, pengkasaran butir.

PENDAHULUAN

Terdapat sebuah alat di PT. X yang bernama Primary Reformer adalah suatu alat yang dioperasikan pada suhu 600-800°C dan tekanan 30-40 Kg/cm². Alat ini berbentuk tube yang berfungsi untuk memecahkan gas hydrocarbon menjadi hidrogen. Proses ini selanjutnya dinamakan reforming, dan proses reaksi ini memerlukan temperatur dan tekanan tinggi. Primary reformer dibuat material yang berbeda, pada flange menggunakan material baja karbon dan pada top tube menggunakan material baja tahan karat. Kedua material tersebut disambung dengan menggunakan las GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) dengan filler metal inconel 82.

Pengelasan dengan dua logam dasar berbeda DMW (*Dissimilar Metal Welding*) sangat diperlukan di dalam konstruksi dan peralatan serta perlengkapan manufaktur yang maju. Macam-macam perbedaan pada logam mempunyai keistimewaan pada komposisi kimia, serta sifat mekaniknya. Pengelasan dengan dua logam berbeda ditujukan untuk menekan biaya pembuatan perlengkapan peralatan industri. Namun pada aplikasi ditemukan kobocoran antara sambungan flange dengan material baja karbon dan weld metal yang menggunakan filler metal inconel 82. Berikut adalah contoh kegagalan instalasi primary peformer yang dikarenakan retak disbonding pada tube ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Disbonding pada tube

Disbonding adalah fenomena lepasnya sambungan las yang terjadi pada DMW, masalah yang terjadi pada DMW ini adalah, *Solidification cracking*, *Clad disbonding* sepanjang *type II boundaries*, dan *Creep failure in the HAZ* baja karbon [2]. Hal ini dapat mengakibatkan turunya kualitas sambungan las dan sambungan akan menjadi lepas.

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah dimana ingin meneliti pengaruh *preheat* dan PWHT terhadap kualitas hasil pengelasan DMW. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini dapat mengungkap lebih jelas penyebab kebocoran pada pipa Primary Reformer di atas.

PROSEDUR PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon (A-106) dan baja tahan karat (A312 TP-304H). Metoda pengelasan yang dilakukan adalah metoda *butt joint*, *preheat* 150°C, dan pengelasan

GTAW menggunakan *filler metal* Inconel 82. Semua spesimen hasil pengelasan tersebut diperoleh dari PT. X. Variasi temperatur PWHT yang dilakukan pada penelitian ini adalah 400-800°C dengan *holding time* 1 jam. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian struktur mikro dan kekerasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi kimia material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon (A-106) yang tergolong baja karbon medium dengan kandungan karbon (C) 0.3% dan baja tahan karat (A312 TP-304H) yang tergolong jenis baja tahan karat austenit yang tidak bersifat magnetis karena pengaruh kandungan unsur Nikel (Ni) antara 8 -11%.

Tabel 1. Komposisi kimia baja karbon (A-106) [4].

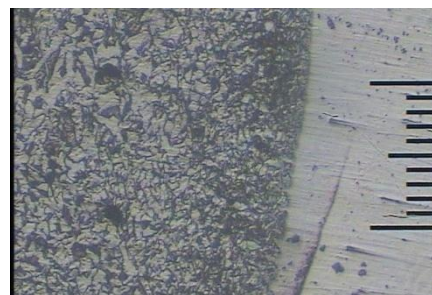
No.	Nama Unsur	Berat (% wt)
01.	Besi (Fe)	Balance
02.	Krom (Cr)	0.4
03.	Molibdenum (Mo)	0.15
04.	Mangan (Mn)	0.29-1.06
05.	Silikon (Si)	0.1
06.	Karbon (C)	0.3
07.	Copper	0.04
08.	Nikel (Ni)	0.4
09.	Sulfur	0.035

Tabel 2. Komposisi kimia baja tahan karat (304H) [2].

No.	Nama Unsur	Berat (% wt)
01.	Besi (Fe)	Balance
02.	Krom (Cr)	18-20
03.	Nikel (Ni)	8-10.5
04.	Mangan (Mn)	2
05.	Silikon (Si)	1
06.	Sulfur (S)	0.03
07.	Phosphours	0.045
08.	Karbon (C)	0.04-0.1

Hasil Uji Struktur Mikro dengan Mikroskop Optik

Pembahasan hasil mikrografi fokus pada sambungan antara *LAS* dengan *inconel 82* dikarenakan daerah ini yang sering mengalami kegagalan. Gambar 2 merupakan foto struktur mikro pada bagian batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon.



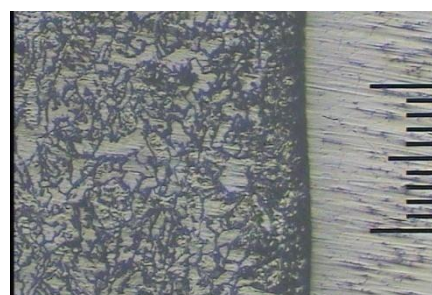
Gambar 2. Batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon tanpa PWHT perbesaran 200X

Struktur mikro yang belum terpengaruh efek PWHT, hasil murni dari pengelasan DMW, bagian HAZ struktur mikronya berbentuk bulat kecil dengan ukuran sekitar 7.39µm dan berstruktur ferit + perlit.



Gambar 3. Batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 400°C perbesaran 200X

Pada gambar terlihat terdapat daerah yang berwarna gelap, populer disebut dengan *dark band* [2]. *Dark band* ini terbentuk akibat migrasi karbon dari baja karbon menuju perbatasan *weld metal*, besar daerah tersebut dipengaruhi adanya temperatur dan waktu, pergeseran karbon dapat terjadi pada temperatur sekitar 400°C [5], lebar *dark band* ini sekitar 18µm dan besar butir 9µm.



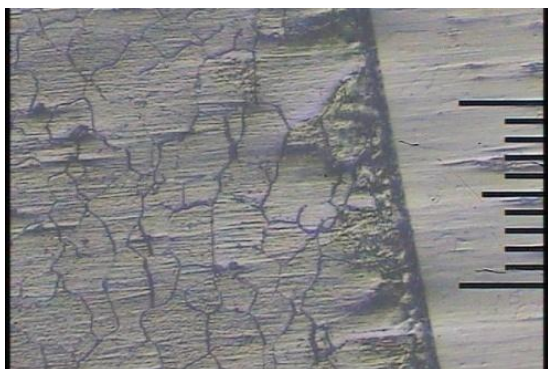
Gambar 4. Batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 500°C perbesaran 200X

Daerah batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon, struktur mikro pada gambar terlihat *dark band* yang semakin melebar di sepanjang batas *weld metal* dan ukuran butir menjadi lebih besar, yaitu sekitar 10.45µm, dan lebar *dark band* ini sekitar 21µm.



Gambar 5. Batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 600°C perbesaran 200X

Struktur mikro batas antara HAZ baja karbon dan *weld metal*, pelebaran *dark band* tidak terlalu terlihat jelas, akan tetapi meningkatnya *dark band* akibat temperatur PWHT ini ada dengan lebar sekitar 27µm serta terjadi pembesaran ukuran butir yang berukuran 17.1µm.



Gambar 6. Batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 700°C perbesaran 200X.

Ukuran lebar *dark band* tersebut sekitar 15µm relatif sangat kecil, tetapi telah terjadi migrasi karbon yang sangat besar, ditunjukkan pada daerah HAZ yang strukturnya berubah menjadi ferit dan pengkasaran ukuran butir yang berukuran sekitar 27.7µm.

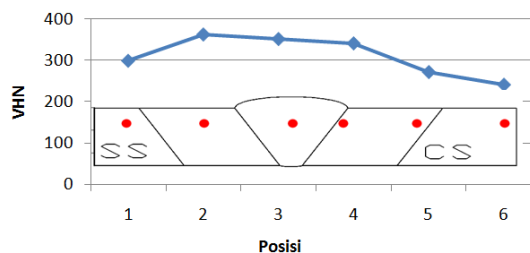


Gambar 7. Batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 800°C perbesaran 200X

Dapat dilihat juga adanya *dark band* yang tidak terlalu besar pada sepanjang perbatasan HAZ baja karbon dan *weld metal*. Ukuran lebar *dark band* tersebut sekitar 22µm relatif sangat kecil, efek dari

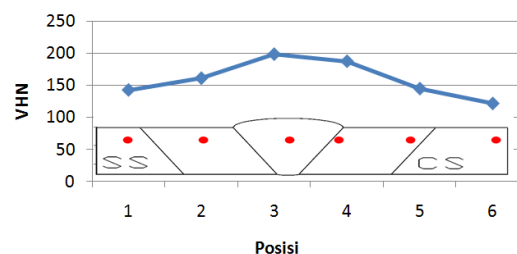
PWHT temperatur 800°C ini mengakibatkan terjadinya migrasi karbon yang cukup banyak, dengan diperlihatkan bentuk struktur mikro HAZ baja karbon yang berstruktur ferit dan berwarna terang penampilannya serta pengkasaran butir pada daerah HAZ dan berstruktur ferrit, secara otomatis daerah ini mengalami kekurangan karbon dan akan melemahkan kekuatan mekaniknya. Ukuran butir sdaerah HAZ sekitar 36.1µm.

Hasil Uji Kekerasan menggunakan *Micro Vickers Hardness*



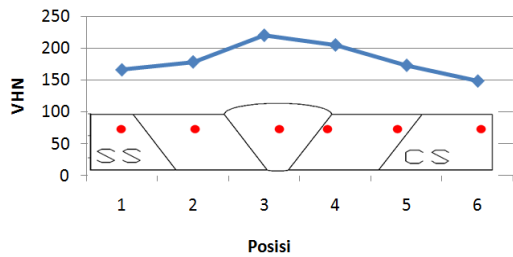
Gambar 8. Grafik nilai kekerasan DMW tanpa PWHT

Nilai-nilai kekerasan ini tidak sesuai realitanya karena sangat tinggi, dan tidak seperti yang dipersyaratkan oleh NACE MR0715 dimana kekerasannya < 250 VHN. Hal ini dimungkinkan disebabkan oleh efek dari pengerjaan permesinan pada saat pengambilan sample spesimen.



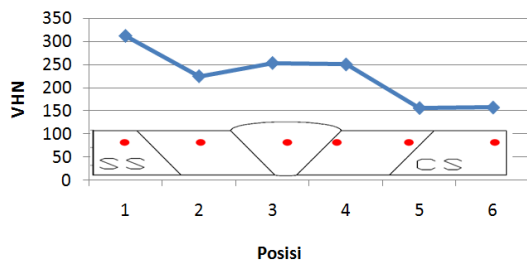
Gambar 9. Grafik nilai kekerasan DMW dengan PWHT 400°C

Gambar 9 merupakan distribusi nilai kekerasan daerah pengelasan DMW dari *base metal* baja tahan karat sampai dengan *base metal* baja karbon. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* yang bernilai 198.3 VHN, pada daerah batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon, nilai kekerasannya melebihi daerah HAZ baja karbon dengan nilai 187.3 VHN. Hal ini dikarenakan adanya migrasi karbon yang membentuk *dark band* seperti pada struktur mikronya (lihat gambar 3).



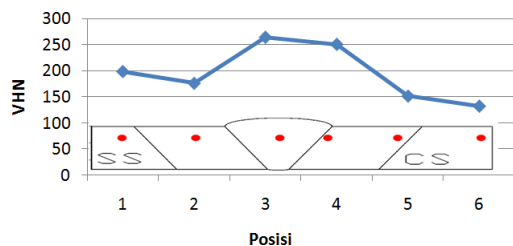
Gambar 10. Grafik nilai kekerasan DMW dengan PWHT 500°C

Tidak jauh berbeda dengan grafik nilai kekerasan dari PWHT temperatur 400°C, yaitu daerah paling keras terletak pada titik daerah *weld metal* yang bernilai 220.6 VHN sedang daerah batas *weld metal* dan HAZ baja karbon bernilai 205.3 VHN. Migrasi karbon dapat merubah kekuatan mekanik daerah tersebut menjadi keras, seperti yang diperlihatkan oleh struktur mikronya (lihat gambar 4).



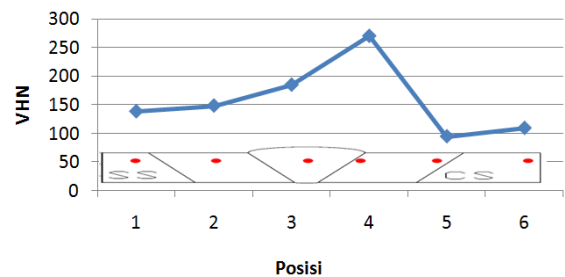
Gambar 11. Grafik nilai kekerasan DMW dengan PWHT 600°C

Gambar 11 merupakan distribusi nilai kekerasan daerah pengelasan DMW dari *base metal* baja tahan karat sampai dengan *base metal* baja karbon. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *base metal* baja tahan karat dengan nilai kekerasan 311.6 VHN, nilai kekerasan ini terlalu tinggi dan tidak sesuai yang dimiliki pada baja tahan karat jenis ini. Diduga hal ini dikarenakan kesalahan pada pengambilan data atau daerah ini masih terdistribusi akibat efek dari pengerjaan permesinan. Daerah *weld metal* dan daerah batas *weld metal* dan HAZ baja karbon memiliki nilai kekerasan yang hampir sama kekerasannya. Pada daerah ini memiliki nilai 253.5 dan 250.2 VHN tidak jauh signifikan perbedaannya, karena pada daerah batas memiliki *dark band* yang cukup lebar maka kekerasannya juga semakin meningkat (lihat gambar 5).



Gambar 12. Grafik nilai kekerasan DMW dengan PWHT 700°C

Gambar 12 merupakan distribusi nilai kekerasan daerah pengelasan DMW dari *base metal* baja tahan karat sampai dengan *base metal* baja karbon. Nilai kekerasan tertinggi masih pada daerah *weld metal* yang bernilai 263.7 VHN, tetapi daerah batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon juga tinggi yang nilai kekerasannya melebihi daerah HAZ baja karbon dengan nilai 250.2 VHN. Adanya *dark band* disepanjang perbatasan mengakibatkan kekerasan pada daerah tersebut meningkat, walaupun pada struktur mikro tidak tampak jelas, tetapi fenomena ini terjadi pada PWHT temperatur 700°C (lihat gambar 6).

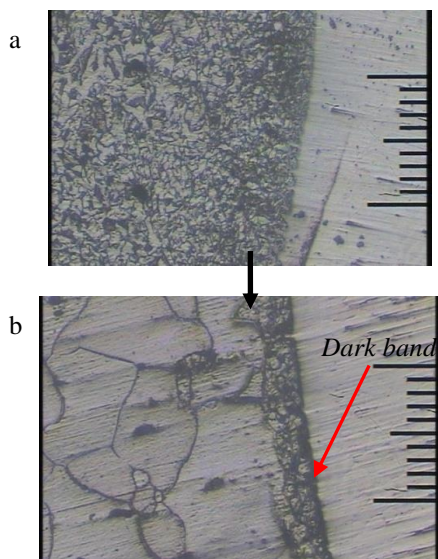


Gambar 13. Grafik nilai kekerasan DMW dengan PWHT 800°C

Gambar 13 merupakan distribusi nilai kekerasan daerah pengelasan DMW dari *base metal* baja tahan karat sampai dengan *base metal* baja karbon. Nilai kekerasan tertinggi pada titik daerah batas *weld metal* dengan HAZ baja karbon yang mempunyai kandungan *dark band*. Kekerasan mencapai 270.9 VHN sehingga melebihi kekerasan yang dipersyaratkan oleh NACE MRO715 dimana kekerasannya < 250 VHN [7]. Serta menurunnya nilai kekerasan pada daerah HAZ baja karbon, dengan nilai 94.6 VHN. Pada daerah batas *weld metal* dengan HAZ memiliki kekerasan yang sangat tinggi dikarenakan adanya unsur migrasi karbon yang berdifusi dengan unsur krom (Cr) yang dapat membentuk fasa keras dan getas, dalam hasil pengujian mikrofografi tidak terlihat dengan jelas unsur apa yang terkandung didalamnya, oleh sebab itu perlu dilakukan pengujian SEM. Jika pada daerah batas memiliki kekerasan yang tinggi akibat migrasi karbon, maka efek dari itu semua mengakibatkan daerah HAZ disekitarnya akan mengalami daerah kekurangan karbon sehingga kekerasannya menurun hingga dibawah kekerasan pada *base metal*. Hal ini mengakibatkan turunya kekuatan pada material sehingga dapat terjadi kegagalan pada DMW [2].

Analisa Fenomena *Dark Band* dan Pengkasaran Butir

Gambar 14 menunjukkan fenomena keberadaan *dark band* dan fenomena pengkasaran butir sebagai pengaruh PWHT. Dilakukannya perlakuan panas dengan temperatur 400-800°C ini untuk mengetahui fenomena *dark band* akibat migrasi karbon, dan didapatkan hasil dari mikrofografi seperti dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 14. (a) mikrografi daerah batas *weld metal* dan HAZ baja karbon tanpa PWHT, (b) mikrografi daerah batas *weld metal* dan HAZ baja karbon dengan PWHT 800°C

Gambar 4.15 adalah struktur mikro pengaruh PWHT temperatur 800°C dan *holding time* 1 jam. Diperlihatkan pengaruh PWHT pada struktur mikro tersebut adalah semakin tinggi temperatur PWHT akan membuat perubahan *dark band* membesar dan terjadi pengkasaran butir, serta baja karbon dengan 0.3% C dan berstruktur ferit + perlit berubah menjadi full ferit akibat PWHT tersebut. Akibat dari dua fenomena tersebut maka terjadi penurunan sifat pada baja ini, nilai kekerasan daerah ini cenderung lebih rendah dibandingkan dengan *base metalnya*, yaitu bernilai 79.6 VHN. Dari nilai kekerasan tersebut baja ini menjadi lemah, sedangkan pada aplikasi dioperasikan pada temperatur 600-800°C ditambah lagi tekanan operasi yang cukup tinggi secara terus – menerus. Dari adanya hal ini maka *disbonding* akan terjadi akibat adanya dua fenomena tersebut.

KESIMPULAN

Pengaruh yang terjadi pada struktur mikronya adalah, semakin tinggi temperatur PWHT terjadi pengkasaran butir pada daerah HAZ baja karbon. hal ini dapat dilihat pada hasil pengujian mikrografi, besar ukuran butir adalah 7.39 μm untuk spesimen tanpa PWHT, 9 μm untuk spesimen PWHT 400°C, 10.45 μm untuk spesimen PWHT 500°C, 17.1 μm untuk spesimen PWHT 600°C, 27.7 μm untuk spesimen PWHT 700°C, dan 36.1 μm . Berstruktur ferit untuk spesimen PWHT 700°C dan 800°C. Pengaruh yang terjadi pada sifat mekaniknya adalah, semakin tinggi temperatur PWHT maka pada daerah batas *weld metal* dengan HAZ baja karbon semakin keras, yaitu ditunjukkan dengan nilai kekerasan pada daerah ini yang semakin meningkat. Pada variasi temperatur PWHT 800°C nilai kekerasan mencapai 270.9 VHN tetapi terjadi penurunan nilai kekerasan pada HAZ baja karbon menjadi 94.6 VHN. Hal ini melebihi yang

dipersyaratkan oleh NACE MR0715 dimana kekerasannya < 250 VHN

Pengaruh *preheat* dan PWHT pada DMW, dengan DMW *preheat* tanpa PWHT menimbulkan migrasi karbon pada daerah batas *weld metal* semakin besar. Struktur mikro ferrit pada daerah HAZ efek dari PWHT 800°C ini menunjukkan telah terjadi migrasi karbon yang besar disana, ditunjukkan dengan nilai kekerasan yang sangat rendah pada daerah ini yaitu 79.6 VHN, sedangkan pada daerah batas *weld metal* nilai kekerasannya tinggi yaitu 270.9 VHN, yang melebihi kekerasan dari *weld metal* dan *base metalnya*.

Terjadinya kegagalan *disbonding* dapat disebabkan dari dua hal yaitu, Efek dari menurunnya kekuatan pada HAZ baja karbon menyebabkan kegagalan *creep* dan yang kedua, munculnya fasa getas berupa senyawa krom karbida (Cr_{23}C_6) di daerah batas HAZ baja karbon dan *weld metal* yang terkandung *dark band*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kou Sindo, 2003, “*Welding Metallurgy*“, second edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
2. Lippold, John C, 2005, “*Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*“, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
3. Okumura, Toshie., Wiryosumarto Harsono., 2000, “*Teknologi Pengelasan Logam*“, Cetakan ke-8, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
4. ASTM, 2002, A-106, “*Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service*”.
5. AWS, 1997, WHB-4, “*Dissimilar Metals*”
6. ASM team, 1993, “*ASM Metal Handbook Volume 6 Welding, Brazing and Soldering*“, American Society for Metals, The United States of America.
7. NACE MR0175
8. Laporan Praktikum, 2009, “*Metalurgi Fisik*” Universitas Diponegoro Semarang