

PENGARUH PENGGUNAAN FILLER METAL ER-308, ER-309, DAN INCONEL 82 PADA PENGELASAN DISSIMILAR METAL ANTARA BAJA KARBON A-106 DAN BAJA TAHAN KARAT A 312 TP 304H

Sri Nugroho, Lukman Arianto, Rusnaldy

Jurusan Teknik Mesin
Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedharto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang

Telp: +62-24-7460059, FAX: +62-24-7460059 ext. 110, E-mail: srinugroho@undip.ac.id

ABSTRAK

Primary reformer adalah suatu bagian di industri pupuk yang berfungsi untuk mengalirkan gas yang bekerja pada temperatur 600-800°C dan tekanan 30 bar. Komponen ini berbentuk pipa yang tersusun dari dua buah material yang berbeda yaitu baja karbon dan baja tahan karat. Dua buah material ini disambung dengan pengelasan jenis Gas Tungsten Arc Welding (GTAW). Kegagalan yang sering dijumpai pada kasus pengelasan Dissimilar Metal Welding (DMW) ini adalah disbonding yang kemungkinan disebabkan oleh kesalahan prosedur pengelasan. Penelitian ini membahas tentang perbandingan jenis filler metal (ER-308, ER-309 dan Inconel 82) pada metode pengelasan (buttjoint dan buttering) terhadap kualitas lasan DMW. Pengujian yang dilakukan meliputi analisis kemampulan, pengujian struktur mikro dan kekerasan. Kesimpulan yang dicapai dari pengujian ini adalah filler metal Inconel 82 paling bagus dibandingkan dua filler metal lainnya. Hal ini ditunjukkan dengan tidak ditemukannya type II grain boundary dan tipisnya darkband. Sebaiknya dilakukan buttering dulu sebelum pengelasan DMW. Tidak disarankan pemakaian baja karbon medium karena memperbesar darkband dan cenderung membentuk fasa getas.

Kata kunci: GTAW, filler metal, DMW, disbonding, type II grain boundary, darkband

1. Pendahuluan

Primary reformer adalah suatu alat yang digunakan di PT. X yang berfungsi untuk memecahkan gas hidrokarbon menjadi hidrogen. Proses *reforming* adalah proses reaksi $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ yang memerlukan temperatur dan tekanan tinggi. *Ammonia reformer tube* biasanya dioperasikan pada suhu 600-800°C dan tekanan 30-40 bar. *Primary reformer* dibuat dari material yang berbeda. Pada *flange* menggunakan material baja karbon dan pada *catalist tube* menggunakan material baja tahan karat. Kedua material tersebut disambung dengan menggunakan las GTAW dengan filler metal Inconel 82.

DMW adalah suatu proses pengelasan biasanya antara baja tahan karat dengan baja yang lain. DMW ini sering dipakai ketika dibutuhkan perbedaan sifat mekanik atau sifat lainnya dalam aplikasi. Sebagai contoh, pipa baja tahan karat austenitik dipakai untuk mengalirkan uap temperatur dan tekanan tinggi di industri pembangkit daya. Untuk temperatur dan tekanan yang lebih rendah bisa digunakan baja karbon atau baja

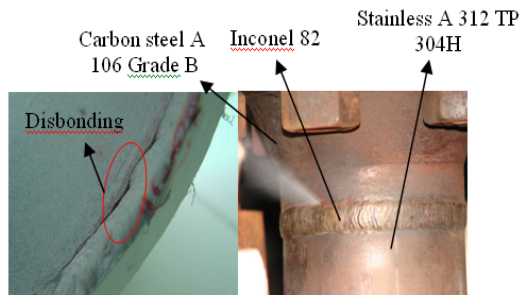
paduan rendah lainnya demi kepentingan ekonomis [1].

Pengelasan antara baja tahan karat dan baja karbon akan menghasilkan perbedaan struktur mikro dan sifat mekanik pada daerah sambungannya. Pengontrolan struktur mikro daerah lasan (*weld zone*) khususnya saat *root pass* sangat penting karena bisa terbentuk fasa 100% martensit, 100% austenit, atau fasa campuran austenit, ferit dan martensit [2,3]. Sebagai tambahan, akan terbentuk daerah transisi komposisi dari *weld zone* ke *base metal*. Daerah ini akan memiliki perbedaan struktur mikro dan sifat mekanik atau kimia dengan daerah di dekatnya [4]. Karena sebagian baja karbon dan baja paduan rendah sesuai standar pengelasan membutuhkan *post-weld heat treatment* (PWHT), struktur mikro pada *weld zone* dan *heat-affected zone* (HAZ) perlu diperhatikan seksama akibat pengaruh PWHT tersebut [5].

Terdapat beberapa mekanisme retak atau kegagalan pada pengelasan DMW ini, antara lain: *disbonding* sepanjang *type II boundaries*, *solidification cracking*, kegagalan *creep* pada HAZ baja karbon, PWHT



cracking, dan sebagainya [1]. Contoh kegagalan karena *disbonding* pada *primary reformer* ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. *Disbonding* pada *primary reformer*

Primary reformer ini tersusun dari baja tahan karat austenitik (A312 TP 304H) dan baja karbon medium (A106 Grade B) dengan *filler metal* Inconel 82. Kegagalan ini terjadi setelah masa operasi 2 tahun dari perkiraan 4-5 tahun. Kegagalan ini kemungkinan disebabkan oleh karena kesalahan pemilihan *filler metal*nya.

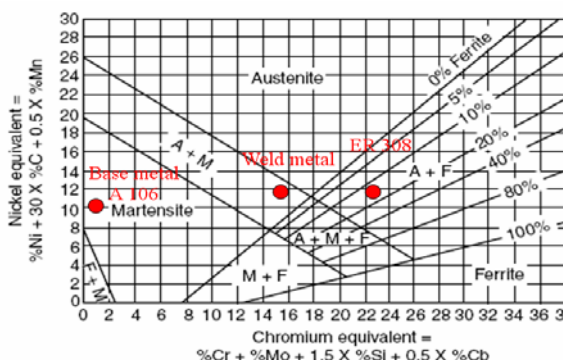
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *filler metal* ER-308, ER-309, dan Inconel 82 pada pengelasan baja karbon A-106 dan baja tahan karat A312 TP-304H dengan metode GTAW terhadap kualitas sambungan las.

2. Prosedur Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon medium (A-106) dan baja tahan karat (A312 TP-304H). Metoda pengelasan yang dilakukan adalah dengan GTAW. Variasi *filler metal* yang digunakan adalah ER-8, ER-9 dan Inconel 82 dengan bentuk penyambungan *butt* dan *buttering*. Semua spesimen hasil pengelasan diperoleh dari PT. X. Karakterisasi yang dilakukan meliputi perhitungan kemampuan las, pengujian kekerasan dan struktur mikro.

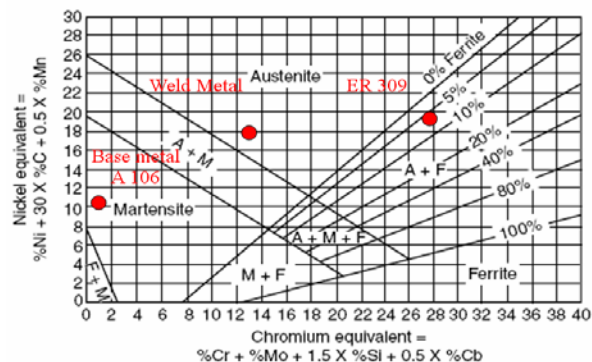
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Prediksi Fasa dengan Diagram Schaeffler



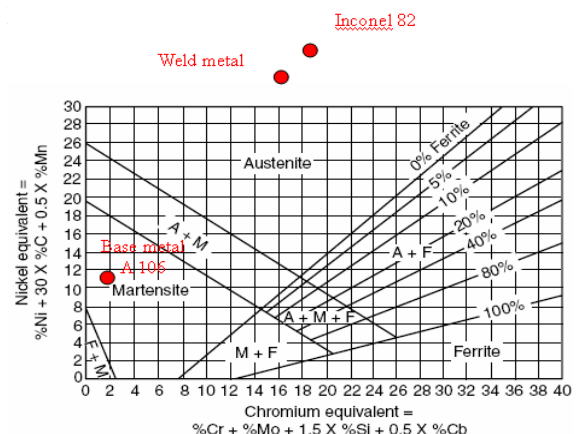
Gambar 2. Prediksi fasa *Buttering* baja karbon A-106 dan ER-308

Gambar 2 adalah hasil prediksi struktur mikro yang diplotkan dengan diagram *Schaeffler buttering* baja karbon A-106 dengan ER-308 menghasilkan nilai Cr *equivalent* sebesar 15.65 dan Ni *equivalent* sebesar 10.75. Dari fasa martensit pada *base metal* dan austenit+ferrit 20% pada *filler metal* menghasilkan austenit+martensit pada *weld metal*.



Gambar 3. Prediksi fasa *buttering* baja karbon A-106 dan ER-309

Pada gambar hasil prediksi struktur mikro yang diplotkan dengan diagram *Schaeffler buttering* baja karbon A-106 dengan ER-309 menghasilkan nilai Cr *equivalent* 17.92 dan nilai Ni *equivalent* sebesar 13.96. Dimana struktur mikro yang terjadi pada batas fusi dari struktur martensit pada *base metal* dan austenit+ferrite 10% pada *filler metal* menghasilkan struktur austenit

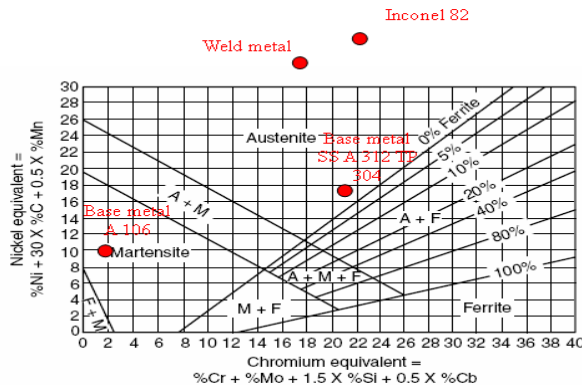


Gambar 4. Prediksi fasa *buttering* baja karbon A-106 dan Inconel 82

Pada gambar 4 hasil prediksi struktur mikro yang diplotkan dengan diagram *Schaeffler buttering* baja karbon A-106 dengan Inconel 82 menghasilkan nilai Cr



equivalent 15.89 dan nilai Ni equivalent sebesar 51.51. Dimana struktur yang terjadi pada batas fusi dari fasa martensit pada *base metal* dan austenit pada *filler metal* menghasilkan struktur austenit.



Gambar 5. Prediksi fasa butt joint SS 304 H dan baja karbon A-106 menggunakan Inconel 82.

Pada gambar 5 hasil prediksi struktur mikro yang diplotkan dengan diagram *Schaeffler buttjoint* baja karbon A-106, SS 304H dengan Inconel 82 menghasilkan nilai Cr equivalent 19.11 dan nilai Ni equivalent sebesar 53.4. dimana struktur yang terjadi pada batas fusi dari struktur mikro martensit pada *base metal* baja karbon A-106, austenit pada SS A 312 TP 304H, dan austenit pada *filler metal* Inconel 82 menghasilkan struktur austenit pada *weld metal*.

Kesimpulan yang diperoleh dari prediksi fasa dengan menggunakan diagram *Schaeffler* dapat dilihat pada tabel 1 berikut

Tabel 1. Hasil prediksi fasa

Bentuk sambungan	Fasa
Buttering CS – ER-308	Austenit + Martensit
Buttering CS – ER-309	Austenit
Buttering CS – Inconel 82	Austenit
Butt CS – SS – Inconel 82	Austenit

Terlihat dari tabel tersebut filler metal ER-308 akan menghasilkan fasa martensit + austenit yang mana fasa martensit ini dihindari dalam proses pengelasan.

3.2 Nilai Carbon Equivalence (CE)

Unsur karbon pada suatu material logam mempunyai pengaruh terhadap *kemampulan* dari material logam. Makin besar harga CE, kemampulan material tersebut akan makin berkurang dan membutuhkan berbagai perlakuan panas untuk memperbaiki sifatnya.

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Si + \%Ni + \%Cu}{15}$$

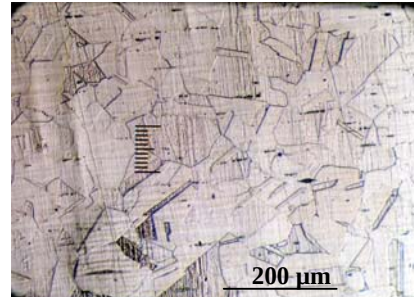
Nilai *carbon equivalent* dari baja karbon A-106 grade B
 $CE = 0.3 + 0.67/6 + (0.4+0.15+0.08)/5 + (0.1+0.4+0)/15$

$$= 0.3 + 0.11 + 0.12 + 0.03$$

$$= 0.56$$

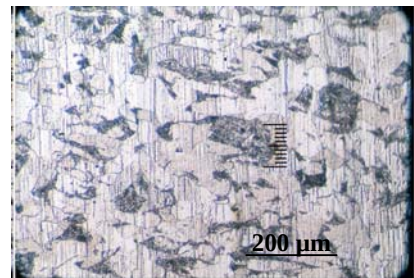
Sesuai standar [6], baja karbon ini memerlukan *preheat*, PWHT dan kontrol temperatur interpass pada pengelasannya.

3.3 Analisis struktur mikro



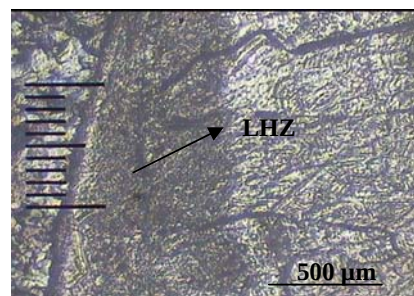
Gambar 6. Base metal baja tahan karat 312 TP 304H

Fasa pada temperatur kamar baja tahan karat 312 TP 304H adalah austenit (Gb.6). Baja ini mempunyai komposisi nikel 9.5%, krom 19% dan besi 68.35%.



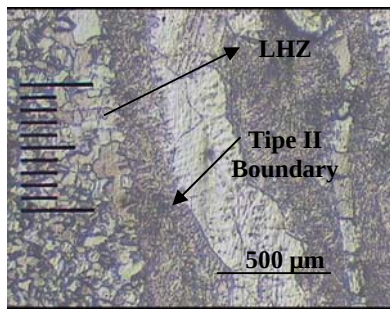
Gambar 7. Base metal baja karbon A-106

Struktur mikro pada *base metal* baja karbon terdiri dari fasa ferit dan fasa perlit (Gb.7) Fasa ferit berwarna terang, sedangkan fasa perlit berwarna gelap.

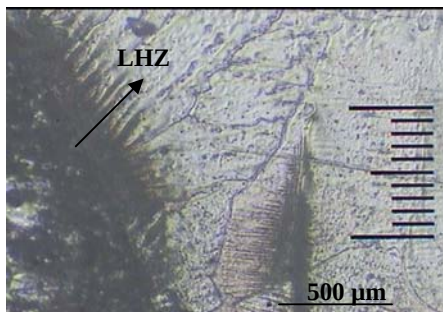


Gambar 8. Struktur mikro HAZ baja karbon dan buttering ER-308

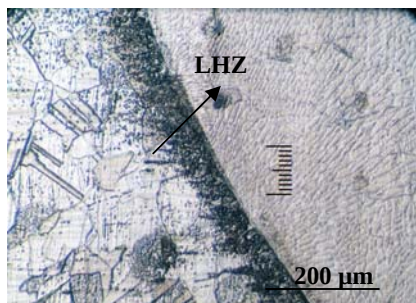




Gambar 9. Struktur mikro HAZ baja karbon dan buttering ER-309



Gambar 10. Struktur mikro HAZ baja karbon dan buttering Inconel 82



Gambar 11. Struktur mikro HAZ baja tahan karat dan weld metal Inconel 82

Gambar 8-11 menunjukkan suatu daerah bernama *Lord Hard Zone* (LHZ) atau *dark band* yang merupakan daerah dimana terjadi difusi karbon dari HAZ baja karbon ke arah *weld zone* atau sebaliknya (tergantung mana yang memiliki kandungan karbon yang signifikan). Difusi karbon ini akan membentuk senyawa besi karbida atau martensit [1]. Ketebalan LHZ dipengaruhi oleh masukan panas dan laju pendinginan. Difusi karbon mulai terjadi pada suhu 400°C dan makin tinggi suhunya akan mempercepat difusi karbon pada batas fusi [1]. Terlihat dari tabel 2, *darkband* dengan filler metal Inconel 82 paling tipis. Fenomena ini bisa disebabkan Inconel memiliki unsur utama nikel yang mana bisa menghambat laju difusi karbon dari HAZ baja karbon ke arah *weld zone* [1,7,8,9].

Tabel 2. Ketebalan *darkband* pada lasan buttering

Filler metal	Ketebalan (μm)
ER-308	60
ER-309	30
Inconel 82	15

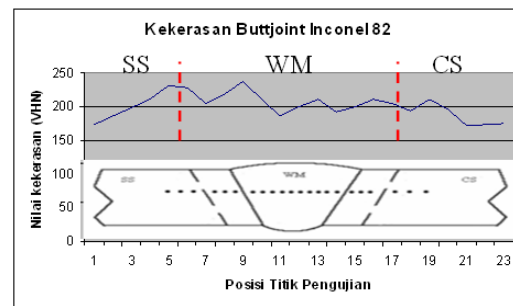
Dari foto struktur mikro di atas juga dapat dideteksi keberadaan *type II grain boundary* yang mana merupakan tanda terjadinya kegagalan *disbonding*.

Tabel 3. *Type II grain boundary*

Filler metal	Keberadaan
ER-308	Tidak ada
ER-309	Ada
Inconel 82	Tidak ada

Type II grain boundary ini hanya dijumpai pada pengelasan dengan filler metal ER-309

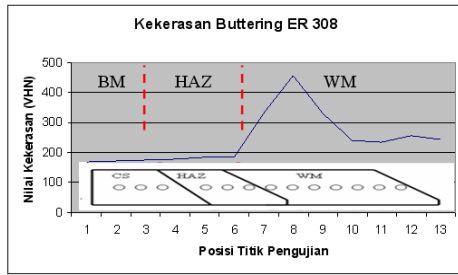
3.4 Analisis Kekerasan



Gambar 12. Grafik kekerasan terhadap posisi *buttjoint* Inconel 82

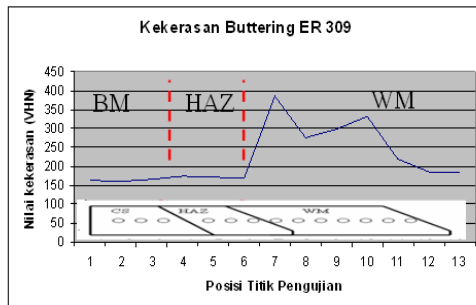
Gambar 12 merupakan angka kekerasan dari pengelasan DMW dengan *butt joint* menggunakan filler metal Inconel 82. Di sana terlihat distribusi kekerasan dari *base metal*, HAZ, dan *weld zone* relatif homogen. Hasil ini sesuai dengan yang dipersyaratkan oleh NACE MR0715 dimana kekerasan pada semua daerah tidak boleh melebihi 250 VHN [10].





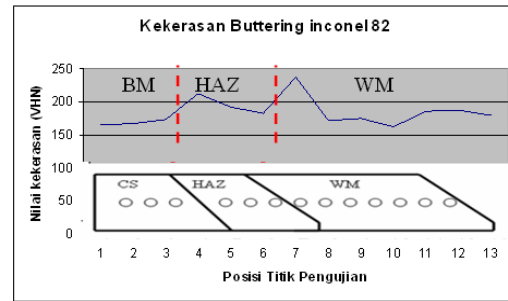
Gambar 13. Grafik kekerasan DMW baja karbon dengan buttering ER-308

Pada gambar 13 terlihat daerah antara HAZ baja karbon dan weld zone buttering ER-308 memiliki kekerasan di atas 250 HVN. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh terbentuknya senyawa getas berupa krom karbida dan/atau martensit. Hal ini didukung dengan hasil prediksi fasa pengelasan baja karbon A 106 dengan filler metal ER-308 di mana pada weld zone akan terbentuk fasa austenit+martensit (lihat Gb.2 atau tabel 1) dan juga ditemukannya dark band (Gb. 8). Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa pengelasan DMW dengan filler metal ER-308 tidak direkomendasikan karena akan menghasilkan fasa getas pada daerah batas fusinya.



Gambar 14. Grafik kekerasan DMW baja karbon dengan buttering ER-309

Serupa dengan hasil yang diperoleh pada gambar 13, pengelasan buttering dengan filler metal ER-309 akan menghasilkan fasa getas dengan kekerasan di atas 250 HVN pada daerah sekitar batas fusi. Data ini juga didukung dari pengamatan struktur mikro berupa dark band (lihat Gb. 9)



Gambar 15. Grafik kekerasan DMW baja karbon dengan buttering Inconel 82

Hasil pengelasan DMW buttering dengan filler metal Inconel 82 menghasilkan angka kekerasan di bawah 250 VHN pada semua daerah. Hasil ini serupa dengan sambungan butt seperti terlihat hasilnya pada gambar 12. Bila hasil ini dikaitkan dengan keberadaan dark band (Gb. 10 dan tabel 2), tipisnya dark band tidak terlalu berpengaruh terhadap angka kekerasan.

4. KESIMPULAN

1. Pengelasan DMW antara baja karbon A-106 dan baja tahan karat A-312 TP 304H lebih cocok menggunakan filler metal Inconel 82 daripada ER-308 dan ER-309. Hal ini dibuktikan dari distribusi kekerasan <250 VHN, tipisnya daerah dark band dan tidak ditemukannya type II grain boundary.
2. Penggunaan filler metal ER-308 dan 309 dengan banyaknya unsur krom untuk penyambungan material dengan kandungan karbon yang cukup tinggi (baja karbon medium) tidak dianjurkan karena hal ini dapat menyebabkan terbentuknya karbida pada batas fusi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Lippold, J.C., Kotecki, D.J., 2005, "Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel", Wiley Inter Science, Canada
2. Schaeffler, A.L., 1947, "Selection of austenitic electrodes for welding dissimilar metals", Welding Journal, 26(10):601-620.
3. Thielsch, H., 1952, "Stainless steel weld deposits on mild and alloy steels", Welding Journal, 31(1):37-64.
4. Pan, C., Wang, R., and Gui, J., 1990, "Direct TEM observation of microstructures of the austenitic/carbon steels welded joint, Journal of material Science, 25:3281-3285.
5. Lundin, C.D., 1982, "Dissimilar metal welds: transition joints literatue review", Welding Journal, 61(2):58-63.
6. ASME QW-461.4, 2001, "Welding General Requirements", American National Standart.
7. ASM, 1993, "Welding Brazing And Soldering",



- vol. 6, ASM Handbook Committee.
8. Kou, Sindo, 2003, "Welding Metallurgy", Wiley Inter Science, Canada.
 9. AWS WHB-4, 2003 "Dissimilar Metals", AWS Handbook Committee.
 10. NACE MR0175, 2001, "General Principles For Selection of Cracking Resistant Materials" NACE International Standart.

