

VALIDASI DIAGRAM SCHAEFFLER, DELONG DAN WRC-1992 DALAM MEMPREDIKSI STRUKTUR MIKRO PADA PENGELOMAN LOGAM BERBEDA ANTARA BAJA KARBON RENDAH DENGAN BAJA TAHAN KARAT

Triyono¹, Zainal Arifin², Sutaryono³

Abstract : The validity of Schaeffler, DeLong and WRC-1992 diagrams to predict weld metal microstructure of dissimilar metal weld between AISI C1010 low carbon steel and AISI 316L austenitic stainless steel has been evaluated. The TIG process was done with argon shielding gas, austenitic stainless steel filler metal and heat input 1750 J/mm. The result of this evaluation shows that Schaeffler diagram was the most suitable in predicting weld metal microstructure. According to Schaeffler diagram, weld metal microstructure consist of a ferrite, austenite with less than 5 % ferrite and martensite. It is relevant to the results of microstructure investigation.

Keywords : Schaeffler, DeLong, WRC-1992, dissimilar metal weld.

PENDAHULUAN

Ruang lingkup aplikasi teknologi pengelasan di bidang konstruksi, baik dalam pembuatan maupun pemeliharaan sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, perpipaan, kendaraan rel dan lain sebagainya. Pada kasus tertentu, diperlukan sambungan las untuk logam yang berbeda (*dissimilar-metal welds/ DMWs*). Sebagai contoh, untuk ketahanan korosi baja karbon (*carbon steel*) dilas dengan baja tahan karat (*stainless steel*). Selain memenuhi syarat kondisi operasi, las baja karbon dengan baja tahan karat lebih ekonomis dari pada seluruh konstruksi menggunakan baja tahan karat. Pengelasan logam berbeda digunakan secara luas dalam industri minyak kimia, proses pengolahan makanan, pembangkit daya, pabrikasi trailer, kereta api dan lain sebagainya (Morris, 2003).

Dalam hal las logam berbeda antara baja karbon dengan baja tahan karat, komposisi tiap logam dasar dan logam las dapat digunakan untuk memprediksi struktur mikro yang mungkin terbentuk setelah pengelasan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menentukan nilai Cr_{eq} dan Ni_{eq} dari logam dasar dan logam las, kemudian menggambar titik koordinat berdasarkan nilai Cr_{eq} dan Ni_{eq} pada diagram Schaeffler (1949), DeLong (1973) atau WRC-1992 (*Welding Research Council-1992*). Munculnya ketiga diagram tersebut sebenarnya adalah untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan yang ada pada diagram sebelumnya, misalnya diagram DeLong digunakan untuk mengoreksi diagram Schaeffler, diagram WRC-1992 digunakan untuk menyempurnakan kedua diagram sebelumnya. Tetapi pada kenyataannya kecocokan diagram tersebut terhadap suatu kasus sangat ditentukan oleh kondisi logam yang dilas. Sehingga bukan hal yang bijaksana seandainya dalam memprediksi struktur mikro logam las berbeda (*dissimilar metal welds*) menggunakan diagram keluaran terakhir tanpa memvalidasi hasilnya.

¹ Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS

² Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS

³ Alumni Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS

Dari kenyataan itu maka adalah sangat penting untuk melakukan penelitian tentang kecocokan prediksi struktur mikro dari ketiga diagram tersebut, untuk berbagai kasus yang berbeda. Dan pada penelitian ini akan dilakukan validasi ketiga diagram tersebut pada pengelasan antara baja AISI C1010 dengan baja tahan karat AISI 316L. Dari validasi diagram ini dapat ditentukan jenis filler yang sesuai agar tidak terjadi keretakan sambungan las

TINJAUAN PUSTAKA

Sambungan logam berbeda biasanya terdiri dari logam las (*weld metal*) yang mempunyai komposisi berbeda dengan satu atau kedua logam dasar (*base metal*). Sifat logam las bergantung pada komposisi logam pengisi (*filler metal*), prosedur pengelasan dan dilusi relatif dengan setiap logam dasar. Selain itu, terdapat dua daerah terpengaruh panas (*heat affected zones/ HAZs*) yang berbeda pada setiap logam dasar yang letaknya berdekatan dengan logam las (Davis, 1995).

Dalam pengelasan logam berbeda, logam dasar akan mencair dan sebagian larut dalam logam pengisi dan sebaliknya logam pengisi juga sebagian larut dalam logam dasar untuk membentuk ikatan metalurgi. Ikatan tersebut dibuat untuk sambungan yang lebih kuat. Akan tetapi, pencampuran logam berbeda dapat juga mendatangkan masalah, contohnya retakan (*cracking*) dapat terjadi ketika kombinasi antara logam dasar dengan pengisi menghasilkan paduan yang lemah atau getas dalam daerah lebur (*fusion zone*). Hal tersebut terjadi karena logam dasar atau pengisi terdilusi atau karena reaksi saat peleburan membentuk formasi struktur yang getas (Wisconsin Wire Work Inc., 2003).

Kandungan austenit di daerah lebur tidak terlalu bergantung pada masukan panas tetapi terutama dikontrol oleh komposisi logam las. Selain itu struktur martensit juga dipengaruhi oleh komposisi logam dasar dan pengisi serta perbedaan dalam kecepatan difusi karbon. Bila migrasi karbon berkurang/terbatas, kemungkinan formasi martensit juga berkurang (Barnhouse dan Lippold, 2003).

Diagram Schaeffler, DeLong dan WRC

Komposisi kimia las mempunyai pengaruh signifikan pada performa las. Sifat mekanik dan ketahanan korosi merupakan sifat yang sangat bergantung pada komposisi las. Lasan akan peka terhadap retak panas bila terbentuk struktur seluruhnya austenit, tetapi retak akan berkurang bila austenit mengandung lebih dari 4 % ferit. Walaupun demikian, peningkatan kandungan ferit tersebut dapat mengurangi ketahanan korosi logam las.

Dalam hal las logam berbeda antara baja karbon dengan baja tahan karat, komposisi tiap logam dasar dan logam las dapat digunakan untuk memprediksi struktur mikro yang mungkin terbentuk setelah pengelasan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menentukan nilai Cr_{eq} dan Ni_{eq} dari logam dasar dan logam las, kemudian menggambar titik koordinat berdasarkan nilai Cr_{eq} dan Ni_{eq} pada diagram Schaeffler (1949), DeLong (1973) atau WRC-1992 (*Welding Research Council-1992*). Nilai Cr_{eq} dan Ni_{eq} dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

- ◆ Untuk diagram Schaeffler

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1,5 \times \%Si + 0,5 \times \%Nb \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$Ni_{eq} = \% Ni + 30 \times \% C + 0,5 \times \% Mn \quad \dots\dots\dots(2)$$

- ◆ Untuk diagram DeLong

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1,5 \times \%Si + 0,5 \times \%Nb \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$Ni_{eq} = \%Ni + 30x \%C + 30x \%N + 0,5x \%Mn \quad \dots\dots\dots(4)$$

- ◆ Untuk diagram WRC-1992

$$Cr_{eq} = \% Cr + \% Mo + 0,7 \times \% Nb \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$Ni_{eq} = \%Ni + 35x \%C + 20x \%N + 0,25x \%Cu \dots\dots\dots(6)$$

Diagram Schaeffler akurat untuk deposit las baja tahan karat seri 300 yang dilas dengan elektroda terbungkus. Walaupun demikian, diagram ini tidak bisa digunakan bila terdapat kandungan unsur nitrogen yang tinggi. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat digunakan diagram DeLong, karena diagram DeLong mengakomodasi unsur nitrogen dalam perhitungan ekivalen Ni yang merupakan pembentuk austenit. Bila kandungan unsur nitrogen pada logam las tidak terdeteksi, maka diasumsikan unsur nitrogen adalah 0,06 % untuk GTAW dan 0,08 % untuk GMAW (Kotecki, 1995). Diagram DeLong mempunyai korelasi yang lebih baik dengan GTAW dan GMAW dibanding diagram Schaeffler karena diagram DeLong mengakomodasi unsur nitrogen yang kemungkinan meningkat akibat proses las dengan GTAW mau pun GMAW. Diagram WRC-1992 telah diakui oleh IIW (*international institute of welding*) sebagai diagram yang paling akurat dalam memprediksi ferit dalam logam las baja tahan karat austenitik atau dupleks feritik-austenitik. Untuk dapat memprediksi lebih akurat dibanding diagram DeLong, diagram WRC-1992 dikembangkan sehingga dapat memprediksi nomor ferit (*ferrite number/ FN*) sampai 100. Keberadaan ferit dalam logam las pada diagram Schaeffler dinyatakan dalam persen sedangkan pada diagram DeLong dan WRC-1992 dinyatakan dalam nomor ferit (*ferrite number/ FN*).

Walaupun diagram WRC-1992 lebih akurat dalam memprediksi kandungan ferit logam las, diagram Schaeffler tetap digunakan untuk memprediksi ferit dalam las logam berbeda karena diagram tersebut dapat memprediksi martensit di dekat deposit las baja tahan karat (Kotecki, 1999).

Komposisi las dipengaruhi oleh komposisi logam dasar, pengisi (termasuk dilusi antara logam pengisi dengan logam dasar), reaksi dengan fluks atau gas pelindung dan kemungkinan hilangnya material akibat proses pengelasan. Komposisi las dapat diketahui dengan melakukan uji komposisi kimia menggunakan spektrometer.

METODE PENELITIAN

Bahan yang diteliti adalah baja tahan karat austenitik AISI 316L dan baja karbon rendah AISI C1010. Kedua logam dasar tersebut dilas menggunakan las busur tungsten gas (GTAW) dengan gas pelindung argon dan logam pengisi baja tahan karat austenitik. Pengelasan dilakukan di Akademi Teknik Mesin Industri (ATMI) Surakarta oleh juru las yang bersertifikat. Selanjutnya hasil pengelasan tersebut dipotong-potong untuk membuat spesimen uji komposisi kimia dan uji struktur mikro.

Uji komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia logam dasar (baja karbon dan baja tahan karat) dan logam las. Pengujian dilakukan dengan spektrometer. Untuk setiap pengujian dilakukan tiga kali pembakaran pada titik yang berbeda. Komposisi kimia hasil pengujian adalah rata-rata dari tiga titik pembakaran tersebut. Pengujian komposisi kimia dilakukan di PT. ITOKOH CEPERINDO, Klaten. Hasil uji komposisi ini digunakan untuk menghitung nilai Cr_{eq} dan Ni_{eq} . Nilai-nilai ini kemudian dimasukkan dalam ordinat diagram, dan dapat diketahui prediksi struktur mikro yang akan terjadi menurut masing-masing diagram.

Uji struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk pada logam las (*weld metal*). Pengujian dilakukan dengan mikroskop metalurgi dengan perbesaran 200X. Pengujian ini sekaligus sebagai validasi dari hasil perkiraan diagram. Dari hasil validasi ini selanjutnya dapat ditarik kesimpulan diagram mana yang paling cocok digunakan untuk memprediksi struktur mikro logam las hasil pengelasan antara baja karbon rendah AISI C1010 dengan baja tahan karat AISI 316L. Uji struktur mikro dilakukan di Laboratorium Material Program Diploma III Teknik Mesin UGM, Yogyakarta.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Komposisi Kimia

Hasil pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada tabel 1, 2 dan 3.

Tabel 1 Komposisi kimia baja karbon

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	Nb	V	W	Ti
Kadar	99,51	0,065	0,016	0,253	0,016	0,007	0,027	0,046	0,004	0,004	0,015	0,01	0,00	0,04	0,00

Tabel 2 Komposisi kimia baja tahan karat

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	Nb	V	W	Ti
Kadar	67,23	0,023	0,506	1,844	0,020	0,005	10,850	16,719	2,398	0,300	0,002	0,00	0,05	0,05	0,00

Tabel 3 Komposisi kimia logam las

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	Nb	V	W	Ti
Kadar	72,75	0,036	0,431	1,167	0,028	0,008	8,696	15,455	0,945	0,366	0,003	0,01	0,04	0,07	0,00

Berdasarkan komposisi kimia pada tabel di atas, struktur mikro yang terbentuk pada logam las dapat diprediksi. Pertama, yang harus dilakukan yaitu menghitung nilai Cr_{eq} dan Ni_{eq} dengan persamaan 1 sampai 6, sebagai berikut:

a. Untuk diagram Schaeffler (persamaan 1 dan 2)

◆ Baja karbon (logam dasar 1):

$$Cr_{eq} = \% Cr + \% Mo + 1,5 \times \% Si + 0,5 \times \% Nb \\ = 0,046 + 0,004 + 0,024 + 0,005 = 0,079$$

$$Ni_{eq} = \% Ni + 30 \times \% C + 0,5 \times \% Mn \\ = 0,027 + 1,95 + 0,1265 = 2,1035$$

◆ Baja tahan karat austenitik (logam dasar 2)

$$Cr_{eq} = \% Cr + \% Mo + 1,5 \times \% Si + 0,5 \times \% Nb \\ = 16,719 + 2,398 + 0,759 + 0 = 19,876$$

$$Ni_{eq} = \% Ni + 30 \times \% C + 0,5 \times \% Mn \\ = 10,85 + 0,69 + 0,922 = 12,462$$

◆ Baja tahan karat austenitik (logam las)

$$Cr_{eq} = \% Cr + \% Mo + 1,5 \times \% Si + 0,5 \times \% Nb \\ = 15,455 + 0,945 + 0,6465 + 0,005 = 17,0515$$

$$Ni_{eq} = \% Ni + 30 \times \% C + 0,5 \times \% Mn \\ = 8,696 + 1,08 + 0,5835 = 10,3595$$

b. Untuk diagram DeLong (persamaan 3 dan 4)

◆ Baja karbon (logam dasar 1):

$$Cr_{eq} = \% Cr + \% Mo + 1,5 \times \% Si + 0,5 \times \% Nb \\ = 0,046 + 0,004 + 0,024 + 0,005 = 0,079$$

$$Ni_{eq} = \% Ni + 30 \times \% C + 30 \times \% N + 0,5 \times \% Mn \\ = 0,027 + 1,95 + 0 + 0,1265 = 2,1035$$

◆ Baja tahan karat austenitik (logam dasar 2)

$$Cr_{eq} = \% Cr + \% Mo + 1,5 \times \% Si + 0,5 \times \% Nb \\ = 16,719 + 2,398 + 0,759 + 0 = 19,876$$

$$Ni_{eq} = \% Ni + 30 \times \% C + 30 \times \% N + 0,5 \times \% Mn \\ = 10,85 + 0,69 + 0 + 0,922 = 12,462$$

◆ Baja tahan karat austenitik (logam las)

$$Cr_{eq} = \% Cr + \% Mo + 1,5 \times \% Si + 0,5 \times \% Nb \\ = 15,455 + 0,945 + 0,6465 + 0,005 = 17,0515$$

$$Ni_{eq} = \% Ni + 30 \times \% C + 30 \times \% N + 0,5 \times \% Mn \\ = 8,696 + 1,08 + 1,8 + 0,5835 = 12,1595$$

c. Untuk diagram WRC-1992 (persamaan 5 dan 6)

◆ Baja karbon (logam dasar 1):

$$Cr_{eq} = \% Cr + \% Mo + 0,7 \times \% Nb \\ = 0,046 + 0,004 + 0,007 = 0,057$$

$$Ni_{eq} = \% Ni + 35 \times \% C + 20 \times \% N + 0,25 \times \% Cu \\ = 0,027 + 2,275 + 0 + 0,001 = 2,303$$

◆ Baja tahan karat austenitik (logam dasar 2)

$$Cr_{eq} = \% Cr + \% Mo + 0,7 \times \% Nb$$

$$= 16,719 + 2,398 + 0 = 19,117$$

$$Ni_{eq} = \%Ni + 35 \times \%C + 20 \times \%N + 0,25 \times \%Cu$$

$$= 10,85 + 0,805 + 0 + 0,075 = 11,73$$

♦ Baja tahan karat austenitik (logam las)

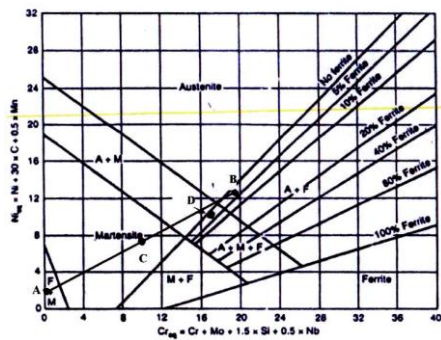
$$Cr_{eq} = \% Cr + \% Mo + 0,7 \times \% Nb$$

$$= 15,455 + 0,945 + 0,007 = 16,407$$

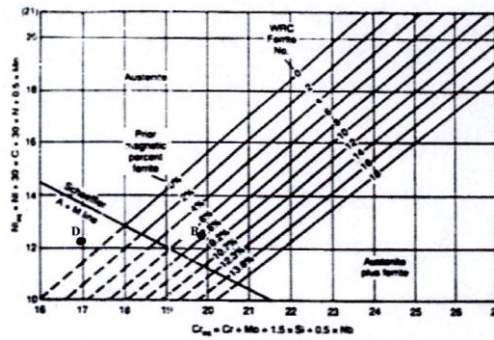
$$Ni_{eq} = \%Ni + 35 \times \%C + 20 \times \%N + 0,25 \times \%Cu$$

$$= 8,696 + 1,26 + 0 + 0,0915 = 10,0475$$

Langkah selanjutnya adalah menggambar koordinat (Cr_{eq} , Ni_{eq}) pada diagram Schaeffler, DeLong dan WRC-1992 yang berturut-turut dapat dilihat pada gambar 1, 2 dan 3. Titik A adalah baja karbon (logam dasar 1), tetapi pada diagram DeLong titik A tidak dapat digambar karena berada di luar area diagram, titik B adalah baja tahan karat austenitik (logam dasar 2). Bila kedua logam dasar dilas tanpa menggunakan logam pengisi, maka akan terbentuk struktur mikro lasan di titik C yang seluruhnya berstruktur martensit (pada diagram Schaeffler). Pada diagram DeLong, titik C tidak bisa digambar karena titik C adalah titik tengah antara titik A dan B. Karena kedua logam dasar dilas dengan menggunakan logam pengisi baja tahan karat austenitik, maka diperoleh struktur mikro lasan pada titik D. Pada titik D, menurut diagram Schaeffler (gambar 1) struktur mikro lasan akan terdiri dari austenit, martensit dan ferit (A+M+F). Ferit yang dimaksud yaitu ferit delta (δ ferrite). Struktur martensit akan menyebabkan lasan sensitif terhadap retak dingin (*cold cracking*), demikian juga struktur austenit dengan kandungan ferit kurang dari 5 % (nomor ferit/FN (*ferrite number*) kurang dari 5) akan menyebabkan kurangnya ketahanan terhadap retak panas (*hot cracking*) (Kotecki, 1995).

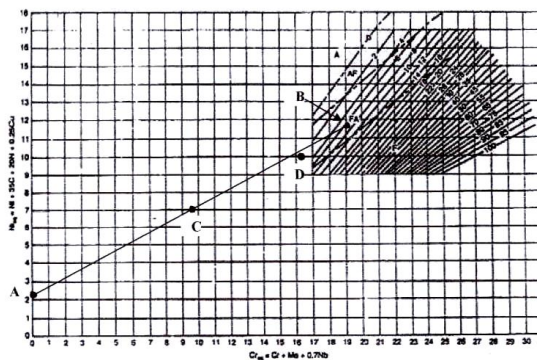


Gambar 1. Prediksi struktur mikro logam dengan diagram Schaeffler



Gambar 2. Prediksi struktur mikro lasan dengan diagram DeLong

Berdasarkan diagram DeLong (gambar 2), diperoleh struktur logam las terdiri dari austenit dan martensit (A+M), sementara kandungan ferit tidak terdeteksi karena titik D berada di atas FN nol. Struktur yang demikian akan menyebabkan lasan sangat peka terhadap retak.



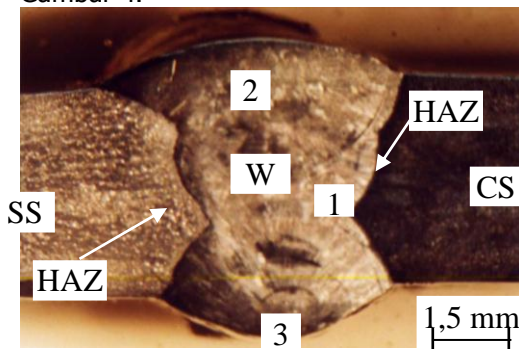
Gambar 3. Prediksi struktur mikro lasan dengan diagram WRC-1992

Berdasarkan diagram WRC-1992 (gambar 3), struktur logam las (titik C atau D) tidak terdeteksi karena titik tersebut berada di luar garis-garis FN. Kotecki (1995) menyatakan bahwa prediksi nomor ferit (*ferrite number*/ FN) pada diagram WRC-1992 hanya akurat bila komposisi logam las berada di daerah garis-garis FN.

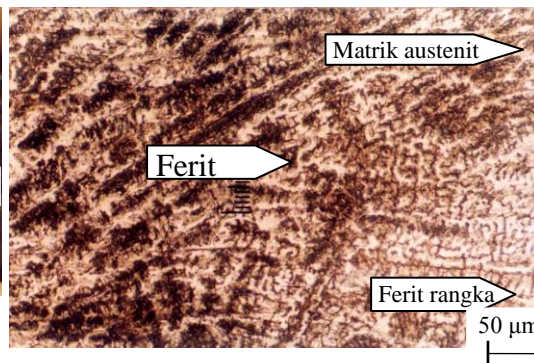
Berdasarkan diagram Schaeffler, diperoleh struktur yang peka terhadap retak karena terbentuk martensit dan austenit dengan kandungan ferit kurang dari 5 %. Untuk memperoleh logam las yang mempunyai ketahanan retak lebih baik, harus dihasilkan struktur logam las yang terdiri dari austenit dengan FN (*ferrite number*) 5 sampai 10 (Feldstein, 1995). Struktur logam las yang demikian dapat diperoleh dengan menggunakan logam pengisi yang tepat. Dalam penelitian ini, dapat digunakan *filler* baja tahan karat tipe 309. Penentuan logam pengisi yang tepat akan efektif dilakukan sebelum pengelasan untuk memperoleh performa las yang lebih baik.

Hasil Foto Struktur Mikro

Hasil foto struktur mikro digunakan untuk memvalidasi hasil perkiraan struktur mikro oleh diagram-diagram tersebut di atas. Pengelasan dilakukan 3 lapis seperti Gambar 4.



Gambar 4. Foto makro penampang lintang sambungan las (12X)

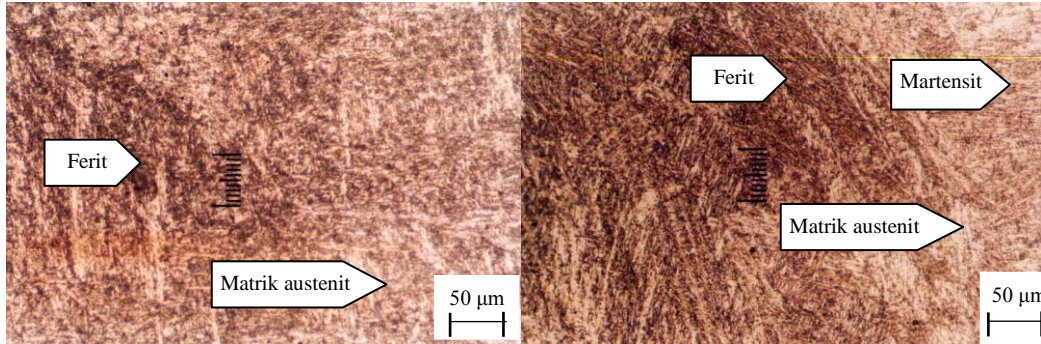


Gambar 5. Struktur mikro logam las lapis 3 (260X).

Dalam pembahasan struktur mikro logam las, logam las dibedakan dalam 3 kelompok berdasarkan lapis las yaitu lapis 1, 2 dan 3. Hal tersebut dilakukan karena objek yang diteliti adalah las logam berbeda sehingga dimungkinkan karakteristik struktur yang terjadi pada logam las juga akan berbeda sesuai dengan posisinya. Pengelompokan berdasarkan lapis las dilakukan untuk mengetahui karakteristik las lapis banyak (*multipass weld*).

Dari gambar 5, terlihat bahwa struktur mikro logam las lapis 3 di dekat baja karbon adalah terdiri dari matrik austenit dengan ferit (dalam pembahasan struktur mikro logam las, ferit yang dimaksud adalah ferit δ berbentuk rangka (*skeletal ferrite*) dan bilah (*lathy ferrite*).

Gambar 6 menunjukkan struktur mikro logam las lapis 2. Daerah ini mengalami pemanasan mula (*preheat*) pada waktu pengelasan. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa struktur yang terbentuk adalah ferit dan matriknya adalah austenit. Morfologi dan ukuran ferit yang terbentuk berbeda-beda. Di dekat baja karbon, ferit yang terbentuk lebih halus dibanding yang terbentuk di dekat baja tahan karat, sedangkan di pusat las struktur yang terbentuk merupakan transisi dari keduanya.



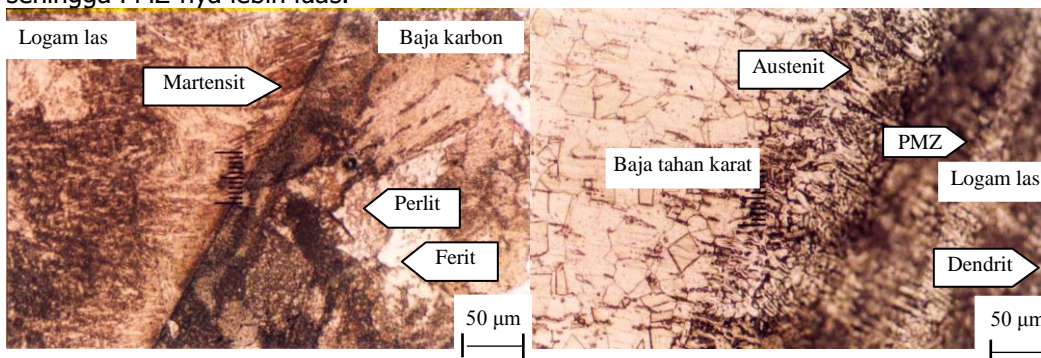
Gambar 6. Struktur mikro logam las lapis 2 (260X)

Gambar 7. Struktur mikro logam las lapis 1 (260X)

Gambar 7 merupakan struktur mikro logam las lapis 1. Daerah ini mengalami pemanasan ulang (*reheating*) pada waktu pengelasan. Dari gambar-gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada saat pembekuan terbentuk struktur ferit. Ferit ini kemudian membentuk inti dendrit matrik austenit tumbuh di sekeliling ferit.

Pada Gambar 7 tersebut terlihat struktur martensit. Hal ini berarti bahwa akibat pengaruh pemanasan ulang, formasi martensit di logam las dekat baja karbon makin luas dibanding yang tidak mengalami pemanasan ulang. Hal ini terjadi karena difusi karbon dari logam dasar baja karbon ke logam las akan makin cepat dengan meningkatnya suhu (Davis, 1995) akibat pemanasan ulang. Dapat dilihat juga bahwa akibat pemanasan ulang struktur mikro logam las menjadi lebih halus. Hal tersebut sesuai dengan yang dinyatakan oleh Easterling (1983), bahwa salah satu akibat pemanasan ulang adalah penghalusan struktur mikro logam las. Dalam kasus ini, struktur mikro logam las lapis 1 diperhalus oleh lapis las 2 dan 3. Penghalusan struktur mikro tersebut pada dasarnya adalah mekanisme rekristalisasi.

Struktur mikro batas antara logam las dengan logam dasar yang berupa daerah cair sebagian (*partially melted zone* PMZ), berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Dari gambar-gambar tersebut dapat dilihat bahwa karakteristik batas las antara logam las dengan baja karbon (logam dasar 1) berbeda dengan batas las antara logam las dengan baja tahan karat (logam dasar 2). Pada batas antara logam las dengan baja karbon (gambar 8) dapat dilihat bahwa pada saat pengelasan, hanya sebagian kecil baja karbon yang ikut melebur sehingga batas antara logam las dengan baja karbon terlihat seperti sebuah garis karena PMZ-nya relatif sempit. Sedangkan pada batas antara logam las dengan baja tahan karat (gambar 9) terlihat bahwa pada saat pengelasan, baja tahan karat yang ikut melebur lebih banyak dibanding baja karbon sehingga PMZ-nya lebih luas.



Gambar 8. Struktur mikro batas logam las dengan baja karbon (260X)

Gambar 9. Struktur mikro batas logam las dengan baja tahan karat (260X)

Pada Gambar 8, dapat dilihat bahwa struktur mikro logam las di dekat batas lebur (*fusion boundary*) adalah martensit. Hal tersebut sesuai dengan analisa hasil Validasi Diagram Schaeffler, Delong, dan WRC-1992 Dalam Memprediksi Struktur Mikro Pada Pengelasan Logam Berbeda Antara Baja Karbon Rendah dengan Baja Tahan Karat– Triyono, dkk

pengujian komposisi kimia logam las, struktur yang terbentuk berdasarkan diagram Schaeffler adalah terdiri dari ferit, austenit dan martensit. Terbentuknya struktur martensit juga dipengaruhi oleh adanya migrasi karbon (*carbon migration*) dari baja karbon ke logam las (Barnhouse dan Lippold, 2003). Di daerah pertumbuhan butir pada HAZ baja karbon struktur mikronya adalah ferit dan perlit berbutir kasar. Daerah yang tampak seperti garis hitam yang memisahkan antara baja karbon dengan logam las adalah PMZ.

Dari gambar-gambar strukturmikro di atas, secara umum terdapat 3 struktur utama yang terdapat pada logam las, yaitu struktur ferit delta, austenit dan martensit. Jika dihubungkan dengan diagram Schaeffler, DeLong dan WRC-1992, strukturmikro tersebut sesuai dengan hasil prediksi diagram Schaeffler. Sedangkan diagram DeLong dan WRC-1992 tidak dapat memprediksi dengan tepat karena terdapat titik-titik yang berada di luar daerah diagram.

KESIMPULAN

1. Struktur mikro logam las terdiri dari ferit, austenit dan martensit.
2. Diagram Schaeffler adalah diagram yang paling cocok untuk memprediksi struktur mikro logam las sambungan beda jenis antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat.
3. Daerah lebur sebagian (PMZ) untuk baja karbon lebih sempit dibandingkan dengan daerah PMZ baja tahan karat.

DAFTAR PUSTAKA

- Barnhouse, E.J. dan J.C. Lippold, 2003, *Microstructure/Property Relationship in Dissimilar Welds Between Duplex Stainless Steel and Carbon Steel*.
- Davis, J.R., 1995, *Hardfacing, Weld Cladding and Dissimilar Metal Joining*, ASM Handbook Vol. 6.
- Easterling, Kenneth, 1983, *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding*, Butterworth & Co. (Publisher) Ltd., London.
- Kotecki(1), D.J., 1995, *Welding of Stainless Steel*, ASM Handbook Vol. 6.
- Kotecki(2), D.J., 1999, *A Martensite Boundary on the WRC-1992 Diagram*, *Welding Journal*, May 1999, pp. 180-s – 192-s.
- Morris, Ryan, 2003, *Comparing the Physical Properties of Joining A36 Carbon Steel to 304 Stainless Steel*.
- Rowe, M.D. dkk., 1999, *Hydrogen-Induced Cracking Along the Fusion Boundary of Dissimilar Welds*, *Welding Journal*, February 1999, pp. 31-s – 37-s.
- Wisconsin Wire Work Inc., 2003, *Welding Dissimilar Metals With Wisconsin Wire Works Copper-Base Filler Metals*, USA.