

PENGARUH METODE PENDINGINAN PADA PERLAKUAN PANAS PASCA PENGELASAN TERHADAP KARAKTERISTIK SAMBUNGAN LAS LOGAM BERBEDA

Triyono¹, Zainal Arifin¹

¹ Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta

Email: tyon_bila@yahoo.co.id, telp/fax. 0271-632163

abstract

The dissimilar metal welding between SS 400 low carbon steel and AISI 304 austenitic stainless steel had a problem where chromium carbide (Cr_{23}C_6) was formed on the grain boundary region of HAZ austenitic stainless steel. As we know, the fact that chromium carbide will decreased the corrosion resistant on austenitic stainless steel, so we have to minimized the forming of chromium carbide.

Gas Metal Arc Welding (GMAW) was used to joint the base metal. Post weld heat treatment temperature was carried out at 1100 °C with 1 hour holding time. Water cooling, oil cooling, and air cooling was used for the cooling methods. While for the corrosion test carried out based on ASTM A 262.93a (Practice B) and ASTM G1.90 (Practice C 7.5) standard.

Generally, post weld heat treatment on austenitic stainless steel could increase the corrosion resistant. The highest corrosion resistant was found on the water cooling method. In the corrosion test within 88 hours, it was found that the decrease of average corrosion rate on the water cooling method was 27.88 % slower than average corrosion rate without specific treatment. While the decrease of average corrosion rate on the oil cooling method and air cooling method were 18.31 % and 8.16 % respectively slower than average corrosion rate without specific treatment.

Keywords : *chromium carbide, post weld heat treatment, the cooling method*

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. Luasnya penggunaan teknologi pengelasan disebabkan karena prosesnya lebih mudah, sederhana, dan murah (Wiryosumarto, 2000).

Salah satu contoh pengelasan logam berbeda yang diterapkan di PT. INKA adalah pengelasan pada pembuatan pintu kereta api yang merupakan pengelasan antara baja tahan karat (bagian bawah) dengan baja karbon (bagian atas). Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan kondisi kerja dari bagian bawah pintu yang lebih rentan terkena korosi.

Korosi (*corrosion*) merupakan salah satu penyebab kerusakan pada material logam termasuk juga pada pengelasan logam berbeda dimana terjadi penipisan atau pengurangan material yang disebabkan oleh lingkungan. (Fontana, 1987). Material logam akan menghadapi berbagai macam lingkungan, baik selama tahapan pembuatan, pemindahan, dan penyimpanan, maupun ketika kelak harus menjalankan tugas sehari-hari. Perubahan kecil saja pada lingkungan, laju aliran, dan adanya polusi dapat mengubah sifat dan ketahanan korosi secara radikal.

Dalam proses pengelasan pada baja tahan karat dapat terjadi pembentukan karbida krom (Cr_{23}C_6) di bagian batas butir atau disebut juga sensitasi. Kondisi ini banyak dijumpai pada daerah terpengaruh panas (*heat affected zone/ HAZ*). Terbentuknya karbida krom ini merupakan salah satu penyebab terjadinya korosi batas butir (*intergranular corrosion/ IGC*). Untuk mengurangi terjadinya korosi batas butir ini maka perlu adanya perubahan struktur mikro dari lasan yaitu dengan cara memberi perlakuan panas pasca pengelasan (*post weld heat treatment /PWHT*) (Mikell, 1996).

Di dalam proses perlakuan panas (*heat treatment*) terdiri dari tiga tahap yaitu; *heating*, *holding*, dan *cooling*, dimana ketiga tahap tersebut akan mempengaruhi hasil proses *heat treatment*. Faktor utama yang sangat mempengaruhi perubahan sifat mekanik ini adalah perubahan *phase*. Struktur dari *phase* tersebut sangat dipengaruhi oleh temperatur pemanasan (*heating*), lama pemanasan (*holding time*), dan kecepatan pendinginan (*cooling rate*).

Dengan perlakuan panas pada temperatur 1100 °C diharapkan terjadi proses penguraian karbida krom (Cr_{23}C_6) atau disebut juga disolusi. Namun sebaliknya, pada proses pendinginan dapat terbentuk kembali endapan karbida krom (Cr_{23}C_6) tersebut, dimana atom karbon (C) berdifusi dengan atom krom (Cr) dan membentuk suatu ikatan (Sutaryono, 2004). Berdasarkan teori ini, maka proses pendinginan menjadi hal yang penting dalam pembentukan karbida krom sehingga diperlukan penelitian mengenai metode pendinginan yang paling baik untuk mengurangi resiko terbentuknya karbida krom.

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 tergantung pada komposisi logam pengisi (*filler metal*), prosedur pengelasan dan dilusi relatif dengan setiap logam dasar. Selain itu terdapat dua daerah terpengaruh panas (*heat affected zone/ HAZ*) yang berbeda, satu pada setiap logam dasar yang letaknya berdekatan dengan logam las (Davis, 1995).

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

Secara umum, pengaruh proses las dan parameternya pada struktur mikro mengacu pada pengaruh komposisi dan termal. Pengaruh komposisi sebagian besar hanya terbatas pada daerah lebur (*fussion zone*). Sedangkan siklus termal yang terjadi berpengaruh pada daerah lebur dan daerah terpengaruh panas (*heat affected zone/ HAZ*). Struktur mikro lasan dapat diketahui dengan pengamatan benda uji menggunakan mikroskop metalurgi dengan perbesaran tertentu (Sutaryono, 2004).

Kekerasan yang tinggi sepanjang batas lebur diakibatkan oleh formasi martensit pada permukaan daerah tersebut. Keberadaan martensit 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). Nilai kekerasan cenderung menurun mulai dari batas lebur sampai logam dasar (Easterling, 1983).

Kromium (Cr) dalam baja mempunyai afinitas (daya tarik-menarik) yang lebih besar terhadap karbon dibandingkan besi. Ketika baja karbon atau baja paduan rendah dilas dengan logam pengisi yang memiliki kandungan kromium tinggi, karbon akan berdifusi dari logam dasar ke logam las pada temperatur di atas 450°C dan akan meningkat lebih cepat pada temperatur 595°C atau lebih (Davis, 1995).

Anindito P dan Eko S (2002) meneliti pengaruh *holding time* dan *cooling rate* pada proses perlakuan panas terhadap ketahanan korosi baja ASSAB 760. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa pengaruh *cooling rate* dan *holding time* mempunyai kecenderungan bahwa semakin lambat laju pendinginan dan semakin lama waktu holding akan meningkatkan laju korosi atau menurunkan ketahanan korosi.

METODOLOGI

Pembuatan Spesimen dan Perlakuan Panas

Proses pembuatan spesimen dalam penelitian ini dilakukan di PT. INKA Madiun, yang dilakukan oleh tenaga ahli dari PT. INKA Madiun. Proses ini meliputi pemotongan bahan yaitu plat baja tahan karat AISI 304 dan baja karbon rendah SS 400 dengan ketebalan 1,5 mm dengan ukuran panjang 400 mm dan lebar 150 mm. Kemudian dilanjutkan dengan proses pengelasan GMAW.

Proses pengelasan yang digunakan adalah las busur metal gas mulia (*Gas Metal Arc Welding/GMAW*) dengan gas pelindung Argon 97%. Adapun parameter pengelasan adalah sebagai berikut:

- Arus (I) : 160 A
- Tegangan (E) : 22 V
- Sumber arus : DC polaritas
- Asumsi efisiensi lurus
perpindahan panas : 0,7 (Kou, 1987)
(η)
- Kecepatan las rata- : 11 mm/detik
rata : 20% - 40%
- Dilusi

Setelah proses pengelasan, dilakukan perlakuan panas. Perlakuan panas dilaksanakan dengan menggunakan *furnace* yakni dengan memanaskan spesimen pada temperatur 1100°C dengan waktu tahan selama 1 jam. Setelah itu spesimen didinginkan dengan media pendingin berupa air, oli dan udara. Kemudian spesimen las ini dipotong-potong menjadi beberapa bagian dengan dimensi yang sesuai untuk pengujian kekerasan dan korosi, seperti terlihat pada gambar 1 dan gambar 2.

Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro ini dimulai dengan cara dihaluskan terlebih dahulu bagian permukaan spesimen dengan amplas kemudian dilanjutkan dengan penghalusan *autosol* jika diperkirakan sudah halus baru dilakukan pengetsaan permukaan logam yang dihaluskan. Pengetsaan dilakukan dengan larutan HNO_3 3% untuk mengetsa baja karbon dan larutan aquaredia (merupakan larutan dengan komposisi 3 HCl + HNO_3) untuk mengetsa baja tahan karat. Pengamatan dilakukan di Laboratorium Ilmu Bahan Jurusan D3 Teknik Mesin UGM dengan mikroskop logam perbesaran 200 X.



Gambar 1 Dimensi spesimen untuk struktur mikro dan uji kekerasan



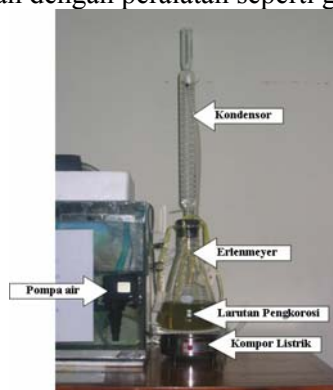
Gambar 2 Dimensi spesimen untuk uji korosi

Pengujian Kekerasan

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui harga kekerasan logam induk, daerah terpengaruh panas, dan logam las sebelum dan sesudah proses perlakuan panas. Untuk kekerasan *MicroVickers* dilakukan di Laboratorium Ilmu Bahan Jurusan D3 Teknik Mesin UGM. Beban yang digunakan adalah 200 gf dengan lama pembebanan 5 detik.

Pengujian Korosi

Pengujian ini menggunakan standar ASTM A 262.93.a (*Practise B*) yaitu proses pengkorosian yang dilakukan dengan menggunakan larutan pengkorosi berupa larutan asam sulfat (H_2SO_4), *ferric sulfate* $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ dan air destilasi sebagai pelarut. Dan juga standar ASTM G1-90 (*Practise C 7.5*) yaitu proses pembersihan yang dilakukan dengan menggunakan larutan pembersih korosi berupa asam nitrat (HNO_3), asam hidrofluorida (HF), dan air destilasi sebagai pelarut. Pengujian dilakukan dengan peralatan seperti gambar 3.



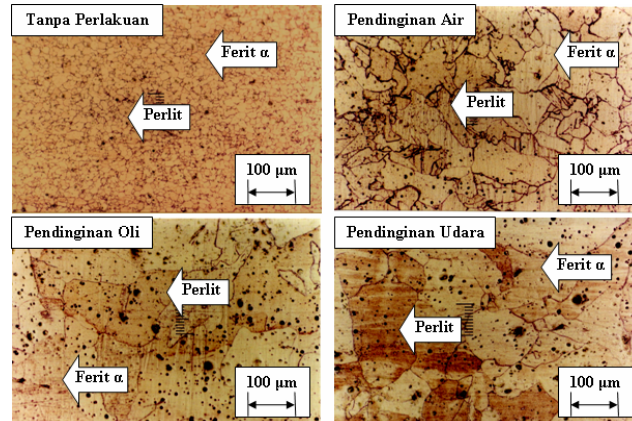
Gambar 3. Alat Uji Korosi

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

Hasil Foto Struktur Mikro

Foto struktur mikro dilakukan pada 5 tempat di penampang sambungan las yaitu pada bagian logam induk stainless steel (BASE SS), HAZ stainless steel (HAZ SS), logam las, HAZ carbon steel (HAZ CS), dan logam induk carbon steel (BASE SC) dengan perbesaran 200 X. Hal ini dilakukan agar dapat melihat perbandingan struktur mikro yang terjadi pada masing-masing bagian tersebut.

Perbandingan struktur mikro dari hasil lasan dengan dan tanpa perlakuan pada bagian logam dasar baja karbon (Base CS) dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut:

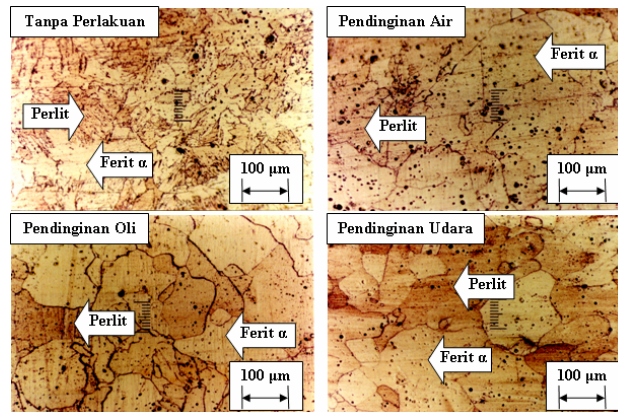


Gambar 4. Perbandingan struktur mikro pada bagian logam induk baja karbon (Base CS) akibat variasi metode pendinginan.

Pada gambar 4. dapat dilihat bahwa struktur mikro logam induk pada baja karbon (Base CS) terdiri dari ferit α (α -ferrite) dan perlit dengan komposisi ferit lebih banyak dari perlit karena merupakan baja karbon rendah ($C=0,21\%$). Selain itu, diketahui juga bahwa tidak terbentuk struktur martensit, hal ini disebabkan pada baja karbon SS 400 memiliki kandungan karbon yang rendah sehingga membatasi terjadinya migrasi atom karbon yang merupakan salah satu syarat pembentukan formasi martensit (Barnhouse dan Lippold, 2003).

Pada perlakuan panas mencapai temperatur 1100°C sudah terjadi proses rekristalisasi. Karena menurut Vlack (2001), temperatur rekristalisasi (T_r) untuk logam pada umumnya adalah diantara 0,3 hingga 0,6 dari T_{cair} . Jadi jika diketahui pada baja karbon T_{cair} adalah 1525°C maka pada temperatur 1100°C sudah terjadi rekristalisasi. Pada temperatur rekristalisasi ini butir akan tumbuh dengan sendirinya, hal ini disebabkan atom-atom di dalam logam sudah memiliki energi aktivasi yang cukup untuk keluar dari ikatannya dan membentuk ikatan yang lebih stabil, proses difusi ini mampu melewati batas butir sehingga menyatukan beberapa butir kecil dan akhirnya membentuk butir baru dengan ukuran yang lebih besar.

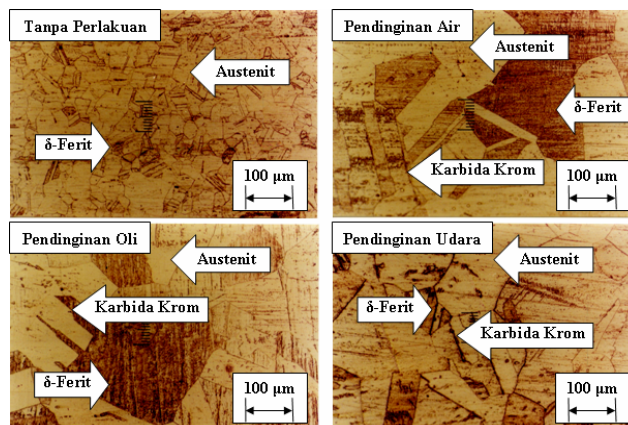
Pada gambar 4 juga terlihat perbedaan butir pada bagian logam induk baja karbon (Base CS) akibat dari variasi metode pendinginan. Pada struktur mikro dengan metode pendinginan air lebih halus dibandingkan dengan struktur mikro yang dihasilkan dengan metode pendinginan oli maupun udara. Hal ini disebabkan dengan semakin cepatnya laju pendinginan atau penurunan suhu maka pertumbuhan butir dapat berhenti dengan semakin cepat pula (Vlack, 2001).



Gambar 5. Perbandingan struktur mikro pada bagian HAZ baja karbon (HAZ CS) akibat variasi metode pendinginan.

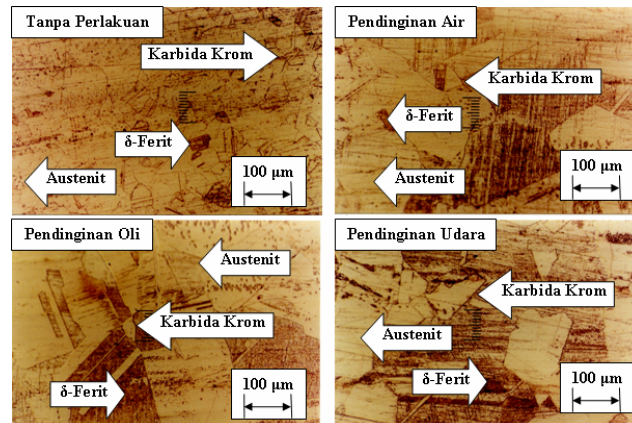
Pada gambar 5 dapat dilihat perbedaan butir pada bagian HAZ baja karbon (HAZ CS) akibat dari variasi metode pendinginan. Pada struktur mikro dengan metode pendinginan air lebih halus dibandingkan dengan struktur mikro yang dihasilkan dengan metode pendinginan oli maupun udara. Hal ini disebabkan dengan semakin cepatnya laju pendinginan atau penurunan suhu maka pertumbuhan butir dapat berhenti dengan semakin cepat pula (Vlack, 2001). Dari pengamatan struktur mikro pada bagian HAZ baja karbon ini, tidak banyak terjadi perbedaan dengan bagian logam induknya.

Pada gambar 6, dapat dilihat bahwa struktur mikro logam induk pada baja tahan karat (Base SS) terdiri dari austenit dan ferit δ (δ -ferrite). Menurut Vlack (2001), temperatur rekristalisasi (T_r) untuk logam pada umumnya adalah diantara 0,3 hingga 0,6 dari T_{cair} . Jadi jika diketahui T_{cair} pada baja tahan karat austenitik seri 300 adalah 1450 °C maka pada temperatur 1100 °C sudah terjadi rekristalisasi. Pada temperatur rekristalisasi maka butir akan tumbuh dengan sendirinya.



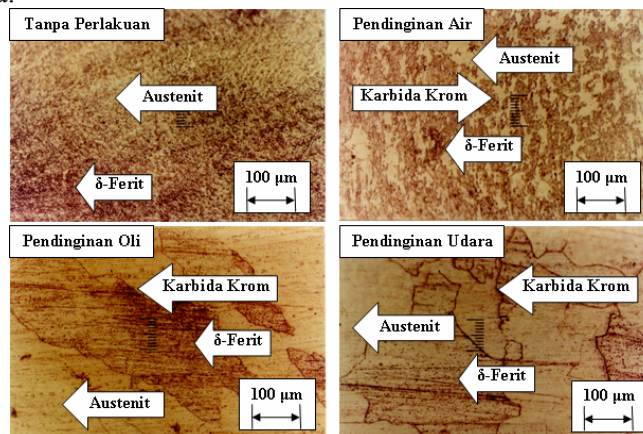
Gambar 6. Perbandingan struktur mikro pada bagian logam induk baja tahan karat (Base SS) akibat variasi metode pendinginan.

Pada bagian batas butir dengan metode pendinginan udara terlihat sangat gelap dibandingkan dengan metode pendinginan air maupun oli. Hal ini membuktikan pada metode pendinginan udara lebih banyak terbentuk endapan (*precipitate*) karbida krom ($Cr_{23}C_6$). Pada temperatur 950 °C sampai 500 °C saat pendinginan terbentuk presipitasi karbida krom, pada temperatur sensitisasi ini atom karbon (C) dan krom (Cr) akan membentuk karbida krom dan mengendap berupa pertikel kecil. Karbida ini terbentuk di batas butir dan menyebabkan unsur krom di daerah sekitar batas butir akan berkurang sehingga akan menurunkan ketahanan korosi logam tersebut terutama korosi batas butir (Sonawan – Suratman). Semakin cepat laju pendinginan maka kemungkinan terbentuknya karbida krom akan semakin kecil karena tidak cukup waktu untuk pembentukan endapan ini. Oleh karena itu, pada metode pendinginan udara lebih banyak terjadi presipitasi karbida krom daripada metode pendinginan air dan oli.



Gambar 7. Perbandingan struktur mikro pada bagian HAZ baja tahan karat (HAZ SS) akibat variasi metode pendinginan.

Pada gambar 7, dapat dilihat bahwa struktur mikro HAZ pada baja tahan karat (HAZ SS) terdiri dari austenit dan ferit δ (δ -ferrite) dan hanya terjadi perbesaran butir akibat pemanasan hingga temperatur rekristalisasi, karena pada temperatur rekristalisasi butir akan tumbuh dengan sendirinya. Selain itu juga terlihat bahwa pada bagian batas butir dengan metode pendinginan udara terlihat sangat gelap dibandingkan dengan metode pendinginan air maupun oli. Hal ini membuktikan pada metode pendinginan udara lebih banyak terbentuk endapan (*precipitate*) karbida krom (Cr_{23}C_6). Dari pengamatan struktur mikro pada bagian HAZ baja tahan karat ini, tidak banyak terjadi perbedaan dengan bagian logam induknya.



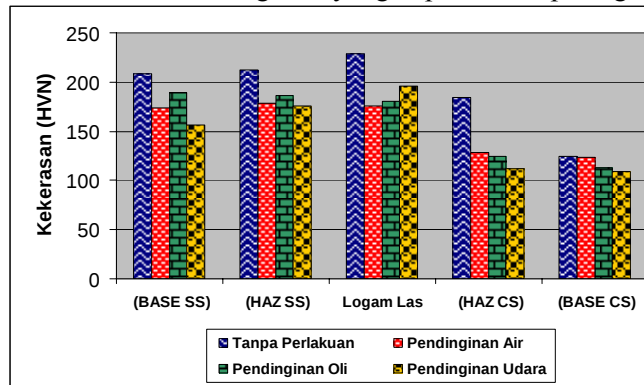
Gambar 8. Perbandingan struktur mikro pada bagian logam las akibat variasi metode pendinginan.

Pada gambar 8, dapat dilihat bahwa struktur mikro logam las dengan atau tanpa perlakuan tetap berbentuk austenit dan ferit δ (δ -ferrite) dan hanya terjadi perbesaran butir akibat pemanasan hingga temperatur rekristalisasi, karena pada temperatur rekristalisasi butir akan tumbuh dengan sendirinya. Pada struktur mikro dengan metode pendinginan air lebih halus dibandingkan dengan struktur mikro yang dihasilkan dengan metode pendinginan air maupun udara. Hal ini disebabkan dengan semakin cepatnya laju pendinginan atau penurunan suhu maka pertumbuhan butir dapat berhenti dengan semakin cepat pula (Vlack, 2001).

Selain itu juga terlihat bahwa pada bagian batas butir dengan metode pendinginan udara terlihat sangat gelap dibandingkan dengan metode pendinginan air maupun oli. Hal ini membuktikan pada metode pendinginan udara lebih banyak terbentuk endapan (*precipitate*) karbida krom (Cr_{23}C_6).

Hasil Pengujian Kekerasan Mikro

Data hasil uji kekerasan diolah dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik nilai rata-rata kekerasan mikro Vickers

Berdasarkan gambar 9 tersebut, dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi pada setiap spesimen adalah pada logam las kemudian baja tahan karat dan baja karbon. Hal ini relevan dengan penelitian yang dilakukan oleh Nicolas dan Laurent (2001) yang menyatakan bahwa baja tahan karat mempunyai kekerasan lebih tinggi dari baja karbon karena struktur mikro yang terbentuk adalah austenit dan ferit δ , sedangkan struktur mikro baja karbon adalah ferit α dan perlit. Kekerasan tertinggi terjadi pada logam las karena struktur yang terbentuk adalah austenit dan ferit δ yang halus.

Selain itu dapat dilihat juga bahwa terjadi penurunan nilai kekerasan setelah perlakuan panas dengan variasi metode pendinginan air, oli, dan udara. Hal ini disebabkan struktur butir menjadi membesar setelah mengalami perlakuan panas sehingga mengurangi jumlah daerah batas butir yang berfungsi menghalangi terjadinya slip atau pergeseran. Selain bentuk butir yang besar, terjadinya penurunan harga kekerasan pada baja karbon rendah disebabkan juga oleh pembentukan partikel karbida yang membulat sehingga kurang efektif sebagai penghambat deformasi plastik serta tidak terbentuknya fasa martensit karena kandungan karbon yang terbatas (Vlack, 1992). Menurut Sonawan dan Suratman pada baja tahan karat austenitik hanya dapat dikeraskan dengan cara pemaduan (*solid solution*) atau dengan pengerjaan dingin (deformasi plastik).

Hasil Pengujian Korosi

Pada pengujian korosi ini dilakukan selama 120 jam dimana dibagi dalam 8 tahap sehingga dapat diketahui dengan cukup jelas laju korosi dari masing-masing spesimen. Pada tahap pertama, pengujian dilakukan selama 2 jam kemudian dilanjutkan tahap-tahap berikutnya yaitu: 4 jam, 8 jam, 12 jam, 16 jam, 20 jam, 26 jam, dan terakhir 32 jam sehingga secara keseluruhan didapatkan total waktu pengujian selama 120 jam.

Dari pengujian korosi yang telah dilakukan, didapatkan data berupa kehilangan berat (*weight loss*) dari masing-masing spesimen dimana pada pengujian ini menggunakan standar ASTM A 262.93.a (*Practise B*) yang hanya mengevaluasi *weight loss per unit area* (Jones, 1992). Adapun data yang didapatkan dari pengujian ditampilkan pada tabel 1. Kemudian dibuat grafik seperti terlihat pada gambar 10.

Tabel 1. Data laju korosi berdasarkan kehilangan berat

Waktu Pengujian (jam)	Tanpa Perlakuan		Pendinginan Air		Pendinginan Oli		Pendinginan Udara	
	Kehilangan Berat (g)	Laju Korosi (g/jam)	Kehilangan Berat (g)	Laju Korosi (g/jam)	Kehilangan Berat (g)	Laju Korosi (g/jam)	Kehilangan Berat (g)	Laju Korosi (g/jam)
2	9.0378	4.5189	6.6279	3.3139	7.2280	3.6440	8.6980	4.3490
6	10.9607	1.8268	7.4626	1.2438	9.0861	1.5143	9.4763	1.5793
14	11.8295	0.8449	8.3550	0.5968	9.8958	0.7068	10.1208	0.7229
26	12.3650	0.4756	8.9640	0.3448	10.1862	0.3917	10.3957	0.3998
42	12.8832	0.3067	9.7818	0.2329	10.6846	0.2544	10.8624	0.2586
62	13.0590	0.2106	10.0384	0.1619	10.7890	0.1740	10.9909	0.1772
88	13.2715	0.1508	10.1908	0.1158	10.8711	0.1235	11.0541	0.1256
120	13.5897	0.1132	10.5110	0.0878	-	-	-	-
Laju Korosi Rata-Rata (hingga pengujian 88 jam)		1.1906		0.8586		0.9726		1.0875

Pada tabel 1 dapat dilihat bahwa laju korosi rata-rata pada spesimen tanpa perlakuan paling tinggi diikuti kemudian oleh spesimen dengan metode pendinginan udara, oli, dan yang terendah adalah air. Selain itu, dapat juga dicari perbandingan laju korosi rata-rata pada spesimen metode pendinginan air, oli, dan udara terhadap spesimen

tanpa perlakuan dimana dilakukan perhitungan hingga pengujian selama 88 jam dan didapatkan nilai sebagai berikut :

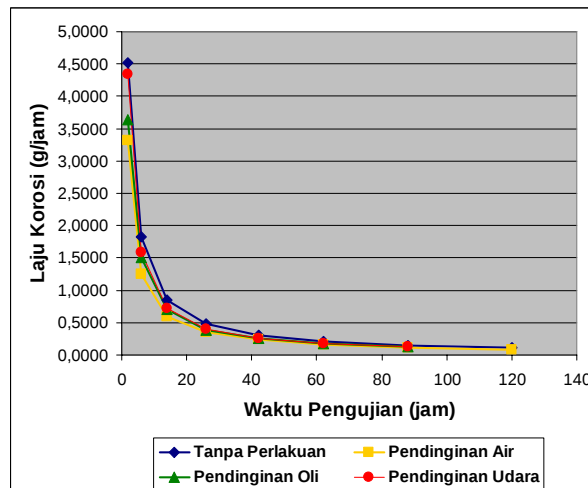
- ☑ Pendinginan Air

$$\frac{1,1906 - 0,8586}{1,1906} \times 100\% = 27.88\%$$
- ☑ Pendinginan Oli

$$\frac{1,1906 - 0,9726}{1,1906} \times 100\% = 18.31\%$$
- ☑ Pendinginan Udara

$$\frac{1,1906 - 1,0875}{1,1906} \times 100\% = 8.16\%$$

Dari hasil perhitungan di atas diketahui bahwa penurunan laju korosi rata-rata pada spesimen dengan metode pendinginan air adalah 27,88 % terhadap spesimen tanpa perlakuan, sedangkan pada spesimen dengan metode pendinginan oli dan udara penurunan laju korosi rata-ratanya sebesar 18,31 % dan 8.16 % terhadap spesimen tanpa perlakuan.



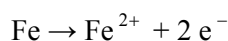
Gambar 10. Grafik laju korosi

Pada gambar 10, dapat dilihat bahwa untuk spesimen dengan perlakuan panas maka spesimen dengan metode pendinginan air memiliki penurunan laju korosi paling rendah kemudian diikuti oleh spesimen dengan metode pendinginan oli dan udara. Hal ini sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan oleh Anindito dan Eko (2002) pada baja ASSAB 760. Penurunan laju korosi ini disebabkan terjadinya pengurangan dimensi spesimen pada tahap pengujian sebelumnya sehingga akan mengurangi luas permukaan yang nantinya akan terkorosi, selain itu juga disebabkan oleh pengurangan konsentrasi ion sulfat (SO_4^{2-}) di dalam larutan pengkorosi akibat terbentuknya endapan $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ pada tahap pengujian sebelumnya.

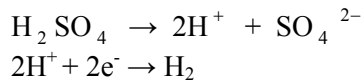
Pada tabel 1 diketahui juga bahwa pengujian untuk spesimen dengan metode pendinginan oli dan udara berakhir pada saat waktu pengujian mencapai 88 jam, hal ini dikarenakan pada spesimen tersebut tidak lagi memiliki dimensi yang memungkinkan untuk dilakukan pengujian lebih lanjut.

Proses korosi yang terjadi merupakan suatu proses elektrolisa. Proses elektrolisa adalah peristiwa terjadinya perubahan kimia karena mengalirnya arus listrik melalui larutan elektrolit. Penguraian elektrolit terjadi karena atom atau ion melepaskan atau menerima elektron pada elektroda-elektroda. Pada pengujian korosi menggunakan standar ASTM A 262.93.a (*Practise B*) diketahui bahwa larutan elektrolitnya berupa asam sulfat (H_2SO_4).

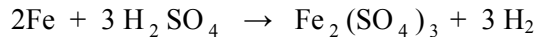
Ketika spesimen dimasukkan ke dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4), maka logam akan bereaksi secara elektrokimia dengan elektrolit dan akan terbentuk daerah-daerah anoda dan katoda. Pada anoda berlangsung proses oksidasi dimana ion-ion logam akan meninggalkan permukaan logam ke elektrolit.



Pada saat yang sama, di katoda berlangsung proses reduksi dengan laju yang sama dengan proses oksidasi. Dua macam reaksi reduksi yang umum, pertama reduksi sulfat dalam larutan, dan kedua pembentukan gas hidrogen.



Setelah terjadi reaksi reduksi dan oksidasi maka akan menghasilkan korosi (kerak) berupa garam metal yang mengendap. Endapan ini merupakan senyawa yang sukar larut dalam larutan tersebut.



KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Struktur mikro yang terbentuk pada logam las, HAZ baja tahan karat, dan logam induk baja tahan karat adalah austenit dan ferit δ . Sedangkan pada HAZ baja karbon rendah dan logam induk baja karbon rendah adalah ferit α dan perlit.
2. Terbentuknya endapan karbida krom di bagian batas butir pada logam las, HAZ baja tahan karat, dan logam induk baja tahan karat setelah mengalami perlakuan panas pasca pengelasan.
3. Nilai kekerasan tertinggi pada hasil lasan terdapat di logam las diikuti kemudian HAZ baja tahan karat, logam induk baja tahan karat, HAZ baja karbon rendah dan terakhir logam induk baja karbon rendah.
4. Perlakuan panas dengan variasi metode pendinginan air, oli dan udara menyebabkan terjadinya penurunan nilai kekerasan.
5. Perlakuan panas dengan variasi metode pendinginan air, oli dan udara mampu meningkatkan ketahanan korosi.
6. Perlakuan panas dengan variasi metode pendinginan air memiliki ketahanan korosi paling baik diikuti kemudian metode pendinginan oli dan udara.
7. Dalam pengujian korosi selama 88 jam diketahui bahwa penurunan laju korosi rata-rata pada spesimen dengan metode pendinginan air, oli, dan udara adalah 27,88 %, 18,31 % dan 8,16 % terhadap spesimen tanpa perlakuan.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal berikut:

1. Untuk proses perlakuan panas setelah pengelasan (*post weld heat treatment /PWHT*) sebaiknya dilakukan dalam kondisi vakum agar terhindar dari proses oksida logam.
2. Perlu diteliti lebih lanjut mengenai hubungan karakteristik nilai kekerasan dengan laju korosi.
3. Perlu diteliti lebih lanjut mengenai pengaruh *holding time* dalam pembentukan karbida krom (Cr_{23}C_6) pada proses perlakuan panas baja tahan karat.
4. Perlu diteliti lebih lanjut mengenai pengaruh unsur molibdenum (Mo) dan titanium (Ti) dalam mereduksi karbida krom pada baja tahan karat.
5. Perlu diteliti lebih lanjut mengenai pengendalian korosi yang akan lebih meningkatkan ketahanan korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM A 262. 93a. *Standard Practice for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels*.
- ASTM G1. 90. *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluate Corrosion test Specimens*.
- Anindito P dan Eko S. 2000. "Pengaruh Holding Time dan cooling Rate Pada Proses Perlakuan Panas Terhadap Ketahanan Korosi Pada baja ASSAB 760". Jurnal Teknik/Vol VII. Universitas Brawijaya.
- Barnhouse dan Lippold. 2003. *Microstructure / Property Relationship in Dissimilar Welds Between Duplex Stainless Steel and Carbon Steel*.
- Davis. 1995. *Characterization of Weld*. ASM Handbook Vol. 6
- Easterling. Kenneth. 1983. *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding*. Butterworth & Co. (Publisher) Ltd. London.
- Hamada dan Yamauchi. 2001. *Kepekaan Logam Las terhadap Korosi Batas Butir*. University of Tokyo. Jepang
- Jones Deny A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. Dept. of Chemical and Metallurgical Engineering. University of Nevada.

- Leman, S.A. 2004. *Pengaruh Waktu dan Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis-Fisis dan Korosi*. Tesis S-2. UGM. Yogyakarta
- Nicolas dan Laurent. 2001 *Principles of Materials Science and Engineering*. Mc Graw-Hill. Inc. USA.
- Siswosuwarno M. 1985. *Teknik Pembentukan Logam*. Jilid 1. Bandung.
- Sonawan H. Dan Suratman R. 2004. *Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Alfabeta. Bandung.
- Suardhana L dan Prayitno. 1988. *Ringkasan Kimia*. Ganeca Exact Bandung.
- Surdia T. dan Saito S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta. PT Pradnya Paramita.
- Sutaryono. 2004. *Karakteristik Sambungan Las Antara Baja Karbon Rendah AISI 1010 Dengan Baja Tahan Karat Austenitik AISI 316L*. Skripsi S1 Teknik Mesin FT. UNS. Surakarta.
- Vlack Van LH. 1992. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta. Erlangga.
- Vlack Van LH. 2001. *Elemen-Elemen Ilmu dan Rekayasa Material Edisi 6*. Jakarta. Erlangga.
- Wibowo, H. 2004. *Pengaruh Waktu dan Pendinginan Pada Spot Welding Terhadap Sifat Mekanis-Fisis dan Korosi*. Tesis S-2. UGM. Yogyakarta.
- Widharto S. 2001. *Korosi dan Pencegahannya*. Jakarta. PT. Pradnya Paramita
- Wiryo Sumarto H. dan Okumura T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta. PT Pradnya Paramita.