

## **Pengaruh Temperatur *Quench* Terhadap Laju Korosi dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Baja Keylos 50**

**Arya Aji Priatama, Suharno, Ranto**

Jurusan Pendidikan Teknik dan Kejuruan, Program Studi Teknik Mesin,  
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta  
Email: aryaptm10@gmail.com

### ***Abstract***

*Arya Aji Priatama. EFFECT OF QUENCH TEMPERATURE TO THE CORROSION RATE AND MICRO STRUCTURE WELDING RESULT OF KEYLOS 50 STEEL. Thesis, Faculty of Teacher Training and Education, Sebelas Maret University, Surakarta. June 2014.*

*Medium carbon steels is a material commonly used in the industrial world, application of medium carbon steels often have problems that require welding to repair. Welding causes the corrosion resistance of a metal decreases, so that need for post- weld treated, one of the way with quenching. To get the quenching which has good corrosion resistance, need to know the media and the optimal temperature in the quenching process. In the process of quenching, cooling too quickly can cause the brittle nature of the increases thereby increasing the likelihood of cracking in the material which trigger corrosion. This study aims to: ( 1 ) determine the effect of temperature on the cooling medium flow rate of corrosion of steel welds keylos 50. ( 2 ) determine the effect of temperature on the cooling medium steel weld microstructure keylos 50.*

*This research conducted in Inlstek Welding Institute for the welding process and DIII Mechanical Engineering Materials Laboratory UGM for corrosion testing process. The method used experimental method and the type of study is a quantitative study. The number of samples in this study were 4 pieces with 1 piece details without quenching and 3 samples experienced a variaton temperature of quenching media. Corrosion testing was conducted using a weight loss method with 3 pieces for each variation, plus 3 pieces of samples of raw materials , so the total samples for corrosion testing there are 15 pieces. Data analysis techniques in this study is a quantitative descriptive analysis techniques.*

*The results of research have showed that the optimum quench temperature influence on the corrosion rate is quenching temperature is 25-30 ° C it was 273.876 mpy corrosion rate decreased by 15.95% compared with the raw material and the worst quench temperature is 5-10 ° C is 389.943 mpy or an increase of 19.67% compared with the raw material. However, the highest level of corrosion rate occurs in welds without treatment or quenching is 397.518 mpy corrosion rate increased by 21.99% compared with the raw material. These results are due to the air cooling quickly so having a micro structure that is dominated by accicular ferrite and ferrite side plate in weld metal region, then bainite and martensite in the HAZ region, while the water media cooling more slowly because of the heat welding is being held back by the water in a bucket.*

*Keywords : Medium carbon steel , welding , quenching , microstructure , corrosion rate*

## PENDAHULUAN

Aplikasi baja di industri semakin berkembang pesat. Baja menjadi bahan yang sangat penting pada proses pembangunan sebuah konstruksi. Baja merupakan salah satu jenis logam yang memiliki sifat mampu las dan mampu mesin yang baik, karena sifat tersebut baja banyak digunakan di dunia industri. Pada penggunaannya, baja karbon sedang tidak bisa lepas dari proses pengelasan. Pengelasan dilakukan untuk menyambung material baja karbon sedang dengan proses pemanasan agar sesuai dengan bentuk konstruksi yang diinginkan. meskipun pengelasan sangat berguna pada aplikasi baja karbon sedang, pada dasarnya proses pengelasan menyebabkan menurunnya tingkat ketahanan korosi pada suatu logam, ini disebabkan karena pemanasan pada saat pengelasan terjadi hanya pada daerah yang akan dilas saja atau disebut pemanasan lokal, akibat pemanasan lokal dengan temperatur yang tinggi menyebabkan logam mengalami ekspansi termal. Sehingga, menyebabkan adanya tegangan sisa yang memicu terjadinya korosi.

Perlakuan yang dapat dilakukan untuk meminimalkan adanya cacat tersebut diantaranya adalah dengan pemilihan *filler* yang tepat dan perlakuan *quenching* pasca pengelasan. Namun, dari proses *quenching* tersebut seringkali terjadi *cracking*, *distorsi* dan ketidakseragaman kekerasan yang diakibatkan oleh tidak seragamnya temperatur larutan pendingin (Totten, 1993). Penyeragaman temperatur larutan pendingin perlu dilakukan untuk meminimalkan kemungkinan cacat material tersebut. Oleh karena itu, untuk memperoleh hasil pengelasan yang optimal diperlukan penelitian lebih lanjut tentang proses pendinginan pasca pengelasan. Salah satu caranya adalah dengan mengetahui temperatur ideal yang dapat digunakan untuk pendinginan.

## KAJIAN PUSTAKA

Baja karbon adalah paduan antara Fe dan C dengan kadar C sampai 2,14%. Sifat-sifat mekanik baja karbon tergantung dari kadar C yang dikandungnya. Setiap baja termasuk baja karbon sebenarnya adalah paduan multi komponen yang disamping Fe selalu mengandung unsur-unsur lain seperti Mn, Si, S, P, N, H, yang dapat mempengaruhi sifat-sifatnya. Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian menurut kadar karbon yang dikandungnya, yaitu baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,25 %, baja karbon sedang mengandung 0,25 – 0,6 % karbon, dan baja karbon tinggi mengandung 0,6 – 1,4 % karbon.

Baja karbon yang digunakan pada penelitian ini adalah Baja Keylos 50. Baja ini memiliki kandungan karbon lebih dari 0,40%. Sehingga bisa dikatakan bahwa baja ini merupakan baja karbon sedang.

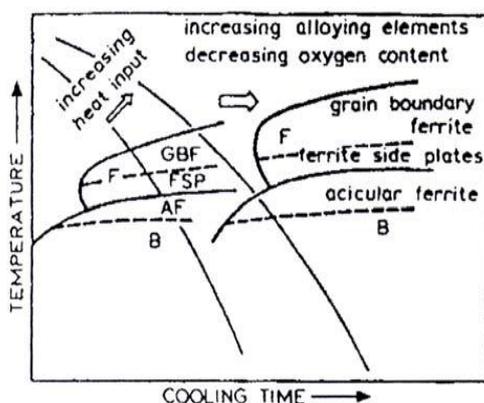
Pengelasan adalah penyambungan dua buah logam menjadi satu dilakukan dengan jalan pemanasan atau pelumeran, dimana kedua ujung logam yang akan disambung dibuat lumer atau dilelehkan dengan busur nyala atau panas yang didapat dari nyala listrik (gas pembakaran) sehingga kedua ujung atau bidang logam merupakan bidang yang sama kuat dan tidak mudah dipisahkan (Arifin, 1997).

Struktur mikro logam las biasanya kombinasi dari struktur mikro dibawah ini:

1. *Grain boundary ferrite*, terbentuk pertama kali pada transformasi austenit-ferit biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada suhu 1000 - 650 °C dan sifatnya lunak.
2. Ferit Widmanstatten atau *ferrite with aligned second phase*, struktur mikro ini terbentuk pada suhu 750 - 650 °C di sepanjang batas butir austenit, ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga memenuhi permukaan butirnya.
3. *Ferit acicular*, berbentuk intragranular dengan ukuran yang kecil dan mempunyai

orientasi arah yang acak. Biasanya *ferit acicular* ini terbentuk sekitar suhu 650 °C dan mempunyai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan *ferrite side plates*.

4. *Ferrite side plates*, struktur mikro ini terbentuk setelah *grain boundary ferrite* dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *grain boundary ferrite*.
5. Bainit, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenit dan terbentuk pada suhu 400-500 °C. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ferit, tetapi lebih rendah dibanding martensit.
6. Martensit, martensit akan terbentuk jika proses pengelasan dengan pendinginan sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhannya rendah.



Gambar 1. Diagram CCT

Contoh diagram *CCT* (*Continuous Cooling Transformation*) menunjukkan bahwa pada pemanasan yang sama semakin cepat proses pendinginan suatu baja, maka struktur *bainit* yang terbentuk akan semakin banyak. Bainit memiliki sifat yang keras, tetapi masih lebih lunak dibanding *martensite*.

Pengelasan cenderung mengurangi ketahanan korosi suatu logam. Korosi adalah penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya (Trethewey dan Chamberlain, 1991).

Komposisi kimia dari sambungan las umumnya juga tidak merata, karena itu daya tahan terhadap korosi pada sebuah sambungan logam juga tidak merata (Wirjosumarto, 2000). Komposisi baja, kondisi permukaan dan sudut *exposure*-nya juga berpengaruh terhadap laju korosi. Penambahan kandungan karbon, mangan dan silikon cenderung mengurangi laju korosi (Trethewey & Chamberlain, 1991).

Untuk meminimalkan cacat karena pengelasan perlu dilakukan perlakuan *quenching* pasca pengelasan. *Quenching* adalah sebuah proses pendinginan cepat sebuah logam atau pengeluaran panas dari logam dengan kecepatan tertentu yang berada pada kondisi suhu austenit, untuk baja pada umumnya pada rentang suhu 815°C – 870° C. Proses ini dilakukan untuk menghasilkan sejumlah fase martensitik pada mikrostruktur, memperluas distribusi ferrit, meningkatkan nilai kekerasan, kekuatan dan ketangguhan serta meminimalkan jumlah presipitat karbida, *residual stresses*, *distorsi*, dan kemungkinan retak.

Laju korosi dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Laju Korosi (mpy)} = \frac{K.W}{D.A.T}$$

Dengan:

$$K = 3.45 \times 10^6$$

W = Berat yang hilang selama percobaan (gram)

D = Densitas material (gr/cm<sup>3</sup>)

A = Luas permukaan yang terkorosi (cm<sup>2</sup>)

T = Lama waktu ekspos (jam)

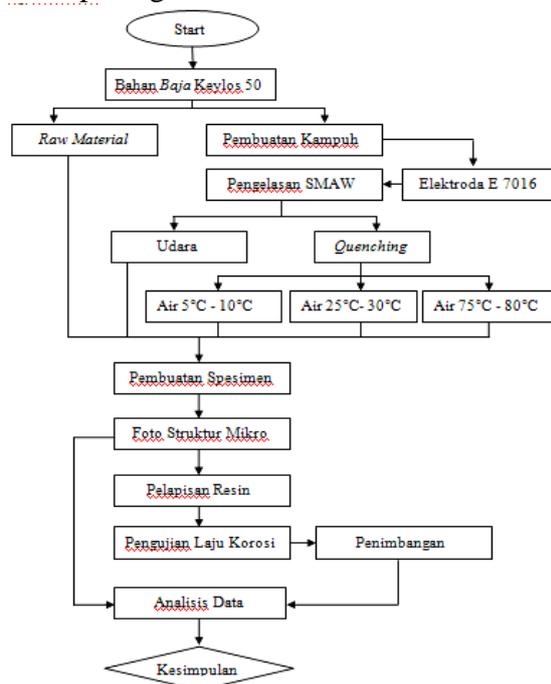
## METODE PENELITIAN

Baja yang digunakan adalah Baja Keylos 50 dengan kandungan (% berat) berupa 0,40 % C, 0,15 % Si dan 0,50 % Mn. Baja ini mempunyai kekuatan tarik 650 N/mm<sup>2</sup> dan kekerasan 200 BHN. Plat baja tersebut berukuran panjang 200 mm, lebar 80 mm dan tebal 16 mm.

Pengelasan dilakukan di laboratorium Inlastek Pajang Surakarta dengan variasi temperatur pendingin air 5° C- 10° C, 25° C-

30° C dan 70° C- 75° C. Elektroda yang digunakan adalah E7016. Pendinginan cepat dilakukan pada saat baja berada pada suhu lebih dari 830° C kemudian dicelupkan di air dengan kecepatan kurang dari 5 detik setelah pengelasan. Pengujian dilakukan di laboratorium Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada. Pengujian meliputi foto struktur mikro, dan uji korosi. Uji korosi menggunakan metode *wight loss*.

Urutan proses penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Aliran Penelitian

## HASIL PENELITIAN

Dari data penelitian yang telah dilakukan dapat dianalisis hasil penelitian sebagai berikut:

### 1. Analisis Komposisi Kimia

Data komposisi kimia dari baja keylos 50 dan elektroda E7016 didapatkan dari *print out properties* bahan saat pembelian bahan.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja Keylos 50

Nama Bahan	Komposisi kima				
	C	Mn	Si (Max)	S	Cr +Mo+Ni (Max)
Keylos 50 (S 45 C)	0.42 < 0.50	0.5 < 0.8	0.40	0.020 < 0.040	0.63

Tabel 2. Komposisi Kimia Elektroda E7016

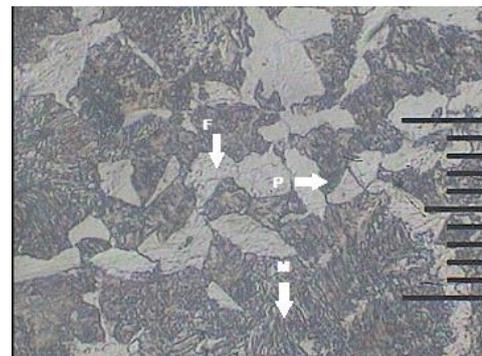
Nama Bahan	Komposisi kima									
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	
AWS A5.1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
E7016	0.15	1.60	0.75	0.035	0.040	0.20	0.30	0.030	0.08	

Dari tabel 1 dan tabel 2 dapat dilihat bahwa baja keylos 50 tergolong kedalam baja karbon sedang karena memiliki kandungan unsur C lebih dari 0.4%. Sedangkan elektroda E7016 memiliki persentase C dibawah 0.15%.

### 2. Analisis Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan *Metallurgical Microscope with Inverted* (Olympus PME) dengan perbesaran 100 kali dan 200 kali. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

a. Foto Mikro *Raw Material*



Keterangan:

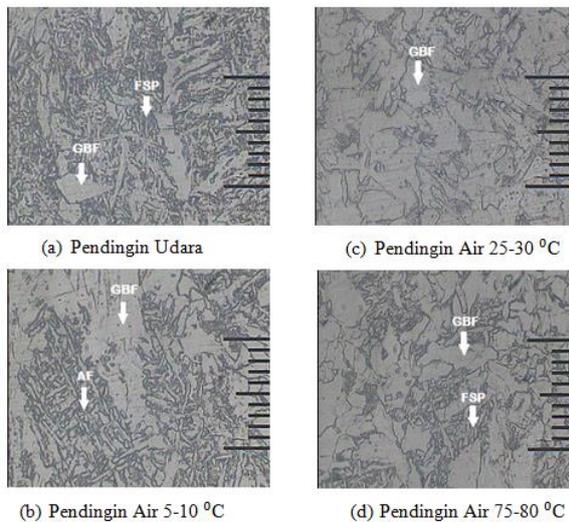
F = Ferit

P = Perlit

M = Martensit

Gambar 3. Foto Mikro *Raw Material* (Perbesaran 200 X)

Gambar 3 menunjukkan bahwa struktur mikro *raw material* yang mendominasi adalah martensit, perlit dan ferit. Struktur tersebut mengakibatkan material memiliki kekerasan yang tinggi tetapi ketangguhan dan ketahanan korosinya rendah. Hal ini disebabkan karena sifat martensit itu sendiri yang mudah mengeras dan mudah retak, sehingga mudah terserang korosi.

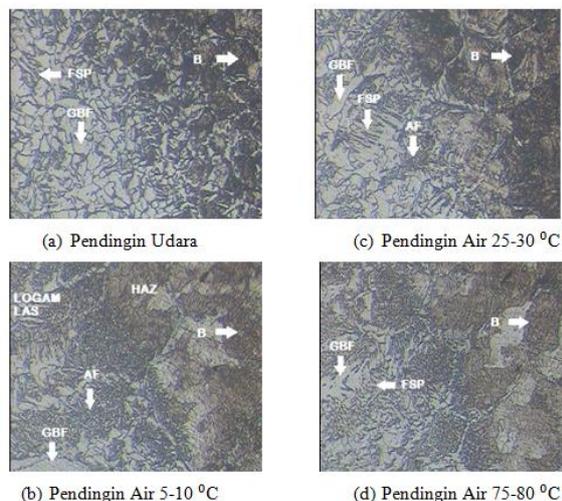
b. Foto Mikro *Weld Metal*

Keterangan:

FSP = *Ferrite Side Plate*GBF = *Grain Boundary Ferrite*AF = *Acicular Ferrite*

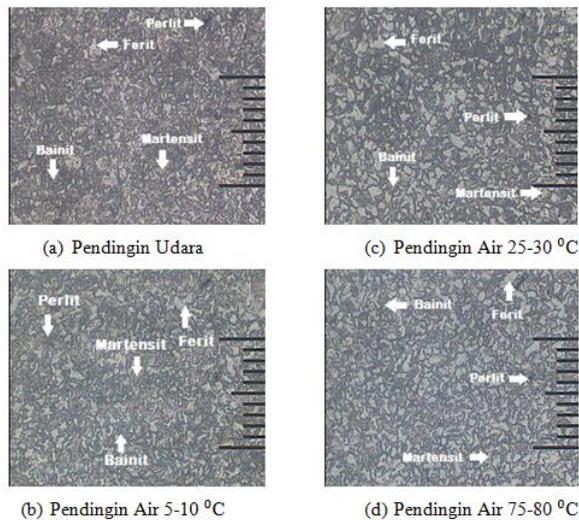
Gambar 4. Foto Struktur Mikro *Weld Metal* Hasil Pengelasan Baja Keylos 50 (Perbesaran 200 X)

Gambar 4 Menunjukkan perbedaan struktur mikro masing masing spesimen, pendinginan yang lambat akan menyebabkan *grain boundary ferrite* terbentuk lebih banyak dibandingkan *ferrite side plate* dan *accicular ferrite*.

c. Foto Mikro Perbatasan *Weld Metal* dan *HAZ*

Gambar 5. Foto Struktur Mikro Perbatasan *Weld Metal* dan *HAZ* Hasil Pengelasan Baja Keylos 50 (Perbesaran 100 X)

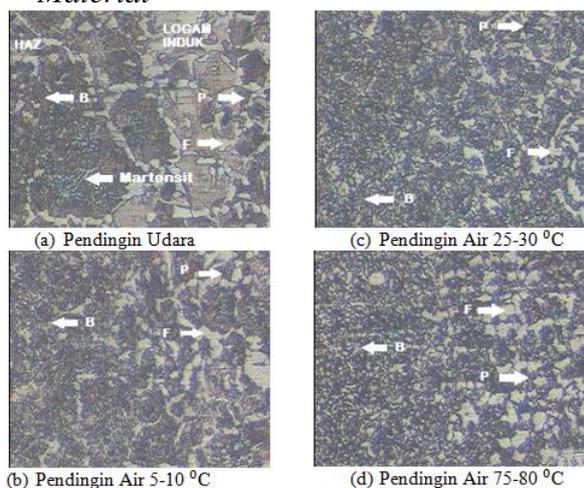
Gambar 5 menunjukkan bahwa ada perbedaan struktur mikro pada *weld metal* dan *HAZ*, ini dikarenakan adanya perbedaan komposisi kimia dari *weld metal* dan *HAZ*. Daerah *HAZ* terlihat adanya struktur bainit dan sedikit martensit karena logam induk memiliki persentase karbon yang lebih banyak daripada logam las.

d. Foto Mikro *HAZ*

Gambar 6. Foto Struktur Mikro Daerah *HAZ* Hasil Pengelasan Baja Keylos 50 (Perbesaran 200 X)

Gambar 6 Menunjukkan bahwa fasa yang ada pada *HAZ* tidak jauh berbeda dengan yang ada di *raw material*, yang berbeda hanya ukuran butir dari fasa penyusun *HAZ*. Semakin cepat pendinginan unsur bainit dan martensit akan semakin banyak, sehingga karakteristiknya cenderung keras dan getas.

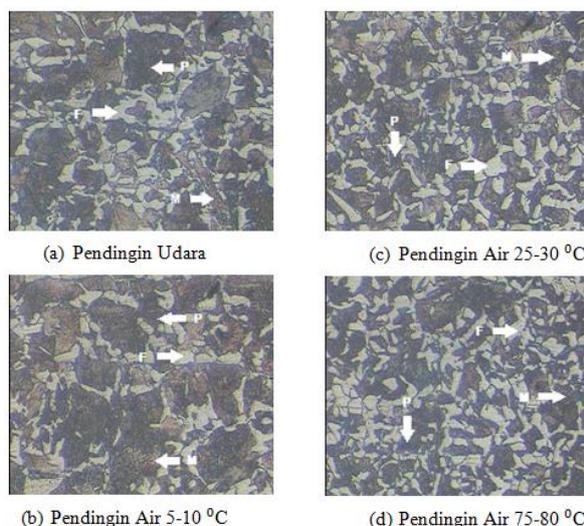
e. Foto Mikro Perbatasan *HAZ* dan *Raw Material*



Gambar 7. Foto Struktur Mikro Daerah Perbatasan *HAZ* dan *Base Metal* Hasil Pengelasan Baja Keylos 50 (Perbesaran 100 X)

Gambar 7 menunjukkan bahwa *HAZ* memiliki struktur mikro yang berbeda dengan daerah yang tidak terpengaruh panas. Hal ini disebabkan karena panas yang berpengaruh pada *HAZ* sudah mulai merubah struktur mikro dari logam, tetapi belum sampai mencair. Sedangkan pada logam yang tidak terpengaruh panas, struktur mikronya sama sekali tidak berubah.

f. Foto Mikro *Base Metal*



Gambar 8. Foto Struktur Mikro *Base Metal* Hasil Pengelasan Baja Keylos 50 (Perbesaran 200 X)

Gambar 8 menunjukkan bahwa tidak ada perubahan sama sekali terhadap struktur mikro yang ada pada logam yang tidak terpengaruh panas las. Struktur mikro yang ada pada logam tersebut masih sama dengan struktur mikro yang ada pada *raw material* yaitu ferit, perlit dan martensit.

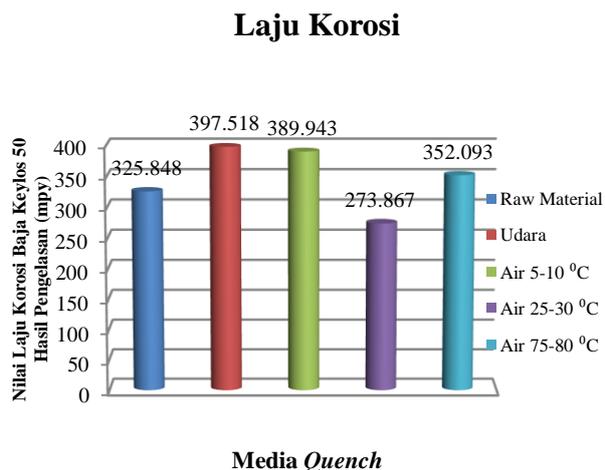
### 3. Analisis Hasil Pengujian Laju Korosi

Hasil pengujian dan analisis dari pengujian laju korosi adalah

Tabel 3. Hasil Pengujian Laju Korosi

No	Media Quench	Laju korosi (mpy)	Rata – rata (mpy)
1	<i>Raw Material</i>	352.135	
2	<i>Raw Material</i>	309.327	325.848
3	<i>Raw Material</i>	316.081	
4	Udara	393.559	
5	Udara	421.873	397.518
6	Udara	377.121	
7	Air 5-10 °C	381.756	
8	Air 5-10 °C	398.589	389.943
9	Air 5-10 °C	389.484	
10	Air 25-30 °C	264.484	
11	Air 25-30 °C	271.708	273.867
12	Air 25-30 °C	285.409	
13	Air 75-80 °C	339.405	
14	Air 75-80 °C	355.159	352.093
15	Air 75-80 °C	361.715	

Hasil pengujian dalam tabel 3 dituangkan kedalam histogram untuk memperjelas perbedaan tingkat laju korosi dari masing-masing spesimen dan mempermudah dalam analisis data. Histogram dari hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Histogram Rata – Rata Laju Korosi Hasil Pengelasan Baja Keylos 50

*Raw material* digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui berapa persen peningkatan atau penurunan nilai laju korosi dari baja keylos 50 yang telah mengalami pengelasan dengan variasi temperatur media pendingin. Gambar 9 menggambarkan bahwa spesimen dengan pendinginan udara/tanpa *quenching* mengalami peningkatan laju korosi sebesar 71,67 mpy atau 21,99 % dibandingkan dengan *raw material*, ini disebabkan karena pada *weld metal* jumlah *grain boundary ferrite* yang rendah sehingga kemungkinan terjadi retak *minor* karena peningkatan kekerasan yang memicu terjadinya korosi. Selain itu juga karena *HAZ* yang mengalami pemanasan dan pendinginan cepat menyebabkan daerah ini menjadi daerah yang paling kritis pada saat pengelasan, karena banyak terdapat tegangan sisa karena proses pendinginan yang cepat dan juga kegetasan atau kerapuhan yang meningkat.

Spesimen dengan pendingin air 5-10 °C mengalami peningkatan laju korosi sebesar 64,09 mpy atau 19,67 % dibandingkan dengan *raw material*. Peningkatan laju korosi dari spesimen dengan pendingin air 5-10 °C lebih rendah jika dibandingkan dengan spesimen dengan pendinginan udara, hal ini disebabkan karena jumlah *grain boundary*

*ferrite* pada *weld metal* lebih banyak daripada spesimen dengan pendinginan udara, sehingga peningkatan kekerasan tidak terlalu signifikan dan kemungkinan terjadi retak minor karena peningkatan kekerasan juga kecil. Selain itu, juga disebabkan karena pendinginan yang sangat cepat yang menyebabkan bainit dan martensit meningkat pada daerah *HAZ*. Pendinginan yang sangat cepat juga menyebabkan timbulnya tegangan sisa yang memicu terjadinya korosi.

Spesimen dengan pendingin air 25-30 °C mengalami penurunan laju korosi sebesar 51,98 mpy atau 15,95 %. Penurunan laju korosi hanya terjadi pada spesimen dengan pendingin air 25-30 °C, hal ini disebabkan karena pada *weld metal* didominasi oleh *grain boundary ferrite*, sehingga pada *weld metal* bersifat lunak atau ulet dan sangat kecil kemungkinan untuk terjadi keretakan pasca pengelasan. Selain itu, pendinginan yang terjadi pada *HAZ* lebih lambat sehingga butir ferit lebih besar dibanding spesimen dengan pendingin air 5-10 °C, oleh karena itu tingkat keuletannya lebih tinggi dan kegetasannya lebih rendah jika dibandingkan dengan spesimen dengan pendingin air 5-10 °C.

Spesimen dengan pendingin air 75-80 °C kembali mengalami peningkatan laju korosi sebesar 26,24 mpy atau 8,05 %. Peningkatan kembali tingkat laju korosi pada spesimen dengan pendingin air 75-80 °C lebih disebabkan karena pada proses *quenching*, temperatur air ditahan pada angka 75-80 °C dan dapat meningkat lagi karena panas dari logam pasca pengelasan berpindah ke air, pada temperatur tersebut dapat menyebabkan terbentuknya karbida atau senyawa karbon pada logam meskipun hanya sedikit, hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan laju korosi.

Hasil pengujian korosi menunjukkan adanya penurunan ketahanan korosi pada pengelasan

dengan menggunakan *filler*/elektroda E7016 yang mengalami perlakuan *quenching* menggunakan air bertemperatur 5-10 °C dan tanpa *quenching* hal ini karena pendinginan cepat yang terjadi menyebabkan struktur mikro pada *weld metal* di dominasi oleh *accicular ferrite* dan *ferrite site plate*, sedangkan pada daerah HAZ di dominasi oleh bainit dan sedikit martensit. Kondisi struktur mikro yang seperti ini menyebabkan laju korosi meningkat, yang bisa diakibatkan karena adanya tegangan sisa karena adanya peningkatan kekerasan yang dapat menyebabkan adanya retak minor pada logam hasil lasan yang mengurangi ketahanan korosi logam. Sedangkan pada *quenching* menggunakan air bertemperatur 25-30 °C dan 75-80 °C ketahanan korosi mengalami peningkatan, ini disebabkan pendinginan terjadi sangat lambat sehingga struktur mikro pada *weld metal* didominasi oleh *grain boundary ferrite*, sedangkan pada daerah HAZ kandungan bainit dan martensitnya lebih sedikit sehingga kemungkinan adanya tegangan sisa pada hasil lasan sangat kecil. Ini yang menyebabkan ketahanan korosi hasil lasan meningkat.

## KESIMPULAN

1. Temperatur *quench* pasca pengelasan SMAW berpengaruh terhadap laju korosi baja keylos 50. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa temperatur *quench* yang paling optimal pengaruhnya terhadap laju korosi adalah temperatur 25-30 °C sedangkan temperatur *quench* yang buruk pengaruhnya terhadap laju korosi adalah temperatur 5-10 °C. Tetapi pada hasil pengelasan tanpa perlakuan *quenching* laju korosinya merupakan yang paling tinggi dari semua spesimen.
2. Temperatur *quench* pasca pengelasan SMAW berpengaruh terhadap struktur mikro baja keylos 50. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin cepat pendinginan yang terjadi maka untuk daerah *weld metal* jumlah *ferrite site plate* dan *acicular ferrite* lebih banyak dibandingkan jumlah *grain boundary ferrite*, begitu pula sebaliknya. Sedangkan untuk daerah HAZ komposisi bainit dan martensit lebih banyak dibandingkan spesimen dengan pendingin air.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alip, M. 1989. *Teori dan Praktek Las*. Jakarta: Ditjen Pendidikan Tinggi
- Anggaretno, G., Rochani, I. & Supomo, H. 2012. *Analisa Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi FeCl<sub>3</sub>*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November
- Arikunto, S. 2003. *Manajemen Penelitian*. Jakarta: PT. Rineka Cipta
- Fontana, Mars. G. 1986. *Corrosion Engineering*. New York: Mc Graw-Hill
- Jones, D. A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. New Jersey: PTR
- Kenyon, W. & Ginting, D. 1985. *Dasar-Dasar Pengelasan*. Jakarta: Erlangga.
- Kou, S. 1987. *Welding Metalurgy*. Singapore: John Willey & Sons
- Pratama, P. A. 2008. *Pengaruh Quenching Terhadap Karakteristik Mekanis dan Ketahanan Korosi pada Material Super Duplex UNS S32750 Lasan*. Jakarta: FMIPA UI
- Seidu, S. O. & Kutelu, B. J. 2013. *Effect of Heat Treatments on Corrosion of Welded Low-Carbon Steel in Acid and Salt Environments*. Nigeria: Federal Polytechnic

- Suharno. 2008. *Prinsip-Prinsip Teknologi dan Metalurgi Pengelasan Logam*. Surakarta: UNS Press
- Suharno. 2008. *Struktur Mikro Las Baja C-Mn Hasil Pengelasan Busur Terendam dengan Variasi Masukan Panas (Versi Elektronik)*. Jurnal Penelitian Teknik. Diperoleh 11 Februari 2014, dari <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal>
- Sonawan, H. & Suratman, R. 2004. *Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam*. Bandung: Alfa Beta
- Trethewey, K.R. & Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama
- Totten, GE. Bates, CE. & Clinton, NA. 1993. *Handbook of Quenchant and Quenching Technology*. USA: ASM International
- Wiryo Sumarto, H. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Erlangga