

ANALISA LAJU KOROSI PENGARUH POST WELD HEAT TREATMENT TERHADAP UMUR PIPA PADA PIPA API 5L GRADE B

Oleh : Ikhsan Kholis^{*)}

ABSTRAK

Jaringan perpipaan banyak digunakan dalam kegiatan eksplorasi minyak dan gas bumi. Dalam pemasangannya tidak terlepas dari proses pengelasan. Dimana proses pengelasan merupakan salah satu proses yang dapat mempengaruhi umur material pipa. Masalah yang timbul adalah besarnya laju korosi yang timbul. Berdasarkan kenyataan tersebut, tulisan ini bertujuan mencari cara untuk memperpanjang umur (life time) jaringan pipa di daerah sambungan akibat proses pengelasan.

Pengujian perlakuan panas PWHT pada material pipa API 5L PSL 1 Grade B menggunakan variasi temperatur 200°C, 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C dengan holding time 30 menit serta dengan pendinginan udara. Untuk melengkapi data pengujian juga dilakukan pengujian foto mikro, pengujian laju korosi dan pengujian foto makro. Sel tiga elektroda dengan larutan elektrolit NaCl digunakan dalam pengujian laju korosi.

Hasil pengujian foto mikro menunjukkan bahwa kandungan pearlite di daerah HAZ, base metal dan weld metal di setiap specimen uji mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan temperatur PWHT. Nilai laju korosi pada spesimen tanpa perlakuan panas (28 °C) sebesar 0,091703 mmpy, perlakuan panas 200°C sebesar 0,088025 mmpy, perlakuan panas 250°C sebesar 0,087290 mmpy, perlakuan panas 300°C sebesar 0,086589 mmpy, perlakuan panas 350°C sebesar 0,085802 mmpy dan perlakuan panas 400°C sebesar 0,084979 mmpy. Penambahan umur pada material pipa mulai terjadi pada spesimen dengan temperatur diatas 200 °C. Temperatur 400°C merupakan nilai yang paling ekonomis dari proses perlakuan panas. Hasil ini diperoleh berdasarkan jumlah kandungan pearlite, nilai laju korosi, serta perhitungan penambahan umur pipa sebesar 1 tahun 3 bulan.

Kata Kunci : Post Weld Heat Treatment (PWHT), Laju Korosi, Foto Mikro, Sel 3 Elektroda, Pipa API 5L Grade B

I. PENDAHULUAN

Jenis pipa yang sering digunakan untuk penyaluran minyak dan gas dalam industri perminyakan dan gas alam adalah pipa baja API 5L. Pipa jenis ini diharapkan mempunyai sifat mekanik yang sesuai dengan kondisi operasi pipa dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap berbagai kegagalan yang mungkin terjadi selama proses operasi.

Masalah yang timbul pada pengelasan sambungan pipa penyalur adalah besarnya laju korosi yang terjadi.

Hal ini dikarenakan material tersebut bekerja pada medium korosif yang dapat dipastikan akan mengakibatkan kerusakan pada strukturnya sehingga nantinya akan mengalami kegagalan struktur dan berpengaruh pada umur pipa tersebut. Salah satu cara untuk meminimalisir laju korosi adalah melakukan *Post Weld Heat Treatment* pada hasil pengelasan yang bertujuan untuk merubah susunan metalurgi yang terbentuk pada hasil pengelasan.

Dengan mengetahui besarnya laju korosi pada material las maka akan dapat ditentukan kapan suatu material tersebut mengalami kerusakan dengan terlebih dahulu ada perbaikan yang diadakan, sehingga kegagalan struktur tidak sampai terjadi. Dengan adanya kontrol terhadap laju korosi ini maka diharapkan akan dapat ditentukan perlakuan panas (PWHT) yang tepat pada pengelasan sambungan pipa.

II. DASAR TEORI

a. Korosi

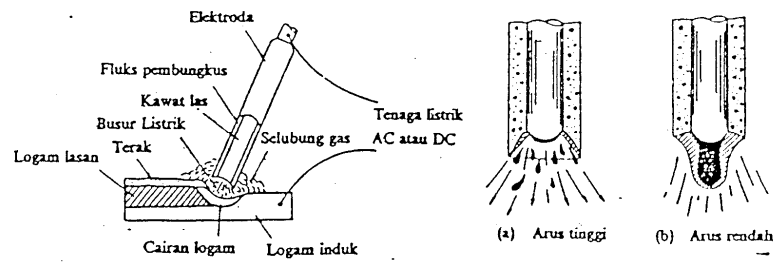
Korosi dapat didefinisikan sebagai perusakan suatu material (terutama logam) karena bereaksi dengan lingkungannya. Kondisi yang terjadi pada saat logam bereaksi dengan lingkungan sebagian logam akan menjadi oksida, sulfida atau hasil reaksi lain yang dapat larut dengan lingkungan. Efek yang diperoleh dari reaksi logam dengan lingkungan adalah sebagian logam akan hilang menjadi suatu senyawa yang lebih stabil. Pada kondisi alam bebas logam pada umumnya berupa senyawa, karena itu peristiwa korosi juga dapat dianggap sebagai peristiwa kembalinya logam pada bentuk sebagaimana terdapat di alam.

Suatu reaksi korosi dapat berlangsung bila ada bagian yang berfungsi sebagai anoda (yang terkorosi) dan ada bagian lain yang berfungsi sebagai katoda, yang berhubungan satu sama lain. Logam dengan elektroda potensial yang lebih negatif berarti lebih mudah terkorosi, dan logam yang lebih mulia tidak terkorosi. Bila elektron yang terkumpul pada potongan logam tadi

dapat mengalir ke suatu tempat lain, maka keseimbangan akan terganggu dan reaksi akan berlanjut yaitu makin banyak atom logam yang larut menjadi ion logam dan makin banyak elektron yang disalurkan ke tempat lain tersebut. Dalam hal ini logam tempat terjadinya reaksi oksidasi di atas akan berfungsi sebagai anoda, reaksi yang terjadi pada anoda dinamakan reaksi anodik. Elektron yang dihasilkan di anoda dialirkan ke tempat lain yaitu menuju katoda. Katoda ini dapat berupa logam lain yang dihubungkan dengan potongan logam anoda, atau bagian lain dari potongan logam yang dicelupkan ke dalam elektrolit.

b. Pengelasan SMAW

Prinsip pengelasan dengan SMAW termasuk kategori *fussion welding*, karena melebur logam yang akan disambungkan beserta elektrodanya. Elektroda dipegang dengan menggunakan suatu *holder* lalu didekatkan pada logam yang akan dilas dan busur listrik akan terbentuk. Panas yang dicapai adalah sekitar 1400-1500°C dan hal ini akan membuat logam induk dan elektroda menjadi cair. Setelah pengelasan selesai akan terjadi pembekuan yang merupakan penyambungan logam. Fluks pada elektroda menghasilkan gas yang berfungsi untuk melindungi daerah ujung elektroda sekitarnya dari kontaminasi lingkungan pada saat proses pengelasan berlangsung. Disamping itu terbentuknya terak merupakan salah satu pendukung tambahan hasil las⁷.



Gambar 1. Profil Las Busur Elektroda Terbungkus⁷

c. Post Weld Heat Treatment (PWHT)

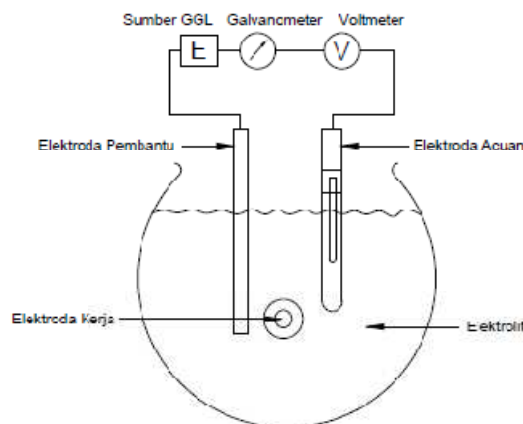
Secara prinsip fungsi dan kegunaan PWHT adalah untuk menghilangkan tegangan sisa pada lasan yang diakibatkan adanya kontraksi tegangan dimana sambungan pengelasan itu sendiri terdiri dari tegangan multi axial. Hal ini terjadi karena adanya siklus pemanasan dan pendinginan selama pengelasan sehingga rentan akan adanya korosi tegangan lebih-lebih untuk baja karbon. Oleh karena itu untuk menghindari fenomena diatas perlu dilakukan PWHT yang mempunyai fungsi meningkatkan ketahanan korosi, menghilangkan terjadinya tegangan sisa, memperkecil pengaruh terjadinya retak pada daerah lasan.^{4,5}

d. Pipa API 5L Grade B

Pipa API 5L grade B termasuk pipa baja karbon rendah yang banyak dipakai untuk jaringan transportasi minyak dan gas bumi. Pipa API 5L grade B memiliki kekuatan tarik minimum (*yieldstrength*) sebesar 448 MPa atau sama dengan 65000 psi. Pipa ini merupakan jenis baja karbon rendah dengan kandungan karbon maksimum 0,28%¹.

e. Sel Tiga Elektrode

Sel tiga elektrode adalah perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan. Sel tiga elektrode adalah versi penyempurnaan dari sel korosi basah. Sel ini dapat digunakan dalam berbagai macam percobaan korosi.⁶



Gambar 2. Sel tiga elektrode⁶.

Dalam perangkat percobaan seperti sel tiga elektroda tentunya terdiri dari beberapa komponen yang setiap komponen memiliki fungsi tersendiri. Berikut ini komponen yang terdapat dalam sel tiga elektroda :

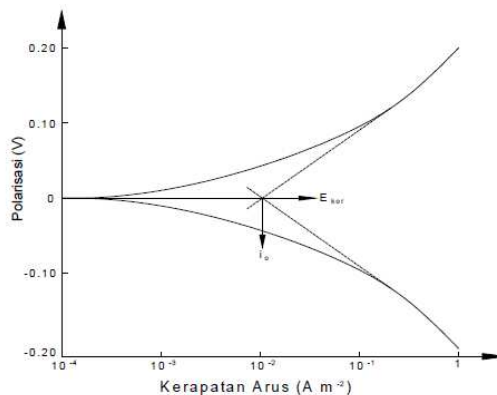
1. Elektroda Kerja
2. Elektroda Pembantu
3. Elektroda Acuan
4. Sumber Potensial
5. Alat Pengukur Potensial
6. Alat Pengukur Arus
7. Larutan Elektrolit

f. Polarisasi

Ketika suatu logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antara keduanya disebut polarisasi. Polarisasi merupakan parameter yang penting yang memungkinkan kita membuat pernyataan-pernyataan tentang laju-laju proses korosi. Hal tersebut terjadi karena

laju korosi dan kerapatan arus mempunyai kaitan langsung. Polarisasi atau penyimpangan dari potensial kesetimbangan disini sama dengan gabungan polarisasi anoda pada logam dan polarisasi katoda pada lingkungannya⁶.

Bila dalam percobaan mendapatkan $i_{ukur} > i_c$ maka akan menunjukkan perilaku pengeplotan Tafel yang linier. Bagaimanapun, ketika polarisasi mendekati E_{kor} , yakni bila i_a kurang lebih sama dengan i_o maka harga kerapatan arus terukur akan jauh meninggalkan harga i_a yang sejati dan kita akan mendapatkan penyimpangan yang besar sekali dari perilaku linier. Argumen-argumen yang sama berlaku apabila anoda maupun polarisasi katoda yang digunakan. Jadi kalau kita mencoba mendapatkan data dari percobaan, dalam hal ini kita masih bisa menetapkan harga i_o melalui ekstrapolasi terhadap bagian-bagian yang linier pada hasil pengeplotan polarisasi.



Gambar 3. Pengeplotan tafel yang diidealkan⁶.

Setelah dilakukan percobaan, maka diperoleh besarnya arus yang diasumsikan sama dengan besarnya elektron yang melewati elektroda kerja dan elektroda acuan. Besarnya arus yang

keluar dicatat sebagai variabel untuk perhitungan laju korosi. Berdasarkan hukum Faraday, maka besarnya laju korosi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut² :

$$\text{Laju Korosi} = K \frac{ai}{nD}$$

Dimana :

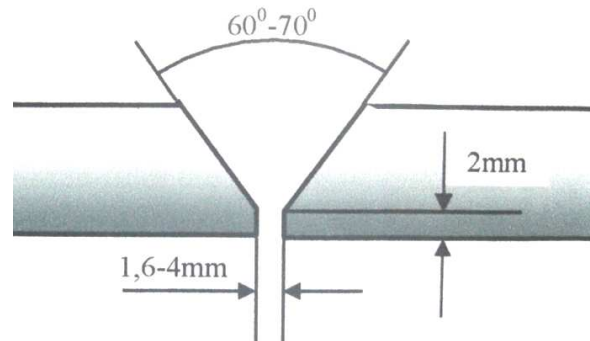
K = Konstanta (0.129 untuk mpy, 0.00327 untuk mmpy)

A = Berat atom logam terkorosi

I = Kerapatan arus ($\mu A/cm^2$)

n = Jumlah elektron valensi logam terkorosi

D = Densitas logam terkorosi (gr/cm^3)



Gambar 4. Detail persiapan sisi

III. METODOLOGI

a. Persiapan Material

Persiapan material dengan ukuran 300 mm, diameter 6 5/8 inchi tebal 7.1 mm sebanyak 18 buah. Dilakukan persiapan sisi dengan sudut *groove* $60^\circ \pm 7^\circ$, *opening root* 2 mm, dan tinggi

root 1,5 mm. Melakukan proses pengelasan dengan proses las SMAW dan menggunakan elektroda E7016 dan E7018. Parameter pengelasan yang digunakan seperti tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter pengelasan Pipa API 5L PSL 1 Grade B

Layers	Process	Filler Metals		Welding current		Travel Speed (mm/min.)
		Class	Dia.(mm)	Amperes	Volts	
1	SMAW	E7016	2,6	60	27	55-70
2	SMAW	E7018	3,2	80	30	55-70
3	SMAW	E7018	3,2	80	30	55-70

b. Proses PWHT

Untuk tahap selanjutnya dilakukan proses pemanasan specimen dengan 5 variasi temperatur pemanasan dan tanpa perlakuan panas. Variasi temperatur pemanasan dengan suhu 200°C, 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C. Waktu penahanan untuk setiap temperatur pemanasan selama 30 menit, dengan mengambil asumsi bahwa baja karbon ketebalan kampun 1 inchi laku panas

selama 1 jam³, maka sample pipa baja dengan ketebalan 7.1 mm di laku panas selamat 30 menit. Langkah yang dilakukan dalam proses pemanasan adalah semua material dimasukkan ke dalam mesin *furnace/oven* sampai suhu 200°C lalu ditahan selama 30 menit, kemudian specimen dikeluarkan sebanyak 3 buah, selanjutnya pemanasan dilakukan sampai 250°C lalu ditahan selama 30 menit kemudian

specimen dikeluarkan sebanyak 3 buah, langkah tersebut terus dilakukan sampai temperatur pemanasan 400°C.

Setelah proses pemanasan dilakukan proses pendinginan. Media pendinginan adalah udara, langkah yang dilakukan adalah setelah specimen dikeluarkan dari oven lalu dibiarkan di udara terbuka. Langkah ini dilakukan untuk semua variasi temperatur pemanasan yang dilakukan.

c. Penelitian Foto Mikro

Sebelum dilakukan pengujian foto mikro, material terlebih dahulu dipotong dengan menggunakan gergaji listrik untuk dibuat specimen-specimen kecil dengan ukuran 5 cm x 2 cm. Selanjutnya

specimen tersebut dihaluskan dengan ampelas grade 2.5, 60, 120, 180, 220, 320, 400, 600, 800, 1000 dan 1200. Setelah specimen dihaluskan sampai grade 1200 langkah selanjutnya adalah menghaluskan specimen dengan menggunakan wool sehingga pada permukaan material sudah tidak tampak goresan.

Setelah proses di atas maka specimen telah siap untuk proses foto mikro. Pengujian foto mikro dilakukan dengan meletakkan specimen pada alat foto mikro. Kemudian dilihat daerah yang ingin difoto lalu menentukan pembesaran yang dibutuhkan, kemudian hasilnya disimpan di komputer.

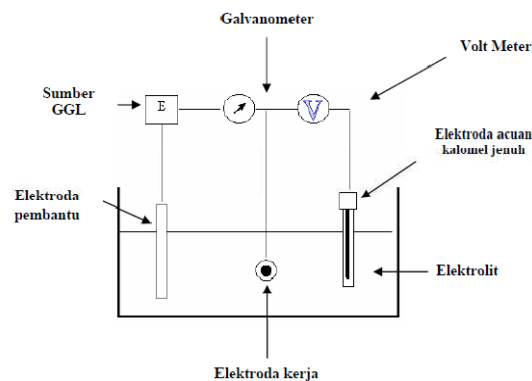


Gambar 5. Specimen foto mikro

d. Penelitian Laju Korosi

Pada penelitian laju korosi menggunakan metode sel tiga elektroda, karena sel ini dapat digunakan dalam berbagai macam percobaan korosi⁶. Dalam kondisi ideal, akurasi dari metode

ini sama atau lebih besar dari metode konvensional penurunan berat. Dengan teknik ini memungkinkan untuk mengukur laju korosi sangat rendah, dan dapat digunakan untuk terus memonitor tingkat korosi dari suatu sistem².



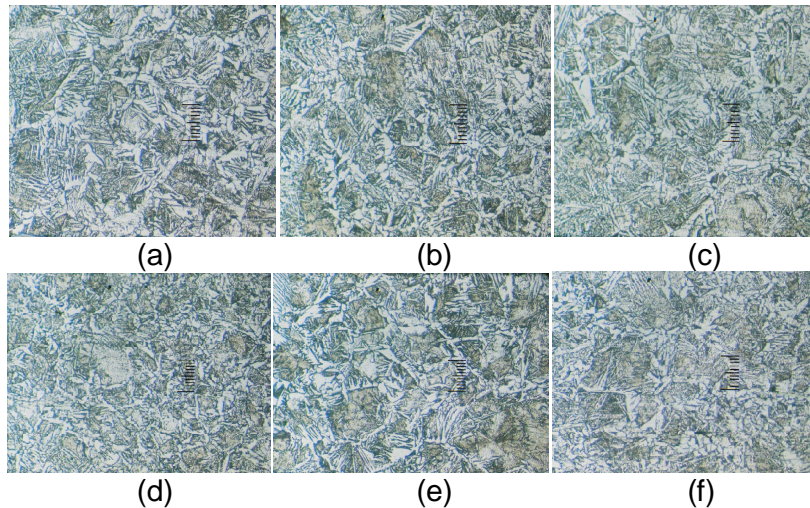
Gambar 6. Gambar skema alat uji korosi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

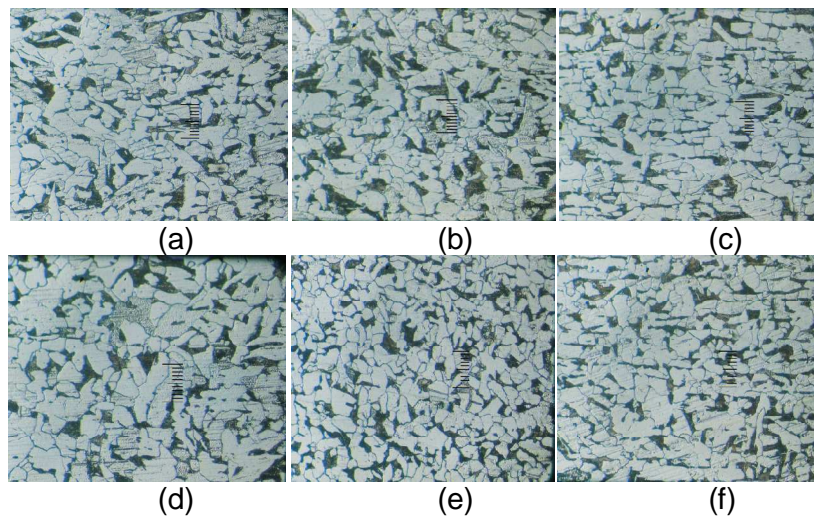
a. Foto Mikro

Dari pengujian foto mikro dapat dilihat struktur dari sebuah logam. Setelah melakukan pengujian foto mikro,

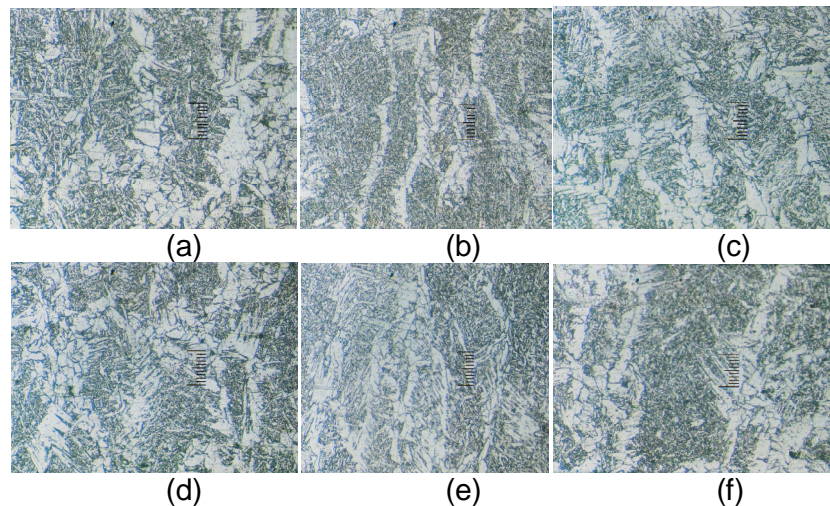
berikut hasil yang telah diperoleh untuk specimen dengan temperatur pemanasan 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan tanpa perlakuan panas :



Gambar 7. Foto mikro daerah HAZ, PWHT 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan tanpa perlakuan panas pembesaran 500 X.



Gambar 8. Foto mikro daerah Base Metal, PWHT 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan tanpa perlakuan panas pembesaran 500 X.



Gambar 9. Foto mikro daerah Weld Metal, PWHT 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan tanpa perlakuan panas pembesaran 500 X.

Dari gambar 7 sampai 9 terlihat bahwa untuk material yang mengalami perlakuan panas terjadi peningkatan kandungan pearlite yang lebih besar dibandingkan dengan material uji yang tidak mengalami perlakuan panas, besarnya kandungan pearlite ini disebabkan karena pemanasan akan memperbesar peningkatan kandungan pearlite pada spesimen uji apalagi jika pemanasan dilakukan sampai berulang maka energi yang masuk pada material uji akan semakin besar pula sehingga perubahan yang terjadi adalah meningkatnya jumlah kandungan pearlite.

b. Pengujian Korosi

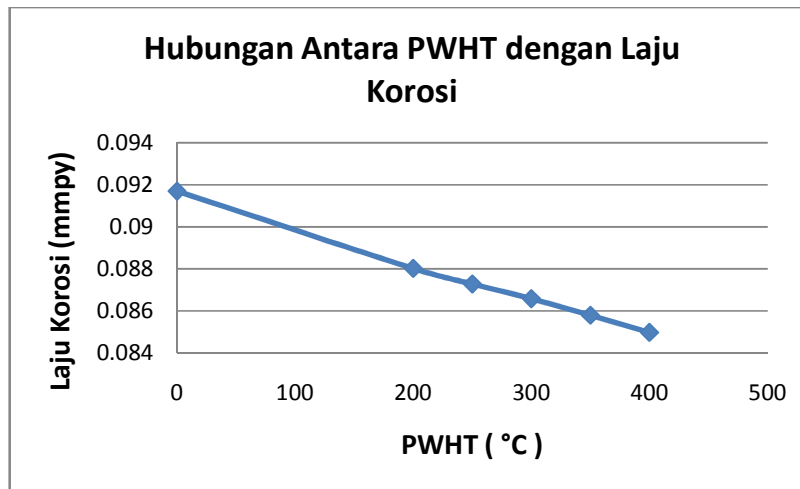
Pengujian laju korosi dengan menggunakan sel tiga elektroda merupakan pengujian laju korosi yang dipercepat dengan polarisasi dari potensial korosi bebasnya. Dengan pengeplotan diagram polarisasi, dapat ditentukan harga i_0 . Nilai i_{kor} sama dengan nilai i_0 . Setelah mendapatkan nilai i_{kor} maka besarnya laju korosi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Faraday.

Setelah melakukan pengeplotan diagram polarisasi dan menentukan besarnya nilai i_{kor} maka didapat hasil perhitungan besarnya laju korosi untuk specimen dengan temperatur pemanasan 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan tanpa perlakuan panas seperti pada Tabel 2.

Dari gambar 10 didapatkan data bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada proses perlakuan panas maka laju korosi yang dihasilkan akan semakin kecil. Pada temperatur pemanasan tertinggi yaitu 400°C didapatkan harga laju korosi minimum yaitu 0,084979 mmpy. Hal tersebut terjadi karena laju korosi dipengaruhi oleh kandungan pearlite. Telah diketahui dari gambar 7 sampai dengan 9 bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan maka semakin banyak kandungan pearlitenya. Pearlite sangat mempengaruhi ketahanan korosi yang terjadi pada baja karbon rendah, semakin banyak kandungan pearlite terjadi maka laju korosi akan kecil.

Tabel 2. Laju korosi tiap temperatur pemanasan.

Temperatur pemanasan	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	Laju korosi (mmpy)
Tanpa Pemanasan	7,834667	0,091703
200°C	7,520333	0,088025
250°C	7,457667	0,087290
300°C	7,394333	0,086589
350°C	7,330333	0,085802
400°C	7,260333	0,084979



Gambar 10. Grafik hubungan antara temperatur PWHT dan laju korosi

Dari tabel 2 diketahui bahwa laju korosi minimum adalah 0,084979 mmpy dan laju korosi maximum adalah 0,091703 mmpy.

Pada bahasan sebelumnya telah dijelaskan bahwa kandungan pearlite pada baja karbon rendah akan meningkatkan daya tahan terhadap korosi. Dalam hal ini laju korosi mempunyai hubungan yang erat dengan ketahanan korosi. Pada tabel 2 dapat dilihat perbedaan nilai laju korosi, dimana material yang tidak mengalami perlakuan panas mempunyai nilai laju korosi yang besar, sedangkan material yang mengalami perlakuan panas mempunyai nilai laju korosi yang lebih kecil. Maka dapat disimpulkan bahwa, material yang mengalami perlakuan panas dengan temperatur yang terus bertambah akan

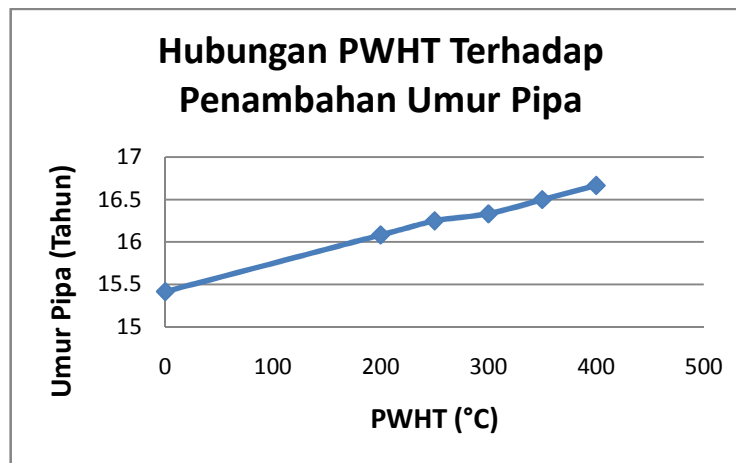
mempunyai kandungan pearlite yang nantinya kandungan pearlite tersebut berhubungan dengan nilai laju korosi.

c. Penambahan Umur Pipa

Pada umumnya, semua baja karbon mempunyai standar reparasi yang sama. Standar reparasi tersebut terletak pada ketebalan material, dimana ketebalan sisa yang diijinkan hanya 80% dari ketebalan material awal. Jika ketebalan sisa dari material tersebut kurang dari 80% ketebalan awal, maka material tersebut harus diganti dengan material yang baru. Dari pedoman inilah, umur suatu material akan dapat diperkirakan. Berikut di bawah ini adalah tabel hasil perhitungan pertambahan umur pipa setelah mengalami proses perlakuan panas.

Tabel 3. Perkiraan Penambahan Umur Pipa Pengaruh PWHT

Proses Perlakuan Panas	Perkiraan Penambahan Umur Pipa
Tanpa Perlakuan Panas	15 tahun 5 bulan
PWHT 200°C	16 tahun 1 bulan
PWHT 250°C	16 tahun 3 bulan
PWHT 300°C	16 tahun 4 bulan
PWHT 350°C	16 tahun 6 bulan
PWHT 400°C	16 tahun 8 bulan



Gambar 11. Grafik hubungan antara temperatur pemanasan dan Umur Pipa.

Dari hasil grafik diatas dapat diketahui bahwa, penambahan umur pada pipa terjadi pada pipa yang telah mengalami proses perlakuan panas walaupun penambahan yang terjadi tidak signifikan. Proses perlakuan panas telah memberikan keuntungan pada umur reparasi material pipa ini. Dimana umur pipa akan bertambah lama sehingga bila ditinjau dari segi biaya pemeliharaan juga akan berkurang.

d. Pengujian Foto Makro

Untuk dapat mengetahui jenis dan besarnya korosi yang terjadi maka perlu dilakukan pengujian foto makro. Dari pengujian foto makro akan tampak kerusakan yang terjadi pada specimen uji setelah mengalami pengujian laju korosi. Berikut ini hasil pengujian foto makro untuk specimen dengan temperatur

pemansan 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan dan tanpa perlakuan panas.

Dari hasil pengujian foto makro didapat bahwa terjadi *pitting corrosion* dan *uniform attack* pada specimen uji. *Pitting corrosion* dapat terjadi karena pada bagian permukaan logam selaput pelindungnya tergores dan mempunyai komposisi heterogen akibat adanya presipitasi. Pada proses pengujian laju korosi dengan menggunakan sel tiga elektroda, telah terjadi *electrochemical corrosion* pada specimen uji. *Electrochemical corrosion* adalah jenis reaksi korosi yang reaksinya berlangsung pada suatu elektrolit, elektrolit pada pengujian sel tiga elektroda adalah larutan NaCl. Jika sebuah logam dicelupkan pada larutan elektrolit maka beberapa atom logam akan larut kedalam elektrolit dengan melepaskan sejumlah elektron.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan penelitian yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Dari analisa foto mikro diperoleh bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada proses perlakuan panas pasca pengelasan (PWHT) dengan pendinginan udara kandungan pearlite semakin banyak.
2. Pengaruh PWHT terhadap laju korosi adalah bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan maka laju korosi yang diperoleh akan semakin kecil.
Laju korosi minimum terjadi pada material PWHT 400° C sebesar 0,084979 mmpy dan laju korosi maksimum terjadi pada material tanpa PWHT sebesar 0,091703 mmpy.
3. Specimen tanpa perlakuan panas mempunyai umur (*lifetime*) 15 tahun 5 bulan, sedangkan untuk material

dengan temperatur 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C mengalami penambahan umur (*lifetime*) sebesar 1 tahun 1 bulan sampai 1 tahun 3 bulan. Jadi dengan adanya PWHT akan menambah umur material pipa, semakin tinggi temperatur PWHT semakin lama penambahan umur material pipa.

4. Terjadi 2(dua) jenis korosi, yaitu *pitting corrosion* dan *electrochemical corrosion* pada proses pengujian korosi dengan menggunakan sel tiga elektroda. Hal ini dapat dilihat dari analisa foto makro.

b. Saran

1. Melakukan pengujian untuk specimen yang terpisah antara *weld metal* dan *base metal* agar dapat diketahui daerah yang memiliki laju korosi tercepat.
2. Melakukan pengujian dengan variasi temperatur PWHT di atas 400° C.

DAFTAR PUSTAKA

- API 5L, *Specification for Line Pipe*, American Petroleum Institute, 2000
 Fontana, M.G, *Corrosion Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1987
 Funderburk, R. Scott, *Post Weld Heat Treatment, Welding Innovation*, Vol. XV, No.2, 1998
<http://virman-metalurgiunjani.blogspot.com/> (diunduh tanggal 04-02-2011)
[http://www.migas-indonesia.com/files/article/\(Las\)PWHT..doc](http://www.migas-indonesia.com/files/article/(Las)PWHT..doc) (diunduh tanggal 04-02-2011)
 Trethewey, K.R dan Chamberlain, J, *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991
 Wiryosumarto, H dan Toshie Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1996

*) *Ikhsan Kholis* adalah pejabat fungsional Widyaiswara Pusdiklat Migas