

LAJU KOROSI DAN KEKERASAN PIPA BAJA API 5L X65 SETELAH NORMALIZING

Sumar Hadi Suryo

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH. Tembalang Semarang 50255

ABSTRAK

Pipa baja API 5L X65 adalah satu dari beberapa pipa standard untuk transportasi gas, pipa ini selalu mengandung tegangan permanen karena proses pengerolan membuat pipa saat pipa diproduksi. Laju korosi akan meningkat oleh tegangan ini terutama dalam air laut. Satu dari beberapa metoda untuk menurunkan tegangan ini adalah normalizing. Penelitian ini tentang laju korosi dan angka kekerasan logam dasar pipa ini sebelum dan sesudah proses normalizing. Proses normalizing dilaksanakan pada temperatur 900 °C dan waktu tahan 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit. Perlakuan korosi dilaksanakan dengan air laut sebagai media korosi. Hasil penelitian ini adalah metalografi, laju korosi dan angka kekerasan, masing-masing dilaksanakan sebelum dan sesudah proses normalizing. Laju pengurangan massa dan korosi benda uji yang dinormalizing menurun dengan naiknya waktu penahanan.

Kata Kunci: laju korosi, unsur kimia, normalizing, angka kekerasan, strukturmikro.

1. PENDAHULUAN

Semakin pesatnya perkembangan teknologi maka kebutuhan manusia akan energi menjadi semakin meningkat. Gas alam yang menjadi salah satu sumber energi yang menjadi perhatian menarik karena memiliki kandungan CO₂ lebih rendah dibanding minyak bumi dan batubara. Oleh karena itu perlu sistem pemipaan yang sangat panjang untuk menyalurkan gas tersebut yang berada di lepas pantai. Sistem pemipaan tersebut harus memiliki karakteristik yang sesuai dengan lingkungan air laut yang bersifat korosif. Jenis baja yang digunakan untuk pemipaan ini minyak bumi dan gas alam harus memiliki kekuatan dan ketahanan tinggi pada kondisi temperatur rendah maupun normal.

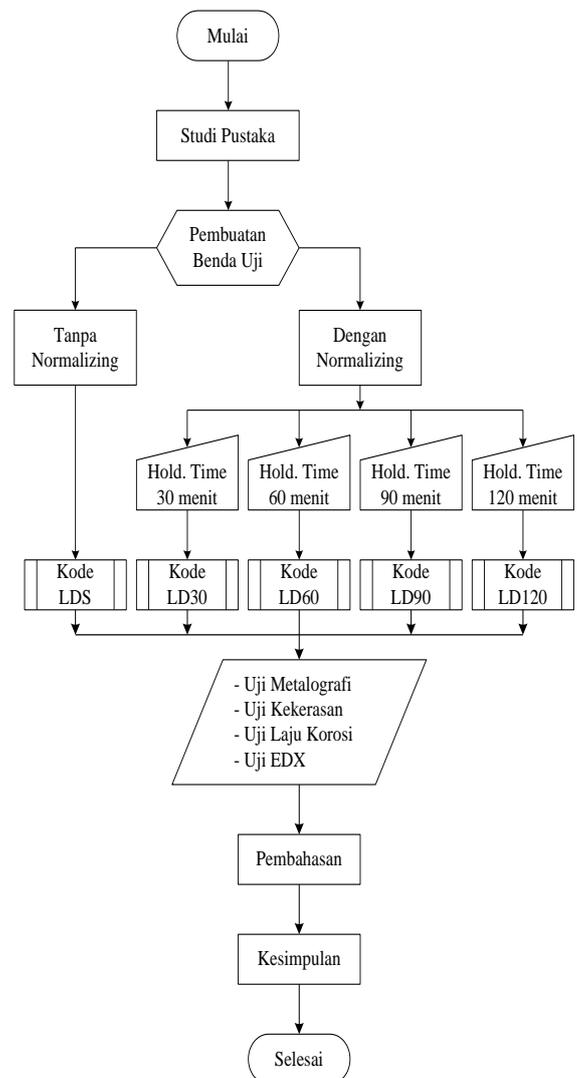
Pipa baja API 5L-X65 adalah pipa yang terbuat dari plat baja API 5L-X65 dengan pengerolan dingin dan pengelasan sambungan ulir, las yang digunakan adalah Submerged Arc Welding - SAW. Pipa ini termasuk HSLA dengan sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik. Pipa ini sering digunakan sebagai alat transportasi gas dari suatu tempat ketempat lain. Sehingga pengaruh lingkungan menjadi perhatian utama, terlebih lagi jika digunakan untuk transportasi di lingkungan yang korosif seperti dalam air laut yang juga sering dilakukan.

2. TUJUAN

Salah satu tujuan proses normalizing adalah mereduksi tegangan sisa yang terkandung dalam pipa API 5L X65 karena proses pengerolan. Berdasarkan thesis Yurianto (2005) pola tegangan sisa yang ada adalah negatip yaitu tegangan sisa tekan, tegangan ini tentu akan mempengaruhi ketahanan terhadap lingkungan korosi dimana pipa tersebut dipasang.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis laju korosi dan perubahan angka kekerasan logam dasar pipa baja API 5L X65 dengan lingkungan air laut sebelum dan sesudah mendapat perlakuan normalizing.

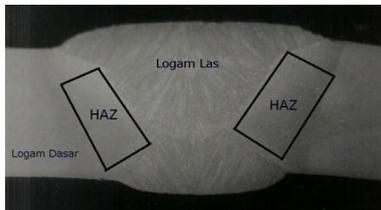
3. METODA



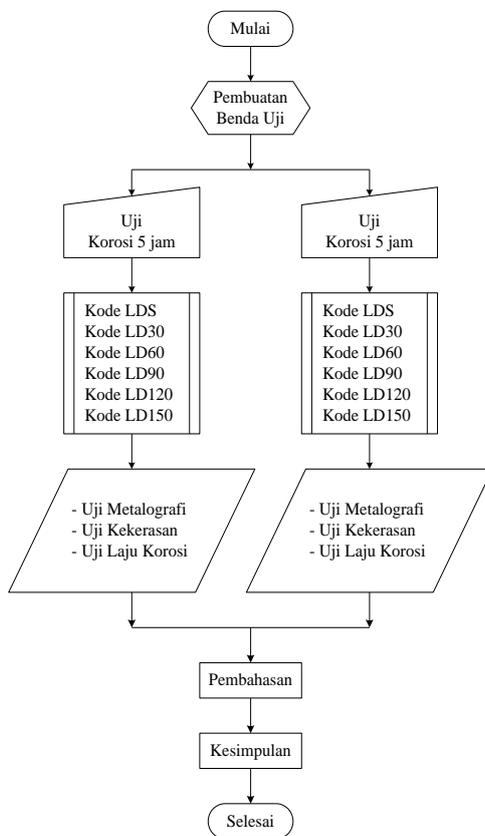
Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

Tabel 1. Pengkodean benda uji

No.	Kode	Waktu Tahan	Temperatur Normalizing
1.	LDS	Tidak ada	900 °C
2.	LD30	30 menit	
3.	LD60	60 menit	
4.	LD90	90 menit	
5.	LD120	120 menit	
6.	LD150	150 menit	



Gambar 2. Penampang melintang logam dasar



Gambar 3. Diagram alir pengujian korosi

Bahan penelitian adalah logam dasar Pipa baja API 5L-X65, seperti pada Gambar 2. Proses normalizing dilakukan pada temperatur 900 °C dengan waktu tahan 30 menit; 60 menit; 90 menit; 120 menit dan 150 menit.

4. TINJAUAN PUSTAKA

Baja yang telah mengalami deformasi plastis (proses pengerolan) akan meninggalkan tegangan permanen, tegangan ini akan mempengaruhi mempercepat laju korosi. Salah satu cara untuk

mengurangi tegangan ini adalah dengan cara menormalkan bahan seperti keadaan semula, cara ini adalah *normalizing*. Ditunjukkan dalam Metal Handbook Volume 1 ASM (1991) bahwa perlakuan panas ini digunakan untuk memperhalus ukuran butir dan menghasilkan distribusi ukuran butir yang seragam dari *pearlite* dan *ferrite*.

Menurut Smith, William (1996), bahwa ferrite merupakan larutan padat C dalam kisi kristal BCC. C hanya sedikit dapat larut dalam ferrite alpha mencapai kelarutan padat maksimum 0,02 % pada 723 °C. Kelarutan C dalam ferrite alpha menurun hingga 0,005 % pada 0 °C, dimana menurut Krauss, George (1990) kerapatan ferrite adalah 7,87 g/cm³. Smith, William (1996) menjelaskan bahwa normalizing adalah perlakuan panas dimana baja dipanaskan dalam austenitic region dan kemudian didinginkan dalam udara. Kegunaan perlakuan panas ini adalah untuk menghaluskan struktur butiran, meningkatkan kekuatan baja, meredusir komposisional segregasi dalam pengecoran atau penempaan dan memberikan struktur yang lebih seragam.

Austenite sendiri merupakan larutan padat C interstisi dalam besi gamma, dan mempunyai struktur kristal FCC dan kelarutan padat C dalam austenite lebih tinggi dibanding ferrite alpha. Kelarutan padat C dalam austenite maksimum 2,08 % pada 1148 °C, dan turun hingga 0,8 % pada 723 °C Smith William (1996).

Dilingkungan air laut baja mengalami pengikisan oleh peristiwa korosi, untuk menghitung laju korosi digunakan rumus ASTM, (1994) berikut:

$$\text{Laju korosi} = \frac{\Delta m \times 534}{A \times t \times \rho} \text{ (IPY)}$$

Dalam hal ini,

Δm : Kehilangan massa (gram)

A : Luas permukaan benda uji yang kontak dengan larutan korosi (in²)

t : Lamanya pengujian (jam)

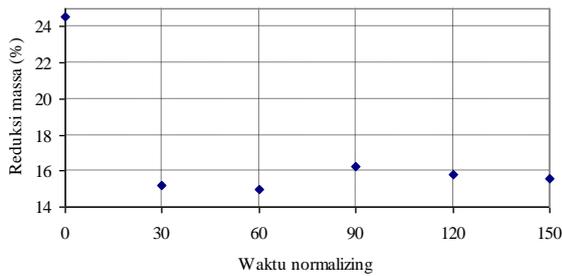
ρ : Densitas bahan (7,85 gram/cc untuk baja)

5. PEMBAHASAN

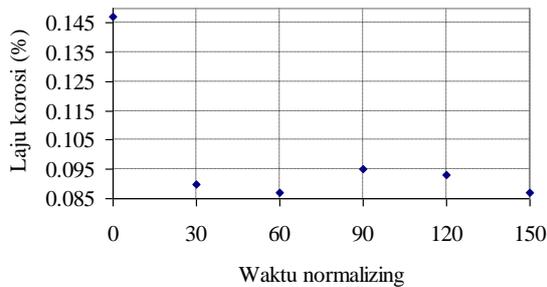
Dalam hal ini membahas tentang reduksi massa dan laju korosi, metalografi dan angka kekerasan, masing-masing benda uji dikorosi baik sebelum dan sesudah normalizing.

Tabel 3. Reduksi Massa dan Laju Korosi dengan waktu korosi 5 jam

Benda uji	Reduksi massa		Laju korosi			
	Δm (gr)	%	Δm (gr)	A (in ²)	CR (IPY)	CR (mmpj)
LDS	0,771	24,54	0,516	0,207	50,52	0,147
LD30	0,480	15,18	0,480	0,210	31,02	0,090
LD60	0,455	14,94	0,455	0,207	29,88	0,087
LD90	0,507	16,25	0,507	0,210	32,79	0,095
LD120	0,496	15,78	0,486	0,207	31,91	0,093
LD150	0,457	15,58	0,455	0,208	29,69	0,087



Gambar 4. Kurva Reduksi massa benda uji



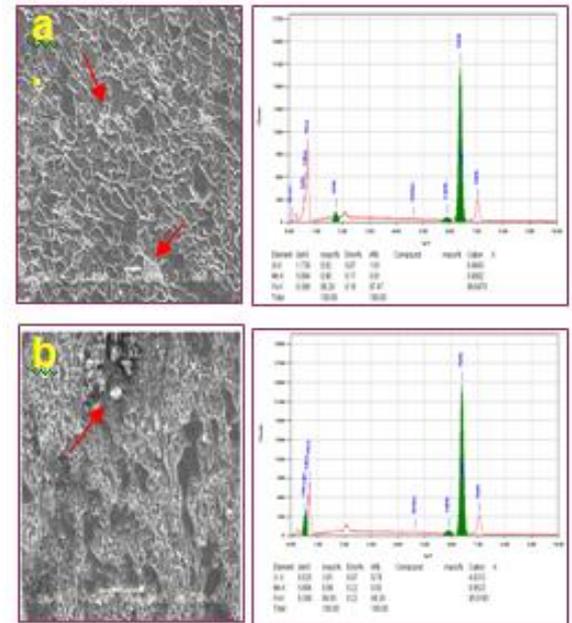
Gambar 5. Kurva laju korosi

Laju korosi. Gambar 9 menunjukkan suatu kurva reduksi massa, yakni prosentase kehilangan massa masing-masing benda uji tanpa dan dengan normalizing. Gambar 5 menunjukkan kurva laju korosi yang dinyatakan dengan satuan mmpj (mm per jam). Dengan rumus diatas, maka laju korosi masing-masing benda uji dapat dicari.

Tabel 3 dan Gambar 5, nampak laju korosi yang paling tinggi terjadi pada logam dasar standard yaitu 0,147 mmpj. Logam dasar dengan normalizing 90 menit memiliki laju korosi lebih rendah dibanding logam dasar standard yakni 0,095 mmpj. Laju korosi terendah terjadi pada logam dasar yang dinormalizing 150 menit yakni 0,087 mmpj. Dari sini nampak bahwa pengurangan massa dan laju korosi terbesar terjadi pada benda uji logam dasar standard.

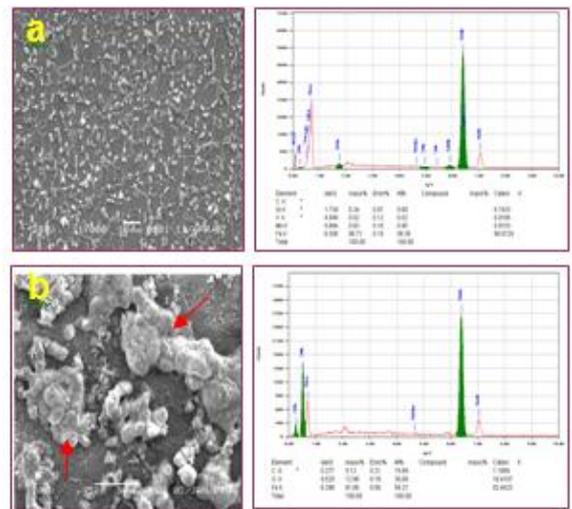
Metallografi. Gambar 6 adalah metalografi EDX LDS tanpa dan dengan korosi. Pada LDS tanpa korosi sebagian besar strukturnya adalah ferrite dengan sedikit pearlite sedangkan pada LDS korosi menunjukkan adanya inklusi yang terpusat, permukaan logam terlindung oleh selaput oksida dari FeO dan MnO.

Gambar 7 adalah metalografi EDX LD30 dinormalizing 30 menit tanpa dan dengan korosi. Pada LD30 tanpa korosi strukturnya adalah ferrite dan banyak sekali terdapat cementite berbentuk bulat dan pipih. Butiran cementite terlihat jelas. Hal itu dapat terjadi karena waktu penahanan yang kurang sehingga terdapat cementite yang belum terlarut ketika pemanasan pada temperatur 900 °C terjadi pembentukan butiran baru (rekristalisasi) Trethewey, KR (1991). Sedangkan pada LD30 dengan korosi, terlihat banyak sekali bunga korosi seperti karang. Dalam kurva dan tabel EDX terlihat bahwa kadar C masih cukup tinggi, sehingga banyak terjadi pengendapan karbida.



Gambar 6. Hasil EDX LDS.

a Tanpa korosi 1000 × b Korosi 500 ×



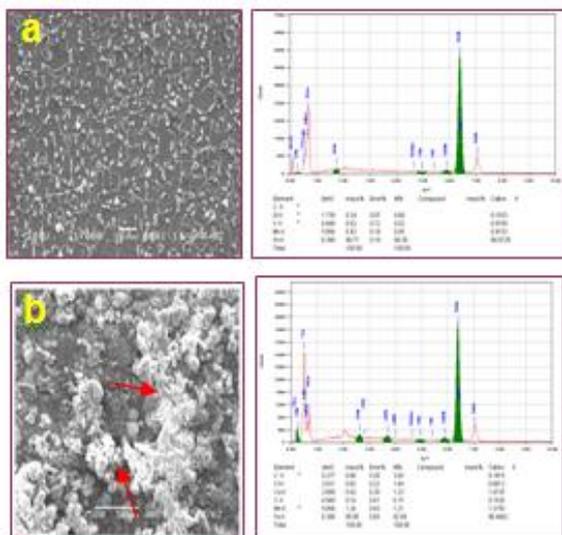
Gambar 7. Hasil EDX LD30.

a Tanpa korosi 1000 × b Korosi 500 ×

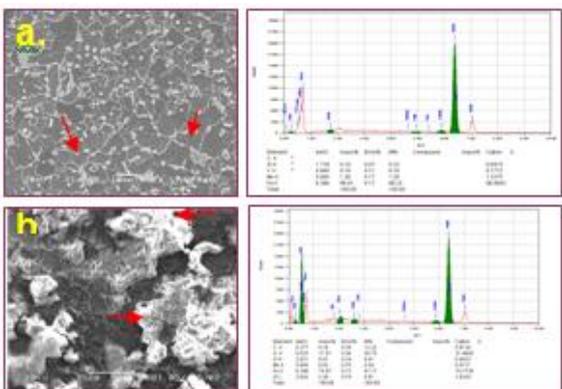
Gambar 8 adalah metalografi EDX LD60 dinormalizing 60 menit tanpa dan dengan korosi. Untuk LD60 tanpa korosi strukturnya masih sama seperti LD30, sebagian besar ferrite dan masih banyak karbida/ cementite berbentuk bulat. Pada waktu penahanan ini, yang dilanjutkan dengan pendinginan udara luar, austenite belum terdekomposisi membentuk pearlite yang merupakan campuran 2 fasa (ferrite dan cementite), hal ini karena cementite belum larut ketika pemanasan pada temperatur 900 °C dan penahanan selama 60 menit. Sedangkan pada LD60 korosi, kurva EDX menunjukkan adanya ion klorida yang sangat korosif sebesar 0,92 %. Terdapat garam Ca yang membentuk lapisan karat dan kerak mineral dan mengganggu difusi oxygen ke permukaan katoda sehingga memperlambat serangan

lapisan pelindungnya FeO, V₂O₅ dan MnO, menurut Trethewey, KR (1991).

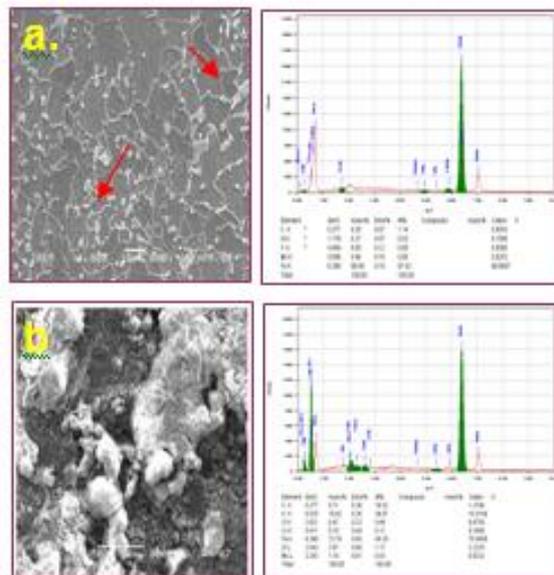
Gambar 9 adalah metalografi EDX LD90 dinormalizing 90 menit tanpa dan dengan korosi. Pada LD90 tanpa korosi, butirnya mengalami pertumbuhan sehingga ukuran butirnya bertambah besar, sebagian cementite telah terlarut pada pemanasan 900 °C dan waktu penahanan 90 menit. Ketika didinginkan pada udara luar sampai temperatur ruang, austenite terdekomposisi membentuk pearlite yang merupakan campuran 2 fasa, sehingga pada EDX terlihat struktur ferrite dan sedikit pearlite dan juga cementite yang belum terlarut. Pada kurva EDX menunjukkan komposisi paduan yang dominan yaitu C, Si, V, Mn, Fe. Sedangkan untuk LD90 dengan korosi, terdapat ion klorida yang sangat korosif terhadap logam mengandung besi sehingga sulit dipisahkan. Menurut Trethewey, KR (1991), kandungan C yang tinggi mengakibatkan pengendapan Cr karbida sehingga kadar Cr sedikit. Lapisan pelindungnya adalah FeO, ZrO₂ dan MnO.



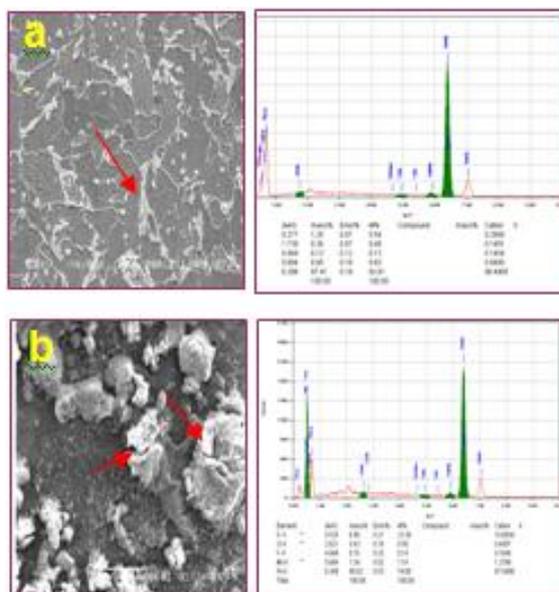
Gambar 8. Hasil EDX LD60.
a Tanpa korosi 1000 × b Korosi 500 ×



Gambar 9. Hasil EDX LD90.
a Tanpa korosi 1000 × b Korosi 500 ×



Gambar 10. Hasil EDX LD120.
a Tanpa korosi 1000 × b Korosi 500 ×



Gambar 11. Hasil EDX LD150.
a Tanpa korosi 1000 × b Korosi 500 ×

Gambar 10 adalah metalografi EDX LD120 dinormalizing 120 menit tanpa dan dengan korosi. Untuk LD120 tanpa korosi butiran kian membesar dan lebih halus cementite berkurang karena semakin banyak yang terlarut disebabkan waktu penahanan yang semakin lama. Ketika didinginkan, austenite berdekomposisi menjadi pearlite. Karena semakin banyak cementite yang terlarut maka jumlah pearlite yang terbentuk dari dekomposisi austenite ketika pendinginan lebih banyak. Untuk LD120 dengan korosi, terdapat kandungan ion klorida yang sangat korosif, kandungan C yang lebih tinggi mengakibatkan pengendapan Cr karbida sehingga kadar Cr

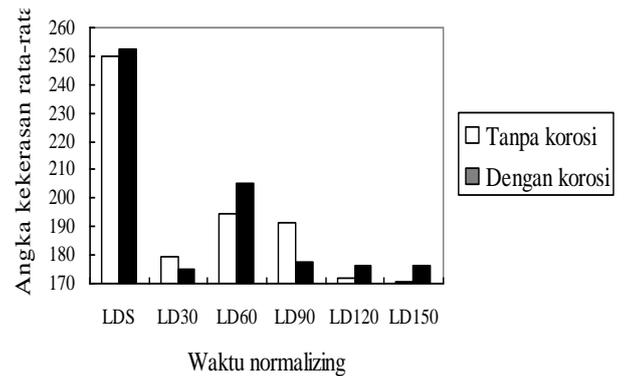
berkurang. Lapisan pelindungnya adalah FeO, ZrO₂, Cr₂O₃ dan MoO₃.

Tabel 5. Nilai kekerasan benda uji

Perlakuan Korosi	Kode Benda Uji	D ₁	D ₂	D _r	HVN	
Sebelum mendapat perlakuan korosi (standard)	LDS	25,62	26,94	26,28	268,50	
		28,67	26,74	27,71	241,40	
		28,26	27,41	27,84	239,40	
		Kekerasan rata-rata				249,77
	LD30	34,07	30,49	32,28	178,00	
		32,81	31,12	31,97	181,50	
		Kekerasan rata-rata				179,75
	LD60	31,67	30,11	30,89	194,30	
		31,75	29,92	30,84	195,00	
		Kekerasan rata-rata				194,65
	LD90	30,08	30,16	30,12	204,40	
		33,34	31,15	32,25	178,40	
		Kekerasan rata-rata				191,40
	LD120	31,95	33,50	32,73	173,20	
		32,47	33,38	32,93	171,10	
		Kekerasan rata-rata				172,15
	LD150	33,14	32,95	33,035	169,90	
		33,65	32,04	32,85	171,90	
		Kekerasan rata-rata				170,90
	Setelah mendapat perlakuan korosi (corrosion)	LDS	27,32	27,32	27,32	248,40
			28,24	25,57	26,91	256,20
			Kekerasan rata-rata			
		LD30	30,93	31,95	31,44	187,60
			33,39	34,12	33,76	162,70
Kekerasan rata-rata				175,15		
LD60		29,49	28,98	29,24	216,90	
		31,97	29,94	30,96	193,50	
		Kekerasan rata-rata				205,20
LD90		32,90	32,47	32,69	173,60	
		31,47	32,47	31,97	181,40	
		Kekerasan rata-rata				177,50
LD120		32,86	30,91	31,89	182,40	
		32,56	33,40	32,98	170,50	
		Kekerasan rata-rata				176,45
LD150		34,31	29,77	32,04	180,60	
		33,97	31,63	32,80	172,30	
		Kekerasan rata-rata				176,45

Gambar 11 adalah metalografi EDX LD120 dinormalizing 150 menit tanpa dan dengan korosi. Untuk LD120 tanpa korosi, terjadi pertumbuhan butir lagi sehingga ukuran butir lebih besar dari LD120, dan juga jumlah pearlite lebih banyak karena cementite yang terlarut semakin bertambah oleh karena waktu penahanan yang lebih lama. Sehingga ketika didinginkan, austenite akan berdekomposisi lebih banyak ke pearlite karena cementite yang lebih banyak terlarut akan bercampur dengan ferrite membentuk pearlite, sehingga jumlah pearlite bertambah sementara ferrite berkurang. Sedangkan pada LD150 korosi,

terdapat ion klorida yang sangat korosif. Lapisan pelindungnya FeO, V₂O₅ dan MnO. Dari hasil pengamatan EDX pada benda uji yang mengalami normalizing pada temperatur konstan dengan variasi waktu penahanan terlihat bahwa dengan semakin bertambahnya waktu penahanan maka ukuran butir akan semakin besar sedangkan batas butir yang terbentuk akan semakin halus. Dengan bertambahnya waktu penahanan, pertumbuhan butir akan semakin sempurna yang mengakibatkan terbentuknya ferrite halus pada batas butir pearlite.



Gambar 12. Kurva kekerasan masing-masing benda uji

Kekerasan. Kekerasan cenderung menurun terhadap waktu penahanan dan tergantung struktur mikro yang terbentuk. Saat butiran yang terbentuk lebih besar maka bahan menjadi lebih lunak dibanding butiran yang lebih kecil. Kekerasan LD150 < LD120 < LD90 < LD60

(karena butiran semakin besar seiring dengan bertambahnya waktu tahan sebelum dikorosi).

Kekerasan dan kekuatan tarik merupakan indikator dari ketahanan logam terhadap deformasi plastis, sehingga, secara kasar keduanya adalah sebanding. Terlihat bentuknya menyerupai kurva kekerasan vickers pada Gambar 12, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai kekerasan vickers maka akan semakin tinggi pula nilai kekuatan tariknya.

6. KESIMPULAN

Dari pengamatan dan analisa yang dilakukan terhadap data-data penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Harga kekerasan tertinggi terjadi pada logam dasar pipa API 5L-X65 tanpa normalizing dan tanpa korosi yaitu 249,77 kg/mm², dan benda uji yang dikorosi yaitu 252,26 kg/mm².
2. Dari pengujian korosi pada logam dasar pipa API 5L-X65 menunjukkan bahwa laju korosi tertinggi terjadi pada logam dasar tanpa perlakuan normalizing sebesar 0,196 mmpj untuk korosi 2,5 jam, dan 0,147 mmpj untuk korosi 5 jam. Sedang laju korosi terendah terjadi pada logam dasar yang dinormalizing 150 menit sebesar 0,092 mmpj untuk korosi 2,5 jam, dan 0,086 mmpj untuk korosi 5 jam.

3. Struktur mikro pipa baja API 5L X65 tanpa normalizing sebagian besar adalah ferrite, pearlite dan cementite, dimana semua ukuran butiran cenderung semakin besar dengan meningkatnya waktu penahanan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonimous, 1991, *Metal Handbook Vol. 4 (Heat Treating)*, American Society for Metals, Ohio.
2. Anonimous, 2004, *Manual Book SEM JSM-35C*.
3. Krauss, George, 1979, *Principles of Heat Treatment of Steel*, Colorado School of Mine, Evergreen, Colorado.
4. Metal Handbook, 1991, *Properties and Selection Irons, Steels and High Performance Alloys*, Volume 1, American Society for Metals, Ohio.
5. Krauss, George, 1990, *STEELS: Heat Treatment and Processing Principles*, ASM International, Material Park, Ohio
6. Metal Handbook, 1991, *Properties and Selection Irons, Steels and High Performance Alloys*, Volume 1, American Society for Metals, Ohio.
7. Mujahid M, Lis A.K, Garcia C.I, DeArdo A.J, 1992, *Microstructure and Properties of Microalloyed and other Modern HSLA Steels*, Proceedings of the International Conference on Processing ISS-AIME, Warrendale, PA
8. Smith, Charles O, 1986, *The Science of Engineering Materials*, 3rd edition, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
9. Smith, William. F, 1996, *Principles of Materials Science and Engineering*, McGraw-Hill, Inc., New York.
10. Trethewey, KR, Chamberlain, J., 1991, *KOROSI Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
11. Van Vlack, Lawrence, H., 1992, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, edisi ke 5, Erlangga, Jakarta.
12. Yurianto, 2005, *Analisis Tegangan Sisa Didalam HAZ Hasil Pengelasan Pipa API 5L X65 Dengan Las Busur Terendam*, Tesis Magister Metalurgi Fisika Institut Teknologi Bandung, Bandung.