

BAB IV DATA PENELITIAN

4.1 Pengumpulan Data Dan Informasi Awal

4.1.1 Data Operasional

Berkaitan dengan data awal dan informasi mengenai pipa ini, maka didapat beberapa data teknis mengenai *line pipe (elbow)* yang mengalami kegagalan, yaitu sebagai berikut.

- a. Jenis pipa : *elbow 45°*
- b. Material : A106 Gr B
- c. Diameter dalam : 4 inch
- d. Diameter luar : 4.48 inch
- e. Tebal : 0.24 inch
- f. Temperatur operasi : 26 - 40° C
- g. Tekanan operasi pipa : 60 – 70 psi
- h. Flow rate : 3 ft/s
- i. Kondisi operasi : *bypass* dari pipa utama
- j. Umur operasi : 14 tahun

4.2 Pengamatan Visual Dan Makroskopis

Pengamatan visual dilakukan pertama kali sebelum sampel dipreparasi. Produk korosi yang terlihat merata ke seluruh bagian.

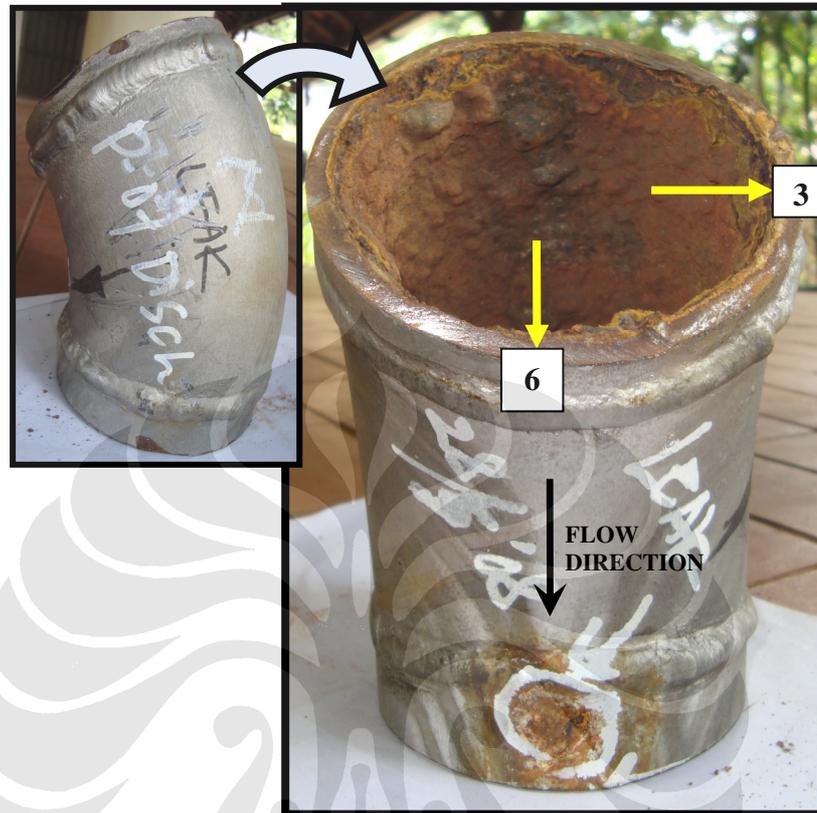


a)



b)

Gambar 4.1 Produk korosi masih menempel pada dinding pipa;
 a) adalah produk korosi secara keseluruhan dan b) produk korosi di tempat *leak* berada.



Gambar 4.2 Sampel *leakage* yang masih utuh



Gambar 4.3 Potongan sampel dengan penampakan luar dari *leakage*

Pada Gambar 4.3 terlihat potongan sampel dari penampak luar, pada bagian ini juga memperlihatkan bentuk *leakage* dari luar yang ditandai dengan coakan hasil dari korosi dengan material.



Gambar 4.4 Daerah bocor yang tertutup deposit korosi
 Pada bagian pipa yang mengalami kebocoran, produk korosi dibersihkan sehingga lokasi bocor dapat terlihat.



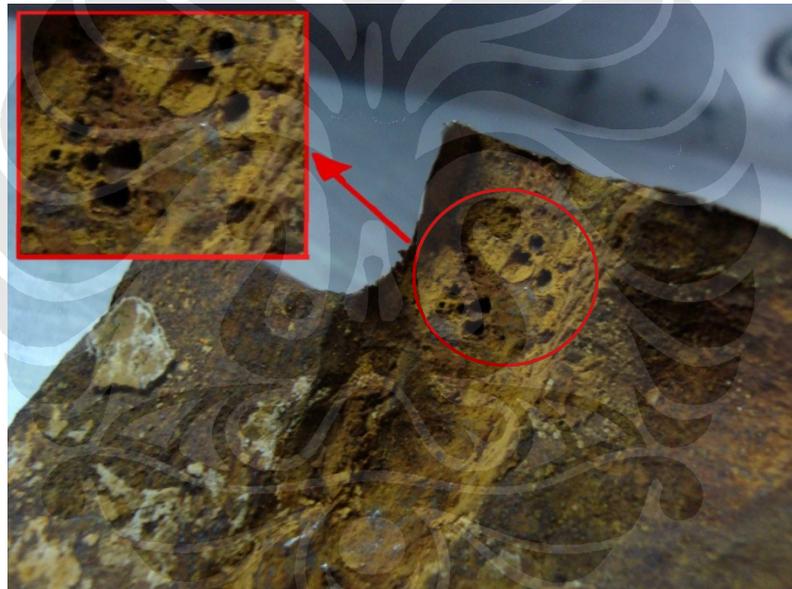
Gambar 4.5 Daerah bocor pada pipa



Gambar 4.6 Bagian lasan yang tidak mengalami kegagalan



Gambar 4.7 Bagian lasan yang tidak terisi logam las (*incomplete of penetration*) dan penipisan di daerah HAZ



Gambar 4.8 Bagian lasan yang mulai terbentuk lubang-lubang

4.3 Profil Ketebalan Sampel

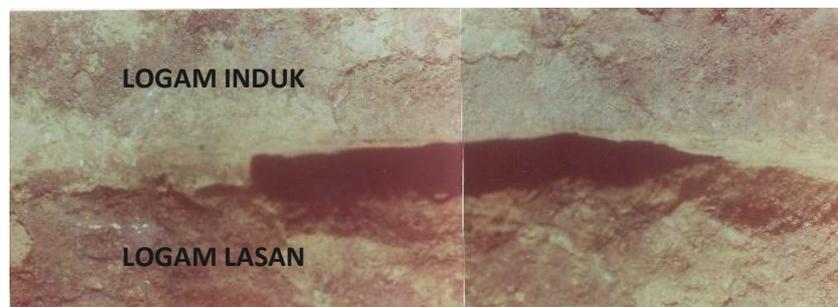
Perhitungan ketebalan ini dilakukan dengan menggunakan ultrasonic thickness tester dan dilakukan pada bagian pipa arah jam 12; 3; 6; dan 9.



Gambar 4.9 Profil ketebalan *line pipe (elbow)*

4.4 Pengamatan Foto Makro

Pengamatan makro dilakukan pada bagian dalam sampel pipa yang mengalami kebocoran. Berikut ini hasil foto pengamatan makro terhadap sampel yang mengalami kebocoran.



Gambar 4.10 Foto makro kebocoran dengan perbesaran 8X

4.5 Pengujian Komposisi Kimia

Berikut hasil dari pengujian komposisi kimia pada daerah logam induk dari sampel *line pipe (elbow)* yang diperlihatkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Komposisi kimia pada *line pipe (elbow)* untuk daerah logam induk

Komposisi Kimia (%)						
C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr
0,193	0,222	0,008	0,025	0,600	0,035	0,031
Mo	Ti	Cu	Nb	V	Al	Fe
<0,005	0,004	0,010	<0,002	0,003	0,009	remaining

Sedangkan hasil dari pengujian komposisi kimia untuk daerah sambungan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Komposisi kimia pada *line pipe (elbow)* untuk daerah sambungan

Komposisi Kimia (%)						
C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr
0,134	0,363	0,016	0,034	0,852	0,024	0,043
Mo	Ti	Cu	Nb	V	Al	Fe
<0,005	0,008	0,003	<0,002	0,010	0,001	remaining

4.6 Pengujian Kekerasan Brinell

Pengujian ini menggunakan beban 187.5 kg dan bola indenter 1/16 inchi. Berikut hasil dari pengujian kekerasan brinell:

4.6.1 Kekerasan pada logam induk *elbow*

Tabel 4.3 Kekerasan pada logam induk *elbow*

Kode Sampel	Penjejakan	Diameter (mm)	BHN	Rata-Rata HB
<i>Line pipe (elbow)</i>	I	1.2380	126.6994	132
	II	1.2030	136.3672	
	III	1.1955	138.5387	
	IV	1.2305	128.7092	
	V	1.2355	127.3657	

	VI	1.2365	127.0987	
Estimasi Tensile Strength = 132 x 3.38 = 446 MPa = 132 x 515 = 68.000 psi				

4.6.2 Kekerasan pada HAZ *elbow*

Tabel 4.4 Kekerasan pada HAZ *elbow*

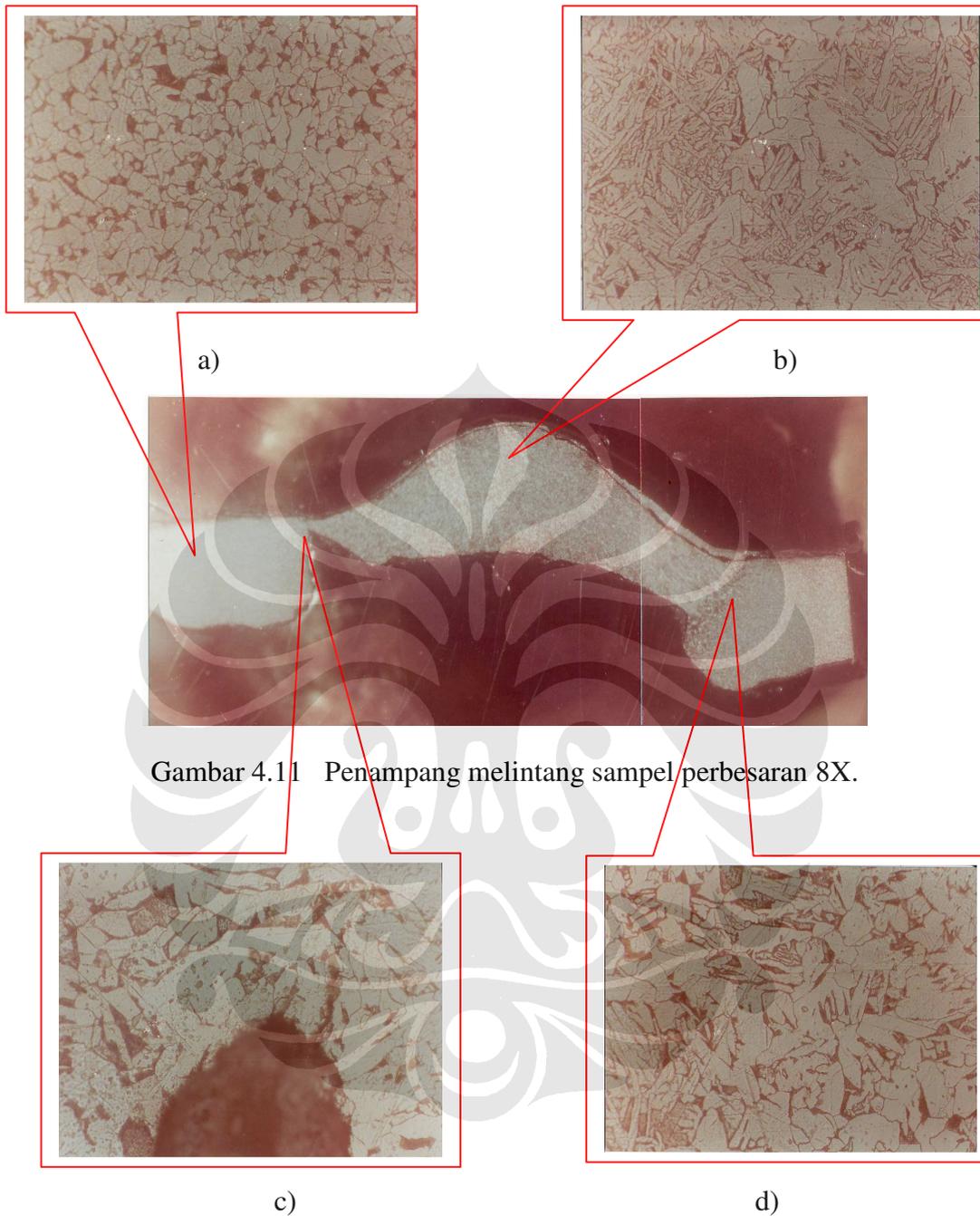
Kode Sampel	Penjejakan	Diameter (mm)	BHN	Rata-Rata HB
<i>Line pipe (elbow)</i>	I	1.1635	148.2386	137
	II	1.2245	130.3407	
	III	1.2300	128.8444	
	IV	1.1895	140.3029	
Estimasi Tensile Strength = 137 x 3.38 = 463 Mpa = 137 x 515 = 71.000 psi				

4.6.3 Kekerasan pada daerah sambungan *elbow*

Tabel 4.5 Kekerasan pada daerah sambungan *elbow*

Kode Sampel	Penjejakan	Diameter (mm)	BHN	Rata-Rata HB
<i>Line pipe (elbow)</i>	I	1.1275	160.0769	151
	II	1.1185	163.2051	
	III	1.1380	156.5154	
	IV	1.1945	138.8311	
	V	1.1700	146.2089	
	VI	1.1870	141.0452	
Estimasi Tensile Strength = 151 x 3.38 = 510 MPa = 151 x 515 = 78.000 psi				

4.7 Pengamatan Struktur Mikro



Gambar 4.11 Penampang melintang sampel perbesaran 8X.

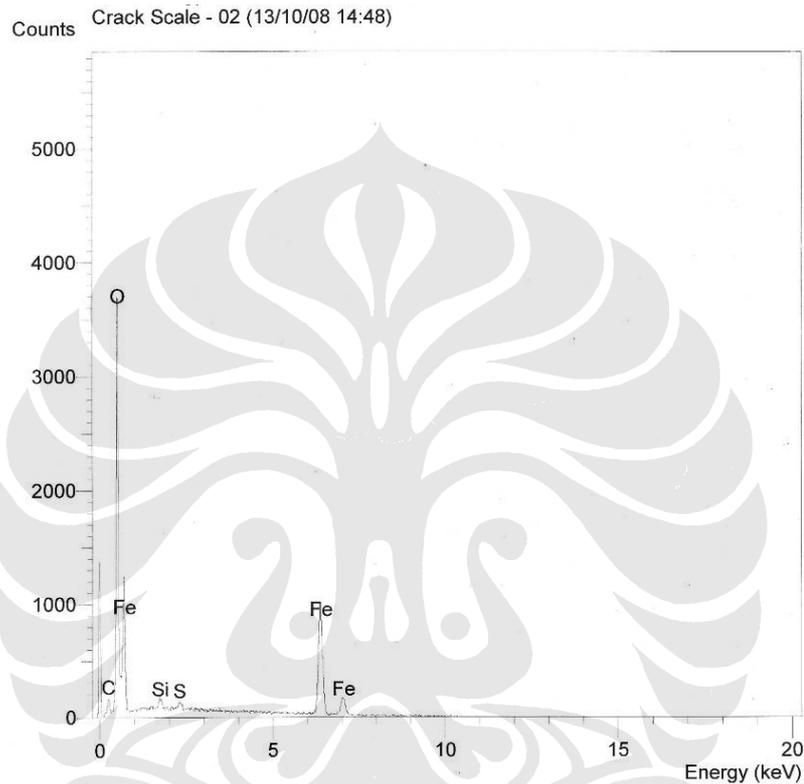
Gambar 4.12 Foto mikrostruktur sampel *line pipe (elbow)* dengan perbesaran 500x; etsa nital 2% ; a) adalah daerah logam induk; b) adalah daerah sambungan ; c) adalah daerah *leak* d) adalah daerah HAZ.

4.8 Pengujian SEM/EDX

Data yang didapat dari EDX produk korosi adalah:

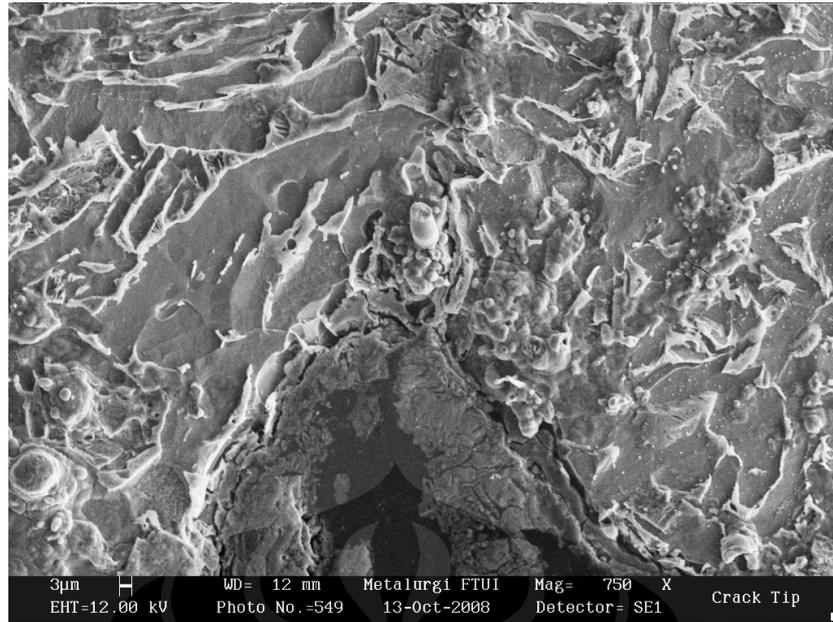
Tabel 4.6 Komposisi Produk Korosi

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.34	1.01
O K	ED	21.66	48.47
Si K	ED	0.45	0.57
S K	ED	0.50	0.56
Fe K	ED	77.05	49.39
Total		100.00	100.00



Gambar 4.13 Grafik hasil EDX produk korosi *line pipe (elbow)*.

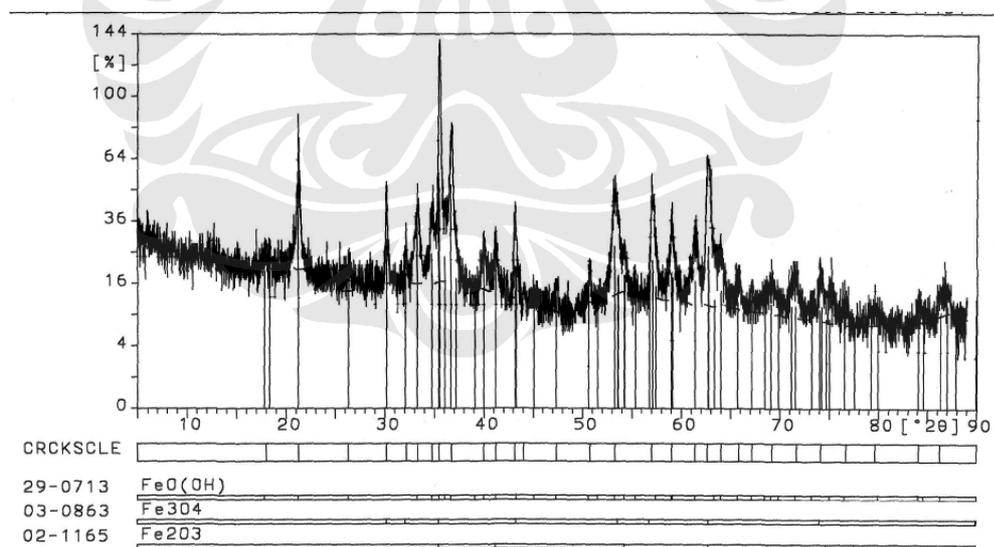
Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar :



Gambar 4.14 Hasil Pengujian SEM produk korosi *line pipe (elbow)*

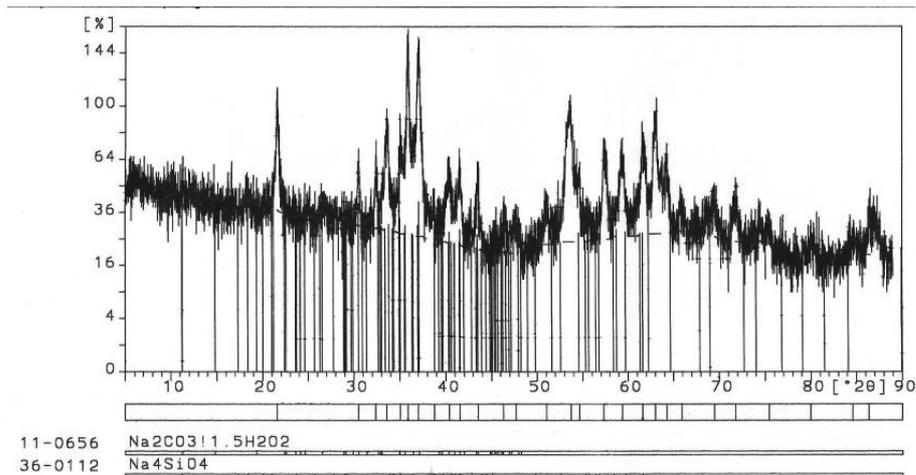
4.9 Pengujian XRD

Pada pengujian XRD produk korosi tersebut adalah FeO(OH) , Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 .



Gambar 4.15 Hasil Pengujian XRD produk korosi *line pipe (elbow)*

Pada produk korosi paling atas terdapat persenyawaan Si dan C seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.16 Hasil pengujian XRD yang mendapatkan persenyawaan Si dan C

4.10 Pengujian Komposisi Air

Tabel data hasil pengujian air adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil analisa air

Kind of sample	D5	CT. 01	CT. 02	CT. 03
Sampling point				
Sampling date	September 26, 2008			
Sampling time				
1 Color (Pt-Co-degree)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2 Turbidity	< 1	< 1	< 1	< 1
3 pH (at 25°C)	6.3	6.5	6.2	6.3
4 Electrical conductivity (µS/cm)	262	241	252	297
5 P-Alkalinity (as CaCO ₃)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6 M-Alkalinity (as CaCO ₃)	23	24	18	21
7 Total Hardness (as CaCO ₃)	< 1	8	4	< 1
8 Calcium Hardness (as CaCO ₃)	< 1	5	3	< 1
9 Chloride ion (as Cl ⁻)	< 2	< 2	< 2	< 2
10 Sulfate ion (as SO ₄ ²⁻)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
11 Soluble Silica (as SiO ₂)	1.65	1.50	0.67	0.15
12 Phosphate ion (as PO ₄ ³⁻)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
13 Total Phosphate (as PO ₄ ³⁻)	n.a.	< 0.1	< 0.1	< 0.1
14 Total iron (as Fe)	0.14	0.06	0.07	0.13
15 Hydrazine (as N ₂ H ₄)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
16 Nitrite ion (as NO ₂ ⁻)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
17				
18				
19				
20				
Comment :	(Unit : mg/l)			

4.11 Pengujian Polarisasi

Berikut data hasil pengujian potensial untuk setiap profil yang berbeda:

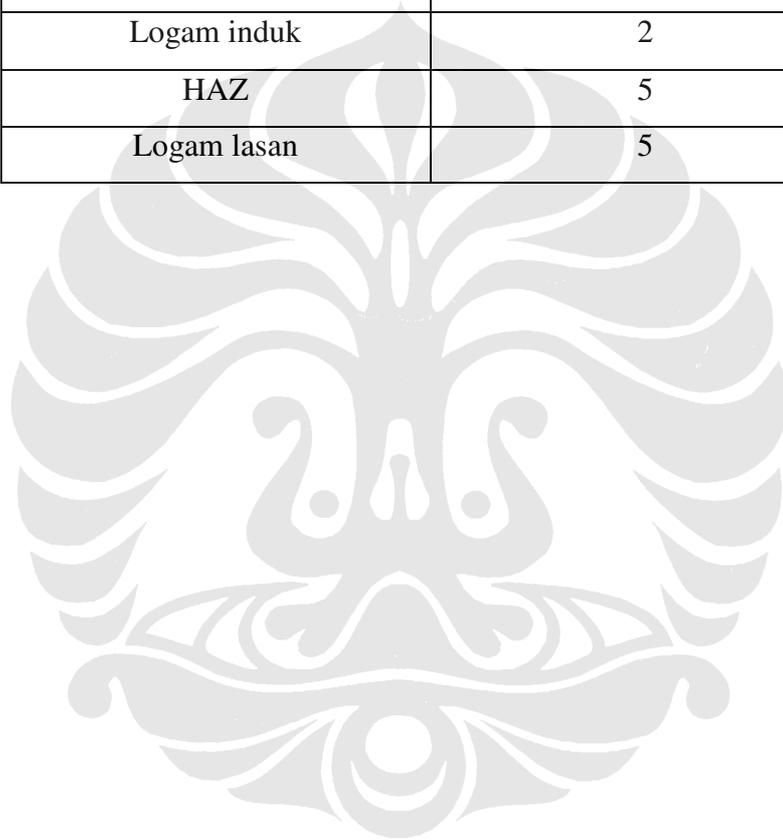
Tabel 4.8 Hasil uji potensial korosi

Material	Potensial Korosi (mV)
Logam induk	- 415
HAZ	- 360
Logam lasan	- 430

Berikut data hasil pengujian polarisasi:

Tabel 4.9 Hasil uji polarisasi

Material	Corrothion rate (mpy)
Logam induk	2
HAZ	5
Logam lasan	5



BAB V PEMBAHASAN

5.1 Pengamatan Visual

Pada Gambar 4.1 (a) terlihat bahwa baja tersebut mengalami korosi *uniform* yang tersebar merata di sekeliling material bagian dalam pipa dan masih menempel pada dinding pipa hal ini menandakan fluida dalam pipa cenderung stagnan. Pada Gambar 4.1 (b) terlihat produk korosi yang terlokalisasi. Pada Gambar 4.3 terlihat potongan sampel dari penampang luar, bagian ini memperlihatkan bentuk *leakage* dari luar yang ditandai dengan coakan hasil dari korosi dengan material. Bentuk fail yang seperti coakan tersebut menandakan bahwa hal ini terjadi karena pengaruh dari aliran fluida khususnya pada arah jam 6 yang cenderung turbulen dan menjadikan korosi erosi mungkin terjadi. Arah coakan yang tegak lurus dengan arah lasan menandakan bahwa pada daerah jam 6 ini terjadi serangan local yang dibantu dengan aliran fluidanya kemudian membentuk *stress pressure*. Sedangkan pada Gambar 4.4 terlihat daerah logam lasan tidak rata dengan logam induk, dan terjadi penipisan di daerah HAZ, hal ini menandakan kurangnya penetrasi logam lasan (*incomplete of penetration*) pada daerah tersebut. Dan pada Gambar 4.8 terlihat bahwa pada daerah lasan di sekitar arah jam 6 bukan hanya terjadi penipisan di HAZ dan cerukan di lasannya, tetapi juga mulai terbentuk lubang-lubang, yang mengindikasikan bahwa korosi jelas terjadi secara lokal.

5.2 Pengukuran Ketebalan

Pipa cenderung terkorosi secara merata, dengan sisa ketebalan yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh tidak meratanya lepasnya produk korosi ketika pipa tersebut dialiri fluida. Hal ini ditambah lagi dengan data lapangan yang didapat bahwa penipisan terhadap ketebalan dinding pipa sudah hampir 80% menyerang hampir seluruh pipa *elbow*.

5.3 Pengamatan Permukaan Secara Makro (Fraktografi)

Pengamatan fraktografi ini memperlihatkan bahwa kebocoran pada pipa menyerang daerah perbatasan antara lasan dan logam induk dan searah dengan

arah lasan seperti terlihat pada Gambar 4.10 atau dengan kata lain *leak* terjadi di daerah HAZ dan juga ikut memakan daerah lasan. Pada Gambar 4.10 juga dapat dilihat bahwa *leak* ujung kanan ditandai dengan bentuk failnya yang seperti bukaan *leak*, hal ini mengindikasikan daerah tersebut adalah inisiasi *leak*, dan terus merambat searah lasan, bagian tengah merupakan daerah yang termakan oleh korosi dan daerah ujung kiri merupakan daerah yang terputus (*batas fail*).

5.4 Pengujian Komposisi Kimia

Dari hasil pengujian komposisi kimia, kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan standar, terlihat bahwa material tersebut masih masuk ke dalam spesifikasi material A 106 Grade B, sedangkan untuk pengujian komposisi kimia untuk daerah lasan memperlihatkan bahwa kandungan karbon yang terkandung dalam logam induk (0.193% C) lebih besar dari pada kandungan karbon di lasan yaitu 0.134% C. Hal ini tidak memperlihatkan indikasi yang signifikan untuk terjadinya korosi galvanik, karena keduanya masih masuk ke dalam spesifikasi material yang sama yaitu A 106 Grade B. Begitu pula jika dilihat pada unsur paduan yang lain seperti Silikon (Si), Mangan (Mn), Sulfur (S), Fosfor (P), Molibdenum (Mo), dan lain-lain. Kesemua unsur paduan tersebut tidak memperlihatkan adanya perbedaan yang signifikan. Karenanya berdasarkan hasil komposisi kimia ini kecenderungan untuk terjadinya korosi galvanik tidak mungkin terjadi.

5.5 Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan dengan metode Brinell didapatkan kekerasan rata-rata material *line pipe (elbow)* adalah: untuk daerah logam induk nilai kekerasan yang didapat sebesar 132 HB; untuk daerah HAZ kekerasan yang didapat sebesar 137 HB; sedangkan untuk nilai kekerasan pada daerah sambungan adalah sebesar 151 HB.

Kemudian hasil pengujian kekerasan ini dikonversi untuk mendapatkan kekuatan tarik dari material pipa. Dan hasil dari kekuatan tarik pipa tersebut adalah sebesar 446 MPa atau sama dengan 68.000 psi untuk daerah logam induk; sedangkan untuk daerah HAZ kekuatan tariknya sebesar 463 MPa atau sama dengan 71.000 psi dan untuk kekuatan tarik di daerah sambungan adalah sebesar

510 MPa atau sama dengan 78.000 psi. Berdasarkan hasil ini menandakan bahwa nilai kekerasan yang tertinggi adalah di daerah sambungan. Dimana semakin tinggi nilai kekerasan suatu material berarti *residual stress*nya juga semakin tinggi, tingginya *residual stress* dapat memicu terjadinya *local micro cathode*, yang berarti dapat mempercepat terjadinya laju reduksi suatu material. Jika laju reduksi semakin cepat, maka semakin cepat korosi terjadi. Hal ini senada dengan pengamatan secara visual yang memperlihatkan bahwa cerukan terjadi di daerah sambungan.

Nilai *tensile strength* dari A 106 Grade B adalah 60.000 psi atau 415 Mpa (min). Atau dengan kata lain nilai kekerasan material tersebut sedikit lebih keras dibandingkan dengan standar material A 106 Grade B, hal ini mungkin terjadi karena *cold work* pada saat terjadi aliran.

5.6 Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro yang teramati pada Gambar 4.12 (a) adalah ferit dan pearlite, dengan penyebaran fasa yang cukup merata. Pearlite ditandai dengan warna coklat gelap, dan ferit ditandai dengan warna yang lebih terang yaitu putih kecoklatan. Struktur mikro tersebut sesuai dengan struktur materialnya A 106 Grade B yaitu ferit dan pearlit. Namun ketika masuk ke daerah interface, yaitu antara HAZ dan daerah sambungan (Gambar 4.12 d) struktur yang terjadi mengalami rekristalisasi dan *grain growth*. Hal ini diakibatkan adanya pengaruh panas saat pengerjaan pengelasan, struktur yang dimaksud adalah *widmanstatten* dan selain itu juga terdapat *lower bainit*. Pada daerah sambungan logam (Gambar 4.12 b) butir menjadi tajam seperti jarum. Struktur ini menandakan struktur *widmanstatten*, hal ini terjadi karena proses pembekuan material yang dimulai dari permukaan logam induk menuju ke bagian tengah logam lasan. Pada daerah *leak* (Gambar 4.12 c) dapat dilihat fasa yang terbentuk hampir mirip dengan fasa yang terbentuk di daerah HAZ yaitu berupa *lower bainit* dan sedikit *widmanstatten*, hal ini memberikan petunjuk bahwa *leak* terjadi di daerah HAZ.

5.7 Pengujian SEM/EDX

Produk korosi sebagian besar berwarna coklat kekuningan menyelimuti seluruh bagian dalam pipa dengan ketebalan yang berbeda-beda. Produk tersebut bersifat rapuh atau mudah untuk dikelupas. Hasil pengujian EDX menunjukkan kandungan besi dan oksigen yang cukup tinggi, dengan sedikit sulfur, silikon dan karbon. Tingginya besi dan oksigen menunjukkan tingginya kadar oksida-oksida besi pada produk korosi tersebut.

5.8 Pengujian XRD

Pengujian dengan XRD pada sisa produk korosi menunjukkan adanya senyawa Fe_3O_4 (Magnetite) dan Fe_2O_3 (Hematite), dan senyawa $\text{FeO}(\text{OH})$. Produk korosi Fe_3O_4 akan berupa lapisan berwarna hitam yang terlihat tidak merata, sedangkan Fe_2O_3 membentuk lapisan berwarna coklat kekuningan yang hampir menutupi seluruh permukaan dalam pipa. Sedangkan pada lapisan paling atas didapat hasil $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan Na_4SiO_4 . Persenyawaan $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan Na_4SiO_4 akan larut di dalam air karena erosi sehingga produk ini tidak terjadi. Unsur Si tidak terdeteksi senyawanya, kemungkinan karena sedikit.

5.9 Pengujian Komposisi Air

Dari perhitungan dan Tabel 4.6 didapatkan air yang mengalir dalam pipa ini sangat agresif dan memicu terjadinya korosi yang sangat parah. Hal ini mungkin bisa dikatakan karena airnya sendiri sudah tidak setimbang akibat adanya pengaruh dari steam.

5.10 Pengujian Polarisasi

Dari hasil pengujian potensial dari tiap-tiap profil didapat, bahwa untuk daerah logam induk potensial yang di dapat adalah sebesar -415 mV, untuk daerah HAZ potensial yang terukur adalah sebesar -360mV, dan untuk daerah sambungan potensial yang terukur adalah sebesar -430mV. Dari pengukuran terhadap potensial di masing-masing profil ini memperlihatkan bahwa untuk daerah sambungan memiliki potensial korosi paling negatif dibandingkan dengan daerah logam induk dan HAZ, hal ini memberikan petunjuk bahwa pada daerah

sambungan ini memiliki kecenderungan untuk terjadinya korosi yang lebih cepat dibandingkan dengan daerah logam induk dan daerah HAZ.

Sedangkan berdasarkan hasil dari pengujian polarisasi, memperlihatkan bahwa nilai laju korosi di tiap-tiap daerah memiliki selisih yang tidak jauh berbeda. Hal ini menandakan bahwa setiap profil memiliki probabilitas yang sama untuk terjadinya korosi. Namun kecepatan korosi rata-rata di daerah HAZ adalah tertinggi, lalu diikuti dengan logam lasan, dan logam induk dengan perbedaan yang tidak terlalu besar. Hal ini senada dengan hasil dari mikrostruktur yang juga memperlihatkan bahwa inisiasi leak justru terjadi pada daerah HAZ. Berdasarkan hasil diatas maka ketahanan korosi material tersebut terhadap lingkungan air yang digunakan cukup baik. Dari hasil simulasi laju korosi maka untuk 14 tahun korosi yang terjadi pada daerah HAZ sekitar 2,5 mm atau sekitar 0,1”.

Tabel 5.1 Peringkat RCR dalam rentang laju korosi pada berbagai satuan ukur. [2]

Relative Corrosion Resistance*	mpy	mm/yr	$\mu\text{m}/\text{yr}$	nm/h	pm/s
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1–5	0.02–0.1	25–100	2–10	1–5
Good	5–20	0.1–0.5	100–500	10–50	20–50
Fair	20–50	0.5–1	500–1000	50–150	20–50
Poor	50–200	1–5	1000–5000	150–500	50–200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

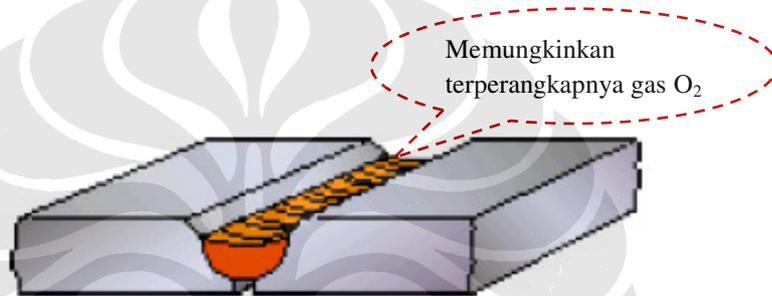
5.11 Analisa Penyebab Korosi

Korosi yang terjadi cenderung merata (*general corrosion*) di permukaan dalam pipa *elbow*. Pada bagian luar pipa relatif tidak terjadi korosi. Pada daerah lasan terjadi korosi yang lebih signifikan sehingga mengakibatkan bocor. Lubang bocor dimulai dari dalam pipa menuju keluar tertutup produk korosi, yang searah dengan arah lasan.

Untuk penampang luar (pada Gambar 4.3), terlihat bahwa bentuk fail seperti coakan hasil korosi dengan material yang arahnya tegak lurus dengan bentuk *leakage*. Bentuk fail tersebut menandakan bahwa hal ini mungkin terjadi karena pengaruh dari aliran fluida khususnya pada arah jam 6 yang cenderung turbulen dan menjadikan korosi erosi mungkin terjadi. Arah coakan yang tegak lurus

dengan arah lasan menandakan bahwa pada daerah jam 6 ini terjadi serangan lokal yang dibantu dengan aliran fluidanya kemudian membentuk *stress pressure*.

Jika ditinjau dari bentuk lasan pipa tersebut, pada bagian yang bocor terjadi pengisian kampuh logam lasan yang kurang penuh atau seperti cerukan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.4, sehingga tebal material yang berada di antara logam induk dan HAZ menjadi lebih tipis. Cerukan di atas logam lasan bagian dalam pipa kemungkinan terbentuk karena adanya *incomplete of penetration*. Lalu kemudian cerukan tersebut akan terisi oleh produk korosi yang terbawa aliran. Skematis dari *incomplete of penetration* terlihat oleh Gambar 5.1 di bawah ini:



Gambar 5.1 Bentuk cacat las *incomplete penetration*.

Dari bentuk kegagalan yang tertutup hasil korosi, terdapat kemungkinan korosi dimulai dengan korosi menyeluruh. Hasil korosi ini kemudian menutupi permukaan lokasi tempat terjadinya bocor. Akibatnya, terjadi mekanisme korosi dibawah kerak (*under scale corrosion*). Ditambah lagi dengan hasil XRD yang menyatakan bahwa lapisan produk korosi yang terbentuk berupa lapisan oksida besi yang rapuh sehingga memungkinkan korosi di bawah permukaan produk korosi (*under scale corrosion*) terus berlanjut. Korosi ini memicu terjadinya pitting yang menyebabkan lubang mendalam. Selain itu pipa ini jarang digunakan sehingga air yang berada di dalam pipa cenderung stagnan, dan korosi yang terlokalisasi di bawah permukaan produk korosi dapat terjadi dengan adanya difusi oksigen. Hal ini dapat dilihat bahwa sebagian besar produk korosi adalah senyawa oksida.

Dari hasil pengujian air, kita dapat melihat bahwa nilai kesadahan air cukup tinggi. Air sadah umumnya mengurangi kerusakan akibat korosi karena pembentukan lapisan pasif garam-garam karbonat tipis dipermukaan dalam pipa

yang akan melindungi pipa dari serangan korosi. Namun dari perhitungan Ryznar maupun Langelier menunjukkan bahwa sifat air yang mengalir dalam pipa sebagai air yang agresif dan menyebabkan korosi. Ditambah lagi kondisi dari air yang memiliki kandungan oksigen terlarut (DO, Dissolved Oxygen) yang tinggi dikarenakan tempat penampungan yang terpapar udara terbuka.

Lokasi produk korosi berada pada arah jam 6 dimana bila pipa tidak terisi penuh oleh air, maka bagian ini merupakan bagian yang terisi oleh oksigen, sehingga sel differential aerasi dapat terjadi, dan bagian ini lebih cepat terkorosi.

Daerah yang menjadi inisiasi kebocoran adalah daerah HAZ di dekat ceruk dari *incomplete of penetration* pada arah jam 6 karena daerah HAZ memiliki kecepatan korosi paling cepat. Korosi selanjutnya akan menyerang sepanjang daerah ini sehingga daerah fusion antara logam lasan dan logam induk akan ikut terserang. Pada bagian daerah lasan yang lain juga terjadi penipisan seperti daerah HAZ dan terbentuk lubang yang diakibatkan serangan korosi lokal seperti pada Gambar 4.8, hal ini tidak mengakibatkan bocor karena tebal material masih mencukupi.