

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Latar Belakang Material

Material yang digunakan pada penelitian ini merupakan material yang berasal dari pipa elbow pada pipa jalur buangan dari pompa-pompa pendingin menuju sumur AW 12 .

Teknik pengelasan yang digunakan proses penyambungan pipa adalah metode SMAW. Diameter pipa elbow berukuran 4". Pada bagian dalam pipa, banyak terdapat scale dimana, sebelum pengujian permukaan bagian dalam pipa dibersihkan terlebih dahulu untuk menghilangkan scale. Berikut gambar penampang luar dari pipa elbow.



Gambar 4.1 Penampang luar pipa *elbow*

4.2 Hasil Pengujian Komposisi dan Sifat Kondensat

4.2.1 Komposisi Kondensat

Hasil pengujian air yang dilakukan untuk mengetahui komposisi dari senyawa-senyawa yang terkandung dalam fluida dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian komposisi kondensat

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 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	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_2H_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)			

4.2.2 Sifat Kondensat

Data yang didapat pada pengujian air kemudian digunakan untuk menghitung nilai index dari metode LSI dan RI.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan RI dan LSI

Metode	CT01	CT02	CT03	DS
Ryznar	12	13	14	14
Langelier	-2.6	-3.3	-3.8	-3.7

Perhitungan nilai index dari setiap jenis kondensat bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari kondensat geothermal yang mengalir, apakah bersifat korosif, membentuk *scale*, atau netral. Hasil perhitungan Index Ryznar dan Index Langelier setiap jenis kondensat dapat dilihat pada tabel 4.2. Hasil yang didapat kemudian dibandingkan dengan tabel index dari setiap metode untuk mengetahui sifat dari setiap kondensat.

Setelah membandingkan hasil perhitungan dengan tabel index ryznar diketahui bahwa semua jenis kondensat yang diujikan, yaitu : CT 01, CT 02, CT 03 dan Down Stream memiliki nilai RI > 9 dimana, hal itu mengindikasikan bahwa kondensat bersifat sangat korosif.

Sementara, nilai LSI dari keempat jenis kondensat adalah berada pada kisaran < -2 dimana, nilai tersebut tidak terdapat pada tabel indeks. Hal itu menunjukkan bahwa sifat dari semua jenis kondensat tersebut sangat korosif.

Kondensat CT 03 merupakan kondensat yang memiliki sifat korosif paling tinggi dari keempat jenis kondensat yang diujikan berdasarkan dari metode RI dan LSI. Hal itu dapat mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada lingkungan kondensat CT 03 sehingga memiliki laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan lingkungan kondensat lainnya.

Hasil dari LSI dan RI mengindikasikan bahwa sifat air dari kondensat CT 01, kondensat CT 02, kondensat CT 03, dan Kondensat Down Stream bersifat sangat korosif. Hal ini menunjukkan bahwa kondensat memiliki agresifitas korosif yang tinggi bagi material dari peralatan yang digunakan.

4.3 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Menurut data manufaktur, material logam induk/dasar adalah ASTM A 106 Grade B. Untuk mengetahui apakah sesuai atau tidak maka, hasil pengujian komposisi kimia material logam dasar dengan menggunakan *optical emission spectrometer* (OES) dibandingkan dengan komposisi kimia standard dari material ASTM A 106 Grade B (tabel 4.3).

Tabel 4.3 Komposisi kimia material

Unsur	Material Logam Dasar (%)	Material ASTM A 106 Grade B (%)
Fe	98.52	Bal
C	0.19	0.30 (max)
Si	0.22	0.10
S	0.008	0.035 (max)

P	0.02	0.035 (max)
Mn	0.68	0.29-1.06
Ni	0.03	0.40 (max)
Cr	0.03	0.40 (max)
Mo	<0.005	0.15 (max)
Cu	0.01	0.40 (max)
V	0.003	0.08 (max)

Setelah dibandingkan dengan komposisi kimia baja ASTM A 106 grade B maka didapatkan bahwa komposisi kimia material logam dasar masuk ke dalam kriteria standar untuk material ASTM A 106 Grade B yang merupakan jenis baja karbon rendah.

Dari komposisi tersebut, sifat mampu las logam ASTM A 106 Grade B dapat diketahui menggunakan persamaan kesetimbangan karbon sesuai persamaan berikut,

$$C.E. = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{5} \quad (4.1)$$

Hasil perhitungan didapatkan nilai CE adalah 0.32 dimana menunjukkan bahwa baja ASTM A 106 Grade B memiliki sifat mampu las yang sangat baik.

4.4 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk karakterisasi sifat mekanis material logam dasar. Nilai kekerasan yang didapat kemudian dikonversi untuk mendapatkan pendekatan terhadap sifat mekanis material dalam hal ini, kekuatan tarik.

Tabel 4.4 Konversi nilai kekerasan ke nilai kekuatan tarik pada setiap area

Daerah	Kekerasan (BHN)	Tensile Strength (psi)	Tensile Strength (Mpa)
Base metal	2132	67782	467
HAZ	137	70519	486
Weld metal	151	77754	535

Universitas Indonesia

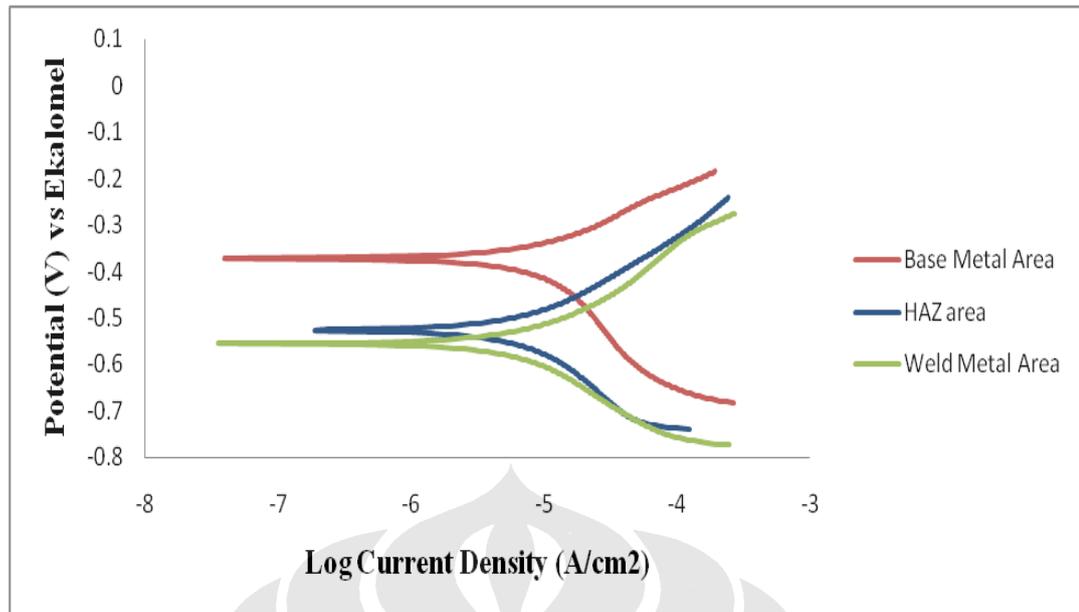
Berdasarkan standar, diketahui bahwa nilai tensile strength dari ASTM A106 Grade B dapat adalah 60.000 psi (minimum). Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa kekerasan pada material tersebut masih sesuai dengan standar.

Pada tabel 4.4 kita dapat melihat bahwa meskipun terdapat perbedaan nilai kekerasan pada setiap area tetapi perbedaan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Hal itu menunjukkan bahwa proses pengelasan yang dilakukan sudah sangat baik karena, teknik pengelasan yang baik adalah yang menghasilkan sifat logam las mirip dengan logam dasar. Sementara, nilai kekerasan yang tidak jauh berbeda antara daerah logam las, HAZ, dan logam dasar menunjukkan bahwa ketiga daerah tersebut memiliki sifat yang hampir sama/mirip baik sifat mekanik, dan juga ketahanan korosi dari setiap daerah. Sifat mampu las dari material ASTM A 106 yang sangat baik juga turut berkontribusi terhadap jalannya proses las yang terjadi sehingga dihasilkan produk lasan yang baik.

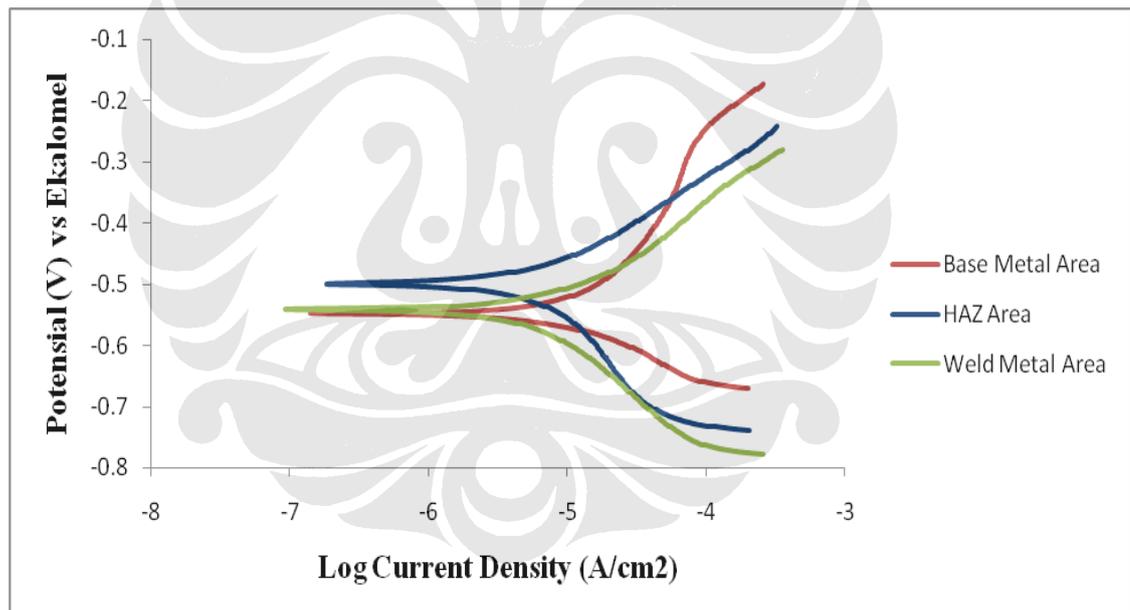
Daerah yang memiliki nilai kekerasan tertinggi adalah daerah logam las dimana, nilai kekuatan tariknya juga yang paling tinggi. Hal itu dapat dipengaruhi oleh struktur yang terbentuk adalah pada daerah las dimana, hasil pengujian struktur mikro menunjukkan terbentuknya struktur widmanstatten dimana, adanya struktur ini dapat meningkatkan kekerasan logam.

4.5 Hasil Pengujian Polarisasi

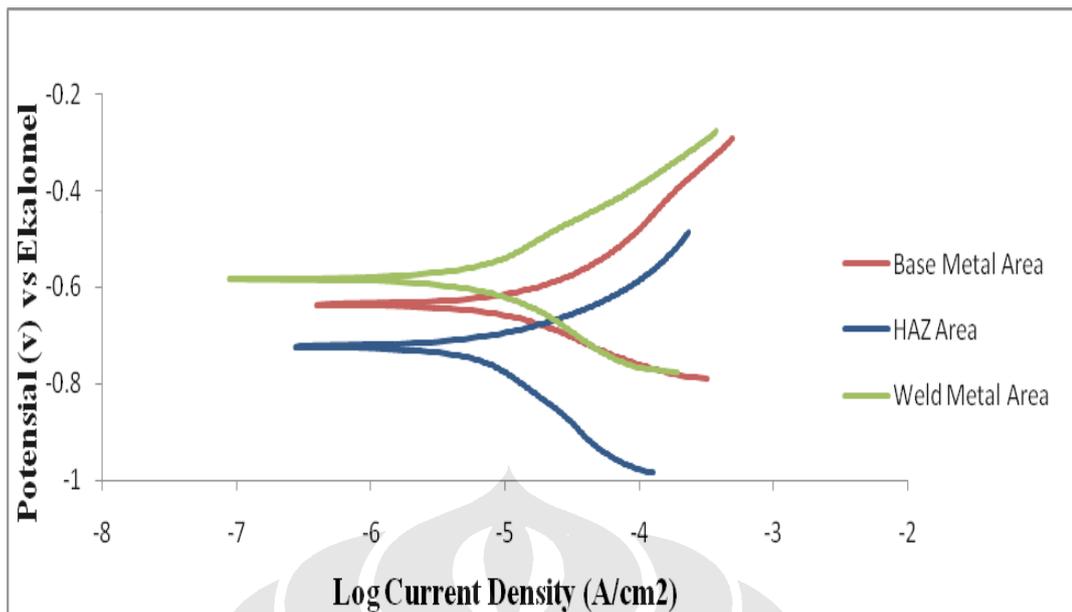
Perilaku dan parameter korosi untuk setiap daerah pada *welded steel* selama pengujian polarisasi pada larutan kondensat CT 01, CT 02, CT 03, dan Down Stream dapat dilihat melalui kurva polarisasi pada gambar 4.2- 4.5.



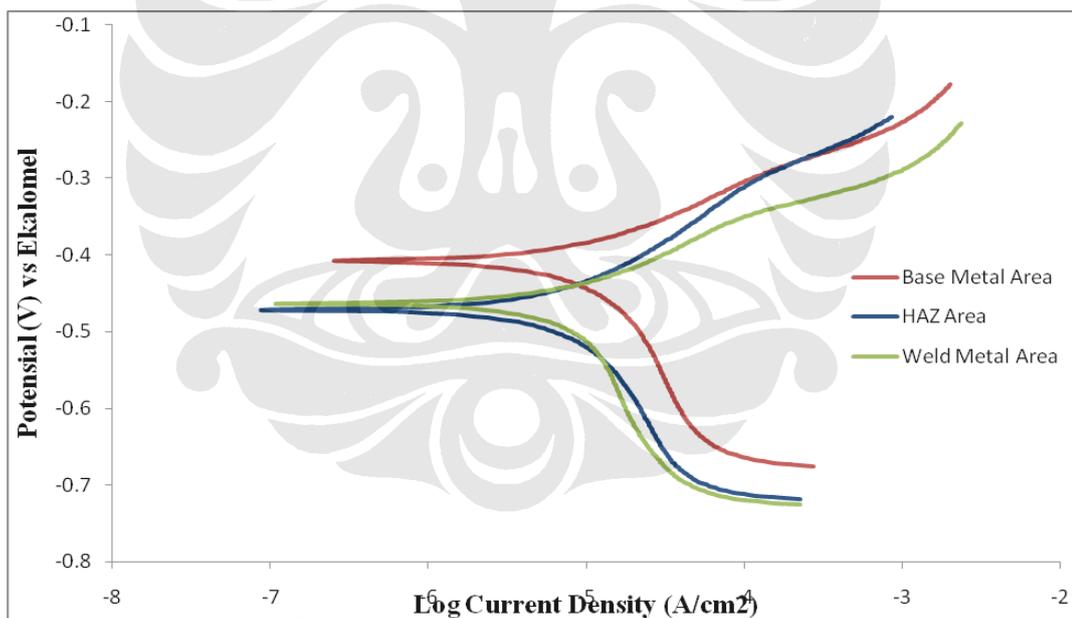
Gambar 4.2 Kurva polarisasi pada kondensat CT 01



Gambar 4.3 Kurva polarisasi pada kondensat CT 02



Gambar 4.4 Kurva polarisasi pada kondensat CT 03



Gambar 4.5 Kurva polarisasi daerah HAZ pada kondensat Down Stream

Berdasarkan keempat kurva polarisasi di atas, dapat dilihat bahwa daerah logam las, HAZ dan logam dasar menunjukkan sifat yang tidak jauh berbeda. Hal itu mengindikasikan bahwa proses korosi yang terjadi pada setiap daerah las hampir sama dimana, juga menunjukkan bahwa sifat ketahanan korosi pada ketiga

daerah tersebut sama sehingga memiliki kerentanan terhadap lingkungan yang mirip atau tidak jauh berbeda. Hal tersebut disebabkan persamaan/kemiripan sifat dari daerah logam las, HAZ, dan logam dasar, seperti yang telah dibahas pada subbab 4.4.

Potesial korosi dari logam induk, HAZ dan las tidak menunjukkan adanya konsistensi. Hal dapat disebabkan oleh banyak hal diantaranya adalah *steady state potential* yang mungkin saja belum tercapai pada material ketika terendam pada larutan elektrolitnya sehingga ketika potensial korosi yang didapat ketika diuji tafel belum menunjukkan kondisi potensial korosi sesungguhnya. Secara umum, semakin positif potensial korosi dari suatu material, maka laju korosinya akan semakin kecil atau berkurang. Namun hal ini bukanlah hal yang mutlak karena pada kenyataannya laju korosi akan lebih ditentukan oleh reaksi reduksi yang terjadi. Semakin tinggi reaksi reduksinya maka akan semakin tinggi pula laju korosinya.

Dari kurva polarisasi, nilai I_{corr} dari setiap logam pada setiap jenis kondensat dapat diketahui sehingga laju korosi setiap daerah pada berbagai jenis kondensat dapat dihitung sesuai standard ASTM G102-89. Hasil perhitungan laju korosi pada berbagai jenis kondensat dapat dilihat pada tabel 4.5 – tabel 4.8.

Tabel 4.5 Parameter korosi dari logam dasar, HAZ dan logam las di Larutan Kondensat CT 01

	Logam Dasar (<i>Base Metal</i>)	HAZ	Logam Las (<i>Weld Metal</i>)
E_{corr} (mV)	-372.9	-526.4	-463.3
I_{corr} (A/cm²)	5.62E-06	1.15E-05	8.56E-06
Laju Korosi (mpy)	3	5	4

Tabel 4.6 Parameter korosi dari logam dasar, HAZ dan logam las di Larutan Kondensat CT 02

	Logam Dasar (Base Metal)	HAZ	Logam Las (Weld Metal)
E_{corr} (mV)	-548.6	-498.9	-542.2
I_{corr} (A/cm²)	9.38E-06	1.00E-05	9.59E-06
Laju Korosi (mpy)	4	5	4

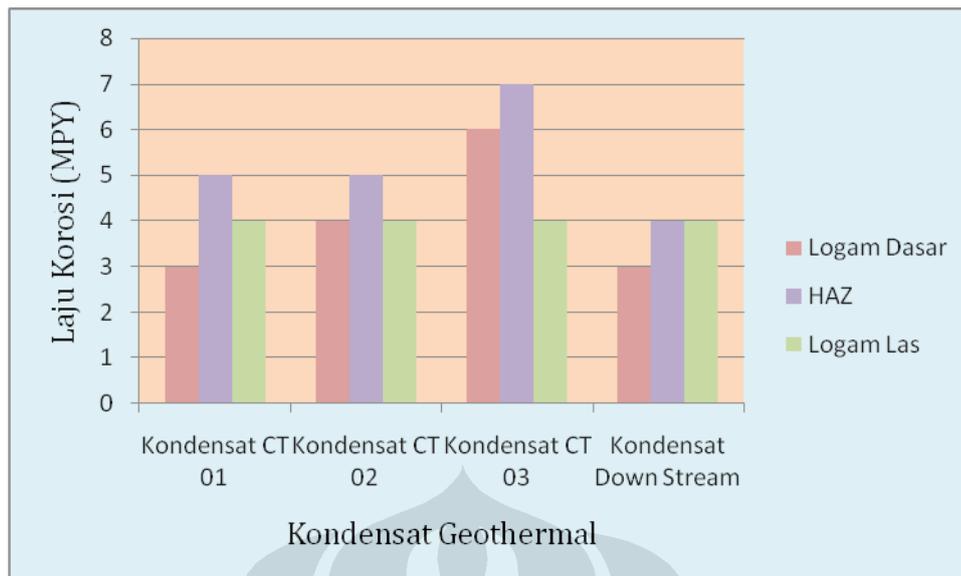
Tabel 4.7 Parameter korosi dari logam dasar, HAZ dan logam las di Larutan Kondensat CT 03

	Logam Dasar (Base Metal)	HAZ	Logam Las (Weld Metal)
E_{corr} (mV)	-636	-723	-582.8
I_{corr} (A/cm²)	1.27E-05	1.55E-05	8.92E-06
Laju Korosi (mpy)	6	7	4

Tabel 4.8 Parameter korosi dari logam dasar, HAZ dan logam las di Larutan Kondensat Down Stream

	Logam Dasar (Base Metal)	HAZ	Logam Las (Weld Metal)
E_{corr} (mV)	-407.9	-471.3	-463.3
I_{corr} (A/cm²)	5.61E-06	9.82E-06	8.56E-06
Laju Korosi (mpy)	3	4	4

Nilai laju korosi pada setiap daerah yang didapat kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik laju korosi vs jenis kondensat seperti pada gambar berikut,



Gambar 4.6 Grafik laju korosi vs jenis kondensat

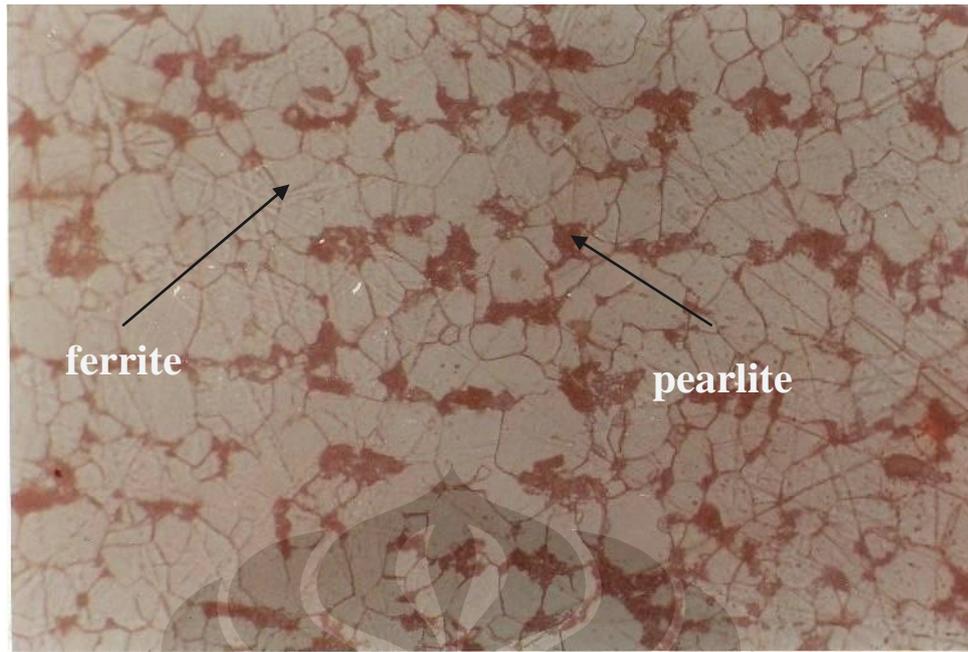
Berdasarkan tabel parameter korosi dan grafik, kita dapat melihat bahwa hasil pengujian polarisasi pada tiga daerah yaitu logam induk, HAZ dan las pada keempat jenis kondensat memiliki kecenderungan yang sama yaitu tingginya laju korosi pada daerah HAZ dibandingkan daerah las dan logam induk.

Berdasarkan klasifikasi ketahanan korosi material (tabel 2.3), korosi yang terjadi masih dapat diatasi oleh material dimana, menunjukkan bahwa material yang digunakan memiliki sifat ketahanan korosi yang sangat baik dan cocok dengan lingkungan operasinya.

Pada subbab 4.2 telah diketahui bahwa kondensat yang memiliki korosifitas tertinggi adalah kondensat CT 03 dibandingkan dengan jenis kondensat lainnya. Oleh karena itu, kita dapat melihat di grafik bahwa nilai laju korosi pada kondensat CT 03 di setiap daerah las menunjukkan nilai yang paling tinggi dibandingkan pada jenis kondensat lainnya di setiap daerah las.

4.6 Hasil Pengujian Metalografi

4.6.1 Daerah Logam Dasar

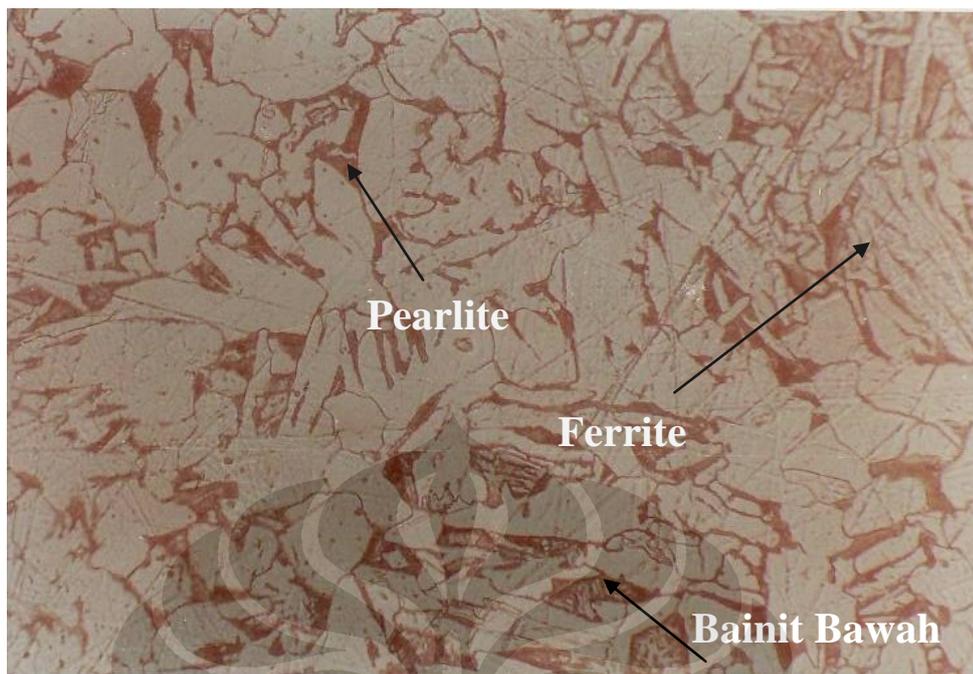


Gambar 4.7 Struktur mikro daerah logam dasar

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa struktur mikro dari logam dasar terdiri dari fasa ferrite dan pearlite. Dominasi fasa ferrite menyebabkan daerah logam dasar memiliki nilai kekerasan yang paling rendah dibandingkan dengan kedua daerah lainnya. Hal itu disebabkan oleh nilai kekerasan fasa ferrite yang terendah dari fasa lainnya (pearlite, bainit, martensit) sehingga tidak dapat memberikan nilai kekerasan yang tinggi meskipun terdapat fasa pearlite.

Ferrite merupakan matriks dari logam ASTM A 106 Grade B sementara yang berwarna hitam adalah pearlite. Hal tersebut sesuai mengingat bahwa material ini termasuk jenis baja karbon rendah, dimana dalam temperatur ruang akan mendapatkan kedua fasa tersebut. Dengan struktur tersebut, maka logam dasar memiliki sifat mekanis yang baik yaitu, ductility yang baik walaupun nilai kekerasan dan kekuatan tidak terlalu tinggi.

4.6.2 Daerah HAZ



Gambar4.8 Struktur mikro daerah HAZ

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa pada daerah HAZ, telah terjadi perubahan mikrostruktur akibat dari siklus panas. Di daerah ini butir-butir yang terbentuk bersifat heterogen walaupun masih didominasi oleh ferrite dan pearlite. Fasa ferrite dan pearlite yang terbentuk tidak semuanya mirip seperti struktur pada daerah logam dasar. Pada daerah HAZ, juga terdapat fasa ferrite acicular dan pearlite acicular dimana, fasa tersebut terbentuk akibat proses pendinginan cepat sehingga butir tidak sempat tumbuh. Akibatnya, pada ujung-ujung atau cabang butir, terdapat konsentrasi tegangan yang memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik daerah HAZ. Pengaruh tersebut adalah peningkatan nilai kekerasan akibat terbentuknya fasa acicular pada daerah ini. Karena jumlah fasa acicular sedikit maka, nilai kekerasan yang diberikan tidak terlalu tinggi bila dibandingkan dengan nilai kekerasan daerah logam dasar.

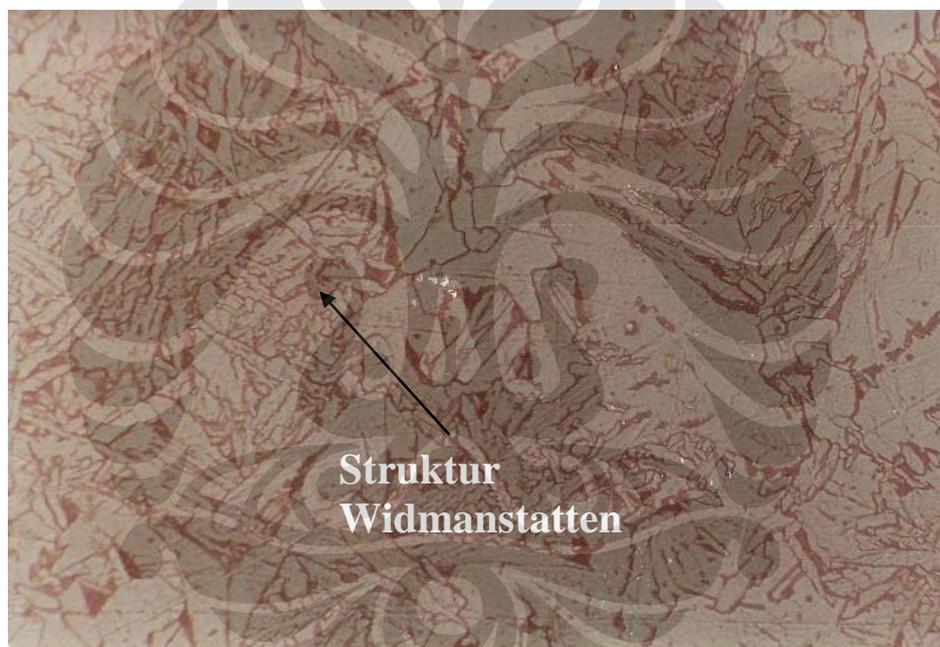
Selain itu, pada daerah HAZ ukuran butir tidak seragam dimana, ada butir yang telah mengalami grain growth tetapi masih ada juga butir yang tidak mengalami grain growth sehingga masih berukuran kecil, sama seperti daerah logam dasar. Hal tersebut merupakan karakteristik dari daerah ini, karena struktur

Universitas Indonesia

logam pada daerah HAZ akan berubah secara berangsur-angsur dari struktur logam induk ke struktur logam las.

Selain fasa-fasa tersebut kita juga dapat menemukan bahwa pada daerah ini terlihat adanya struktur yang terbentuk pada temperatur transformasi yang rendah yaitu bainit bawah. Bainit bawah merupakan fasa metastabil pada baja yang terbentuk akibat siklus panas yang terjadi. Adanya fasa bainit bawah pada daerah HAZ mempengaruhi sifat ketahanan korosi pada daerah HAZ yaitu menurunkan sifat ketahanan korosi sehingga, menyebabkan daerah ini lebih mudah terkorosi dibandingkan dengan daerah logam las dan logam dasar.

4.6.3 Daerah Logam Las



Gambar 4.9 Struktur mikro daerah logam las

Daerah logam las memiliki mikrostruktur yang merupakan struktur dendritik, yang disebut dengan struktur widmanstätten. Struktur tersebut terbentuk karena pada daerah logam las, terjadi proses pendinginan cepat, seperti pada mekanisme pendinginan proses casting. Dimana struktur widmanstätten yang terbentuk adalah widmanstätten ferrite dan widmanstätten pearlite.

Mikrostruktur yang terbentuk mempengaruhi sifat daerah logam las dimana memiliki sifat mekanis yang berbeda dengan daerah logam dasar.

Universitas Indonesia

Berdasarkan karakteristik dari struktur mikronya, widmanstatten memiliki sifat kekerasan yang tinggi dan ketangguhan yang rendah. Hal tersebut dikarenakan pada saat pendinginan butir tidak dapat tumbuh menyebabkan tegangan-tegangan berkumpul di ujung-ujung butir sehingga menghambat dislokasi dan mengakibatkan peningkatan sifat mekanik dalam hal ini kekerasan. Oleh karena itu, pada saat pengujian kekerasan didapatkan nilai kekerasan pada logam las tertinggi dibandingkan dengan daerah logam dasar dan HAZ.

4.7 Pembahasan

Pengujian polarisasi pada penelitian ini menggunakan empat jenis kondensat yang berbeda yaitu: Kondensat CT 01, Kondensat CT 02, Kondensat CT 03, dan Kondensat Down Stream. Hasil dari pengujian komposisi air dan perhitungan menggunakan metode RI dan LSI menunjukkan bahwa semua jenis kondensat tersebut memiliki sifat yang sangat korosif terhadap material terutama kondensat CT03.

Hasil pengujian polarisasi dengan metode ekstrapolasi tafel pada keempat jenis kondensat menunjukkan hasil yang sama yaitu, daerah pada *welded steel* ASTM A 106 Grade B, yang memiliki laju korosi paling tinggi adalah daerah HAZ. Kemudian daerah logam las dan laju korosi yang terendah adalah daerah logam dasar. Berdasarkan tingkat korosifitas lingkungannya, larutan kondensat CT 03 memiliki korosifitas yang paling tinggi. Hal ini dibuktikan dengan tingginya laju korosi logam induk, HAZ, dan las dibandingkan di tiga jenis larutan yang lainnya.

Perilaku korosi dari lasan baja karbon bergantung pada banyak faktor diantaranya mikrostruktur, tegangan sisa, kekerasan, dan lain-lain. Perhatian khusus harus diberikan pada saat pengelasan seperti komposisi kimia dari logam induk, kampuh las, dan metode-metode pengelasan yang digunakan. Karena baja karbon mengalami transformasi metalurgis seperti mikrostruktur dan kekerasan pada daerah las dan HAZ. Selama proses pengelasan, berbagai macam mikrostruktur dapat terbentuk tergantung pada jenis pendinginan, temperatur panas yang digunakan, pemanasan awal, ketebalan logam, ukuran weld bead, dan pengaruh pemanasan yang berulang pada saat melakukan *multipass welding*.

Universitas Indonesia

Secara teoritis dikatakan bahwa penggunaan arus pengelasan / panas yang tinggi dapat menurunkan ketahanan korosi pada daerah las. Sayangnya, informasi tentang data parameter pengelasan yang digunakan pada sampel baja karbon yang diteliti oleh penulis tidak diketahui. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel yang didapatkan dari lapangan sehingga pembahasan tentang pengaruh parameter pengelasan terhadap perilaku korosi baja karbon tidak dapat dibahas dan dibuktikan di dalam laporan penelitian ini.

Berdasarkan literatur dikatakan bahwa pada struktur las, daerah yang akan terkorosi pertama adalah daerah *weldment*. Hal itu dikarenakan pada daerah tersebut terdapat keheterogenan secara metalurgi akibat proses pengelasan sehingga daerah tersebut menjadi daerah yang paling rentan terhadap serangan korosi [20].

Ketidakheterogenan pada daerah HAZ dapat dilihat pada gambar hasil pengujian mikrostruktur, gambar 4.7. Melalui foto tersebut, diketahui bahwa daerah HAZ memiliki struktur butir ferrite yang besar (kasar) akibat proses siklus thermal tetapi juga masih memiliki butir yang kecil. Selain itu terlihat juga adanya fasa pearlite dan lower bainite pada daerah HAZ. Hal ini memang merupakan karakteristik daerah HAZ dimana, struktur mikronya merupakan perubahan dari struktur daerah logam dasar menuju daerah logam las. Beberapa literatur melaporkan bahwa korosi pada daerah HAZ jarang terjadi, namun beberapa literatur lainnya justru melaporkan hal yang sebaliknya. Tingginya laju korosi pada daerah HAZ kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya lower bainite pada daerah HAZ sebagaimana yang dilaporkan oleh dalam beberapa literatur.

Sementara, daerah las pada gambar 4.9 terlihat memiliki struktur widmanstatten. Adanya struktur ini pada material dapat meningkatkan sifat mekanis dari material terutama kekerasan dan ketangguhannya. Hal ini sesuai dengan data yang penulis dapatkan pada pengujian kekerasan. Secara umum terlihat bahwa laju korosi pada daerah las ini sedikit lebih rendah dibandingkan pada daerah HAZ tetapi lebih tinggi dibandingkan pada daerah logam induk.

Struktur runcing yang dimiliki widmanstatten yang terbentuk pada daerah logam las mengakibatkan pada daerah tersebut berkumpul tegangan sisa. Tegangan sisa tersebut terjadi akibat proses pendinginan yang tidak sempurna.

Universitas Indonesia

Secara termodinamika, struktur yang memiliki energi yang tinggi, seperti struktur yang memiliki tegangan sisa yang tinggi, akan cenderung lebih mudah untuk terkorosi karena kondisi korosi memiliki energi yang lebih rendah. Perlu diingat bahwa segala sesuatu di alam semesta ini cenderung untuk stabil pada kondisi yang memiliki energi yang lebih rendah. Itulah sebabnya setiap material di alam ini cenderung untuk mencapai keadaan stabilnya seperti keadaan korosi. Pada saat terekspos dengan lingkungan korosif, daerah yang memiliki energi yang lebih tinggi tersebut akan lebih mudah untuk terkorosi.

Tingginya laju korosi pada daerah HAZ dibandingkan dengan laju korosi pada daerah las dan logam induk yang dilakukan pada empat jenis larutan yang berbeda menunjukkan bahwa faktor struktur metastabil seperti bainit bawah memegang peranan yang lebih krusial dibanding faktor mikrostruktur lainnya dan juga dibanding tegangan sisa dan kekerasan. Secara teoritis dikatakan bahwa daerah yang strukturnya terkeraskan akan memiliki laju korosi yang lebih tinggi dikarenakan laju reaksi katodiknya semakin cepat dengan terjadinya reaksi evolusi hidrogen pada *local microcathode*. Tetapi, mengacu pada teori, bahwa laju korosi yang tinggi pada daerah HAZ meskipun kekerasan tertinggi dimiliki oleh daerah logam las dapat terjadi pada kejadian khusus. Hal itu disebabkan oleh pembentukan struktur bainit bawah pada daerah HAZ.

Pada penelitian ini, struktur bainit bawah terdapat pada daerah HAZ dan daerah HAZ memiliki laju korosi tertinggi dibandingkan dengan daerah logam las dan logam dasar. Sehingga, pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa laju korosi yang tinggi pada daerah HAZ di setiap jenis kondensat disebabkan oleh pembentukan struktur bainit bawah pada daerah HAZ akibat proses siklus panas pada saat pengelasan.