

BAB V

PEMBAHASAN

5. 1. KETAHANAN KOROSI SUS 316L

5.1.1 Uji Celup SUS 316L

Baja tahan karat mendapatkan ketahanan korosi hasil dari terbentuknya lapisan pasif pada permukaan logam. Lapisan pasif adalah produk korosi dan lapisan ini melindungi logam dibawahnya karena lapisan ini menjadi penghalang (*barrier*) yang mencegah lingkungan korosif kontak dengan logam dibawah lapisan pasif. Indikasi terbentuknya lapisan pasif dapat dilihat dari hasil pengukuran potensial selama uji celup dilakukan kemudian dengan menggunakan diagram potensial-pH diagram maka akan didapat diprediksi reaksi yang terjadi dan lapisan pasif apa yang terbentuk.

Gambar 5.1 menunjukkan grafik hasil pengukuran potensial SUS 316L dan hasil perhitungan laju korosi yang terjadi selama dilakukan uji celup selama 7 hari sedangkan gambar 5.2 adalah diagram potensial-pH pourbaix gabungan dari unsur-unsur logam paduan SUS 316L yaitu kromium(Cr), molibdenum(Mo) dan nikel(Ni). Pada gambar 5.1 potensial SUS 316L mengalami kenaikan potensial dari 0,1 volt vs SHE (titik-1) menjadi 0,5 volt vs SHE (titik-2) kemudian turun menjadi 0,33 volt vs SHE (titik-3). Ketiga titik tersebut kemudian diplot ke diagram potensial-pH pourbaix gabungan kromium, molibdenum dan nikel pada gambar 5.2. Peristiwa apa yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Pada titik-1:
pH larutan berdasarkan pengukuran <1 dan potensial sebesar 0,05 volt-SHE maka berdasarkan diagram potensial-pH pourbaix pada gambar 5.1, SUS 316L berada pada daerah korosi dan mengalami korosi dengan reaksi sebagai berikut:



- Pada titik-2:

Potensial logam pada jan ke-132 tiba-tiba mengalami kenaikan dari 0,05 volt menjadi 0,45 volt-SHE, berdasarkan diagram potensial-pH pourbaix (gambar 5.2), SUS 316L mengalami transisi dari daerah korosi ke daerah pasivasi dimana logam yang awalnya terjadi korosi kemudian terjadi pembentukan lapisan pasif pada permukaan logam dengan reaksi yang terjadi sebagai berikut:

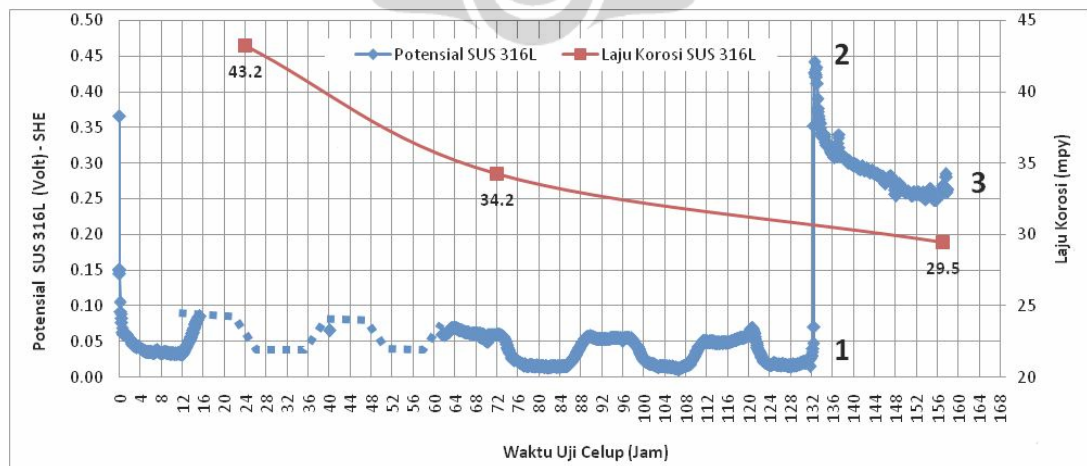


- Pada titik-3:

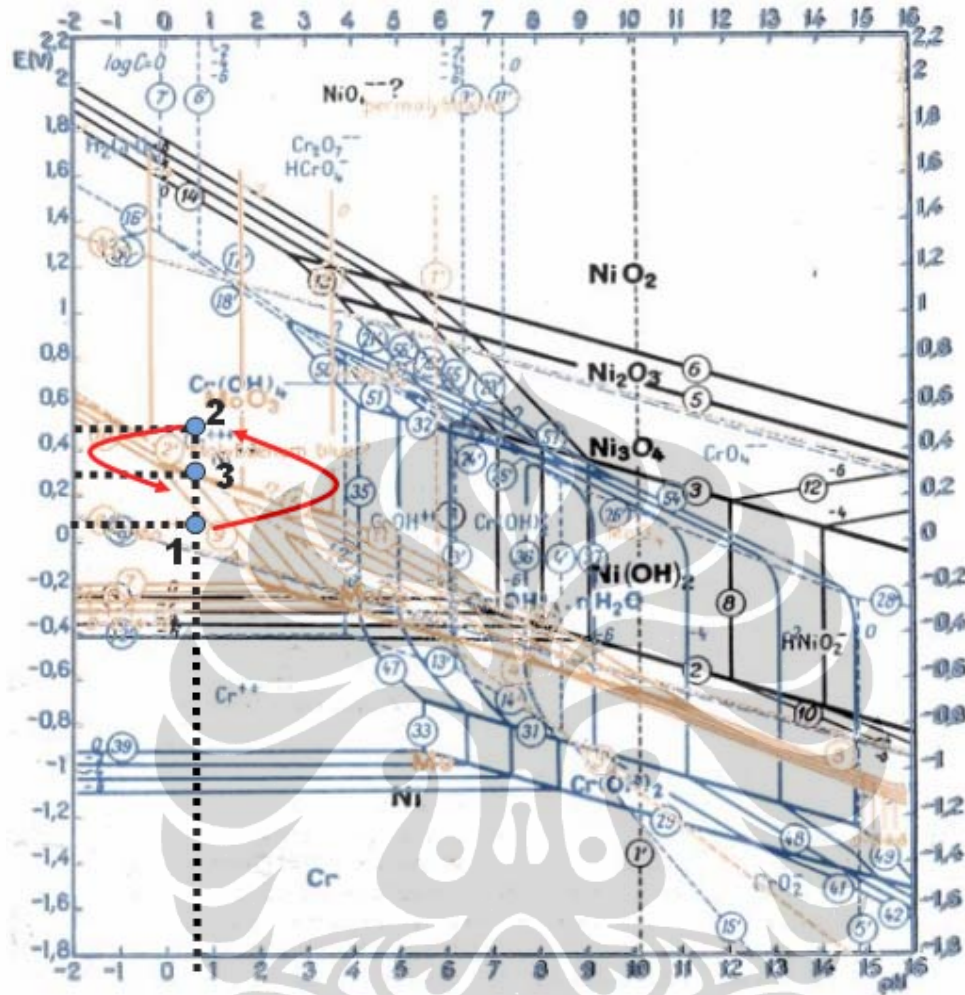
Potensial logam mengalami penurunan dari 0,45 volt menjadi 0,28 volt-SHE. Berdasarkan diagram potensial-pH pourbaix (gambar 5.2), SUS 316L bergeser dari daerah pasivasi ke garis kesetimbangan:



Pada daerah kesetimbangan reaksi terbentuknya lapisan pasif sama cepatnya dengan laju terdissolusinya lapisan tersebut. Pada saat terjadi kerusakan lapisan pasif maka SUS 316L akan mengalami korosi kembali dimana reaksi (5.1) dan (5.2) bisa terjadi lagi.



Gambar 5.1 Grafik hubungan antara waktu celup dan potensial logam (*standar hydrogen elektrode*) untuk material SUS 316L



Gambar 5.2 Posisi SUS 316L pada diagram potensial-pH pourbaix gabungan dari kromium, molybdenum dan nikel

Pengukuran laju korosi pada hari ke-1, 3 dan 7 pada gambar 5.1 menunjukkan terjadinya penurunan laju korosi. Pada hari pertama SUS 316L mengalami laju korosi sebesar 43.2 mpy dengan potensialnya rata-rata sebesar 0,10 volt-SHE, berada pada daerah terkorosi. Reaksi yang terjadi berdasarkan diagram potensial-pH pourbaix pada gambar 5.2 adalah reaksi (5.1) dan (5.2).

Pada hari ke-3 perhitungan laju korosi hasilnya adalah sebesar 34.2 mpy dengan potensialnya sebesar 0,10 volt-SHE. Berdasarkan diagram potensial-pH pourbaix maka SUS 316L pada daerah terkorosi dan reaksi (5.1) dan (5.2) juga terjadi. Penurunan laju korosi pada hari ke-3 dibandingkan pada hari ke-1 terjadi

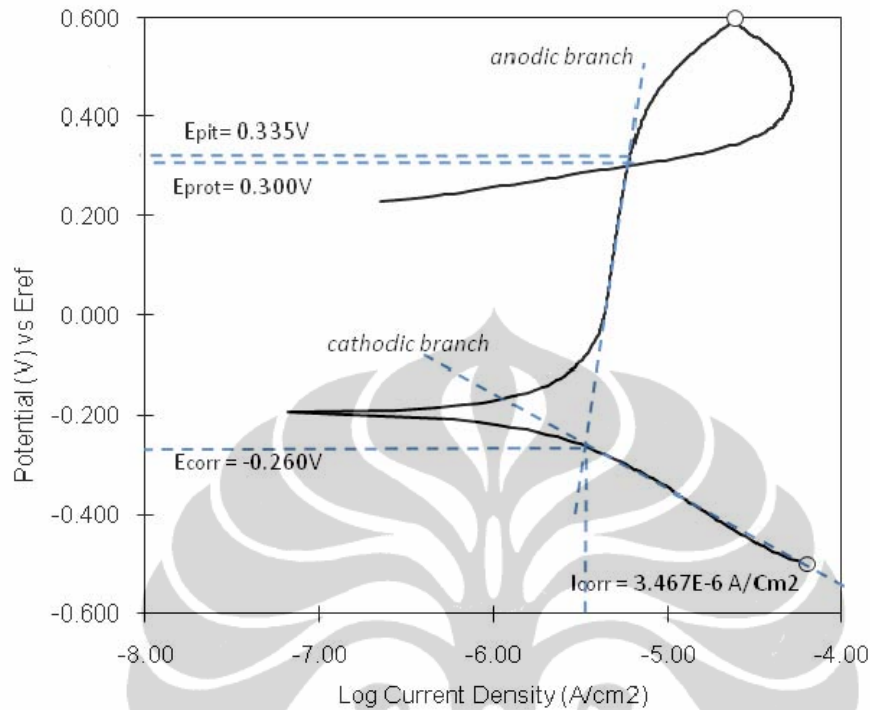
kemungkinan disebabkan karena adanya produk korosi yang masih menempel pada permukaan yang memperlambat terjadinya reaksi.

Pada hari ke-7 perhitungan laju korosi sebesar 29.5 mpy. Terjadi penurunan laju korosi dibandingkan pada hari ke-1 dan ke-3 yang disebabkan karena pembentukan lapisan pasif seperti pada reaksi (5.3) yang ditandai dengan naiknya potensial pada jam ke-132 dari 0,10 volt vs SHE (titik-1) menjadi 0,45 volt-SHE (titik-2) dimana berdasarkan diagram potensial-pH pourbaix pada gambar 5.2 terjadi transisi dari daerah korosi ke daerah pasivasi.

5.1.2 Uji Polarisasi Siklik SUS 316L

Uji polarisasi siklik pada SUS 316L akan memberikan informasi tentang ketahanan korosi sumuran. Ketahanan korosi sumuran dilihat dari besarnya selisih antara potensial *pitting* dan potensial proteksi. Semakin besar nilainya maka akan semakin tahan terhadap korosi sumuran.

Hasil pengujian polarisasi siklik anodik untuk material SUS 316L ditunjukkan pada gambar 5.3. Hasil kurva polarisasi menunjukkan karakteristik dari logam aktif-pasif. Saat awal dinaikan potensial logam, terjadi korosi yang ditandai dengan naiknya arus korosi seiring dengan naiknya potensial tapi kemudian terbentuk lapisan pasif yang ditunjukkan tidak naiknya arus saat potensial dinaikan. Saat potensial terus dinaikan terjadi kerusakan pada lapisan pasif yang ditandai dengan naiknya arus. Potensial dimana arus mulai naik ini disebut sebagai potensial *pitting* dan nilai sebesar 0,335 volt. Hal ini mengindikasikan bahwa SUS 316L masih tidak tahan terhadap korosi sumuran dalam larutan *mother liquor terephthalic acid plant*. Potensial kemudian diturunkan dan perpotongan kurva terjadi pada potensial 0,300 volt dan disebut sebagai potensial proteksi (E_{prot}) dan rapat arus korosi sebesar $3,467 \mu A/cm^2$. Potensial proteksi adalah potensial dimana lapisan pasif mulai terbentuk kembali. Semakin tinggi nilai perbedaan antara potensial *pitting* dan potensial korosi menunjukkan semakin tinggi ketahanan logam terhadap korosi sumuran. Selisih E_{pit} dan E_c adalah sebesar 0,595 Volt.

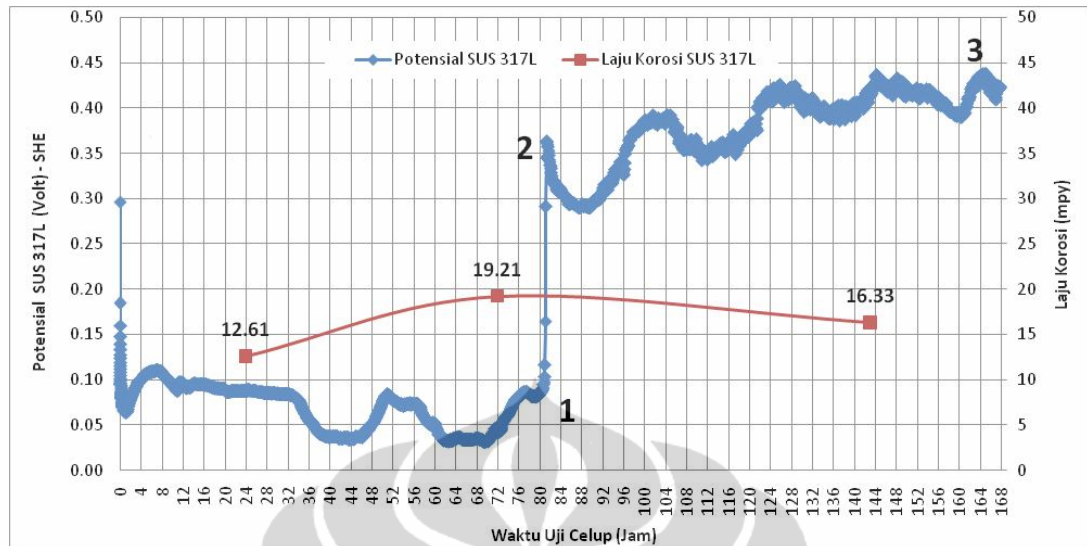


Gambar 5.3 Kurva polarisasi siklik SUS 316L

5. 2. KETAHANAN KOROSI SUS 317L

5.2.1 Uji Celup SUS 317L

Cara yang sama untuk melihat pembentukan lapisan pasif dan reaksi apa yang terjadi pada saat uji celup SUS 316L dilakukan juga untuk SUS 317L. Gambar 5.4 menunjukkan grafik hasil pengukuran potensial SUS 317L dan hasil perhitungan laju korosi yang terjadi selama dilakukan uji celup selama 7 hari sedangkan gambar 5.5 adalah diagram potensial-pH pourbaix gabungan dari unsur-unsur logam paduan SUS 317L yaitu kromium(Cr), molibdenum(Mo) dan nikel(Ni). Pada gambar 5.4 potensial SUS 317L mengalami kenaikan potensial pada jam ke-82 dari 0,1 volt vs SHE (titik-1) menjadi 0,42 volt vs SHE (titik-2) kemudian naik menjadi 0,49 volt vs SHE (titik-3). Ketiga titik tersebut kemudian diplot ke diagram potensial-pH pourbaix gabungan kromium, molibdenum dan nikel pada gambar 5.5. Peristiwa apa yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 5.4 Grafik hubungan antara waktu celup dan potensial logam (standar *hydrogen elektrode*) untuk material SUS 317L

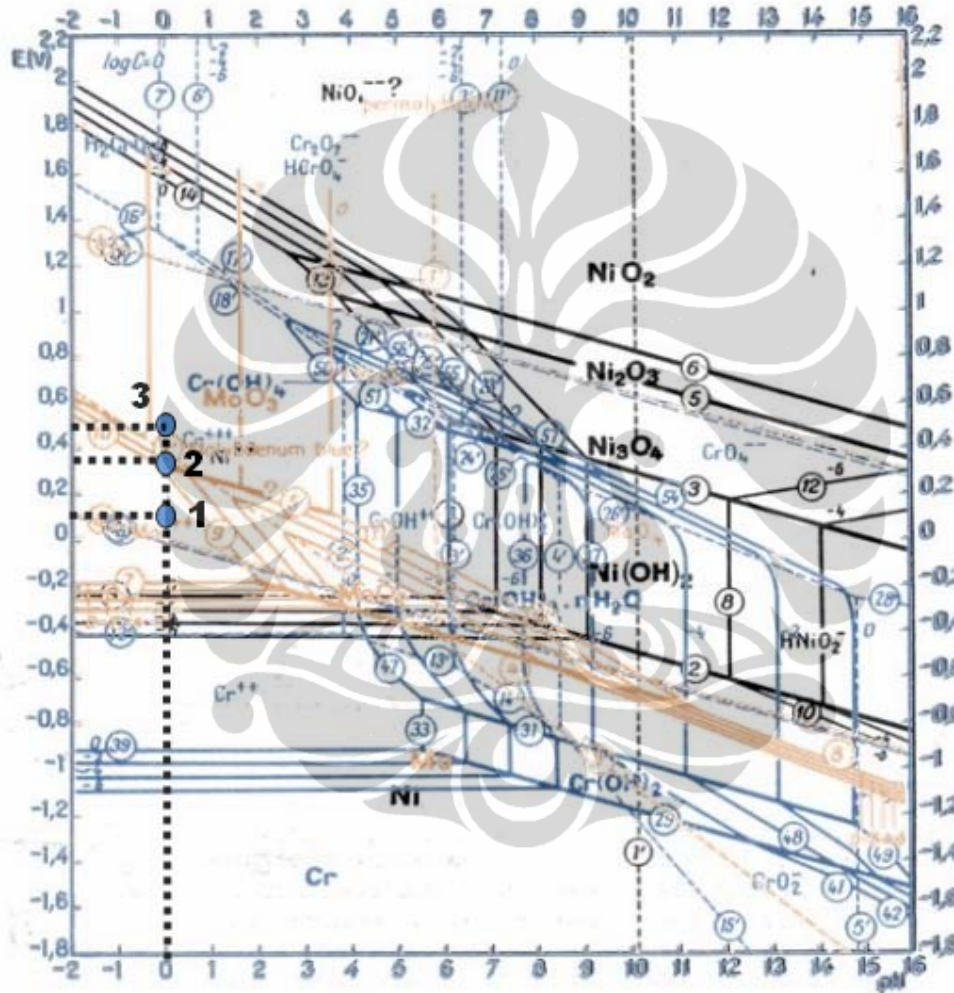
- Pada titik-1:
pH larutan berdasarkan pengukuran <1 dan potensial sebesar 0,10 volt-SHE maka berdasarkan diagram potensial-pH pourbaix (gambar 5.5), SUS 317L berada pada korosi dan reaksi yang terjadi adalah:



- Pada titik-2:
Potensial logam pada jam ke-82 tiba-tiba mengalami kenaikan dari 0,10 volt menjadi 0,37 volt-SHE, berdasarkan diagram potensial-pH pourbaix (gambar 5.5) terjadi transisi dari daerah korosi ke daerah pasivasi dimana transisi ini terjadi karena pembentukan lapisan pasif pada permukaan logam dengan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



- Pada titik-3:
Potensial logam mengalami kenaikan dari 0,37 volt (titik-2) menjadi 0,45 volt-SHE (titik-3) hal ini menunjukkan logam sedikit menjadi lebih mulia yang disebabkan lapisan pasif semakin baik.



Gambar 5.5 Posisi SUS 317L pada potensial-pH diagram dari Molibdenum digabungkan dengan Chromium saat dilakukan uji celup.

Pada gambar 5.4 hasil perhitungan laju korosi hari ke-1, 3 dan 7 menunjukkan terjadi kenaikan laju korosi dari 12,6 mpy pada hari ke-1, menjadi 19,2 mpy pada hari ke-3 dan terjadi penurunan kembali menjadi 16,3 mpy pada hari ke-7. Pada hari ke-1 potensial SUS 317L sekitar 0,10 volt-SHE, berdasarkan

pourbaix diagram pada gambar 5.5, SUS 317L pada daerah korosi dimana terjadi reaksi (5.5) dan (5.6).

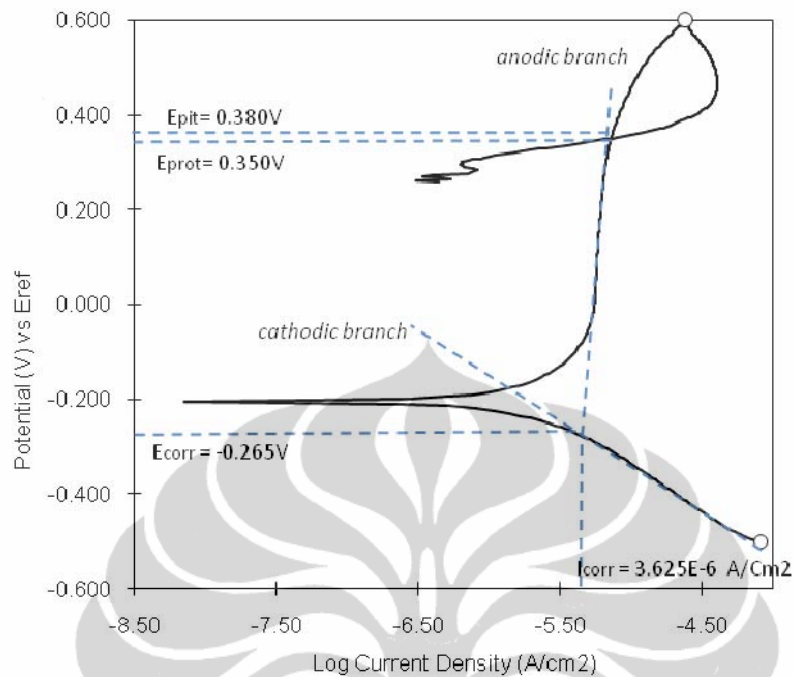
Pada hari ke-3 terjadi kenaikan laju korosi dari 12,6 mpy pada hari ke-1 menjadi 19,2 mpy pada hari ke-3. Hal ini terjadi karena reaksi (5.1) dan (5.2) terjadi lebih cepat yang ditandai dengan turunnya potensial dari 0,15 volt (hari ke-1) menjadi 0,10 volt vs SHE (hari ke-3).

Pada hari ke-7 perhitungan laju korosi sebesar 16,3 mpy. Terjadi penurunan laju korosi dibandingkan pada hari ke-1 dan ke-3 yang disebabkan karena pembentukan lapisan pasif seperti pada reaksi (5.7) yang ditandai dengan naiknya potensial pada jam ke-82 dari 0,10 Volt-SHE (titik-1) menjadi 0,43 volt-SHE (titik-2) dimana berdasarkan diagram potensial-pH pourbaix pada gambar 5.2 terjadi transisi dari daerah korosi ke daerah pasivasi.

5.2.2 Uji Polarisasi Siklik SUS 317L

Hasil pengujian polarisasi siklik anodik untuk material SUS 317L dapat ditunjukkan pada gambar 5.15. Hasilnya didapat nilai potensial *pitting* sebesar 0,380 volt. Hal ini mengindikasikan bahwa SUS 316L masih tidak tahan terhadap korosi sumuran dalam larutan *mother liquor terephthalic acid plant*. Potensial proteksi sebesar 0,350 volt dan rapat arus korosi sebesar $3,625 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

Selisih E_{pit} dan E_c SUS 317L adalah sebesar 0,645 Volt, lebih besar jika dibandingkan dengan SUS 316L yang memiliki selisih E_{pit} dan E_c yang hanya sebesar 0,595 Volt. Semakin besar selisih antara E_{pit} dan E_c mengindikasikan ketahanan korosi sumuran yang semakin baik sehingga dapat disimpulkan berdasarkan uji polarisasi ketahanan korosi sumuran SUS 317L lebih baik dibandingkan SUS 316L.

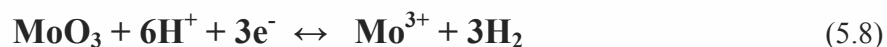


Gambar 5.6 Kurva polarisasi siklik SUS 317L

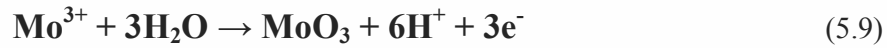
5. 3. KETAHANAN KOROSI SUS 329J

5.3.1 Uji Celup SUS 329J

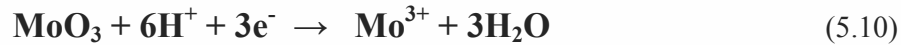
Gambar 5.7 menunjukkan grafik hasil pengukuran potensial SUS 329J dan hasil perhitungan laju korosi yang terjadi selama dilakukan uji celup selama 7 hari sedangkan gambar 5.8 adalah diagram potensial-pH pourbaix gabungan dari unsur-unsur logam paduan SUS 329J yaitu kromium(Cr), molibdenum(Mo) dan nikel(Ni). Pada gambar 5.7 potensial SUS 329J paling tinggi pada jam ke-130 sebesar 0,78 volt vs SHE dan yang terendah adalah pada jam ke-132 sebesar 0,23 volt vs SHE dan rata-rata adalah 0,45 volt. Berdasarkan diagram potensial-pH pourbaix gabungan kromium, molibdenum dan nikel pada gambar 5.8, SUS 329J berada pada daerah pasivasi dan berada pada garis kesetimbangan reaksi:



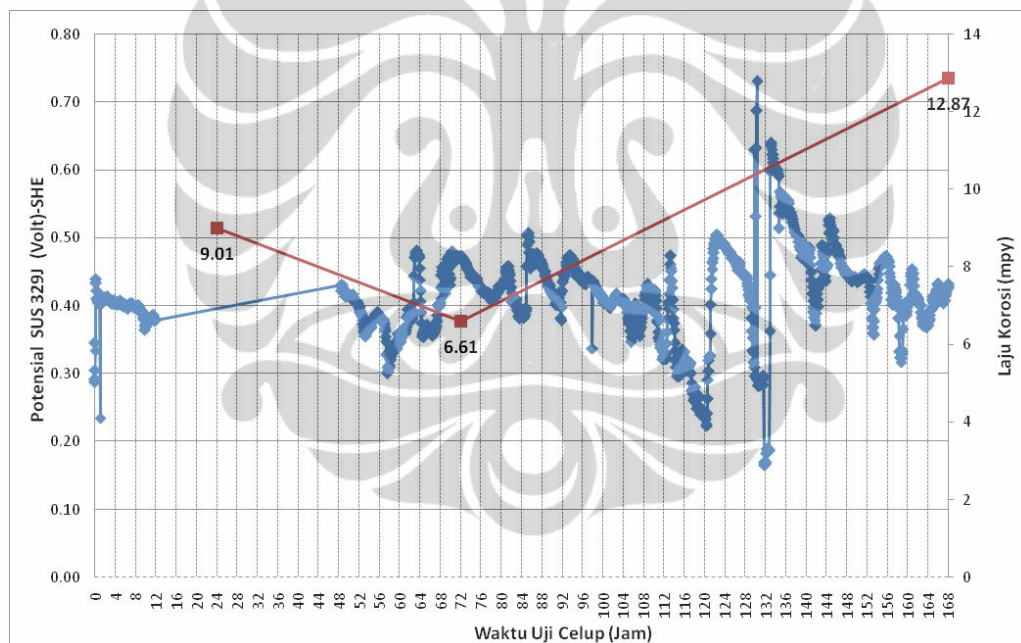
Kondisi SUS 329J tepat pada daerah perbatasan dimana reaksi pembentukan lapisan pasif :



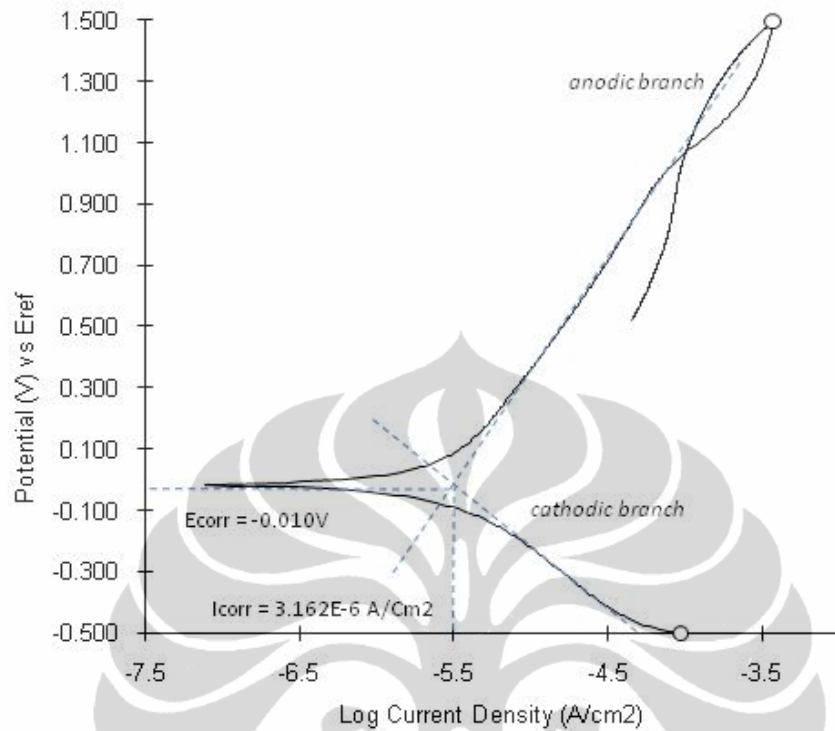
Dan reaksi rusaknya lapisan pasif adalah:



Pada saat lapisan pasif terbentuk, potensial SUS 329J akan naik dan saat terjadi reaksi rusaknya lapisan pasif terjadi, potensial akan turun dan hal ini terlihat pada gambar 5.7 dimana potensial SUS 329J cenderung tidak stabil. Kondisi pasif-aktif terjadi terus menerus dan ini berakibat laju korosi yang naik dan turun dimana hari ke-1 laju korosi 9,0 mpy kemudian terjadi penurunan menjadi 6,6 mpy pada hari ke-3 dan naik lagi menjadi 12,9 mpy pada hari ke-7.



Gambar 5.7 Grafik hubungan antara waktu celup dan potensial logam dengan menggunakan elektroda standar Ag/AgCl (1M KCl) SUS 329J

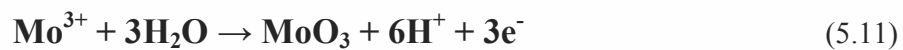


Gambar 5.9 Kurva polarisasi siklik SUS 329J

5. 4. KETAHANAN KOROSI HASTELLOY C-276

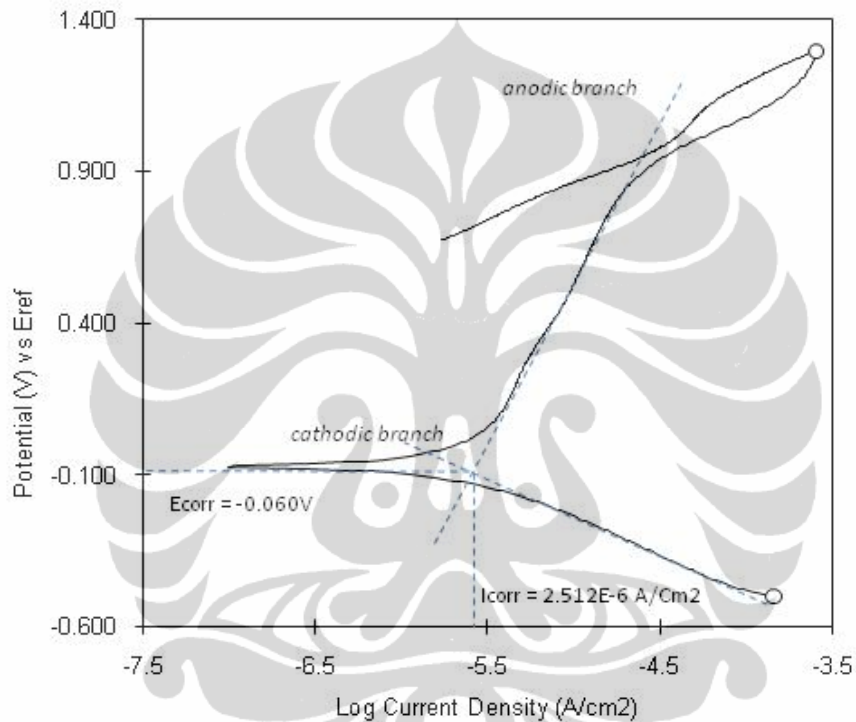
5.4.1 Uji Celup Hastelloy C-276

Material lain yang diuji sebagai material alternatif pengganti SUS 316L adalah HC-276. Pada gambar 5.10 terlihat laju korosi dari HC-276 adalah 0 mpy atau dapat dikatakan logam ini tidak mengalami korosi. Hal ini terjadi karena lapisan pasif yang terbentuk terjadi dengan cepat dan sangat stabil yang ditunjukkan dari hasil pengukuran potensial pada gambar 5.10 yang menunjukkan bahwa HC-276 dengan semakin lamanya waktu kontak, potensial dari HC-276 perlahan lahan naik dari +0,70 V pada jam ke-1, menjadi +80 V pada jam ke-168. Berdasarkan diagram pourbaix gabungan kromium, molibdenum dan nikel pada gambar 5.11, maka HC-276 berada pada daerah pasivasi dengan reaksinya adalah:



5.4.2 Uji Polarisasi Siklik Hasteloy C-276

Hasil pengujian polarisasi siklik anodik untuk material HC-276 dapat ditunjukkan pada gambar 5.12 dan hasilnya didapat arus korosi sebesar $2,152 \text{ A/cm}^2$. Hasil polarisasi HC-276 tidak menunjukkan adanya potensial *pitting* dan potensial proteksi. Hal ini mengindikasikan ketahanan korosi sumuran HC-276 cukup baik dalam cairan *mother liquor terephthalic acid plant*.



Gambar 5.12 Kurva polarisasi siklik HC-276

5. 5. PENGARUH KOMPOSISI LOGAM TERHADAP KETAHANAN KOROSI SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J DAN HC-276

Pada tabel 5.1 ditunjukkan komposisi dari SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan HC-276. Setelah dikalkulasi nilai PREN berdasarkan komposisi, hubungan antara nilai PREN dan laju korosi dapat dilihat pada gambar 5.13. Terlihat bahwa semakin besar nilai PREN maka laju korosi akan semakin kecil. Nilai PREN dihitung berdasarkan persamaan:

$$\text{PREN} = \%Cr + 3.3\%Mo + \%N \quad (5.12)$$

Dari persamaan diatas maka komponen yang paling berperan adalah kromium dan molibdenum sedangkan komposisi Nitrogen diabaikan. Pada gambar 5.14 ditunjukkan hubungan antara laju korosi dengan konsentrasi molibdenum dimana terlihat semakin besar konsentrasi molibdenum maka laju korosi logam akan semakin rendah. HC-276 yang memiliki kandungan molibdenum paling tinggi (17,43%) laju korosinya 0 mpy sedangkan SUS 316L yang kandungan molibdenumnya paling rendah (2,03%), laju korosinya paling tinggi yaitu sebesar 29,5 mpy. Hal ini menunjukkan peranan molibdenum dalam meningkatkan ketahanan korosi logam. Molibdenum dalam lingkungan asam akan membentuk lapisan MoO₃ dengan reaksi sebagai berikut:

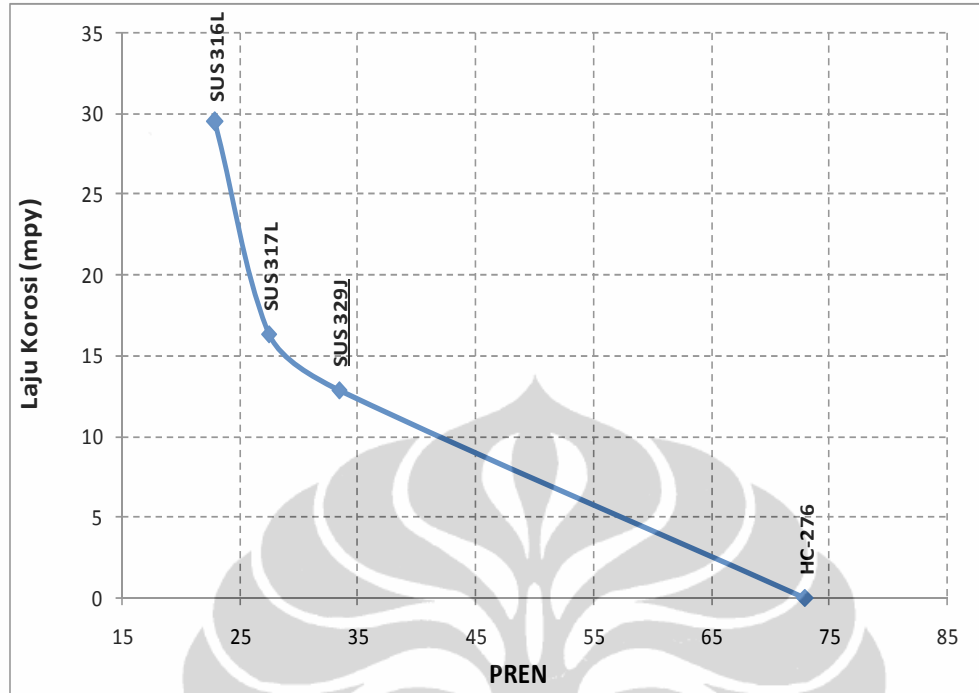


Pada gambar 5.15 ditunjukkan hubungan antara laju korosi dan kandungan kromium dimana tidak terlihat hubungan antara kandungan kromium dengan laju korosi. SUS 329J yang memiliki kandungan kromium tertinggi (23,22%) tidak menunjukkan ketahanan korosi yang paling baik. Pada pH yang rendah kromium akan mengalami korosi dengan reaksi sebagai berikut:

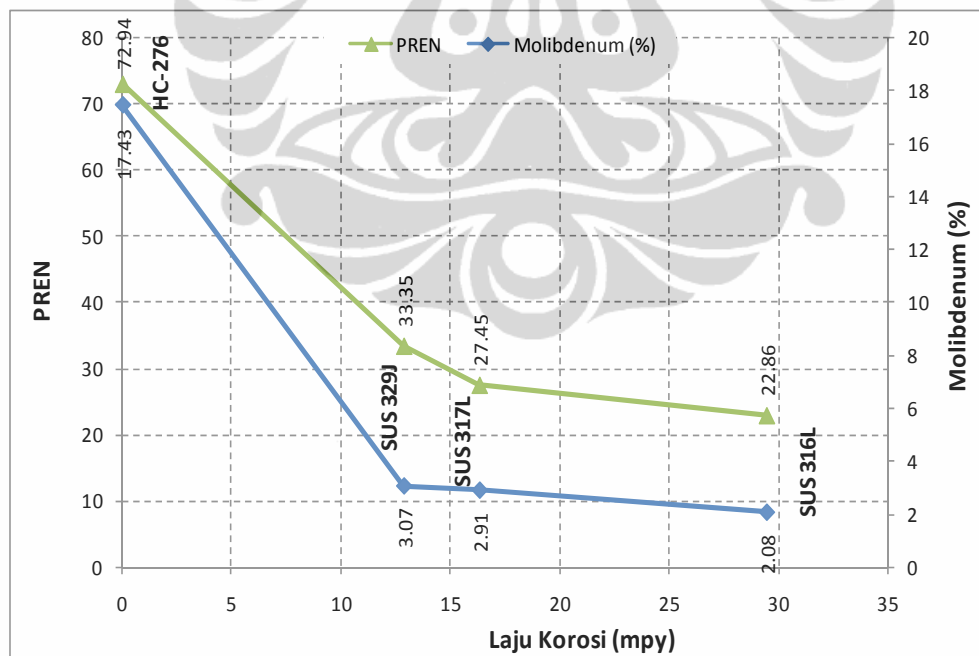


Tabel 5.1 Komposisi logam SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan HC-276

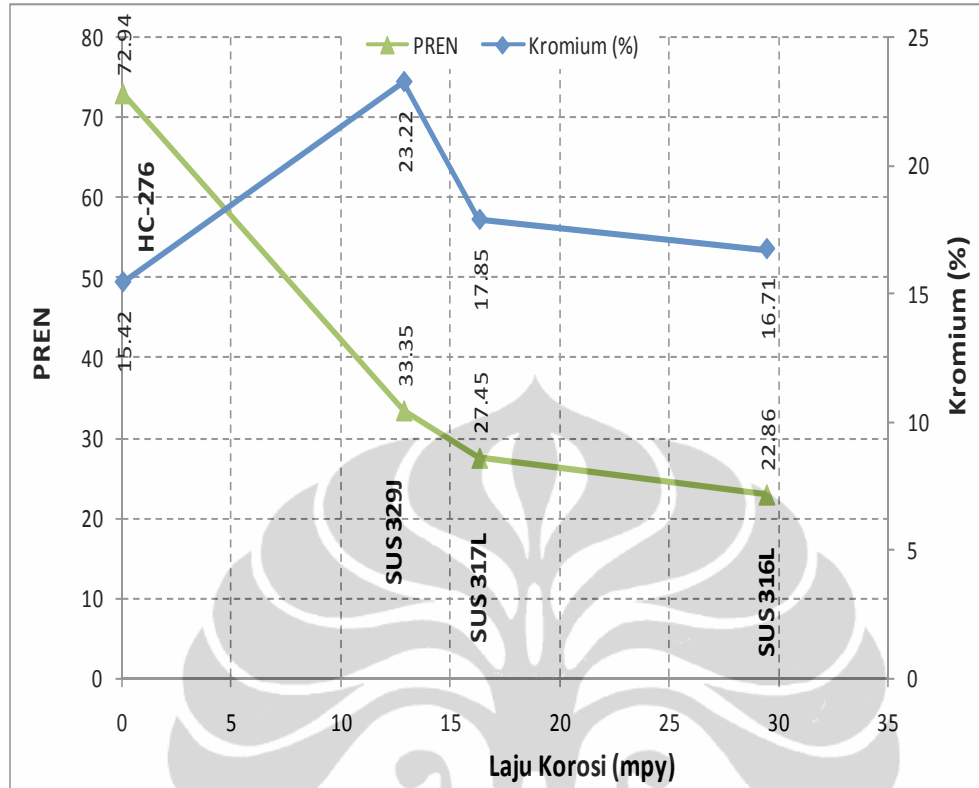
Material	KOMPOSISI (%)						
	Fe	Ni	Cr	Mo	Mn	Co	Cu
SUS 316L	62.88	11.55	16.71	2.08	1.16	0.46	0.28
SUS 317L	60.93	13.38	17.85	2.91	0.81	0.35	0.11
SUS 329J	61.57	5.79	23.22	3.07	0.82	0.13	0.14
HC-276	5.86	59.43	15.42	17.43	0.61	0.15	0.1



Gambar 5.13 Grafik hubungan antara nilai PREN dan laju korosi



Gambar 5.14 Grafik hubungan antara laju korosi dengan kandungan Molibdenum

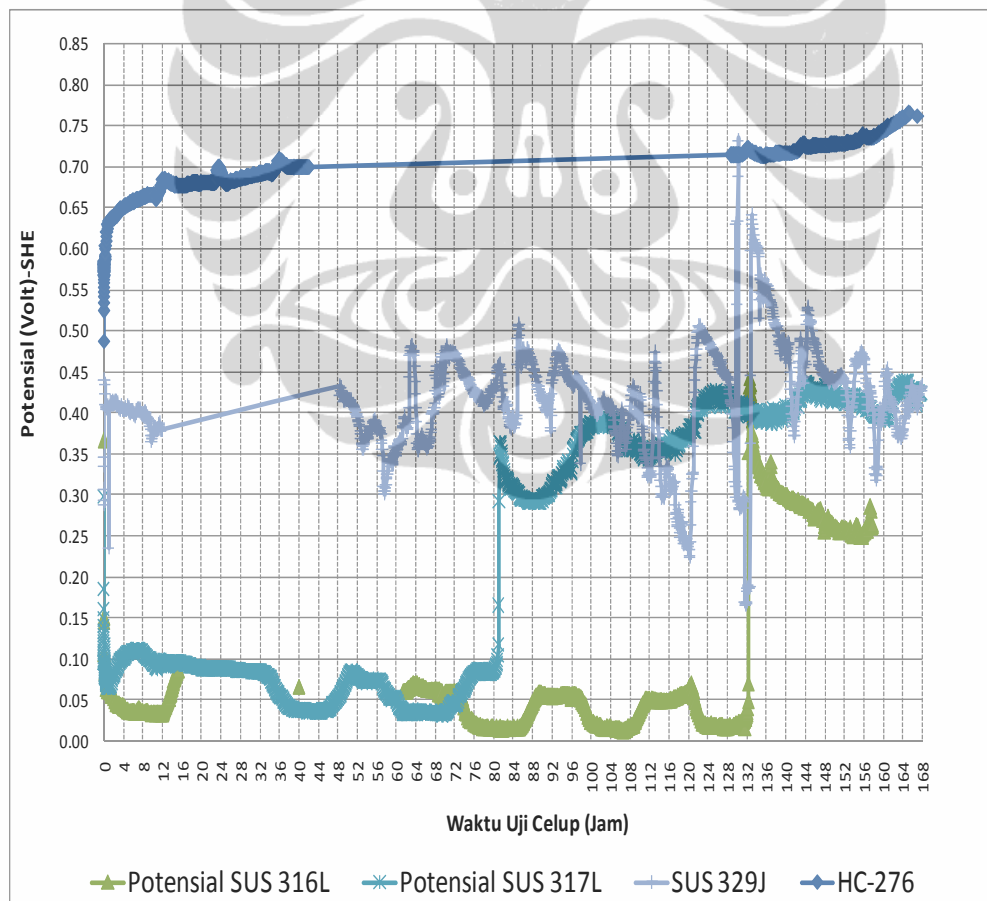


Gambar 5.15 Grafik hubungan laju korosi dengan kandungan kromium

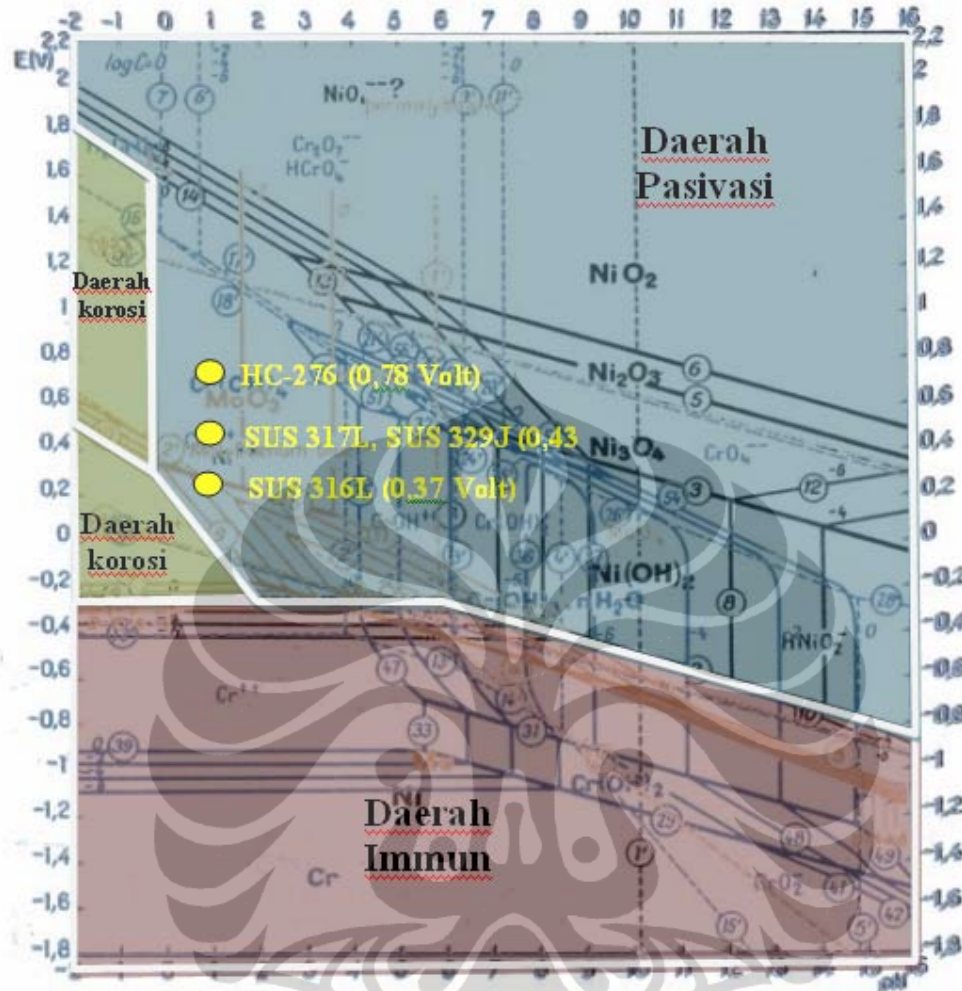
Potensial SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan Hastelloy C-276 dapat dilihat pada gambar 5.16. dengan pH lingkungan yang sama (<1) maka dengan memplot nilai potensial logam pada potensial-pH diagram pourbaix maka akan dapat diprediksi ketahanan korosi dari masing-masing logam tersebut seperti dapat dilihat pada gambar 5.17. Pada gambar 5.16 diperbandingkan hasil pengukuran potensial dari SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan hastelloy C-276. HC-276 yang memiliki kandungan molibdenum paling tinggi (Mo=17,43%), transisi aktif menjadi pasif terjadi dengan sangat cepat dan stabil, diikuti berturut turut SUS 329J (Mo=3,07%) yang juga sudah mengalami transisi aktif-pasif pada jam ke-1 dan SUS 317L (Mo=2,91%) yang baru mengalami transisi dari aktif menjadi pasif pada jam ke-82 sedangkan SUS 316L yang kandungan molibdenumnya paling rendah (Mo=2,03%), baru mengalami transisi kondisi aktif menjadi pasif pada jam ke-132.

Berdasarkan gambar 5.17 potensial akhir dari SUS 316L (0,37 volt-SHE), SUS 317L (0,43 volt-SHE), SUS 329J (0,43 volt-SHE) dan hastelloy C-

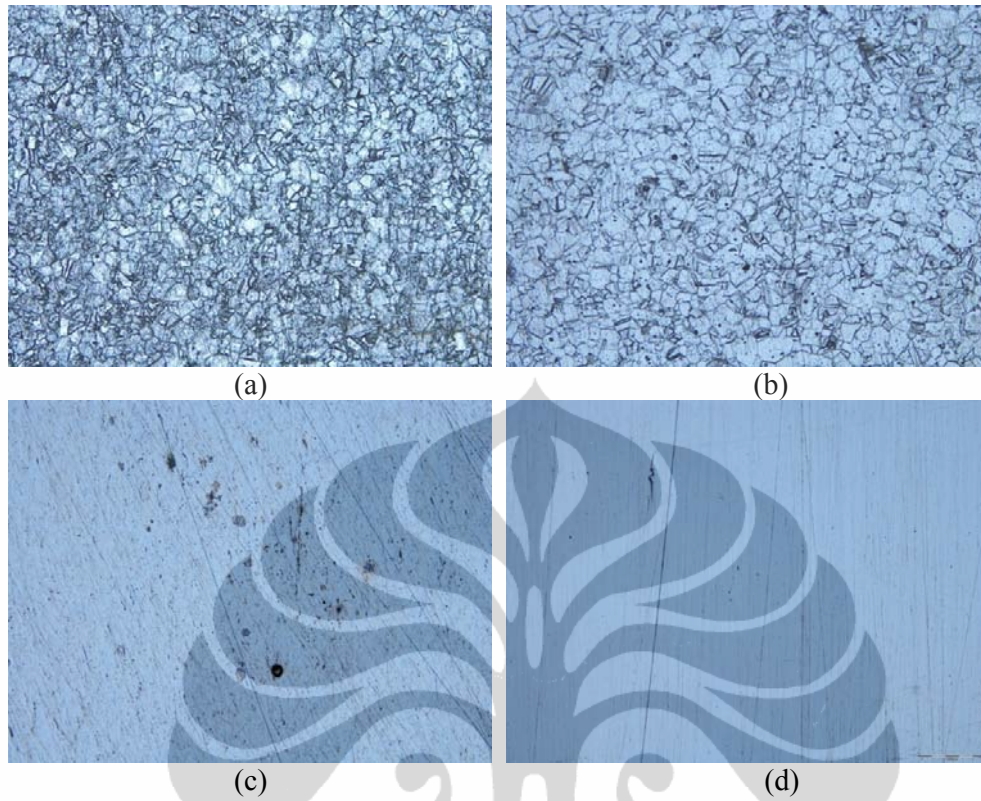
276 (0,78 volt-SHE) menunjukkan bahwa semua logam berada pada daerah pasivasi. Semakin tinggi potensial logam maka makin tahan terhadap korosi. Berdasarkan nilai potensial HC-276 adalah yang paling tahan terhadap korosi diikuti SUS 329J, SUS 317L dan yang paling lemah adalah SUS 316L. Hal ini diperkuat dengan hasil pengamatan foto mikro (perbesaran 100x) pada gambar 5.18 yang menunjukkan SUS 316L mengalami korosi pada permukaan logam, terutama pada batas butirnya (gambar 5.18a). Hal sama juga terlihat pada permukaan SUS 317L (gambar 5.18b) akan tetapi tidak sebanyak pada SUS 316L, kerusakan akibat korosi lebih sedikit terjadi. Pada permukaan SUS 329J tidak terjadi korosi, tetapi terlihat adanya korosi sumuran pada permukaan logam (gambar 5.18c) sedangkan pada HC-276 permukaan logam terlihat bersih, tidak menunjukkan terjadinya korosi pada permukaannya (gambar 5.18d).



Gambar 5.16 Grafik potensial logam SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan HC-276 selama uji celup



Gambar 5.17 Plot potensial SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan HC-276 dalam potensial-pH diagram pourbaix



Gambar 5.18 Foto struktur mikro logam setelah dilakukan uji celup selama 7 hari
(a) SUS 316L (b) SUS 317L (c) SUS 329J dan (d) HC-276