

KARAKTERISTIK ARUS DAN POTENSIAL KATODIK PADA PERLINDUNGAN SISTEM ARUS TERPASANG TERHADAP STAINLESS STEEL TYPE 304 DI LINGKUNGAN AIR LAUT

Yuli Panca Asmara

Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram

ABSTRAK

Untuk mengoptimalkan perlindungan dalam sistem katodik arus terpasang, maka arus dan potensial proteksi harus diketahui dan disesuaikan dengan keadaan yang sebenarnya sesuai dengan yang dibutuhkan oleh sistem. Perubahan-perubahan sifat elektro kimia dan fisik material harus mudah didefinisikan seiring dengan bertambahnya waktu.

Dengan menggunakan spesimen baja tahan karat Stainless steel (SS) 304 dan air laut buatan standart ASTM D 1141, dicoba dilihat perilaku pola potensial dan arus real yang terjadi selama perlindungan. Pengamatan dilakukan dengan cara mencatat perubahan potensial dan arus selama perlindungan berlangsung. Selanjutnya dilakukan pengamatan struktur mikro/makro untuk mengetahui perubahan fisik permukaan selama percobaan.

Dari percobaan selama 60 jam terhadap specimen yang dilindungi secara katodik pada perlindungan dari -730 mV sampai -1100 mV dalam larutan air laut didapat bahwa ada kecenderungan terjadinya penurunan arus. Penurunan arus terbesar terjadi pada potensial -1100 mV (dari 580 mA/m² turun menjadi 450 mA/m²), dan penurunan terkecil terjadi pada potensial perlindungan -730mV (dari 190mA/m² turun menjadi 150mA/m²). Pengaruh potensial juga mempengaruhi potensial korosi bebas. Semakin rendah potensial perlindungan, potensial korosi bebas juga akan turun. Pada potensial perlindungan -1100 mV, penurunan potensial korosi bebasnya menjadi -450 mV, dan pada potensial -730 mV menjadi -225 mV.

Pengamatan visual menunjukkan bahwa penurunan arus tersebut disebabkan oleh terbentuknya endapan garam hasil reaksi antara unsur kalsium yang ada dalam air laut akibat situasi basa yang dihasilkan oleh sistem katodik proteksi. Dengan menggunakan uji SEM dengan teknik analisis secondary electron microscope diketahui bahwa mayoritas unsur penyusun deposit adalah magnesium dan kalsium. Analisis lebih detail menunjukkan bahwa daerah sekitar deposit telah terjadi pitting korosi. Kecenderungan terjadinya korosi pitting juga dapat dibuktikan dengan melakukan scan anodic polarisasi yang menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan potensial korosi pitting sebesar 200 mV.

Kata Kunci : Potensial katodik, sistem arus terpasang, stainless steel, air laut

ABSTRACT

Cathodic protection basically reduces the corrosion rate of a metallic structure by reducing its corrosion potential, bringing the metal closer to an immune state. So, to optimize the protection, not only potential but also environment and system should be considered in designing cathodic protection. The changes of current provided by a direct current (DC) source should be counted during the protection.

The objective of this laboratory was to study the polarization behaviour concerning 304 stainless steel immersed in the artificial seawater based on ASTM D 1141 using potentiostat. This task was performed by recording data points (potential across a constant resistor) within a determined potential. Then, the surface morphology of specimen caused by polarisation potential was investigated using an optical microscope and SEM analysis.

The current derived from the polarisation diagram by the determination of several points protection potential ranging from -730mV to -1100 mV tend to decrease. The sharp decrease of current occurred at protection potential of -1100 mV (from 580 mA/m² to 450 mA/m²) there was a slight decrease at protection potential of -730 mV. The decrease occurred was from 190 mA/m² to 150 mA/m². Potential of protection cathodic also influenced the

free corrosion potential. At the protection potential of -730 mV, free corrosion potential was -225 mV, and was -450 mV at the protection potential of -1100mV.

By visual examination it can be deduced that the decrease of current density occurred was caused by the growth of salt calcareous deposits. By SEM investigation it was indicated that the deposit was made of calcium and magnesium as a result of the increase of pH during protection. The more detail analisis showed that this deposit created local pitting corrosion and decreased pitting potential by 200 mV.

Keywords : *Cathodic potential, the changes of current, stainless steel, artificial sweater*

PENDAHULUAN

Struktur yang terbuat dari stainless steel adalah yang sering dipakai sebagai pengganti peran besi karbon pada industri lepas pantai. Ketahanan korosi stainless steel disebabkan oleh lapisan film oksida krom Cr₂O₃. Jika oleh suatu sebab oksida ini rusak, misalnya karena abrasi, retak, pecah, temperatur tinggi, serangan ion klorida, maka material akan mengalami oksidasi berkelanjutan atau terserang korosi dengan cepat.

Untuk melindungi material stainless steel dari serangan korosi di air laut, salah satu metode yang sering diterapkan adalah sistem katodik proteksi arus terpasang. Sistem perlindungan ini adalah perlindungan yang paling unggul dibandingkan dengan sistem perlindungan yang lain, terutama dari segi nilai ekonomis dan mudah instalasinya. Tetapi perlindungan dengan sistem katodik itu tidak berarti selalu aman. Kesalahan-kesalahan fatal dapat terjadi jika dalam operasinya tidak dilaksanakan dengan hati-hati. Prosedur yang salah malah akan mempercepat korosi dan menyia-nyiaakan investasi (A.Oni, 1996; Brass, 1995).

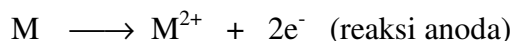
Katodik proteksi arus terpasang merupakan proses elektrokimia dengan cara pensuplaian elektron pengganti yang semestinya berasal dari material diganti elektron yang berasal dari aliran listrik dari luar. Korosi akan benar-benar terhenti jika elektron yang disuplai dari luar jumlahnya minimal sama dengan jumlah yang

dibutuhkan untuk terjadinya reaksi spontan pelepasan elektron pada permukaan logam.

Dengan melihat fenomena proses perlindungan tersebut, maka peranan arus dan potensial pada sistem katodik proteksi terhadap karakter permukaan logam adalah memegang peranan penting dalam menentukan keberhasilan perlindungan.

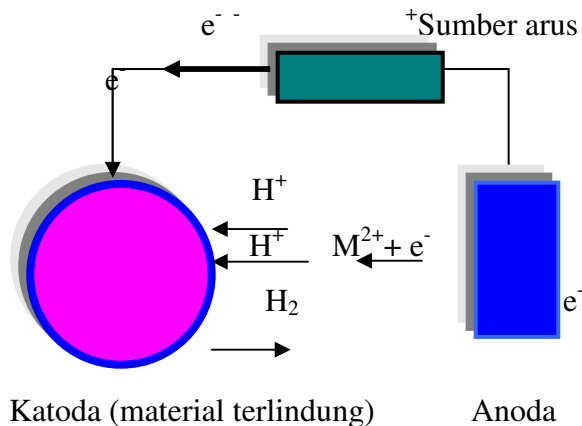
Percobaan ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran real tentang perubahan-perubahan yang terjadi terhadap 304 stainless steel pada perlindungan katodik. Secara garis besar percobaan dibagi menjadi dua tahap, yaitu pengamatan perubahan arus dan potensial menggunakan potensiostat dan pengamatan morfologi permukaan menggunakan mikroskop optic dan SEM. Selanjutnya untuk menjawab pertanyaan apakah perubahan permukaan itu memicu korosi sumur (pitting korosi), spesimen uji dipolarisasikan dari potensial katodik ke daerah potensial anodik.

Korosi adalah proses elektro kimia yang terjadi dalam elektrolit. Dibutuhkan ion untuk mengalirkan elektron. Dalam air laut, ion-ion tersebut dibawa oleh senyawa-senyawa terlarut yang terdiri dari: sampah-organik, sampah non organik, jasad renik, dan ion-ion garam. Kondisi ini akan mengakibatkan logam menjadi aktif, sesuai dengan persamaan reaksi sebagai berikut (Pierre, 1999).



Walaupun ion hidrogen yang terlarut dalam air terbatas (10^{-7} ion/liter pada 25⁰C),

ion ini dapat menyediakan pereaksi untuk terjadinya reaksi katoda berkelanjutan ($2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$) (Asworth, 1993), terutama pada kondisi potensial terlalu negatif. Jika dalam elektrolit terdapat ion klorida > 2000 ppm, reaksi katoda terjadi adalah reaksi evolusi klorida $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$, pada potensial 1.34 V SHE (Scantlebury, 2001). Pertukaran kerapatan arus dalam katodik proteksi selama proses reaksi elektrokimia korosi juga dipengaruhi oleh : komposisi logam, kekasaran permukaan, keaktifan logam, konsentrasi ion terlarut, pengotor yang berasal dari jasat renik atau dari lingkungan atmosfer.



Gambar 1. Tipe rangkaian dalam katodik proteksi sistem arus terpasang (Asworth, 1993)

Katodik proteksi arus terpasang adalah sistem perlindungan korosi dengan cara mensuplai arus pada material yang akan dilindungi. Arus dalam sistem ini dihasilkan dari sumber arus searah (DC). Kutub positif dihubungkan ke anoda, sementara kutub negatif dihubungkan ke material yang dilindungi. Untuk mencapai efisiensi yang tinggi, potensial yang dihasilkan oleh sumber arus harus lebih negatif dari potensial korosi bebas material dan lebih aktif. Biasanya digunakan anoda yang bersifat inert (tidak termakan) selama perlindungan berlangsung. Juga

dimungkinkan digunakan elektroda semi-inert (seperti graphite, besi paduan silicon), dan anoda termakan (consumable) seperti besi scrap. Hal lain yang perlu diperhatikan dalam katodik proteksi adalah bahwa semua sistem harus terhubung dan dapat mengalirkan arus, sehingga terdapat kehilangan arus minimal.

Faktor-faktor lain yang perlu diperhatikan dalam mendesain katodik proteksi adalah: kebutuhan potensial dan arus, luas permukaan material yang dilindungi, tahanan lingkungan sekitar, dan keberadaan konstruksi instalasi.

Perlindungan korosi dengan metode arus terpasang (impressed current system) secara efektif dapat mencegah terjadinya korosi. Selama proses perlindungan, material secara terus menerus menerima suplai arus negatif untuk mempertahankan potensialnya dibawah potensial korosi bebasnya (La Que, 1982; Nace, 1998). Dampak dari perlindungan ini adalah, menurut Phull, 1981, jika perlindungan dilakukan pada potensial terlalu negative, akan berakibat meningkatnya pH larutan di sekitar system. Kondisi pH demikian memudahkan terbentuknya endapan kapur/senyawa garam di sekitar lokasi perlindungan di lingkungan elektrolit air laut (Chandler, 1985). Dalam penelitiannya ia menemukan pada potensial dibawah -1000 mV SCE, tumbuhnya endapan garam ini sangat cepat dan tidak teratur sehingga cenderung tidak homogen dan kerosok dibandingkan dengan endapan yang terbentuk pada potensial -850 mV SCE. Asworth, 1993, lebih jauh menjelaskan bahwa endapan ini tersusun dari MgOH di bagian atas yang melapisi CaCO_3 yang merupakan senyawa aragonit dan brucit. Selama pembentukan dan penebalan lapisan terejadi diffusi ion melalui porositas endapan garam tersebut. Keadaan inilah yang dicurigai akan merusak logam disekitar logam dibawahnya dan memicu crevice korosi. Hasil penelitian ini didukung oleh

peneliti lain, yaitu Turnbull, 1993, dan La Que, 1982, yang menemukan bahwa selama perlindungan arus yang dibutuhkan untuk melindungi akan turun sebagai akibat dari tumbuhnya endapan ini kearah menyamping dan mempersempit luasan logam yang terbuka bebas.

Masalah yang timbul akibat terbentuknya endapan ini adalah terjadinya differential aeration (perbedaan konsentrasi) lokal antara logam yang terlindungi dengan endapan yang terbentuk atau antara endapan yang tidak homogen itu. Endapan garam ini dicurigai juga berpotensi untuk mengikat hydrogen yang timbul akibat katodik pelindung, karena berbentuk celah dan ceruk. Kondisi ini akan diperparah jika penerapan arus katoda yang digunakan terlalu negatif, dimana pada potensial ini hydrogen yang dihasilkan berlebihan

MATERI DAN METODE

Bahan

Air laut buatan ASTM D 1141, dengan komposisi (dalam gr/l)

NaC	129
NaOHCO ₃ O	0,16
Na ₂ CO ₃	0,022
CaCl ₂ 2H ₂ O	1,53
MgCl ₂ 2H ₂ O	11,11

Alat

Elektroda kerja (SS 304), elektroda referensi (SCE) dan elektroda pembanding (Pt)

Material uji SS 304

Multimeter

Potensiostat

Peralatan listrik

Micoscope electron dan optik

Prosedur Kerja

Metode penelitian

Pembuatan set korosi sel dilakukan pada bak plastik dengan volume air 1 liter dilengkapi dengan sistem gelembung uadara. Komposisi elektrolit dibuat berdasarkan standard uji ASTM D 1141. Spesimen diset dalam sistem katodik proteksi pada berbagai potensial proteksi dari -730 mV sampai -1100 mV dengan interval setiap 50 mV. Selama percobaan yang berlangsung 60 jam, dicatat perubahan arus yang terjadi. Pengamatan perubahan arus dilakukan setiap 12 jam.

Di akhir percobaan potensiostat dimatikan diikuti dengan pengukuran potensial akhir yang terjadi. Percobaan ini dilakukan untuk menguji penurunan potensial korosi yang terjadi selama katodik proteksi berlangsung.

Analisa Perubahan Morphologi Spesimen

Metode ini dilakukan dengan cara menguji perubahan makro dan micro struktur pada permukaan spesimen dengan menggunakan mikoskop optic pada perbesaran 8 dan 100 kali. Percobaan ini menggunakan specimen yang mengalami perlakuan terbentuknya deposit, yaitu pada potensial perlindungan -1100 mV selama 3 hari. Selanjutnya komposisi lapisan deposit yang terbentuk diuji komposisinya menggunakan SEM dengan metode secondary electron analisa. Lebih jauh juga dicoba diamati apakah terjadi pitting korosi, terutama di daerah sekitar deposit, dengan cara pengkorosian kembali spesimen.

Polarisasi Scan Anodic

Diagram polarisasi bekerja berdasarkan prinsip perubahan potensial material yang terkorosi akibat perubahan komposisi permukaan logam. Model diagram yang didapat dapat mencirikan perilaku korosi yang meliputi; potensial

korosi bebas, potensial pitting korosi, kondisi passif material, dan arus korosi pada berbagai potensial. Percobaan ini menggunakan spesimen yang dilindungi selama 3 hari pada potensial -1100 mV.

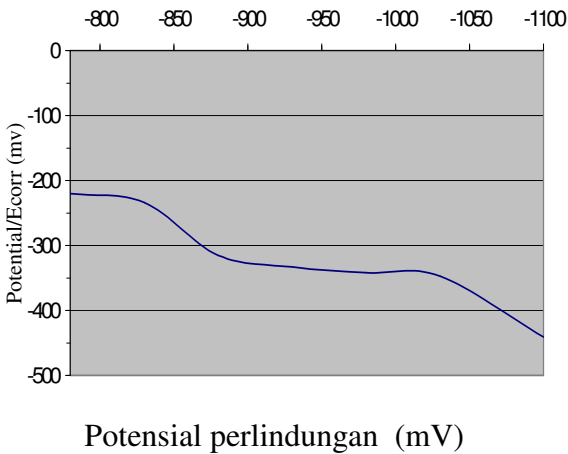
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Percobaan

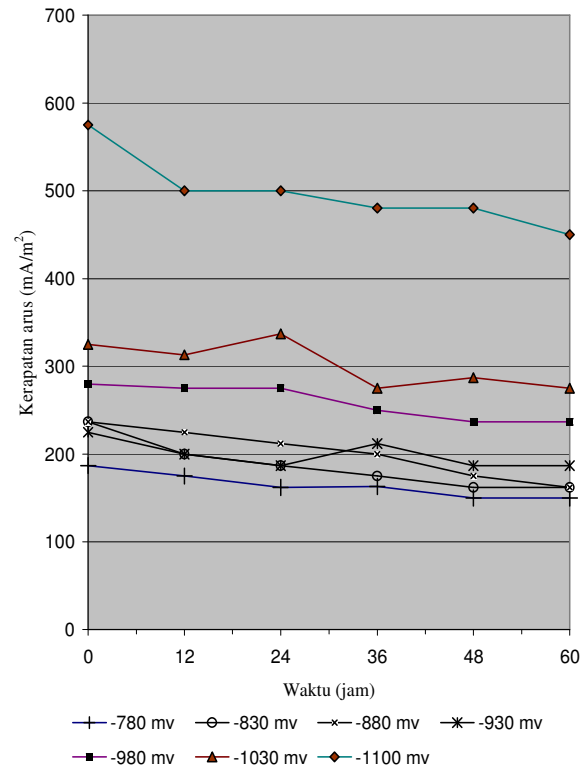
Berdasarkan percobaan yang dilakukan maka diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 1. Komposisi spesimen stainless tipe 30

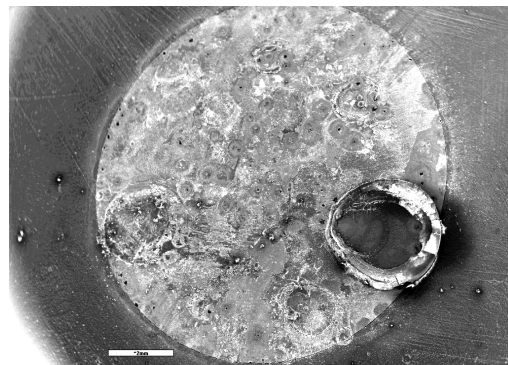
Komposisi	(%) elements	(%) atom
Al	0,68	1,38
Si	0,63	1,22
Cr	18,81	19,73
Mn	2,05	2,04
Fe	69,75	68,13
Ni	8,07	7,5



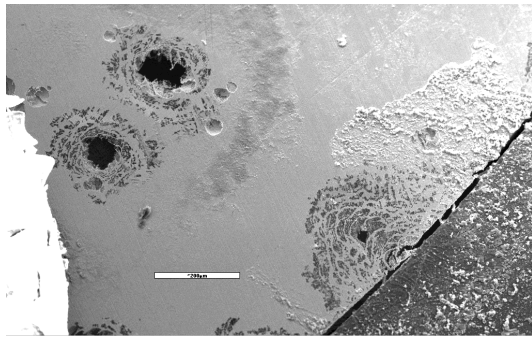
Gambar 2. Potensial korosi bebas SS 304 pada berbagai potensial setelah perlindungan selama 3 hari



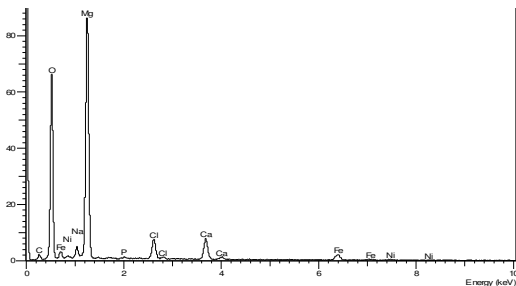
Gambar 3. Grafik hubungan antara arus dan waktu pada berbagai potensial perlindungan katodik



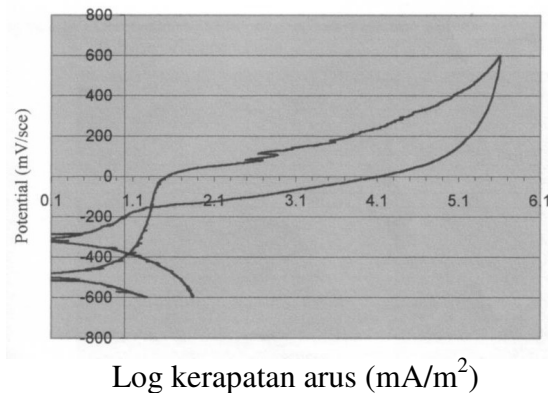
Gambar 4. Struktur mikro deposit 304 SS setelah dilindungi selama 3 hari pada potensial -1100mV dan dikorosikan kembali (perbesaran 8,4X)



Gambar 5. Pitting korosi SS 304 setelah diproteksi dan dikorosikan kembali (100 X)



Gambar 6. Pengamatan komposisi menggunakan SEM dengan metode secondary electron analisa deposit calcareous stainless steel



Gambar 7. Scan anodic polarisasi SS 304 setelah diproteksi selama 3 hari pada -1100 mV

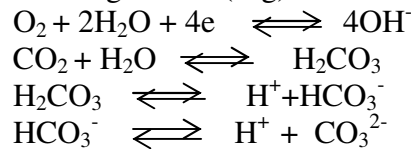
Pembahasan

Berdasarkan hasil pada Gambar 2, terlihat bahwa potensial perlindungan yang semakin negatif akan menyebabkan penurunan potensial korosi bebasnya. Penurunan yang paling negatif terjadi pada perlindungan -1100 mV. Potensial korosi bebas pada akhir percobaan selama 3 hari terjadi pada -450 mV. Dibandingkan dengan potensial perlindungan -730 mV, dimana potensial korosi bebasnya adalah -225 mV.

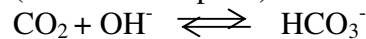
Pengamatan tentang perubahan arus yang terjadi selama 60 jam disajikan pada Gambar 3. Terlihat bahwa dari potensial perlindungan -730 mV sampai -1100 mV terjadi penurunan arus. Penurunan arus yang tercuram terjadi pada potensial -1100 mV, sebesar 130 mA/m², yaitu dari 580 mA/m² turun menjadi 450 mA/m². Penurunan terlandai terjadi pada potensial -730 mV, yaitu dari 190 mA/m² menuju 150 mA/m².

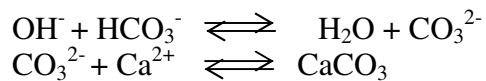
Menurut beberapa peneliti, penurunan arus ini disebabkan oleh terbentuknya deposit endapan garam yang mayoritas unsur penyusunnya adalah Mg dan Ca. Hasil dari penelitian ini juga mendukung teori tersebut, seperti yang terlihat pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.

Lebih jauh, Phull, 1981, dan Fuithlerr, 1981, menuliskan teori mekanisme terbentuknya deposit senyawa garam yang mayoritas komposisinya adalah kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) adalah sebagai berikut:

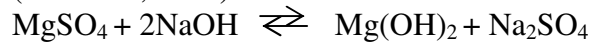


Jika ion hidroksida ditambahkan sebagai akibat reaksi katodik, pH larutan akan meningkat. Kondisi ini akan menyebabkan tumbuhnya endapan garam (calcareous deposit) sesuai dengan reaksi :





Disamping itu, pada air laut, bila pH terus meningkat maka yang terjadi adalah terbentuknya senyawa garam magnesium hidroksida dengan persamaan reaksi (Chandler, 1985) :



Alasan tentang kehadiran magnesium yang akan terjadi pada potensial proteksi tertentu, juga dikemukakan oleh Feither, 1981. Dalam tulisannya ia mengemukakan bahwa terbentuknya garam magnesium ini sebagai akibat dari telah dicapainya titik kritis pH pembentukan garam magnesium.

Cox, 1993 menjelaskan bahwa penerapan potensial yang sangat negatif dengan arus yang tinggi menghasilkan mayoritas deposit magnesium yang mudah retak. Ini disebabkan oleh proses reduksi air yang signifikan sehingga gas hidrogen yang dilepas selama reaksi berlangsung akan merusak deposit yang terbentuk.

Percobaan yang dilakukan oleh Turnbull, 1993, La Que dan May, 1982, menerangkan bahwa senyawa garam yang terbentuk, dinamakan *calcareous*, dapat mengurangi kebutuhan arus. Phull dalam disertasinya yang berjudul "A study of calcareous deposits in relating to cathodic protection" juga mendukung hasil penelitian Turnbull (Phull, 1981), mengadakan serangkaian uji perlindungan katodik, menyimpulkan dengan baja karbon selama sekitar 60 jam dengan potensial proteksi – 780 sampai –1100 mV (SCE), arus pensuplai dari potensiostat berkurang pada semua potensial. Pengurangan yang signifikan terjadi pada potensial –780 mV. Selanjutnya, lewat percobaan *anodic polarization scan* ia juga menemukan bahwa terbentuknya *calcareous scale* akan menurunkan potensial korosi bebas logam.

Hasil polarisasi scan anodic terhadap spesimen setelah perlindungan selama 3 hari pada potensial terbentuknya endapan garam

(-1100 mV), menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan potensial korosi dan potensial pitting korosi dari potensial –300 mV menjadi -500 mV (Gambar 4.1f). Ini menunjukkan bahwa terbentuknya endapan garam juga akan mempermudah terbentuknya korosi pitting. Analisa tersebut juga telah dibenarkan dalam percobaan struktur mikro ini seperti ditunjukkan dalam Gambar 6, dimana telah terjadi pitting korosi pada daerah sekitar deposit.

Selama percobaan juga telah terjadi fluktuasi arus suplai. Ini menunjukkan bahwa spesimen mengalami korosi bebas pada potensial yang tidak stabil. Fenomena ini dijelaskan oleh Phull, 1981, sebagai akibat dari terbentuk dan pecahnya lapisan pasif yang terjadi secara periodik. Lapisan pasif ini terbentuk karena terjadinya reaksi antara spesimen dengan oksigen membentuk oksida yang melindungi spesimen dari serangan korosi berkelanjutan. Jadi selama suplai oksigen di udara berlangsung, terbentuknya oksida ini akan cukup untuk melindungi spesimen dari reaksi oksidasi. Tetapi oksida ini tidak stabil dan akan mudah pecah akibat reaksi perpindahan massa oksigen dari total larutan ke permukaan material.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Simpulan yang didapat dari percobaan potensiostat adalah waktu perlindungan akan mengurangi arus yang dibutuhkan selama katodik proteksi.

Dari percobaan selama 60 jam terhadap spesimen yang dilindungi secara katodik pada pada potensial -1100 mV terjadi penurunan arus dari 580 mA/m² menjadi 450 mA/m². Pada potensial perlindungan -730 Mv, Arus mengalami penurunan dari 190mA/m² menjadi 150

mA/m^2 . Potensial juga mempengaruhi potensial korosi bebas. Pada potensial perlindungan -1100 mV , penurunan potensial korosi bebasnya menjadi -450 mV , dan pada potensial -730 mV menjadi -225 mV .

Pengamatan visual menunjukkan bahwa penyebab penurunan arus adalah endapan garam yang mayoritas penyusunnya adalah kalsium dan magnesium. Endapan garam ini juga sebagai pemicu pitting korosi dan menurunkan potensial pitting korosi. Selanjutnya dengan menggunakan polarisasi scan anodik, tercatat telah terjadi penurunan potensial pitting korosi sebesar 200 mV .

Saran

Lebih jauh, metode ini dapat digunakan untuk mempelajari jenis-jenis korosi yang lain, yaitu dengan melengkapi perangkat data akusisi sistem dengan cara mempelajari karakter response arus terhadap potensial. Selanjutnya, untuk pembacaan yang lebih teliti dapat diterapkan data akusisi, sehingga pembacaan skala setiap saat dan jangka waktu yang panjang dapat dilakukan.

Ketelitian hasil juga dipengaruhi oleh pengamsusian antara kondisi percobaan dengan kondisi lapangan. Disarankan sebelum merandang percobaan, digali sedalam mungkin parameter-parameter yang berpengaruh pada kondisi sesungguhnya di lapangan, terutama pada lingkungan yang selalu berubah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia selaku penyandang dana

sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Oni, 1996, Effects Cathodic Overpotential on Some mechanism properties of dual phase low alloy steel in seawater, *Elsevier Science*, 10, 481
- Asworth and Googan, 1993, *Cathodic Protection Theory and Practice*, Ellis Horwwod, Chichester
- B.S. Phull, 1981, A Study of Calcareous Scale in Relating to Cathodic Protection, Ph.D *Theses*, University Manchester
- Brass dalam Alan Turnbull, 1995, *Hydrogen Transport and Cracking in Metal*, Institut Material, London
- Chandler, 1985, *Marine and Offshore Corrosion*, Butterworth, London
- Cox dalam Asworth and Googan, 1993, *Cathodic Protection Theory and Practice*, Ellis Horwwod, Chichester
- Fuithlerr, dalam B.S. Phull, 1981, A Study of Calcareous Scale in Relating to Cathodic Protection, Ph.D *Theses*, University Manchester
- J.D.Scantlebury, 2001, *Lecture Note, Corrosion and Protection Centre*, UMIST, Manchester
- La Que and May, 1982, Experiment Relating to The Mechanism of Cathodic Protection of Steel in Seawater, *Corrosion Performance*, 21:May, 18
- Nace Standart dalam Hart, 1998, Hystorical, Development, Present understanding and Fututre Consideration regarding Cathodic Protection of Offshore Structure, 8th Middle East, *Corrosion Conference*, Bahrain
- Pierre R. Roberge, 1999, *Handbook of Corrosion Engineering*, Mc Graw –Hill, USA
- Turnbull, A. and May, dalam Asworth and Googan, 1993, *Cathodic Protection Theory and Practice*, Ellis Horwwod, Chicheste