

STUDI KOROSIVITAS DAN MORFOLOGI PERMUKAAN BAJA KARBON API 5L GR-B YANG DILAPISI POLIMER HIBRID PADA LINGKUNGAN AIR LAUT DAN GAS H₂S PADA KONDISI JENUH CO₂

Dinar Setiawidiani, Tuti Susilawati, Sri Suryaningsih* dan Hardoyo Harjo

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinagor 45363, Sumedang, Jawa Barat.

**Korespondensi penulis, E-mail : sri@phys.unpad.ac.id*

Abstract

It has been tested with the corrosion protection of carbon steel using hybrid inorganic - organic polymer. Hybrid polymer precursor materials is synthesized from monomers poly (TMSPMA) using sol- gel technique. The hybrid polymer precursors coated on the surface of carbon steel API 5L GR - B, and then thermally polymerized. Corrosion test conducted in a seawater environment, H₂S, CO₂ saturation using potentiodynamic polarization method and morphological examination using a Scanning Electron Microscope. The obtained results shows the corrosion rate of carbon steel without coating in critical condition was 1.643 mm/year. Once the hybrid polymer coated carbon steel with a corrosion rate becomes 0.903 mm/year. The corrosion rate was reduced to 0.74 mm/year. Corrosion rate is related to the protection efficiency of 45.05%. These results are supported by data that shows the surface morphology uneven corrosion on carbon steel surface after coated with polymer hybrid.

Keywords : *corrosion , carbon steel , polymer hybrid , potentiodynamic polarization*

Abstrak

Telah dilakukan uji proteksi korosi baja karbon dengan menggunakan polimer hibrid anorganik-organik. Bahan prekursor polimer hibrid disintesis dari monomer poli (TMSPMA) dengan menggunakan teknik sol-gel. Prekursor polimer hibrid tersebut dilapisi pada permukaan baja karbon API 5L GR-B, lalu dipolimerisasi secara termal. Uji korosi dilakukan dalam lingkungan air laut, gas H₂S, jenuh CO₂ dengan menggunakan metoda polarisasi potensiodinamik dan pemeriksaan morfologi menggunakan Scanning Electron Microscope. Hasil yang didapatkan menunjukkan laju korosi baja karbon tanpa pelapis pada kondisi kritis adalah 1,643 mm/tahun. Setelah dilapisi polimer hibrid dengan laju korosi baja karbon menjadi 0,903 mm/tahun. Laju korosi tersebut berkurang menjadi 0,74 mm/tahun. Laju korosi tersebut berkaitan dengan efisiensi proteksi sebesar 45,05%. Hasil tersebut didukung oleh data morfologi permukaan yang menunjukkan korosi tidak merata pada permukaan baja karbon setelah dilapisi dengan polimer hibrid.

Kata kunci: *korosi, baja karbon, polimer hibrid, polarisasi potensiodinamik*

Pendahuluan

Pada saat ini baja karbon banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti untuk pipa-pipa penyalur dalam industri migas, konstruksi jembatan dan sebagainya. Hal tersebut berkaitan

dengan harga bahan baja karbon yang jauh lebih murah dibanding dengan baja yang sudah dimodifikasi sehingga tahan karat. Berkaitan dengan hal tersebut, korosi merupakan masalah yang sangat penting karena biaya penanggulangan

akibat korosi pipa baja karbon tersebut cukup besar.

Di sisi lain, sumur produksi di industri migas, saluran pipa buangan, maupun hasil pengolahan biasanya mengeluarkan gas-gas H_2S dan CO_2 dalam jumlah relatif besar yang bersifat korosif. Selain itu, pipa transmisi yang terbuat dari logam pada industri migas banyak digunakan di lingkungan air laut, dimana sifat air laut dapat mempercepat terjadinya korosi.

Untuk menghambat laju korosi pada bahan baja karbon, dapat digunakan inhibitor atau pelapisan (*coating*) biasa. Selama ini bahan yang banyak dipakai sebagai inhibitor dalam proteksi korosi adalah kromat [1]. Bahan ini dapat menghambat korosi dengan sangat baik dan memiliki adhesi yang baik terhadap logam. Selain penggunaan inhibitor seperti kromat, proteksi korosi melalui coating juga banyak dipakai. Bahan coating yang banyak dipakai antara lain bahan organik seperti polietilen, alkanethiol, dan lainnya [2]. Bahan organik dikenal ramah lingkungan dan mudah disintesis. Namun, proteksi korosi dengan bahan organik umum seperti polietilen kurang memberikan hasil yang optimal. Bahan ini cenderung mengalami keretakan akibat tegangan.

Agar bisa didapatkan proteksi yang optimal, diperlukan bahan pelapis baja karbon yang selain dapat menghambat korosi, juga harus memiliki adhesi yang baik pada permukaannya, memiliki kekuatan mekanik, stabilitas kimia dan stabilitas termal yang tinggi serta ramah lingkungan. Diantara bahan yang tersedia, polimer hibrid organik-anorganik merupakan salah satu alternatif karena bahan polimer hibrid anorganik-organik memiliki kombinasi sifat-sifat yang diperlukan tersebut.

Polimer hibrid merupakan gabungan (komposit) dari dua bahan dalam skala molekul (organik dan anorganik). Polimer organik memiliki

sifat sifat unggul seperti kemudahan dalam pembuatan, kemudahan pemrosesan, fleksibilitas dan sifat fungsional. Polimer anorganik memiliki keunggulan seperti sifat mekanik yang baik, stabilitas lingkungan dan termal yang tinggi [3]. Apabila bahan polimer organik dan bahan polimer anorganik tersebut digabungkan, maka diharapkan akan menghasilkan bahan yang memiliki gabungan keunggulan dari kedua bahan tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah untuk uji proteksi korosi baja karbon API 5L GR-B dengan menggunakan polimer hibrid anorganik-organik di lingkungan campuran air laut, gas H_2S , kondisi jenuh CO_2 .

Metode Penelitian

Pembuatan polimer hibrid meliputi dua tahapan, yaitu polimerisasi bagian anorganik dengan metoda sol-gel dan polimerisasi bagian organik dengan cahaya (fotopolimerisasi).

Prekursor polimer hibrid dilakukan dengan proses *sol-gel* dengan menggunakan monomer TMSPMA. Monomer tersebut memiliki tiga gugus fungsional OCH_3 yang terikat pada atom Si.

Dalam proses sintesisnya, monomer TMSPMA dilarutkan ke dalam pelarut etanol. Setelah itu ditambahkan akuades dan diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan suhu $60^\circ C$. Larutan yang terbentuk kemudian ditambahkan katalis asam klorida. Campuran itu diaduk sampai terbentuk gel bening. Perbandingan jumlah monomer, aquades, etanol adalah 3:1:2.

Prekursor polimer hibrid selanjutnya diencerkan dan ditambahkan inisiator. Konsentrasi inisiator dalam prekursor adalah 1 % berat. Penambahan inisiator ini dimaksudkan untuk inisiasi polimerisasi bagian organik. Deposisi dilakukan dengan teknik *spin coating* yaitu dengan meneteskan larutan prekursor diatas baja karbon API 5L Gr-

B kemudian diputar dengan kecepatan 250 rpm selama 20 detik.

Setelah elektroda baja karbon terlapis prekursor polimer hibrid, dilakukan proses *pre-bake*, agar daya lekat dan homogenitas film meningkat pada permukaan elektroda baja karbon. Kemudian proses fotopolimerisasi dilakukan di dalam *chamber* dengan dialiri gas nitrogen dan menggunakan sinar UV. Selanjutnya dilakukan *post-bake*.

Pengujian laju korosi dilakukan dengan metode polarisasi potensio-dinamik, dengan menggunakan tiga elektroda, diantaranya elektroda kerja yaitu baja karbon yang dilapisi polimer hibrid, elektroda bantu yaitu platina, dan elektroda acuan yaitu kalomel jenuh. Larutan uji dalam sel elektroda menggunakan air laut dan campuran air laut dengan gas asam sulfida (H_2S) yang di *bubbling* gas CO_2 , selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Laju korosi diukur pada suhu kritis $75^\circ C$ dengan durasi pemaparan 1 jam. Ketiga elektroda tersebut serta termometer direndam di dalam larutan uji dengan jarak antara elektroda kerja dan elektroda bantu sekitar 1 cm dan elektroda pembanding berada di antara permukaan elektroda kerja dan elektroda bantu. Setelah itu, ketiga elektroda dihubungkan dengan potensiostat tipe *voltalab PGZ 310*. Selanjutnya dengan bantuan *software voltmaster 4* pada PC, semua informasi yang diperlukan dimasukkan pada *set up* program sehingga diperoleh kurva polarisasi. Ekstrapolasi kurva dengan metode tafel diperlukan untuk menentukan besaran-besaran listrik yang terkait dengan proses korosi baja karbon, yaitu potensial korosi (E_{corr}), tahanan polarisasi (R_p), kemiringan Tafel anodik (β_a) dan Tafel katodik (β_c), rapat arus korosi (I_{corr}) yang diperoleh melalui persamaan [2] :

$$I_{corr} = \frac{\beta_a \beta_c}{2,303(\beta_a + \beta_c) R_p} \frac{1}{R_p} = \frac{B}{R_p} \dots (1)$$

dengan B merupakan tetapan Stern-Geary. Laju korosi (r) menggunakan satuan mm per tahun dengan menggunakan massa ekuivalen logam A_e , densitas ρ , sehingga [3] :

$$r = 3,27 \times 10^{-3} \frac{I_{corr} \cdot x A_e}{\rho} \dots (2)$$

Untuk mengetahui morfologi permukaan baja karbon sebelum dan sesudah diberi perlakuan uji korosi, baik baja karbon yang tidak dilapisi polimer hibrid maupun baja karbon yang dilapisi polimer hibrid dilakukan analisis permukaan baja karbon menggunakan piranti *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Hasil dan Pembahasan

Prekursor poli (TMSPMA) yang telah dibuat dengan menggunakan metode sol-gel berbentuk gel kental dan bening, hal tersebut menunjukkan bahwa bagian anorganik telah terpolimerisasi, massa prekursor yang digunakan sebanyak 2 gram dan massa fotoinisiator yang digunakan sebanyak 0,02 gram.

Prekursor poli (TMSPMA) dilapiskan pada baja karbon dengan metode solution casting hingga menutupi seluruh permukaan baja karbon. Kemudian dilakukan proses *pre-bake*, yaitu memanaskan film tipis pada permukaan elektroda baja karbon diatas hotplate yang dilakukan selama 10 menit. Selanjutnya dilakukan fotopolimerisasi pada sampel baja karbon yang telah dilapisi prekursor poli (TMSPMA) selama 10 menit untuk polimerisasi bagian organik. Proses fotopolimerisasi menggunakan bantuan sinar UV yang diletakkan 20 cm diatas chamber dan sampel diletakkan di dalam chamber dengan dialiri gas nitrogen. Setelah dipastikan prekursor melekat dengan baik, dilakukan *post-bake* pada permukaan elektroda baja karbon yang dilakukan di dalam oven vakum dengan suhu $60^\circ C$ dalam waktu 18 jam agar mendapatkan hasil yang diinginkan dan

optimal. Hasil yang didapat, poli (TMSPMA) pada permukaan baja karbon telah melekat dengan baik dan tidak ada *crack*, selanjutnya disimpan dalam desikator.

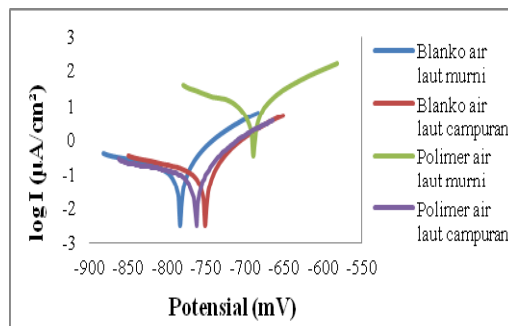
Untuk mengetahui hasil pelapisan (*coating*) polimer hibrid pada baja karbon, dilakukan pengujian korosi dengan metoda polarisasi potensiodinamik dengan metoda Tafel. Pada pengujian ini, baja karbon yang tidak dilapis maupun yang dilapis poli (TMSPMA) dijadikan sebagai elektroda kerja dimasukkan ke dalam larutan uji air laut murni dan campuran air laut, gas H₂S, kondisi jenuh CO₂, dan ditentukan kondisi kritisnya yang meliputi suhu kritis 75⁰C dengan durasi pemaparan kritis 1 jam.

Sebelum pengukuran laju korosi terlebih dahulu dilakukan pemantapan antaraksi antarmuka menggunakan OCP sebelum pengukuran potensial linear *V* untuk memperoleh kurva Tafel. Nilai OCP menunjukkan tercapainya keadaan mantap yang merupakan daerah potensial korosi baja karbon.

Tabel 1. Pengukuran *Open Circuit Potential* (OCP)

Perlakuan		Pot. awal (mV)	Pot. akhir (mV)
Air laut murni	Blanko	-881	-683
	Poli(TMSPMA)	-779	-581
Air laut + H ₂ S kondisi jenuh CO ₂	Blanko	-849	-651
	Poli(TMSPMA)	-862	-664

Hasil pengujian berupa grafik tafel, dimana pada grafik tafel terdapat kurva polarisasi menggambarkan hubungan antara potensial (E_{corr}) sebagai fungsi log arus (I_{corr}). Arus korosi menunjukkan banyak sedikitnya ion-ion logam yang larut dalam larutan elektrolit. Jika rapat arus yang terukur besar, maka ion-ion logam banyak yang larut kedalam larutan elektrolit sehingga mengakibatkan logam berada pada kondisi tidak stabil, sehingga logam mengalami kerusakan pada bagian permukaannya karena bereaksi dengan lingkungannya. Dari hasil tafel diperoleh arus korosi sehingga nilai laju korosi dapat dihitung. Kurva polarisasi anodik dan katodik dengan berbagai perlakuan pada baja karbon disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva polarisasi anodik dan katodik baja karbon dalam larutan uji air laut murni dan campuran air laut, gas H₂S, kondisi jenuh CO₂ dan ditentukan kondisi kritisnya yang meliputi suhu kritis 75⁰C dengan durasi paparan kritis 1 jam.

Tabel 2 Parameter korosi baja karbon dalam larutan uji air laut murni dan campuran air laut, gas H₂S, kondisi jenuh CO₂ pada suhu 75^oC dan waktu papar 1 jam

Parameter	Air laut murni		Air laut + gas H ₂ S, jenuh CO ₂	
	Blanko	Poli(TMSPMA)	Blanko	Poli(TMSPMA)
E_{corr} (mV)	-777.6	-689.0	-750.8	-761.7
R_p (Ohm.cm ²)	296.86	1980	158.83	200.37
β_a (mV)	85.6	84.4	59.5	57.4
β_c (mV)	-217.7	-107.4	-178.8	-199.2
I_{corr} (mA/cm ²)	0.0937	0.009495	0.1405	0.0772
r (mm/th)	1.096	0.111	1.643	0.903

Berdasarkan kurva polarisasi anodik dan katodik potensiodinamik diperoleh nilai potensial korosi (E_{corr}), tahanan polarisasi (R_p), tetapan Tafel anodik (β_a), tetapan Tafel katodik (β_c), kerapatan arus korosi (I_{corr}) dan laju korosi (Tabel 2).

Pada lingkungan campuran air laut, gas H₂S, dan jenuh CO₂, terjadi penggeseran potensial korosi ke arah lebih negatif, yaitu -761,7 mV untuk baja karbon dilapisi poli (TMSPMA) dan -750,8 mV untuk baja karbon blanko, hal tersebut menunjukkan tingkat energi logam bertambah.

Tahanan polarisasi poli (TMSPMA) yang dilapisikan pada baja karbon meningkat bila dibandingkan dengan baja karbon blanko pada larutan campuran air laut, gas H₂S, jenuh CO₂ dengan nilai tahanan polarisasi baja karbon blanko sebesar 158,83 Ohm cm² dan baja karbon dilapisi poli (TMSPMA) sebesar 200,37 Ohm cm². Hal tersebut menyebabkan zona serangan permukaan baja karbon makin sempit yang berdampak pada nilai laju korosi.

Laju korosi di lingkungan air laut untuk baja karbon tidak dilapisi (blanko) yaitu 1.096 mm/th dan baja karbon yang dilapisi poli (TMSPMA) sebesar 0,111 mm/th. Sedangkan, laju korosi di lingkungan campuran air laut, gas H₂S, dan jenuh CO₂ untuk baja karbon (blanko) yaitu 1,643 mm/th dan baja karbon dilapisi poli (TMSPMA) sebesar 0,903 mm/th. Terlihat adanya penurunan

laju korosi pada baja karbon dilapisi poli (TMSPMA) di lingkungan air laut murni maupun campuran air laut, gas H₂S, jenuh CO₂. Hal tersebut dikarenakan adanya lapisan yang menghalangi serangan korosi pada permukaan baja karbon sehingga konduktivitas larutan menurun akibat dari peningkatan tahanan polarisasi.

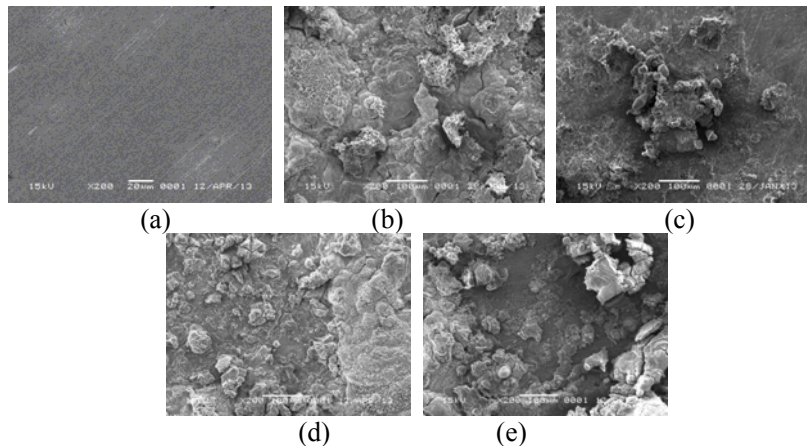
Di pihak lain, faktor pH merupakan salah satu penyebab peningkatan laju korosi pada lingkungan campuran air laut murni, gas H₂S, jenuh CO₂ memiliki pH 5,71 yang termasuk asam. Hasil yang diperoleh di lingkungan air laut murni memiliki pH 8,68 yang termasuk basa. Hal tersebut disebabkan karena larutan yang bersifat asam menyebabkan reaksi elektrokimia antara logam dan larutan menjadi semakin besar sehingga mengganggu lapisan film tipis poli (TMSPMA) pada permukaan logam baja karbon.

Untuk pemeriksaan morfologi permukaan baja karbon baik yang tidak dilapisi maupun yang dilapisi poli (TMSPMA) terlihat pada Gambar 2.

Profil morfologi permukaan sampel hasil SEM teramati jelas bahwa ketika belum diberikan perlakuan (Gambar 2a), permukaan sampel terlihat rata. Begitu diberi perlakuan pelapisan poli (TMSPMA), teramati perubahan drastik morfologi permukaan yang dianggap sebagai granular poli (TMSPMA) (Gambar 2 b dan 2c). Bentuk permukaan baja karbon yang dianggap sebagai granular poli (TMSPMA) dapat

disebabkan pada saat proses pelapisan pada permukaan baja karbon tidak merata sehingga pada saat uji laju korosi

terjadi pengelupasan pada bagian film tipis yang permukaannya tidak merata.



Gambar 2. Profil SEM baja karbon API 5L Gr-B dengan perbesaran 200x

- (a) baja karbon sebelum diberi perlakuan
- (b) baja karbon blanko pada lingkungan air laut murni
- (c) baja karbon dilapisi poli (TMSPPMA) pada lingkungan air laut murni
- (d) baja karbon blanko pada lingkungan campuran air laut, gas H₂S, pada kondisi jenuh CO₂
- (e) baja karbon dilapisi poli (TMSPPMA) pada lingkungan campuran air laut, gas H₂S, pada kondisi jenuh CO₂.

Efisiensi proteksi korosi dari polimer hibrid dapat ditentukan dengan membandingkan nilai rapat arus korosi baja karbon blanko dan baja karbon dilapisi polimer hibrid poli (TMSPPMA). Efisiensi proteksi korosi polimer hibrid pada baja karbon lebih besar pada lingkungan air laut murni yaitu 89,86% dibandingkan lingkungan campuran air laut, gas H₂S, jenuh CO₂ yaitu 45,05%. Hal tersebut dikarenakan untuk lingkungan campuran air laut, gas H₂S, jenuh CO₂ membentuk asam yang dapat meningkatkan korosifitas sehingga mengganggu lapisan film tipis yang berfungsi sebagai proteksi korosi pada permukaan baja karbon.

Kesimpulan

Baja karbon yang dilapisi poli (TMSPPMA) memberikan laju korosi yang rendah dibandingkan yang tidak dilapisi dengan efisiensi mencapai 45,05 %. Berdasarkan ketahanan korosi relatif

baja karbon yang dilapisi polimer hibrid poli (TMSPPMA) menunjukkan tingkat proteksi yang kurang baik sehingga belum dapat digunakan sebagai bahan coating. Hal ini didukung oleh profil SEM permukaan baja karbon setelah uji korosi untuk yang tidak dilapis dan yang dilapis ada perbedaan kerusakan yang diakibatkan oleh proses pelapisan pada permukaan baja karbon tidak merata.

Referensi

- [1] R. Buchheit, J. Electrochem. Soc. 142 (1994), 3994
- [2] G. Grundmeier et.al., Electrochim Acta 45 (2000), 2515
- [3] Pitriana, P, Syakir, N, Fitrilawati, Hidayat, R. 2011. *Pembuatan dan Karakterisasi Polimer Hibrid Poli(Trimetoksisilil Propil Metakrilat)*. JMEI. Jurusan Fisika FMIPA. Universitas Padjadjaran. Sumedang