

PENGARUH KEREKATAN PERPADUAN PELAPISAN EPOKSI PADA PERMUKAAN PIPA (BASE PIPE) SETELAH DILAKUKAN TES IKATAN KATODIK (KATHODIC DISBONDING TEST) TERHADAP LAJU KOROSI

Faizal¹, Abdul Malik Made¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Batam, Kota Batam

E-mail: malikmade@univbatam.ac.id

Abstrak-*Material Fusion Bonded epoxy powder coating banyak digunakan sebagai proteksi pada struktur logam dan non logam, serta memiliki variasi ketebalan pelapisan dan daya rekat yang bervariasi, Daya rekat adalah suatu keadaan, dimana lapisan powder epoksi berfungsi untuk memperlambat proses laju korosi yang diaplikasikan pada permukaan logam. Proses pengujian powder coating banyak dilakukan untuk menjaga kualitas hasil pelapisan, metode pengujian tersebut adalah kathodik disbonding test. Katodik disbonding tes dilakukan pada beberapa sampel potongan pipa yang telah dilapisi epoksi sesuai standar CSA (canadian standard asosiasi). Pada penelitian ini digunakan pipa baja ASTM A53 (Amirican society for Testings and Material), Pada pengujian ini diambil sampel potongan pipa sebanyak 10 buah, 5 sampel diuji pada temperatur 65^oC dengan variasi waktu 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam dan 120 jam, 5 sampel lainnya diuji pada temperatur 80^oC dengan variasi waktu 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam dan 120 jam. Dari hasil pengujian Cathodic disbonding test yang telah dilakukan, pada suhu 65^oC terjadi laju korosi dari 1,38 mm sampai dengan 1,76 mm dan pada suhu 80^oC terjadi laju korosi 1,44 mm sampai dengan 1,88 mm. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan variasi waktu dan temperatur mempengaruhi hilangnya daya rekat epoksi yang diakibatkan korosi.*

Kata Kunci: *Chatodic disbonding, Powder coating, Fusion bonded epoxy*

Abstract-*Fusion Bonded Material Epoxy powder coating is widely used as protection in metal and nonmetal structures, and has varying thickness of coating and varying adhesive power. Adhesion is a condition, where the epoxy powder layer serves to slow down the corrosion rate applied to the metal surface. The powder coating testing process is mostly done to maintain the quality of the coating results, the test method is kathodik disbonding test. The cathodic disbonding test was carried out on several sample pieces of pipe that had been coated with epoxy according to the CSA standard (Canadian standard association). In this study used ASTM A53 steel pipe (Amirican Society for Testings and Materials). In this test 10 pieces of pipe samples were taken, 5 samples were tested at 650C with variations of time 24 hours, 48 hours, 72 hours, 96 hours and 120 hours, 5 other samples were tested at 800C with variations of time 24 hours, 48 hours, 72 hours, 96 hours and 120 hours. From the results of testing the Cathodic disbonding test that has been done, at a temperature of 650C the corrosion rate occurs from 1.38 mm to 1.76 mm and at a temperature of 800C there is a corrosion rate of 1.44 mm to 1.88 mm. Based on research that has done time and temperature variations affect the loss of epoxy adhesive power caused by corrosion.*

Keywords: *Chatodic disbonding, Powder coating, Fusion bonded epoxy*

1. PENDAHULUAN

Korosi merupakan hal yang sangat populer terjadi pada logam, terutama jika dipasang di bawah laut. Di dunia industri perminyakan, korosi juga sangat ditakuti, karena akibat korosi inilah banyak terjadi kebocoran pipa gas atau pun yang lain. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dilakukan proses coating terhadap pipa baja. Coating pipa banyak jenis dan macamnya. Diantaranya yaitu:

1. Three Layer Polyethilen.
2. FBE powder Coating
3. Cement Lining.
4. Coating Coltar
5. Varnish
6. Galvanis
7. Coating Tape dan Epoxy

Dalam penelltian ini akan diungkap tentang coating Epoxy, yang mana banyak diaplikasikan kepada kapal-kapal laut. Epoxy adalah salah satu jenis dari Cat (paint). Epoxy ini juga banyak jenis dan warnanya, diantaranya yaitu: Jotun, Sigma, Prima, Hempel dan Primacor. Dalam aplikasi kali ini, kita pilih aplikasi epoxy pada media pipa baja, dengan alasan dan

pertimbangan karena pipa baja merupakan barang yang mempunyai nilai komoditi yang cukup mahal, apalagi yang mempunyai specification dan standart material API 5L dengan Great yang tinggi ini, permintaan pipa dengan coating epoxy cukup banyak meningkat dari berbagai customer termasuk di PT Bredero shaw Indonesia dan hasil epoksi pipa tersebut harus terjaga kualitasnya untuk menjaga kepuasan kostumer dan oleh sebab itu sebelum dikirim ke kostumer perlu dilakukan penelitian mengenai kerekatan epoksi terhadap permukaan pipa maka atas masalah tersebut maka saya melakukan penelitian.

Batasan Masalah

Karena luasnya masalah ilmu tentang pelapisan epoxy terhadap permukaan pipa setelah dilakukan tes ikatan katodik serta menjelaskan hubungannya dengan laju korosi yang dialami oleh permukaan pipa (*Base Pipe*). Batasan penulis hanya melakukan penelitian pada material pipa baja ASTM A53 yang telah dipotong dengan ukuran 100 mm x 100 mm dengan pelapis epoxy sebanyak 10 contoh.

Rumusan Masalah

Dengan penelitian ini semoga akan menjelaskan secara detail mulai proses pelapisan epoxy pada permukaan pipa (*Base Pipe*) setelah ikatan katodik atau proteksi katodik terhadap logam yang mengalami korosi. Adapun rumusan masalah yang peneliti angkat sebagai berikut :

- Menjelaskan cara pelapisan epoksi secara detail dari awal proses hingga proses akhir dari pelapisan epoxy.
- Menjelaskan secara rinci apa itu tes ikatan katodik.
- Menjelaskan secara rinci hasil dari tes kerekatan epoksi terhadap laju korosi

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mengetahui pengaruh kerekatan perpaduan pelapisan epoksi pada permukaan pipa (*Base Pipe*) setelah dilakukan tes ikatan katodik (*Kathodic Disbonding Test*) terhadap laju korosi.

Mengetahui laju korosi yang terjadi pada permukaan pipa yang telah dilapisi epoksi

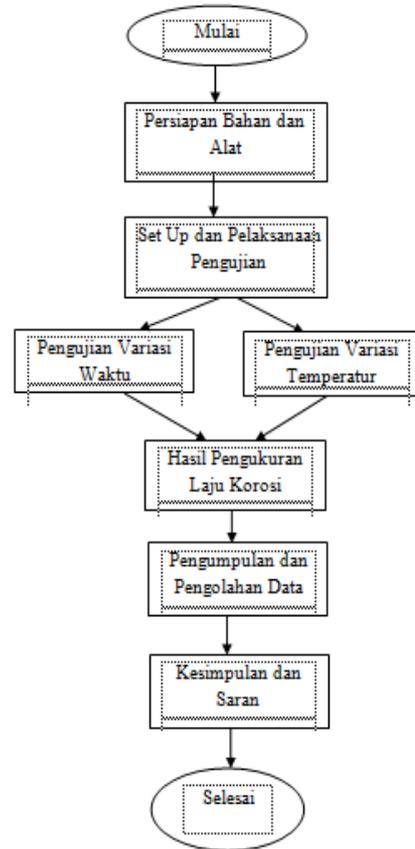
Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian yang diperoleh nantinya, diharapkan dapat memberikan masukan dan dokumentasi untuk menganalisa tentang Pengaruh kerekatan perpaduan pelapisan epoxy pada permukaan pipa (*Base Pipe*) setelah dilakukan tes ikatan katodik (*Cathodic Disbonding Test*) terhadap laju korosi untuk dikembangkan dalam penelitian berikutnya

2. METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Penyusunan penelitian ini bisa digambarkan melalui diagram alir sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

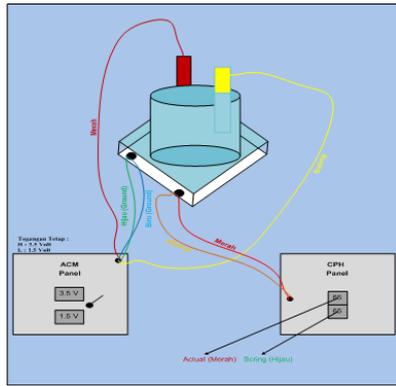
Alat yang digunakan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah

- DC power supply yang menyediakan 1,5 V dan 3,5 V
- Bor listrik
- Sigmat (*calipers*)
- Multi meter
- Pisau potong yang keras
- Martel
- Pahat
- Penjepit.

Adapun bahan- bahan yang digunakan dalam pengujian adalah

- Kabel platinumium
- Silicon
- 3% garam clororide
- Thermostatic control



Gambar 2. Proses pengujian

Keterangan:

Warna kabel merah: reference electroad (calomel)

Warna kabel orange : termokopel

Warna kabel kuning platinum(anode)

Warna kabel biru dan hijau : grounding

Proses pelapisan

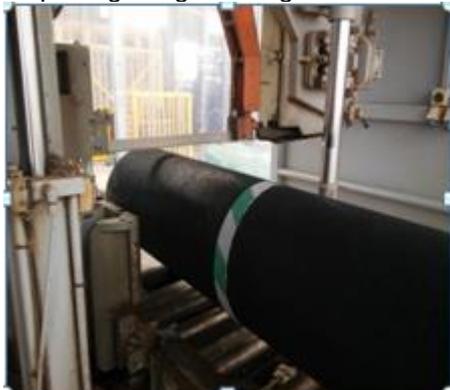
Setelah pipa dibersihkan dan diblasting dari segala cacat, karat dilanjutkan dengan memasukkan dengan cara menurunkan dengan menggunakan compeyor angin, lalu pipa dijalankan menuju aplikasi pelapisan melalui 2 kumparan pemanas (*coil*).Pipa dijalankan bersamaan dengan menggunakan kopling agar pipa tidak mempunyai jarak

Kumparan pemanas pertama memanaskan pipa sekitar 150°C dilanjutkan kekumparan pemanas ke dua memanaskan sekitar 90°C jarak antara kedua kumparan sekitar 4 meter, jadi panas yang didapat pada pipa sekitar 236 sampai 247 sesuai MSDS (material data sheet).

Pipa menuju aplikasi tepung epoksi (Powder boot) dengan melewati sensor control panas lalu menuju tempat pendinginan (quenching), setelah dingin dan mengeras pipa dinaikkan keatas rak tempat pemeriksaan dan penyelesaian.Setelah pipa selesai dilapisi epoksi lalu dibawa ketempat pemotongan dengan alat berat (Wheel loader).

Proses pemotongan.

Pipa dipotong dengan menggunakan band saw



Gambar 3. Proses pemotongan pipa

Pemasangan Panel Pengujian Korosi

Preparasi sampel pengujian korosi panel menggunakan plat pipa yang telah dipotong dengan ukuran 100 mm x 100 mm.

- a. Bor dua lobang dengan diameter 6mm pada tengah panel dengan kedalaman mendekati 1 mm yang akan mewakili lubang pengujian korosi dan disisi panel dibuat lobang kedua untuk mewakili kabel masa.



Gambar 4. Lempengan pemanas

Obyek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pipa baja ASTM 53 yang telah dilapisi epoksi tersebut dipotong dengan ukuran ± 100 mm x 100 mm sebanyak 10 buah yang disebut dengan panel untuk menentukan ketahanan pelapisan epoksi yang telah keras terhadap laju korosi.



Gambar 5. Panel pipa Baja ASTM A53 yang telah dipasang pada tempat pengujian

- b. Pasang kabel masa pada panel dan hubungkan dengan terminal negatif pada potentiometer pastikan terhubung dengan baik. Letakan tabung pada tengah panel dan diberi silikon sebagai perekat antara tabung dan permukaan panel dan diisi dengan air setinggi 5 cm, Agar air yang telah diberi garam 3% tidak menguap diberi penutup yang rapat.

- c. Setelah terpasang pada *ACM instrument*, pasang kabel platinum pada lubang tabung bagian atas, pastikan kabel cukup panjang untuk membuat hubungan yang bagus dengan elektrolit lalu hubungkan kabel sisi kabel yang lain keterminal positif dari potentiometer.
- d. Letakan *calomel referen electrode* 10 mm diatas lobang pada permukaan panel, Pasang kabel termokopel yang berguna memonitor panas panel saat alat telah dihidupkan.
- e. Sesuaikan arus yang keluar dari masing masing sel dengan memutar potentiometer lalu hidupkan *ACM instrument* dan waktu pengujian dimulai.



Gambar 6. ACM Instrument



Gambar 7. plat uji terpasang pada ACM instrument

Pelepasan plat uji dari instrumen pengujian

- a. Matikan arus kontrol panel, lepaskan kabel platinum, termokopel, kabel massa, electrode, bersihkan dari pasir garnet.
- b. Buka tabung lalu keluarkan air kemudian bersihkan area bekas lem silicon, dibiarkan dalam suhu ruangan agar plat uji dingin sekitar satu jam
- c. Berikan tanda garis pada permukaan pipa agar saat pemotongan lapisan plastik tidak terjadi kerusakan, bersihkan lapisan permukaan agar hasil pengujian bisa diukur dengan mudah.



Gambar 8. Membersihkan permukaan plat uji

- d. Potong dengan pisau pemotong menjadi 8 bagian, setelah itu lakukan penyungkilan hasil pengujian.



Gambar 9. Mencungkil hasil tes plat uji

- e. Diteruskan dengan mengukur hasil pengujian dengan menggunakan sigmat, kaca pembesar karena area yang diukur pada permukaan pipa sangat kecil.



Gambar 10. Pengukuran sampel logam

3. Tinjauan pustaka

Dalam proses korosi ada empat faktor utama yang menjadi pemicu korosi yaitu adanya larutan elektrolit, katoda, anoda dan hubungan arus listrik (Anonim, 1997)

Korosi tidak hanya berwarna coklat namun juga lainnya, seperti pada seng berwarna putih, dan belerang berwarna hijau, jika disentuh terasa lebih kasar dibandingkan dahulu, terdapat bitnik bitnik di bagian tertentu. Keadaan ini menunjukkan kerusakan material atau terjadi penurunan kualitas dari tampilan logam tersebut (Gapsari, F, 2017).

Korosi retak tegang dapat terjadi karena adanya factor tegangan pada logam paduan. Kriteria tegangan adalah tegangan tarik dengan besar yang mencukupi untuk terjadinya retakan. Tegangan ini dapat muncul dari beberapa

sumber: tegangan aplikasi, tegangan sisa, tegangan thermal, dan proses pengerjaan dingin (bending) (Putri, A.M *et al*, 2012)

Uniform attack (korosi seragam) yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis (Utomo, B, 2009)

Pitting corrosion (korosi sumur) Adalah korosi yang disebabkan karena komposisi logam yang tidak homogen, sistem pipa putar mengalami kebocoran karena pada permukaan rol bearing mengalami korosi sumuran (Sunandrio, H. & Sari, L. N. 2011)

Galvanis corrosion (korosi galvanis) Korosi yang terjadi karena adanya 2 logam yang berbeda dalam satu elektrolit sehingga logam yang lebih anodic akan terkorosi. Pasangan logam yang memiliki tegangan galvanik tinggi maka akan menyebabkan laju korosi lebih tinggi dibanding dengan pasangan logam yang memiliki tegangan rendah. (Wibowo, A. 2016),

Crevice corrosion (korosi celah) Korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain, Korosi yang terjadi pada ulir adalah korosi celah, karena antara ulir nipple dan ulir elbow timbul celah. Walaupun telah diberi semacam sekat, air tetap masuk pada daerah celah yang sempit tersebut. Karena celah sangat sempit, maka tidak memungkinkan terjadinya aliran air, sehingga di daerah celah terjadi kekurangan oksigen, (Riyanta, B. Al Aththara, M 2011)

Rekayasa permukaan material seperti deposisi uap, dan penembakan berkas dapat berdampak sangat spesifik dan efisien dari segi energi, metode baru tersebut sangat fleksibel dalam pengendalian komposisi kimia dan struktur fisika permukaan, banyak material yang tadinya sulit diperlakukan secara konvensional kini dapat diproses. (Smallman, R. E. & Bishop, R.J, 2000)

Lapisan zinalume mempunyai ketahanan korosi sedikit lebih tinggi. Hal ini ditunjukkan pada laju korosi yang semakin rendah yaitu 0,29 mm/year untuk material merk B tanpa lapisan dan 0,21 mm/year pada material dengan lapisan zinalume 13,13 μm . Ketahanan korosi material merk A meningkat hingga 2 kali pada pengujian dengan air laut pantai Tanjung Mas Semarang dan meningkat 2,7x pada pengujian dengan air laut dari pantai Aceh. (Ispandriatno, A. S. & Krisnaputra, R. 2015)

Aplikasi utama pengecatan serbuk adalah untuk meningkatkan sifat-sifat seperti ketahanan gores, ketahanan korosi dan lainlain pada permukaan berbagai macam produk. Dengan demikian dalam semua aplikasi kualitas lapisan yang terbentuk selama pelapisan bubuk sangat penting. Ketebalan lapisan adalah parameter penting karena endapan berlebih bubuk akan

meningkatkan lapisan material dan ketebalan rendah akan menyebabkan paparan ke atmosfer dan akibatnya korosi, berkarat (Karidkar, 2016)

material pelapis anti korosi (coating) Cat-PANi/SiO₂ memiliki gugus fungsi gugus Si-O-Si sebagai pertanda bahwa partikel nano SiO₂ telah masuk ke dalam jaring polimer PANi dengan baik. Hasil uji potensiodinamik, menunjukkan bahwa pada komposisi SiO₂ 5% memiliki laju korosi yang terkecil baik pada kondisi tanpa-ekspose maupun kondisi ekspose. Dengan demikian pada komposisi 5% SiO₂ menunjukkan performa anti-korosi yang lebih baik, (Munasir, Umah, Syahra, 2016)

Epoxy adalah suatu kopolimer, terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda. Ini disebut sebagai "resin" dan "pengeras". Resin ini terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek dengan kelompok epoksida di kedua ujung. Resin epoksi dihasilkan dari polimerisasi adisi pada pemanasan dengan adanya katalis amino (Surdia, T. & Saito, S., 1999).

Epoxy resin Paling umum yang dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrin dan bisphenol-A, meskipun yang terakhir mungkin akan digantikan dengan bahan kimia yang serupa. Pengeras terdiri dari monomer polyamine, misalnya: Triethylenetetramine (Teta), ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok epoksida. Sehingga, polimer yang dihasilkan sangat silang dan dengan demikian kaku dan kuat. Proses polimerisasi disebut "curing", dan dapat dikontrol melalui suhu, pilihan senyawa resin dan pengeras, dan rasio kata senyawanya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian pada Temperatur 65°C

Hasil pengujian temperatur 65°C dengan waktu 24 jam



Gambar 11. Hasil pengujian temperatur 65°C

Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. hasil pengujian temperatur 65°C selama 24 jam

No	Hasil(mm)
1	1.54
2	1.21
3	1.30
4	1.48
5	1.28
6	1.41
7	1.40
8	1.42
Rata-rata	1.38

b. Hasil pengujian temperatur 65°C dengan waktu 48 jam

Tabel 2. hasil pengujian temperatur 65°C selama 48 jam

No	Hasil(mm)
1	1.61
2	1.82
3	1.53
4	1.64
5	1.56
6	1.50
7	1.55
8	2.02
Rata-rata	1.65

c. Hasil pengujian temperatur 65°C dengan waktu 72 jam

Tabel 3. hasil pengujian temperatur 65°C selama 72 jam

No	Hasil(mm)
1	1.72
2	1.87
3	1.55
4	1.65
5	1.58
6	1.57
7	1.54
8	2.07
Rata-rata	1.69

d. Hasil pengujian temperatur 65°C dengan waktu 96 jam

Tabel 4. hasil pengujian temperatur 65°C selama 96 jam

No	Hasil(mm)
1	1.77
2	1.80
3	1.60
4	1.67

5	1.63
6	1.65
7	1.60
8	2.09
Rata-rata	1.72

e. Hasil pengujian temperatur 65°C dengan waktu 120 jam

Tabel 5. hasil pengujian temperatur 65°C selama 120 jam

No	Hasil(mm)
1	1.90
2	1.97
3	1.66
4	1.63
5	1.80
6	1.68
7	1.43
8	2.08
Rata-rata	1.76

Dari tabel-tabel hasil pengujian diatas dapat diperoleh sebuah hasil akhir yang tercantum dalam tabel 6 berikut:

Tabel 6 Tabel Hasil Pengujian Pada Temperatur 65 °C

No	Sample uji	Temperatur	Waktu	Hasil
1	Sample uji 1	65 °C	24 jam	1.38
2	Sample uji 2	65 °C	48 jam	1.65
3	Sample uji 3	65 °C	72 jam	1.69
4	Sample uji 4	65 °C	96 jam	1.72
5	Sample uji 5	65 °C	120 jam	1.76

Pengujian pada temperatur 80°C

a. Hasil pengujian temperatur 80°C dengan waktu 24 jam



Gambar 12. Hasil pengujian temperatur 80°C

a. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil pengujian temperatur 80°C selama 24 jam

No	Hasil(mm)
1	1.60
2	2.05
3	2.20
4	1.77
5	1.01
6	0.88
7	0.93
8	1.37
Rata-rata	1.48

b. Hasil pengujian temperatur 80°C dengan waktu 48 jam

Tabel 8. hasil pengujian temperatur 80°C selama 48 jam

No	Hasil(mm)
1	1.79
2	2.10
3	1.55
4	2.28
5	1.73
6	1.83
7	1.33
8	1.18
Rata-rata	1.72

c. Hasil pengujian temperatur 80°C dengan waktu 72 jam

Tabel 9. hasil pengujian temperatur 80°C selama 72 jam

No	Hasil(mm)
1	1.81
2	2.22
3	1.61
4	2.32
5	1.28
6	1.98
7	1.47
8	1.19
Rata-rata	1.73

d. Hasil pengujian temperatur 80°C dengan waktu 96 jam

Tabel 10. hasil pengujian temperatur 80°C selama 96 jam

No	Hasil(mm)
1	1.83
2	2.61
3	2.37
4	2.02

5	1.51
6	1.63
7	1.27
8	1.25
Rata-rata	1.78

e. Hasil pengujian temperatur 80°C dengan waktu 120 jam

Tabel 11. hasil pengujian temperatur 80°C selama 120 jam

No	Hasil(mm)
1	1.84
2	1.66
	2.05
4	2.43
5	1.67
6	1.66
7	1.31
8	1.48
Rata-rata	1.88

Dari tabel-tabel hasil pengujian diatas dapat diperoleh sebuah hasil akhir yang tercantum dalam tabel 12 berikut:

Tabel 12. Tabel Hasil Pengujian Pada Temperatur 80 °C

No	Sample uji	Temperatur	Waktu	Hasil
1	Sample uji 1	80 °C	24 jam	1.48
2	Sample uji 2	80 °C	48 jam	1.72
3	Sample uji 3	80 °C	72 jam	1.73
4	Sample uji 4	80 °C	96 jam	1.78
5	Sample uji 5	80 °C	120 jam	1.88

5. KESIMPULAN

1. *Cathodic Disbondment* adalah hilangnya daya rekat (*adhesi*) antara pelapisan katodik dengan lapisan logam yang mendasarinya sebagai hasil dari reaksi pengurangan katodik (reaksi korosi) yang berlangsung diantara lapisan perantara (*interface coating*).
2. Waktu pengujian juga mempengaruhi laju korosi yang terjadi dan panas plat baja juga mempengaruhi, semakin lama diuji semakin jauh laju korosi
3. Mengetahui materi-materi tentang *cathodic disbondment* yang ada di dunia industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (1997). Corrosion Technology Fundamentals, Corrosion Management & Advisory Service
- Gapsari, F (2017), Pengantar Korosi, Malang, UB Press
- Putri. A.M. Rochani I, Supomo H, (2012) Studi Laju Korosi dan Surface Morfologi Pipa Bawah Laut API 5L Grade X65 dengan Variasi Sudut Bending Teknik ITS Vol. 1, (Sept, 2012) ISSN: 2301-9271 G-198-202
- Utomo, B. (2009) Jenis Korosi dan Penanggulangannya. KAPAL, Vol. 6, No.2
- Sunandrio, H. Sari, L. N. (2011), Serangan Korosi Sumuran Pada Pipa Distribusi (Pitting Corrosion) Roll Bearing.
- Wibowo, A (2016), Analisis Sifat Korosi Galvanik Berbagai Plat Logam Di Laboratorium Metalurgi Politeknik Negeri Batam Integrasi Vol. 8, No. 2, 144-147 p-ISSN: 2085-3858
- Riyanta, B. Al Aththara, M (2011) Analisis Korosi pada Sambungan Double Nipple Pompa Submersible di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Ilmiah Semesta Teknika Vol. 14, No. 1, 64-71
- Smallman, R. E. Bishop, R. J. (2000) Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material, Jakarta, Erlangga
- Ispandriatno, A. S. & Krisnaputra, R. (2015) Ketahanan Korosi Baja Ringan di Lingkungan Air Laut. Material Teknologi Proses (ISSN: 2477 - 2135), Volume 1, Nomor 1.
- Karidkar, S. and R. Mali, 2016, Optimization of Powder Spray Process Parameters using Taguchi Methodology, Advances in Intelligent Systems Research, Vol. 137, pp. 71-76
- Munasir, Umah, Syahra, (2016) Uji Potensiodinamik Material Pelapis Antikorosi: acrylic paint-pani/sio2, jpse, vol.1, no.1
- Surdia, T. & Saito, S. (1999) Pengetahuan Bahan Teknik, cetakan Keempat, Jakarta, Pradnya Paramita.