

KOROSI LOGAM DAN PENGENDALIANNYA; ARTIKEL REVIEW

A z w a r

Email : azwaryunus@pnl.ac.id

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

Korosi adalah proses pengrusakan logam akibat reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Proses korosi terjadi secara alamiah yaitu logam kembali bersenyawa dengan oksigen sebagaimana bahan baku (ores) pada proses ekstraksi metalurgi pembuatan logam yang juga bersenyawa dengan oksigen. Sehingga korosi adalah kebalikan dari proses ekstraksi metallurgy dimana sejumlah energy yang dibutuhkan untuk proses pembuatan logam kembali dilepaskan pada proses korosi. Proses terjadinya korosi pada suatu logam membentuk suatu sel elektrokimia yang terdiri dari: anoda, katoda, larutan elektrolit dan hubungan listrik antara anoda dan katoda. Maka menghilangkan salah satu dari ke -4 unsur tersebut akan dapat menghentikan proses korosi. Ini menjadi prinsip dasar dalam pengendalian proses pengkorosian logam, yaitu mengusahakan untuk mengontrol pertukaran ion antara logam (anoda) dengan lingkungannya (katoda) dalam suatu media yang dapat menghantarkan arus listrik (elektrolit). Ada beberapa macam tatacara pengendalian korosi yaitu pemilihan bahan yang tepat, perancangan instalasi yang benar, pelapisan atau rekayasa permukaan, proteksi katodik dan pengondisian lingkungan. Maka kemampuan seorang perancang dalam memahami proses terjadinya korosi akan menentukan jenis pengendalian korosi yang sesuai; oleh karena prinsip terjadinya korosi dipicu oleh hal yang hampir sama, sehingga ke 5 jenis metode pengendalian korosi tersebut sering digunakan secara parallel satu dengan lainnya untuk efisiensi biaya.

Kata kunci : Reaksi elektrokimia, Ekstraksi Metalurgi, Sel Elektrokimia , Pengendalian Korosi.

PENDAHULUAN

Korosi muncul pada beberapa bidang kehidupan manusia terutama yang menyangkut dengan bahan-bahan dari jenis logam sehingga mayoritas manusia mengenalnya sebagai pengkaratan atau pengeroposan yang berdampak negative dan perlu untuk dihindari. Oleh karena besarnya dampak yang ditimbulkan oleh korosi dalam kehidupan, sehingga manusia melakukan berbagai upaya teknis untuk melawan atau meminimalkan proses yang terjadi secara alamiah ini. Beberapa perusahaan besar menyediakan biaya yang sangat besar untuk mengantisipasi masalah korosi pada produknya, semisal perusahaan yang bergerak dalam bidang otomotif dengan penggunaan logam yang dominan, demikian halnya dengan perusahaan yang bergerak dalam bidang industri pesawat terbang, pusat pembangkit tenaga listrik, industri kimia, serta bangunan berstruktur beton dan rangka baja. Maka dari tahapan perencanaan, pengoperasian dan pemeliharannya harus disupervisi oleh ahli korosi yang bertanggungjawab untuk meminimalisir biaya dan resiko yang mungkin ditimbulkan oleh korosi [1,2].

Korosi adalah suatu kerusakan (destructive) yang dihasilkan oleh reaksi elektrokimia antara

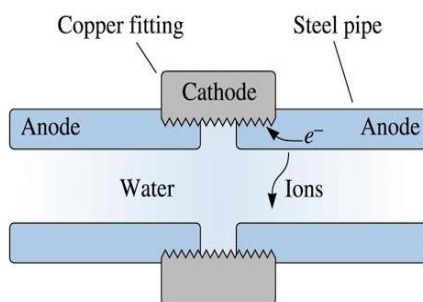
logam atau paduan logam dengan lingkungannya. Pada proses pembuatannya, logam di ekstrak dari bijih logam (ore), dimana bijih logam tersebut yang diperoleh dari hasil penambangan masih bersenyawa dengan unsur lain terutama oksigen. Untuk memperoleh logam, oksigen harus dipisahkan (diekstrak) melalui proses ekstraksi metallurgy membutuhkan energy yang besar [1,3].

Proses korosi pada logam merupakan kebalikan dari proses ekstraksi metallurgy pembuatan logam. Sejumlah energy yang dibutuhkan pada proses pembuatan logam dilepas kembali untuk menghasilkan korosi dimana logam kembali bersenyawa dengan oksigen. Sehingga proses korosi bisa dikatakan sebagai suatu proses pengembalian logam ke bentuk alamiahnya yaitu bersenyawa dengan oksigen [2,4].

Material non logam semisal keramik memiliki ikatan antar atom yang sangat stabil dalam bentuk ikatan ionik dimana tidak terdapat elektron bebas sebagaimana pada bahan logam sehingga tidak bersifat reaktif secara kimia dan elektrokimia dalam menghasilkan korosi. Demikian halnya dengan polimer (plastik) juga tidak akan mengalami korosi karena ikatan kovalen antara atom-atom karbon penyusunnya sangat stabil. Namun seiring dengan waktu

keramik dan polimer juga akan mengalami penurunan kualitas [3,4].

Korosi pada logam secara umum akan terjadi bila atom-atom penyusun logam kehilangan elektronnya menjadi ion-ion yang larut ke dalam larutan sehingga logam secara gradual terkonsumsi oleh proses ini membentuk karatan; disebut dengan proses elektrokimia korosi seperti ditunjukkan pada gambar 1. Pipa air terbuat dari baja bertindak sebagai anoda akan melepaskan elektronnya menuju pengepas (fitting) tembaga sebagai katoda yang akan mengkonsumsi elektron tersebut yang keduanya terhubung untuk menghasilkan hubungan listrik. Pipa baja (anoda) akan terkorosi karena ion-ion nya akan terlarut dalam larutan sedangkan fitting tembaga akan terlindungi (katoda). Ini membuktikan bahwa korosi melibatkan reaksi elektrokimia, yaitu antara bahan yang mengalami korosi terjadi perpindahan elektron. Karena elektron adalah bermuatan negatif, maka perpindahannya menimbulkan arus listrik sehingga reaksi nya dipengaruhi oleh potensial listrik yang akan mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah yang dikenal dengan selisih energi bebas (ΔG) antara anoda dan katoda [2]. Demikian hal nya dengan potensial baja dan tembaga, dimana potensial baja lebih positif dari tembaga, akibat selisih energi bebas tersebut menyebabkan baja lebih reaktif dan terkorosi.



Gambar 1. Penampang pipa baja yang disambungkan dengan fitting tembaga [2].

Laju korosi didefinisikan sebagai jumlah logam yang hilang atau dilepaskan dari wilayah anoda atau jumlah logam yang mengendap (plating) pada wilayah katoda. Laju korosi dapat ditentukan berdasarkan persamaan Faraday dibawah ini [1]:

$$w = \frac{I t M}{n F}; \text{ atau } w = \frac{i A t M}{n F}$$

dimana :

w = berat logam korosi (corroded) atau mengendap (plating); (gr)

I = arus (ampere)

M = berat atom logam

n = valensi ion logam

t = waktu (detik)

F = konstanta faraday (96500 C)

i = Kerapatan arus : I/A

A = Luas penampang anoda/katoda

PEMBAHASAN

Konsep dasar pengendalian korosi

Jika suatu logam diexpose di alam terbuka maka akan terjadi interaksi dengan lingkungan yang melibatkan pertukaran ion antara permukaan logam dengan lingkungannya tersebut. Karakteristik pertukaran ion dipacu oleh perbedaan potensial antara logam dan lingkungannya yang menyebabkan terjadi korosi pada logam tersebut. Namun produk korosi berupa karatan yang sifatnya rapat (*dense*) akan memberikan dampak positif bagi logam karena dapat memutuskan pertukaran ion sehingga korosi lanjutan akan berkurang [1,5].

Jadi konsep yang sangat mendasarkan dalam melindungi logam dari korosi adalah mengupayakan agar tidak terjadinya pertukaran ion antara logam dengan lingkungannya. Walaupun tidak bisa memutuskan sama sekali pertukaran ion tersebut, maka diupayakan agar pertukaran ion berlangsung dengan laju yang lambat. Berdasarkan kriteria ini maka muncullah istilah “pengendalian korosi” yang sesungguhnya mengandung pengertian bahwa pertukaran ion yang terjadi dikendalikan agar tidak berlangsung secara cepat. Pertukaran ion dengan lingkungannya berdasarkan teori korosi tersebut dikenal dengan arus korosi. Sehingga besar kecilnya arus korosi sangat menentukan besar kecilnya laju korosi pada suatu logam [6].

Metode pengendalian korosi pada logam

Upaya pengendalian korosi yang lazim diterapkan dalam rangka perlindungan

terhadap logam yang digunakan adalah sebagai berikut [1,7]:

1. Pemilihan bahan yang tepat
2. Perancangan kontruksi yang memadai
3. Penerapan pelapisan logam
4. Penerapan sistem proteksi katodik dan anodik
5. Pengondisian lingkungan

Beberapa jenis praktek perlindungan yang telah disebutkan diatas jarang bisa berdiri sendiri mengingan aspek biaya yang terlalu besar sehingga tidak ekonomis. Upaya pengendalian korosi tersebut akan diuraikan dengan detail dibawah ini :

1. Pemilihan bahan yang sesuai

Pemilihan bahan yang tidak sesuai dengan lingkungan tempat bahan tersebut dipalikasikan akan dapat menyebabkan kegagalan dini, berikut aspek keselamatan dan pembiayaan. Pemilihan bahan yang tepat yang dimaksudkan disini adalah memilih bahan logam/paduannya sedemikian sehingga pertukaran ion antara logam/paduan tersebut dengan lingkungannya tidak berlangsung dengan cepat; atau dengan kata lain adalah memilih logam/paduannya yang perbedaan potensial dengan lingkungannya sekecil mungkin. Dalam prakteknya, jika lingkungannya terlalu agresif (korosif) maka perancang lazim memilih logam atau paduannya yang memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dari baja. Karakteristik pemilihannya didasari pada aspek apakah logam tersebut imun terhadap lingkungannya tersebut atau apakah logam tersebut dapat membentuk suatu lapisan tipis yang memiliki sifat protektif dan memiliki sifat recovery yang memadai bila lapisan tersebut rusak [1,4].

Namun perlu disadari bahwa dalam prakteknya, suatu sistem peralatan (technical system) jarang sekali terbuat (tersusun) dari satu jenis bahan logam saja sehingga karakteristik pengendalian korosi/pertukaran ion menjadi tidak sederhana yang dipikirkan. Dalam hal seperti ini, jika perlu ada yang ‘dikorbankan’ maka para desainer akan memilih komponen yang bentuknya tidak rumit dan letaknya yang memudahkan pada saat penggantian komponen (accessibility). Sehingga para perancang harus memahami karakteristik suatu bahan logam dalam lingkungan tertentu [2].

Saat ini banyak bahan yang terbuat dari plastik, elastomer, komposit dan keramik. Material-material tersebut memiliki resistansi terhadap korosi juga dapat digunakan untuk mencegah korosi pada logam. Misalnya digunakan baik sebagai bahan pelapis baik sebagai pelapis permukaan luar (coating) maupun sebagai pelapis permukaan dalam (lining) untuk melindungi logam dari korosi. Dengan demikian dalam rangka perlindungan bahan yang optimal, penguasaan yang cukup memadai terhadap material-material non logam juga mutlak diperlukan oleh suatu team perancangan dalam bidang korosi [7].

2. Perancangan kontruksi

Upaya melindungi logam dari korosi tidak hanya memadai dengan pemilihan material yang tepat tapi juga sangat tergantung pada pengetahuan dalam merancang bentuk atau tipe kontruksi. Dari berbagai literature dan pengalaman yang ada, terdapat banyak contoh-contoh kontruksi yang memadai ditinjau dari segi ketahanannya terhadap korosi dengan tidak mengabaikan faktor keamanan, keindahan dan efisiensi dalam rangka pemeliharaan dan perawatannya [3].

Sebaliknya ada juga rancangan kontruksi yang kurang baik terhadap korosi yaitu yang memungkinkan terperangkapnya air, debu dan pengotor lainnya sehingga dapat menginisiasi korosi yang berujung pada kegagalan rancangan secara dini. Beberapa contoh dari rancangan kontruksi yang kurang baik misalnya terbentuknya lingkungan yang tidak kompetible seperti bersentuhan antara bahan aluminium dengan bahan beton, maka dikarenakan alkalinitas bahan beton dapat menyerang aluminium sehingga dapat menyebabkan terjadinya korosi pada aluminium, demikian juga dengan permukaan yang kasar dan tajam, serta desain suatu komponen yang sulit dijangkau. Untuk pegangan didalam merancang kontruksi atau bentuk-bentuk komponen yang sesuai dengan pencegahan korosi, biasanya para perancang akan merujuk kepada standart-standart perancangan yang ada seperti dipublikasikan oleh ISO, NACE, ASME [2].

Dalam lingkungan yang mengalir, misalnya pada installasi pipa, besar kemungkinan

terjadinya erosi korosi. Untuk itu biasanya perancang akan mengupayakan agar aliran fluida didalam pipa tidak menimbulkan aliran turbulen yang perancangannya mengacu pada standart yang telah ditentukan.

3. Penerapan pelapisan

Perlindungan terhadap logam dengan cara menerapkan pelapisan pada hakikatnya adalah melindungi logam dari lingkungan sekelilingnya sehingga petukaran ion antara permukaan logam dengan sekelilingnya dapat dikendalikan. Berdasarkan hal ini maka karakteristik perlindungan korosi dengan menerapkan pelapis dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu [1,7].

1. Menerapkan hambatan (barrier) untuk memisahkan logam dari lingkungan sekelilingnya.
2. Menggunakan inhibitor pada permukaan logam untuk mengendalikan reaksi anodik.
3. Melengkapi permukaan dengan pelapis yang memiliki sifat proteksi katodik melalui pengubahan daerah anoda menjadi daerah katoda.

Namun apabila ditinjau dari jenis material yang digunakan sebagai bahan pelapis, maka proses pelapisan dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu :

1. Proses pelapisan logam (metallic coating)
2. Proses pelapisan konversi (conversion coating)
3. Proses pelapisan non-logam (non-metallic coating)

Menerapkan hambatan pada permukaan logam pada hakekatnya adalah memisahkan secara listrik permukaan logam dengan lingkungannya (barrier protection). Pelapisan yang diterapkan harus memadai ketebalannya dan bebas dari cacat atau discontinuity lainnya. Pelapisan yang termasuk kedalam katagori ini adalah cat, tar, plastic, dan sejenis gemuk [5].

Sedangkan pelapisan yang mampu mengontrol reaksi anodic pada permukaan logam yang dilindunginya adalah bahan-bahan yang mengandung pigmen yang mengendalikan melalui pembentukan coating-inhibitive chemicals (inhibitor). Bahan kimia ini berasal dari pigmen yang sedikit larut dalam air. Contohnya adalah *red-lead* yang sejak lama

digunakan sebagai additive pada bahan pelapis berbasis pelumas (*oil-base coating*). Reaksi antara red-lead dengan pelumas menghasilkan larutan inhibitor yang sangat efektif dalam menanggulangi proses korosi. Selain red-lead, digunakan juga bahan inhibitor dari jenis chromat. Namun dewasa ini penggunaan keduanya sudah mulai dibatasi menyangkut dengan masalah kesehatan dan lingkungan [7].

Upaya lain untuk melindungi permukaan logam adalah dengan menerapkan bahan pelapis yang memiliki sifat proteksi katodik. Bahan pelapis yang digunakan misalnya mengandung partikel-partikel seng yang halus yang diaplikasikan ke permukaan baja. Partikel-partikel ini akan bersifat sebagai anoda yang mampu mengkonversikan daerah anoda pada permukaan baja menjadi daerah katoda. Supaya proses konversi ini berlangsung efektif, maka penambahan serbuk seng harus banyak sehingga partikel-partikel tersebut bersentuhan secara listrik baik sesama partikel atau dengan permukaan baja [5].

Namun mengingat lapisan seperti ini relative kurang padat (porous); maka karakteristik perlindungannya adalah proteksi galvanic. Jadi pada saat seng teroksidasi, maka produk oksidasinya akan mengisi ruang-ruang yang porous tersebut dan membentuk penghalang (barrier). Apabila barrier semacam ini terkelupas atau tergores, maka produk oksidasi yang terbentuk harus mampu menutupi kembali permukaan yang terbuka tersebut.

Proses pelapisan logam adalah melapisi sebagian atau seluruh permukaan logam yang digunakan dengan logam lain. Jenis-jenis proses pelapisan yang lazim digunakan adalah : metode penyemprotan (thermal spraying), pengelasan (welding) atau pelapisan yang menerapkan teknik vapour deposition seperti physical vapour deposition (PVD), chemical vapour deposition (CVD) [5].

Sedangkan proses pelapisan konversi adalah proses pelapisan dimana produk hasil proses pelapisannya berupa oksida logam dari logam yang dilapisinya atau oksida logam lainnya. Jenis proses pelapisan konversi adalah antara lain : anodizing, chromating dan phosphatizing atau blackening. Sedangkan pelapisan dengan

bahan-bahan non-logam antara lain adalah proses pelapisan dengan cat, lak, karet, elastomer dan enamel [5].

Mengingat bahwa proses pelapisan pada hakikatnya adalah melapiskan suatu material lain ke atas permukaan material lainnya, maka tingkat keberhasilan dari suatu proses pelapisan sangat tergantung pada kondisi permukaan yang akan dilapisi. Salah satu persyaratan dari permukaan yang akan dilapisi adalah harus bebas dari debu, pelumas, lemak, terak, produk korosi (karatan), sisa logam pelapis, dan cacat permukaan. Tahapan mengkondisikan permukaan yang akan dilapisi lazim disebut dengan tahapan penyiapan permukaan (surface preparation). Penyiapan permukaan biasanya terdiri dari tahapan pembersihan dan kadang-kadang dilanjutkan dengan tahapan pengkasaran permukaan (roughning) [7].

Untuk membersihkan permukaan logam dari pengotor-pengotor seperti debu, terak, dsb, dilakukan dengan cara-cara seperti :

1. Cara mekanik
2. Menggunakan larutan organik (solvent cleaning)
3. Menggunakan larutan alkali

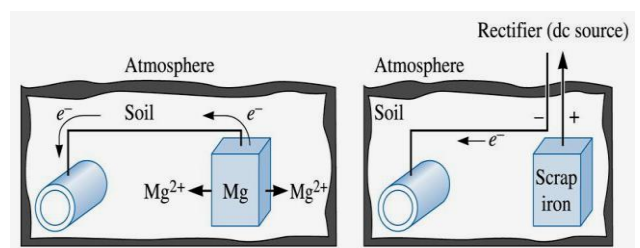
Disamping itu, dikenal pula cara pembersihan permukaan yang lain seperti salt bath descaling, ultrasonic cleaning dan plasma cleaning. Metode membersihkan permukaan yang mana yang paling cocok sangat tergantung dari jenis pengotor; contohnya terak yang terdapat pada permukaan mudah sekali dibersihkan dengan cara mekanik menggunakan sikat kawat, sedangkan jika pengotornya adalah pelumas atau lemak maka sebaiknya dibersihkan dengan larutan pembersih (solvent cleaning). Setelah proses pembersihan kadang-kadang dilanjutkan dengan proses pengkasaran permukaan terutama sekali apabila proses pelapisan yang akan diterapkan adalah pelapisan mekanik. Adapun cara pengkasaran permukaan antara lain : blasting, buffing, chemical etching atau electroetching [6,7].

4. Penerapan Proteksi Katodik dan Anodik

Proteksi katodik adalah sistem perlindungan permukaan logam dengan cara mengalirkan arus searah yang memadai ke permukaan logam untuk mengkonversikan semua daerah anoda di

permukaan logam menjadi daerah katodik. Sistem ini hanya efektif untuk sistem-sistem yang terbenam dalam air atau didalam tanah. Sistem perlindungan seperti ini telah berhasil mengendalikan proses korosi untuk kapal-kapal laut, struktur pinggir pantai, instalasi pipa dan tangki bawah tanah atau laut. Cara pemberian arus searah dalam system proteksi katodik ada dua cara seperti ditunjukkan pada gambar 2 yaitu [4,7]:

- a. Menerapkan anoda korban (sacrificial anode)
- b. Menerapkan arus tanding (impressed current)



Gambar. Sistem proteksi katodik [4].

Pada system proteksi katodik dengan anoda korban seperti pada instalasi lepas pantai tidak memerlukan supply daya. Paduan yang dijadikan anoda korban akan membangkitkan arus yang diperlukan sebagai akibat adanya perbedaan potensial dengan struktur yang dilindunginya. Adanya pembangkitan arus dari anoda korban mengakibatkan umur anoda korban terbatas. Maka jenis logam yang lazim digunakan sebagai anoda korban antara lain : magnesium, seng atau aluminium pada berbagai derajat kemurnian atau paduan/campuran lain dengan komposisi khusus [7].

Sistem proteksi katodik arus tanding adalah memanfaatkan arus searah yang disupply dari suatu sumber daya dimana kutup positif dari sumber daya dihubungkan dengan anoda sedangkan kutup negatifnya dihubungkan dengan sistem yang akan diproteksi. Anoda yang digunakan umumnya memiliki umur yang lebih panjang seperti misalnya besi cor berkadar silikon tinggi, grafit atau aluminium. Disamping itu kadang-kadang juga digunakan besi skrap, paduan timah hitam, platina atau paduan platina dengan palladium. Sedangkan sumber daya yang digunakan tergantung pada mudah tidaknya jaringan listrik yang diperoleh.

Untuk mengkonversikan arus AC menjadi DC digunakan rectifier. Jika tidak memungkinkan maka dapat digunakan baterai atau sel surya sebagai sumber penyuplai arus searah [3,7].

Jika penggunaan sistem proteksi katodik tersebut dikombinasikan dengan penggunaan pelapis, maka harus memperhatikan hal berikut ini :

1. Selama proses proteksi katodik berjalan (meskipun beroperasi dengan karakteristik sempurna) pada sisi katoda senantiasa akan timbul ion-ion hidroksida (alkalinitas), oleh karena itu bahan pelapis harus tahan terhadap alkalinitas.
2. Gas hidrogen yang dihasilkan dari sistem proteksi katodik yang tidak sempurna bahkan dapat menegelupas lapisan pelindung.

Sedangkan pada perlindungan secara anodik (proteksi anodik), tegangan sistem yang dilindungi dinaikkan sehingga memasuki daerah anodiknya. Pada kondisi ini sistem terlindungi karena terbentuknya lapisan pasif. Syarat yang harus dipenuhi agar sistem ini berjalan dengan baik adalah karakteristik lingkungannya harus stabil. Pada jenis lingkungan yang tidak stabil (berfluktuatif) penerapan sistem proteksi anodik tidak dianjurkan [4,7].

5. Pengkondisian Lingkungan

Mengubah lingkungan dapat membantu mengendalikan korosi dan meningkatkan efektifitas pengendalian korosi. Dehumidifikasi dan purifikasi atmosfer merupakan dua contoh yang paling umum dilakukan. Fasilitas penyejuk udara yang dapat mengatur humiditas atmosfer menjadi relatif rendah dapat membantu menurunkan kerusakan logam. Disamping itu, dengan humiditas yang rendah, fasilitas elektronik yang terpajang ke lingkungan dapat diturunkan laju pengrusakannya oleh korosi [1,7].

Pengkondisian lingkungan dapat juga diperoleh melalui penambahan zat inhibitor yaitu suatu zat kimia yang ditambahkan ke lingkungan baik secara selang seling maupun secara kontinyu sehingga mampu menurunkan atau bahkan mencegah terjadinya reaksi korosi. Penurunan

laju korosi dengan inhibitor dapat diakibatkan oleh terbentuknya lapisan pasif atau dengan cara menghilangkan zat-zat yang agresif dari lingkungan [1].

KESIMPULAN

1. Korosi merupakan proses alamiah yaitu pengrusakan logam akibat terjadinya pertukaran ion dengan lingkungannya yang dikenal dengan arus korosi. Maka laju korosi ditentukan oleh besar kecilnya arus korosi tersebut.
2. Konsep dasar pengendalian korosi pada logam adalah mengupayakan agar tidak terjadinya pertukaran ion antara logam dengan lingkungannya atau mengendalikan laju pertukaran ion tersebut.
3. Metode perlindungan korosi yang dipilih didasari pada beberapa hal : perlindungan yang efektif, praktis, dan ekonomis; serta keluasan pengetahuan dan pengalaman si perancang dalam menganalisa system teknik dari suatu peralatan, karakteristik operasi dan interaksi dengan lingkungannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. A.A. El-Meligi, Corrosion Preventive Strategies as a Crucial Need for Decreasing Environmental Pollution and Saving Economics, National Research Centre, Physical Chemistry Dept, Dokki, Cairo, Egypt, 2010
2. Denny A Jones, Principle and prevention of corrosion, Mc Graw Hill, New York, 1995.
3. KR. Trethewey, J. Chamberlain, KOROSI untuk Mahasiswa dan Rekayasawan, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.
4. William D. Callister, Jr., Materials Science and Engineering: An Introduction, John Wiley & Sons, Inc., USA, 2007
5. Catherine M. Cotell, James A. Sprague, et. Al, ASM Hand book Surface Engineering, ASM International, 1994.
6. Azwar, Modul ajar Korosi Logam, Jurusan Teknik Mesin politeknik Negeri Lhokseumawe, Lhokseumawe 2010
7. V. Ashworth, 2010, Principles of Cathodic Protection, the Third Edition article 10.1 volume 2, pp 10:3–10:28, Elsevier B.V