Digital Repository Universitas Jember

PENGARUH KADAR GARAM TERHADAP LAJU KOROSI PADA BAJA KARBON RENDAH SWRM 12/1012 *WIRE MESH* PT. ISPAT INDO

SKRIPSI

Oleh
Naufal Firas
NIM 111910101036

PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015

Digital Repository Universitas Jember

PENGARUH KADAR GARAM TERHADAP LAJU KOROSI PADA BAJA KARBON RENDAH SWRM 12/1012 *WIRE MESH* PT. ISPAT INDO

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh
Naufal Firas
NIM 111910101036

PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015

Digital Repository Universitas Jember

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayah dan Ibu tercinta yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang, dan pengorbanan yang tidak kenal lelah hingga saat ini serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan hati;
2. Kakakku Faisal Reza dan M. Amar Falachi yang selalu memberi semangat lewat senyum mereka;
3. Sahabat dan teman masa kecilku di Desa Gajah RT 12 RW 04 Kelurahan Magersari, Sidoarjo;
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Bapak Dr. R. Koekoeh K.W.,S.T.,M.Eng. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T selaku Dosen Penguji anggota yang telah banyak sekali saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini;
5. Saudaraku TM 11 UJ yang senantiasa memberikan motivasi dan semangat selama perkuliahan hingga saat ini dan semoga akan selalu menjadi "DULUR SAK LAWASE". Semoga kalian semua mendapatkan yang terbaik dan barokah-NYA. Salam "Solidarity Forever TM'11".
6. Mas Yopi selaku pengawas line RML PT. Ispat Indo yang memberikan kesempatan untuk menimba ilmu mengenai baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh.*
7. Serta civitas akademik baik dilingkungan UNEJ maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait.

Digital Repository Universitas Jember

MOTTO

In ahsantum ahsantum li-anfusikum, wa ina as'tum falaha.
"Jika kamu berbuat baik (berarti) kamu berbuat baik bagi dirimu sendiri, dan jika kamu berbuat jahat, maka kejahatan itu untuk dirimu sendiri."
(terjemahan Surat Al-Isra' ayat 7)[*)]

"Dan kami perintahkan kepada manusia (agar berbuat baik) kepada kedua ibu bapaknya, ibunya yang telah mengandungnya dalam keadaan lemah yang semakin lemah, dan menyusukannya selama dua tahun. Bersyukurlah kepadaKu dan kepada dua orang ibu bapakmu, hanya kepada-Ku-lah kembalimu."
(terjemahan Surat Luqman ayat 14)[*)]

"Keberhasilan ditentukan oleh 99% perbuatan dan hanya 1% pemikiran."
(Albert Einstein)[**)]

[*)] Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al-Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo
[**)] Albert Einstein. 2014. *TEDGlobal 2012*. Inggris: *Theguardian Winner Of The Pulitzer Price* 2014.

Digital Repository Universitas Jember

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Naufal Firas

NIM : 111910101036

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "PENGARUH KADAR GARAM TERHADAP LAJU KOROSI PADA BAJA KARBON RENDAH SWRM 12/1012 *WIRE MESH* PT. ISPAT INDO" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Agustus 2015

Yang menyatakan,

(Naufal Firas)

NIM 111910101036

Digital Repository Universitas Jember

SKRIPSI

PENGARUH KADAR GARAM TERHADAP LAJU KOROSI PADA BAJA KARBON RENDAH SWRM 12/1012 *WIRE MESH* PT. ISPAT INDO

Oleh

Naufal Firas
NIM 111910101036

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Sumarji ,S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Hary Sutjahjono S.T., M.T.

Digital Repository Universitas Jember

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Pengaruh Kadar Garam Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah SWRM 12/1012 *Wire Mesh* PT. Ispat Indo" telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : , 2015

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,	Sekretaris,
Sumarji ,S.T., M.T. NIP 19680202 199702 1 001	Hary Sutjahjono S.T., M.T. NIP 19681205 199702 1 002
Anggota I,	Anggota II,
Dr. R. Koekoeh K.W.,S.T.,M.Eng NIP 19670708 199412 1 001	Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. NIP 19600812 199802 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP. 19610414 198902 1 001

Digital Repository Universitas Jember

RINGKASAN

Pengaruh Kadar Garam Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah SWRM 12/1012 *Wire Mesh* PT. Ispat Indo ; Naufal Firas, 111910101036; 2015; 132 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Wire mesh adalah logam baja karbon rendah yang bentuknya seperti kawat dan dianyam menjadi lembaran. Oleh karena itu di Indonesia besi ini lebih populer dengan sebutan besi atau kawat anyam. Bentuk dari anyaman ini ada yang kotak-kotak ataupun jajar genjang. Jika diameternya disesuaikan dengan kebutuhan, logam baja ini bisa dipakai untuk penguat dak beton atau pelat lantai. Sedangkan pada pelat beton yang menggantung, sering diaplikasikan pada gedung atau saluran yang bersifat terbuka seperti irigasi dan saluran pembuangan air hujan.

Dalam penelitian ini, difokuskan tentang laju korosi pada baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh*. Variasi yang digunakan adalah kadar garam pada media air laut, air payau, air rawa yaitu 33 gram, 21 gram, 7 gram, dan waktu perendaman selama 6 hari, 12 hari, 18 hari, 24 hari, 30 hari.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Biomedik, Fakultas Farmasi, Universitas Jember untuk proses penimbangan spesimen dan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya untuk proses pengamatan mikro permukaan spesimen.

Dari hasil penelitian didapat nilai laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh* berbeda-beda tiap media, pada media air laut mempunyai rata-rata laju korosi sebesar 16,3316 mpy, pada media air payau sebesar 15,5447 mpy, dan pada media air rawa sebesar 15,4703 mpy.

Digital Repository Universitas Jember

SUMMARY

Effect Of Salinization Levels On The Rate Corrosion Of Low Carbon Steel SWRM 12/1204 Wire Mesh PT. ISPAT INDO*;* Naufal Firas, 111910101036; 132 *Pages; Mechanical Engineering Department of Engineering Faculty, University of Jember.*

Wire mesh is low carbon steel metal that looks like a wire and woven into sheets. In Indonesia this iron is more popularly known as metal or woven wire. This form of woven there are boxes, or a parallelogram. If the diameter is adapted to the needs, metal steel can be used for reinforcing concrete or slab. While the concrete slab hanging, often applied to buildings or channels that are open such as irrigation and rain water drains.

In this research , focused on the rate of corrosion in low carbon steel wire mesh SWRM 12/1012. Variation used is saline media sea water, brackish water, swamp water that is 33 grams, 21 grams, 7 grams, and the soaking time for 6 days, 12 days, 18 days, 24 days, 30 days.

This research was conducted in Biomedical Laboratory, Faculty of Pharmacy, University of Jember to process specimens weighing and Material Testing Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Universitas Brawijaya to process micro observation surface of the specimen.

The result is the value of the rate of corrosion of low carbon steel wire mesh 12/1012 SWRM different for each media, media sea water has an average corrosion rate of 16.3316 mpy, the media amounted to 15.5447 mpy brackish water, and the media swamp water of 15.4703 mpy.

Digital Repository Universitas Jember

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul "Pengaruh Kadar Garam Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah SWRM 12/1012 *Wire Mesh* PT. Ispat Indo". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dapat penulis rasakan setiap detik dalam hidup ini.
2. Ayah dan Ibu tercinta Soegiyanto dan Chamidah Dawood yang selalu mengajarkan pelajaran hidup yang tidak kenal lelah, kasih sayang, perhatian, materi, serta yang utama adalah doa yang selalu beliau haturkan setiap saat.
3. Kakakku Faisal Reza dan M. Amar Falachi yang selalu memberi semangat.
4. Sahabat dan teman masa kecilku Khoirul Wahyu, Arel, Lukman, Fikar, Ferdy, dan Feya di Desa Gajah RT 12 RW 04 Kelurahan Magersari, Sidoarjo;
5. Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
6. Bapak Dr. R. Koekoeh K.W.,S.T.,M.Eng. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. selaku Dosen Penguji anggota yang telah banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penulisan skripsi ini;
7. Bapak Dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
8. Saudaraku TM 11 UJ yang senantiasa memberikan motivasi dan semangat selama perkuliahan hingga saat ini dan semoga akan selalu menjadi "DULUR SAK

Digital Repository Universitas Jember

LAWASE". Semoga kalian semua mendapatkan yang terbaik dan barokah-NYA. Salam "Solidarity Forever TM'11".

9. Saudaraku Teknik UJ yang memberikan kebahagiaan, emosi, kesedihan, pengertian dan semagatnya untukku;
10. Mas Yopi selaku pengawas line RML PT. Ispat Indo yang memberikan kesempatan untuk menimba ilmu mengenai baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh.*
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat

Jember, Agustus 2015

Penulis

Digital Repository Universitas Jember

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
PERSEMBAHAN ii
MOTTO iii
PERNYATAAN iv
PEMBIMBING v
PENGESAHAN vi
RINGKASAN vii
PRAKATA ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR LAMPIRAN xix
BAB 1. PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian 3
1.4.1 Tujuan Penelitian 3
1.4.1 Manfaat Penelitian 3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Korosi 4
2.1.1 Korosi Berdasarkan Hukum Thermodinamika 8
2.1.2 Korosi Berdasarkan Reaksi Elektrokimia 11
2.1.3 Proses Korosi 12
2.1.4 Korosi Oksidadi dan Korosi Elektrokimia 13
2.1.5 Korosi Suhu Rendah dan Suhu Tinggi 18
2.1.6 *Wet Corrosion* dan *Dry Corrosion* 21
2.2 Laju Korosi 22
2.2.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi 23

Digital Repository Universitas Jember

2.3 Pengertian Anoda 34
2.4 Dasar Teori Proteksi Anodik dan Katodik 34
2.5 Metode Kehilangan Berat (*weight loss)* 37
2.6 Bentuk-Bentuk Korosi 39
2.6.1 *Uniform Attack* (Korosi Merata) 39
2.6.2 *Galvanic Corrosion* (Korosi Galvanik) 40
2.6.3 *Creavice Corrosion* (Korosi Celah) 41
2.6.4 *Pitting Corrosion* (Korosi Sumur) 44
2.6.5 *Intergranular Corrosion* (Korosi Batas Butir) 46
2.6.6 *Selective Leaching* 49
2.6.7 *Erosion Corrosion* (Korosi Erosi) 51
2.6.8 *Stress Corrosion* (Korosi Tegangan) 53
2.7 Korosi Atmosfer 54
2.7.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Korosi Atmosfer 56
2.8 Baja Karbon 57
2.8.1 Baja Karbon Rendah 58
2.8.2 Baja Karbon Sedang 58
2.8.3 Baja Karbon Tinggi 58
2.9 Struktur Mikro 58
2.9.1 Ferrite 60
2.9.2 Pearlite 61
2.9.3 Austenite 61
2.9.4 Cementite 62
2.9.5 Martensite 62
2.10 Mekanisme Penguatan Logam 63
2.10.1 Pengerasan Regangan 63
2.10.2 Larut Padat 63
2.10.3 Fasa Kedua 63
2.10.4 Presipitasi 64
2.10.5 Dispersi 64
2.10.6 Penguatan Besar Butir 65

Digital Repository Universitas Jember

2.11 Proses Termomekanik (TMCP) 65
2.11.1 Pemanasan Awal *(Reheating)* 66
2.11.2 Pengerolan 66
2.11.3 Pengerasan Regangan 67
2.12 *Recovery*, Rekristalisasi, dan Pertumbuhan Butir 69
2.12.1 *Recovery* 69
2.12.2 Rekristalisasi 69
2.12.3 Pertumbuhan Butir 70
2.13 Korosi pada Baja Karbon 70
2.14 Penelitian Sebelumnya 72
2.15 Hipotesis 73
BAB 3. METODE PENELITIAN 74
3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian 74
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian 74
3.3 Populasi dan Sampel 74
3.4 Identifikasi Variabel Penelitian 75
3.5 Alat dan Bahan Penelitian 75
3.5.1 Alat 75
3.5.2 Bahan 76
3.6 Prosedur Penelitian 77
3.7 Diagram Alur Penelitian 86
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN 88
4.1 Data dan Hasil Penelitian 88
4.1.1 Hasil Penelitian Kadar Garam 88
4.1.2 Hasil Pengujian *Weight Loss* 88
4.2 Data Hasil Uji Statistik 91
4.3 Analisis Laju Korosi 93
4.3.1 Analisis Laju Korosi Pada Media Air Laut 93
4.3.2 Analisis Laju Korosi Pada Media Air Payau 94
4.3.3 Analisis Laju Korosi Pada Media Air Rawa 96
4.3.4 Analisis Laju Korosi Variasi Kadar Garam pada Air Laut,

Digital Repository Universitas Jember

Air payau, dan Air Rawa. 98
4.4 Analisis Struktur Makro 99
4.5 Analisis Struktur Mikro 105
4.6 Analisis Jenis Korosi 110
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN 112
5.1 Kesimpulan 112
5.2 Saran 112
DAFTAR PUSTAKA 114
LAMPIRAN 116

Digital Repository Universitas Jember

DAFTAR GAMBAR

2.1 Proses pengkorosian logam. 5
2.2 Korosi karena logam tidak homogen 7
2.3 Sebuah profil energi termodinamika untuk logam dan senyawa senyawanya. 9
2.4 Stabilitas Termodinamika Pada Air, Oksigen Dan Hidrogen. 11
2.5 Proses korosi pada batu baterai. 14
2.6 Karat elektrokimia pada logam seng. 17
2.7 Reaksi reduksi hidrogen. 24
2.8 Polarisasi konsentrasi selama reduksi hidrogen. 25
2.9 Laju korosi pada logam sebagai fungsi dari potensial elektron. 27
2.10 Karakteristik korosi dari logam aktif-pasif sebagai fungsi potensial elektroda. 28
2.11 Pengaruh oksigen terhadap laju oksidasi. 29
2.12 Pengaruh kecepatan terhadap laju korosi. 30
2.13 Pengaruh suhu terhadap laju reaksi. 31
2.14 Pengaruh konsentrasi korosif terhadap laju korosi. 32
2.15 Pasangan galvanik antara platinum dan seng. 33
2.16 Diagram E/pH untuk besi dalam air. 35
2.17 Kupon untuk analisa kehilangan berat. 37
2.18 Kupon yang terkorosi. 38
2.19 Korosi merata pada logam. 40
2.20 Korosi galvanik pada batu baterai. 41
2.21 *Crevice corrosion* pada baut. 42
2.22 Proses tahap awal korosi celah. 43
2.23 Proses selanjutnya dari korosi celah. 44
2.24 Korosi sumuran pada bak mandi. 45
2.25 Batas butir pada baja karbon tipe 304. 47
2.26 Potongan melintang batas butir *stainless steel* tipe 304. 48

Digital Repository Universitas Jember

2.27 Endapan karbida. 48
2.28 (a) *Intergranular corrosion* dan (b) *transgranular corrosion.* 49
2.29 *Uniform dezincfication.* 50
2.30 *Plug-type dezincfication.* 51
2.31 Korosi erosi pada pipa air laut. 52
2.32 Sketsa korosi erosi. 52
2.33 Korosi retak pada pipa. 54
2.34 Proses terbentuknya karat pada titik embun. 55
2.35 Diagram Fasa Fe-Fe_3C. 59
2.36 Ilustrasi struktur kristal BCC. 60
2.37 Ilustrasi struktur kristal BCC 60
2.38. Pengaruh proses reheating pada perubahan struktur mikro baja. 66
2.39 *Isothermal Tranformation Diagram.* 68
2.40 *Continuous Cooling Transformation Diagram.* 69
2.41 Diagram Pourbaix Fe pada 25˚ C. 71
2.42 Bentuk *Pitting Corrosion* yang terbentuk secara extreme pada larutan NaCl 72
2.43 Permukaan benda kerja hasil uji morfologi 72
2.44 Bentuk *Pitting Corrosion* yang terbentuk 72
2.45 Hasil SEM baja karbon ST 40 perbesaran 1500x setelah proses korosi selama 100 jam. 73
2.46 Hasil SEM baja karbon rendah setelah proses korosi selama 4 jam. 73
3.1 Ukuran spesimen baja 74
3.2 Skema pengujian perendaman 77
3.3 Diagram alur penelitian 87
4.1 Grafik kadar garam media air laut (33 gram garam) terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012. 93
4.2 Grafik kadar garam media air payau (21 gram garam) terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012. 95
4.3 Grafik kadar garam media air rawa (7 gram garam) terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012. 96

Digital Repository Universitas Jember

4.4 Grafik perbandingan kadar garam terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012. 98
4.5 Hasil pengamatan makro baja karbon rendah SWRM 12/1012 sebelum perendaman air laut, air payau, dan air rawa. 100
4.6 Hasil pengamatan makro baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air laut. 101
4.7 Hasil pengamatan makro baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air payau. 102
4.8 Hasil pengamatan makro baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air rawa. 104
4.9 Hasil pengamatan mikro baja karbon rendah SWRM 12/1012 sebelum perendaman air laut, air payau, dan air rawa. 105
4.10 Hasil pengamatan mikro baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air laut. 106
4.11 Hasil pengamatan mikro baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air payau. 108
4.12 Hasil pengamatan mikro baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air rawa. 110
4.13 Hasil pengamatan makro jenis korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh* 111

Digital Repository Universitas Jember

DAFTAR TABEL

2.1 Tabel potensial elektroda logam 16
2.2 Volume rasio oksida metal.....20
3.1 Tabel nilai penimbangan berat spesimen 80
3.2 Tabel Anova.....84
4.1 Tabel data penelitian pada media air laut (kandungan 33 gram garam) 88
4.2 Tabel data penelitian pada media air payau (kandungan 21 gram garam) 89
4.3 Tabel data penelitian pada media air rawa (kandungan 7 gram garam) 90
4.4 ANOVA pengaruh kadar garam dan hari terhadap laju korosi 91

Digital Repository Universitas Jember

DAFTAR LAMPIRAN

A.1 Tabel data penelitian pada media air laut (kandungan 33 gram garam) 116
A.2 Tabel data penelitian pada media air payau (kandungan 21 gram garam) ...117
A.3 Tabel data penelitian pada media air rawa (kandungan 7 gram garam) 118
A.4 *Output software spss* 119
A.5 Perhitungan Uji Statistik 119
A.6 Perhitungan luas spesimen 122
A.7 Perhitungan laju korosi 123
A.8 Proses pemotongan spesimen uji 124
A.9 Alat pengujian kadar garam 125
A.10 Proses perendaman spesimen 125
A.11 Proses penimbangan spesimen uji 129
A.12 Proses Pengamatan Permukaan Spesimen 131

Digital Repository Universitas Jember

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wire mesh adalah logam baja karbon rendah yang bentuknya seperti kawat dan dianyam menjadi lembaran. Oleh karena itu di Indonesia besi ini lebih populer dengan sebutan besi atau kawat anyam. Bentuk dari anyaman ini ada yang kotak-kotak ataupun jajar genjang. Jika diameternya disesuaikan dengan kebutuhan, logam baja ini bisa dipakai untuk penguat dak beton atau pelat lantai. Sedangkan pada pelat beton yang menggantung, sering diaplikasikan pada gedung atau saluran yang bersifat terbuka seperti irigasi dan saluran pembuangan air hujan.

Penggunaan logam dalam suatu industri memegang peranan sangat penting. Alat dan mesin serta instalasi dalam industri hampir 90% berasal dari bahan logam, akan tetapi logam memiliki kelemahan yaitu mudah terkorosi sehingga dapat mengakibatkan kegagalan produksi pada komponen industri. Permasalahan korosi menjadi beban bagi peradaban manusia karena kerugian yang dapat menyebabkan terhentinya produksi, disamping karena tingginya biaya perawatan yang dikeluarkan dalam suatu aktivitas industri. Hal ini diketahui dari perhitungan yang telah dilakukan di Inggris bahwa 1 ton baja diubah seluruhnya menjadi karat setiap 90 detik, padahal untuk memproduksi 1 ton baja dari bijih besi diperlukan energi yang besarnya sama dengan kebutuhan energi satu keluarga selama tiga bulan. Contoh kasus korosi yaitu pada baja karbon yang banyak digunakan untuk struktur konstruksi seperti *wire mesh* di industri petrokimia, di konstruksi pengeboran minyak lepas pantai, kerangka pada badan kapal, kaki jembatan dan beton bangunan di perairan. Adanya keberadaan konstruksi menggunakan *wire mesh* ini di lingkungan relatif korosif, maka pada suatu bahan harus mendapat perhatian khusus.

Baja karbon banyak sekali macam maupun kegunaannya. Baja karbon diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. Baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0.3% C pemakaiannya antara lain sebagai baja komponen bodi mobil, konstruksi rangka gedung, aplikasi konstruksi kapal, rangka kendaraan termasuk

Digital Repository Universitas Jember

velg. Penggunaan baja karbon rendah banyak digunakan lebih disebabkan karena baja karbon rendah memiliki keuletan tinggi, mudah dimachining tetapi kekerasannya rendah , dan tidak tahan korosi. Untuk mengatasi korosi maka dalam pemakaiannya sering dilapisi dengan logam lain berupa logam seng atau krom-nikel. Oleh sebab itu, pada tugas akhir ini dilakukan analisa untuk mengetahui pengaruh variasi kadar garam terhadap laju korosi pada baja karbon rendah tipe SWRM 12/1012 *wire mesh* pada lingkungan air laut, air payau, dan air rawa.

1.2 Perumusan Masalah

Setiap lingkungan memiliki tingkat kandungan garam yang berbeda dan dapat mengakibatkan korosi, sehingga terjadi penurunan sifat-sifat mekanik logam. Pada penelitian kali ini dirumuskan beberapa masalah antara lain :

1. Bagaimana laju korosi yang terjadi pada baja tipe SWRM 12/1012 di lingkungan air laut, air tawar, dan air rawa.
2. Bagaimana hasil pengamatan korosi secara makro dan mikro pada baja tipe SWRM 12/1012 di lingkungan air laut, air payau, dan air rawa.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencegah pembahasan yang lebih luas, maka pembahasan dari penelitian skripsi ini ditetapkan dengan batasan dan asumsi sebagai berikut:

1. *Wire mesh* yang akan digunakan adalah *wire mesh* hasil produksi PT. Ispat Indo dengan baja karbon rendah tipe SWRM 12/1012.
2. Waktu proses penelitian 30 hari.
3. Tidak membahas tentang proses pembuatan *wire mesh* tipe SWRM 12/1012.
4. Lingkungan korosif yang digunakan adalah 1 liter air laut, 1 liter air payau, dan 1 liter air rawa.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menghitung laju korosi yang terjadi pada baja tipe SWRM 12/1012 di lingkungan air laut, air tawar, dan air rawa.

Digital Repository Universitas Jember

2. Mengetahui hasil pengamatan makro dan mikro lalu menentukan jenis korosi pada baja tipe SWRM 12/1012 di lingkungan air laut, air payau, dan air rawa.

1.4.2 Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi dan data bagi pihak-pihak yang memerlukan hasil dari pengaruh variasi kadar garam terhadap laju korosi pada baja karbon rendah tipe SWRM 12/1012 *wire mesh*, dalam hal ini adalah PT. Ispat Indo.
2. Menambah pengetahuan, wacana, dan acuan bagi peneliti lanjutan dengan tema yang sama untuk pengembangan teknologi yang lebih modern dari hasil penelitian ini.

Digital Repository Universitas Jember

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

Korosi berasal dari bahasa latin "*Corrodere*" yang artinya perusakan logam atau berkarat. Definisi korosi adalah proses degradasi / deteorisasi perusakan material yang terjadi disebabkan oleh lingkungan sekelilingnya. Beberapa pakar bersikeras definisi hanya berlaku pada logam saja, tetapi para insinyur korosi juga ada yang mendefinisikan istilah korosi berlaku juga untuk material non logam, seperti keramik, plastik, karet. Sebagai contoh rusaknya cat karet karena sinar matahari atau terkena bahan kimia, mencairnya lapisan tungku pembuatan baja, serangan logam yang *solid* oleh logam yang cair (*liquid metal corrosion*). (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Adapun definisi korosi dari pakar lain :

a. Perusakan material tanpa perusakan mekanis.

b. Kebalikan dari metalurgi ekstraktif.

c. Proses elektrokimia dalam mencapai kesetimbangan termodinamika suatu sistem. Jadi korosi adalah merupakan sistem termodinamika logam dengan lingkungan (air, udara, tanah) yang berusaha mencapai keseimbangan. Sistem ini dikategorikan setimbang bila logam telah membentuk oksida atau senyawa kimia lain yang lebih stabil (berenergi paling rendah).

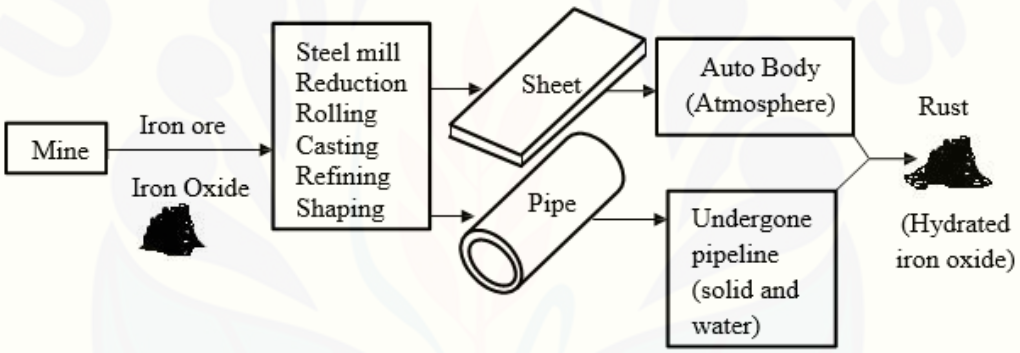
Adapun proses korosi yang terjadi, di samping oleh reaksi kimia biasa, maka yang lebih umum adalah proses elektro kimia. Yang dimaksud dengan lingkungannya dapat berupa udara dengan sinar matahari, embun, air tawar, air laut, air danau, air sungai dan tanah yang berupa tanah pertanian, tanah rawa, tanah kapur dan tanah berpasir/berbatu-batu.

Korosi disebut juga suatu penyakit dalam dunia teknik, walaupun secara langsung tidak termasuk produk teknik. Studi dari korosi adalah sejenis usaha

Digital Repository Universitas Jember

pengendalian kerusakan supaya serangannya serendah mungkin dan dapat melampaui nilai ekonomisnya, atau jangan ada logam jadi rongsokan sebelum waktunya. Caranya adalah dengan pengendalian secara preventif supaya menghambat serangan korosi. Cara ini lebih baik daripada memperbaiki secara represif yang biayanya akan jauh lebih besar.

Korosi dapat berjalan secara cepat ataupun lambat tergantung dari material bahan, lingkungan, temperatur dan lain sebagainya. Dalam dunia teknik, material korosi yang sering disinggung adalah korosi pada logam. Ilustrasi dari proses pengkorosian pada material logam dapat dilihat pada Gambar 2.1 dimana besi yang dibentuk sesuai kegunaannya dapat terkorosi akibat lingkungan yang dihadapi pada aplikasinya.



Gambar 2.1 Proses pengkorosian logam. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Kondisi lingkungan sangat mempengaruhi tingkat korosifitas pada suatu material. Sebagai contoh bahwa kelembaban di Indonesia sangat korosif, dapat dibuktikan dari percobaan di bawah ini:

Dua buah bayonet yang terbuat dari baja karbon 0.45% dalam keadaan putih (tanpa lapis lindung) digantungkan dalam gelas penyungkup yang di bawahnya diberi pengering silicagel, maka setelah beberapa minggu kita amati ternyata masih tetap tidak ada perubahan. Tetapi bayonet lain yang terbuat dari bahan dan kondisi yang sama digantung di bawah atap yang dapat pengaruh langsung dari udara luar tapi tidak kena sinar matahari dan hujan, maka dalam hari ketiga sudah mulai ada lapisan yang berwarna coklat karena terjadi lapisan karat. Contoh lain yaitu pabrik

Digital Repository Universitas Jember

minyak kelapa di Ambon yang menurut perancangnya dari Jepang akan tahan lebih dari 20 tahun, tetapi ternyata tangki-tangkinya sudah mulai berkarat pada tahun kedua karena air pendingin dan pencuci dicemari air laut pada saat pasang. Dalam lingkungan tertentu dapat saja medianya bersifat asam netral, lembab, panas dan ada yang menunjang zat-zat renik yang juga dapat menimbulkan masalah korosi.

Dari segi teori, korosi tidak mungkin sepenuhnya dapat dicegah karena memang merupakan proses alamiah bahwa semua logam akan kembali ke sifat asalnya. Asal dari tanah kembali ke tanah, asal dari bijih besi kembali ke oksida besi. Walaupun demikian pengendalian korosi harus dilakukan secara maksimal, karena dilihat dari segi ekonomi dan segi keamanan merupakan hal yang tidak mungkin ditinggalkan.

Jadi pengendalian korosi harus dimulai dari perancangan, pengumpulan data lingkungan, proses, peralatan yang dipakai bahan baku dan cara pemeliharaan yang akan dilaksanakan.

Menurut proses elektrokimia, bahwa proses korosi pada logam disebabkan karena logam itu mempunyai komposisi kimia yang tidak homogen. Dalam kenyataan memang logam sangat sulit untuk dibuat betul-betul homogen. Akibatnya akan ada perbedaan potensial yang dapat menimbulkan korosi galvanis bila ada elektrolit (uap air dan udara). Bagian yang berpotensial lebih rendah akan menjadi anoda sedangkan yang berpotensial lebih tinggi akan menjadi katoda. Sebagai contoh korosi pada besi. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online))

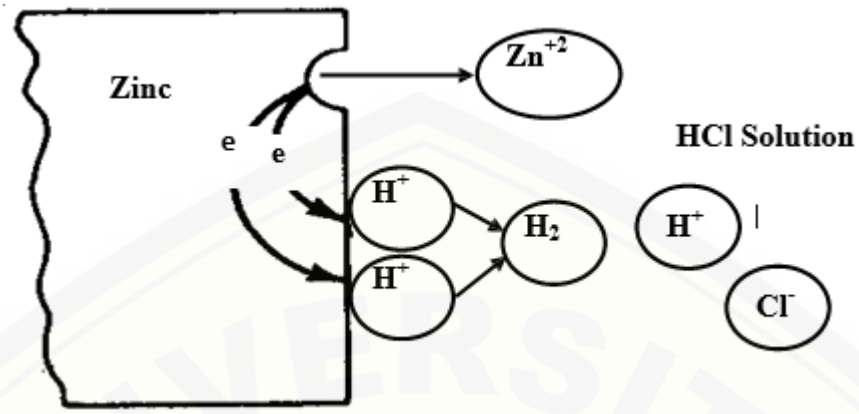
Anoda akan larut: $Fe \longrightarrow Fe^{++} + 2e.$

Elektron menuju ke katoda: $H_2O + O_2 + 4e \longrightarrow 4OH^-$

Contoh lain: Bila $Zn + 2HCl \longrightarrow Zn\ Cl_2 + H_2$ atau $Zn \longrightarrow Zn^{++}$ (reaksi oksidasi terkorosi disebut reaksi anodik).

$2H^+ + 2e \longrightarrow H_2$ (reaksi reduksi disebut juga reaksi katodik).

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 2.2 Korosi karena logam tidak homogen. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Dapat disimpulkan bahwa logam kontak dengan elektrolit akan terjadi:

a. Anoda di mana terjadi korosi.
b. Katoda yang tidak terkorosi.
c. Bajanya sebagai pembawa arus.
d. Lingkungan yang korosif (air laut) sebagai elektrolit.

Adapun syarat-syarat dimana suatu proses korosi :

1. Anoda, tempat terjadinya reaksi oksidasi dimana ion negatif berkumpul. Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron – elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion– ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Reaksi ini bisa menghalangi pelarutan logam lebih lanjut yang disebut pemasifan dimana reaksi korosi berhenti. Reaksi korosi logam M biasanya dinyatakan dalam persamaan.

   $M \rightarrow M_z^+ + ze^-$ (2.1)

   dengan banyak elektron yang diambil dari masing-masing atom yang ditentukan oleh valensi logam yang bersangkutan. Umumnya z = 1, 2 atau 3.
2. Katoda, tempat terjadinya reaksi reduksi dimana ion positif berkumpul. Pada katoda biasanya tidak mengalami korosi. Walaupun demikian akan

Digital Repository Universitas Jember

menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Dua reaksi penting yang umum terjadi pada katoda. tergantung pH larutan bersangkutan, adalah:

a. pH < 7 : $H^+ + e^- \rightarrow H(atom)$

$2H \rightarrow H_2$

b. pH ≥ 7 : $2H_2O + 0_2 + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

3. Media elektrolit, sebagai penghantar elektron antara katoda dan anoda. Bersifat menghantarkan listrik.
4. Adanya arus listrik akibat pergerakan elektron.

Pengertian korosi dapat dilihat berbagai teori sebagai berikut :

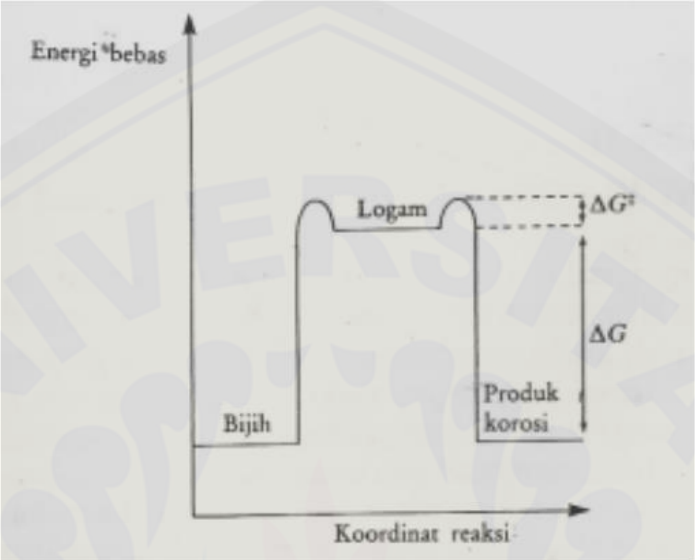
a. Teori Korosi Berdasarkan Hukum Termodinamika
b. Teori Korosi Berdasarkan Potensial Campuran (Polarisasi)
c. Teori Korosi Berdasarkan Reaksi Elektrokimia

2.1.1 Korosi Berdasarkan Hukum Termodinamika

Di alam bebas kebanyakan logam ditemukan dalam keadaan tergabung secara kimia yang disebut *ore*. Biji-biji ini bisa berupa oksida, sulfida, karbonat atau senyawa lain yang lebih kompleks. Dengan adanya teori termodinamika, dapat dikatakan bahwa bijih atau senyawa lain berada pada energi yang terendah. Energi yang besar diperlukan untuk memisahkan logam misalnya besi dari bijinya seperti besi oksida, ini dilakukan dengan melalui pemanasan (dengan agen pereduksi) dalam sebuah *blast Furnace* (tanur hembus) dengan temperatur sekitar 1600˚C. Oleh karena itu logam-logam dalam keadaan tidak begabung dengan bahan lain memiliki tingkat energi yang tinggi, seperti digambarkan pada gambar 2.2 yang menggunakan profil energi untuk menggambarkan perubahan-perubahan termodinamika yang dialami suatu atom logam, sejak masih dalam bentuk bijih,atomlogam dan dalam bentuk hasil korosi. Hukum termodinamika menggambarkan keadaan energi yang tinggi yang akan berubah ke energi yang rendah. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Digital Repository Universitas Jember

Kecenderungan ini membuat logam –logam bergabung kembali dengan unsur-unsur yang ada dilingkungan, yang akhirnya membentuk gejala yang disebut korosi.



Gambar 2.3 Sebuah profil energi termodinamika untuk logam dan senyawa senyawanya. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Selisih energi bebas antara logam dengan produk korosinya (ΔG) dalam gambar 2.3 hanya menggambarkan logam yang mengalami korosi bukan penentuan laju korosinya. Energi bebas merupakan faktor satu-satunya yang menentukan suatu korosi berlangsung spontan atau tidak. Setiap energi bebas suatu unsur dinyatakan sebagai G dan perubahan energi dinyatakan sebagai ΔG. Peralihan energi tinggi ke energi rendah , yang menyebutkan bahwa energi yang diberikan dengan tanda negatif dan energi yang diserap oleh sistem dengan tanda positif. Jadi agar suatu reaksi dapat berjalan spontan maka ΔG harus negatif. Semua korosi bergantung pada temperatur, ini karena tingkat energi bebas unsurunsur yang terlibat bergantung pada temperatur. Oleh sebab itu kita dapat mengaplikasikan ke persamaan termodinamik sebagai berikut :

$$\Delta G = \Delta G_0 + RT \ln J \qquad (2.2)$$

J didefinisikan untuk suatu reaksi A + B = C + D

$$J = [C][D]/[A][B] \qquad (2.3)$$

Digital Repository Universitas Jember

J mengandung nilai yang berubah-ubah (tidak seimbang) sesuai dengan perubahan energi bebas pada keadaan tidak seimbang. Jika sistem mencapai suatu titik di mana perubahan energi bebas tidak ada, maka sistem itu berada dalam kesetimbangan dan ΔG=0

maka *J* = K dengan K adalah tetapan kesetimbangan

$$\Delta G_0 = -RT \ln K \qquad (2.4)$$

Seperti contoh reaksi diatas menggambarkan besi yang terkorosi didalam larutan tembaga sulfat sebagai berikut :

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e \qquad (2.5)$$

$$Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu \qquad (2.6)$$

$$Fe + Cu^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + Cu \qquad (2.7)$$

Yang menggerakkan reaksi tersebut adalah energi bebas sehingga didapatkan persamaan :

$$\Delta G = \Delta G0 + RT \ln [Fe2+]\,[Cu]/[Cu2+][Fe] \qquad (2.8)$$

Berdasarkan persamaan yang dirumuskan Michael Faraday yang menyatakan kerja yang dilakukan (perubahan energi bebas pada proses korosi) berdasarkan beda potensial dan muatan yang dipindahkan :

$$\Delta G = E - zF \qquad (2.9)$$

Keterangan:

E= potensial yang diukur (dalam Volt)

Z = banyaknya elektron yang dipindahkan dalam reaksi korosi

F = muatan yang dipindahkan oleh satu mol elektron (96494 coulomb per mol)

Tanda negatif menunjukkan bahwa elektron bermuatan negatif. Tanda (0) menyatakan kondisi baku sehingga dapat dituliskan menjadi:

$$\Delta G_0 = - zFE \qquad (2.10)$$

Sehingga kita dapat memasukkannya kedalam persamaan [2.6] dan hasilnya sebagai berikut:

$$E = E_0 - RT/zF \lg \text{Hasil reaksi/reaktan} \qquad (2.11)$$

Dengan temperatur baku 298K dan R= 8,3143 J mol-1K-1 serta konversi ke

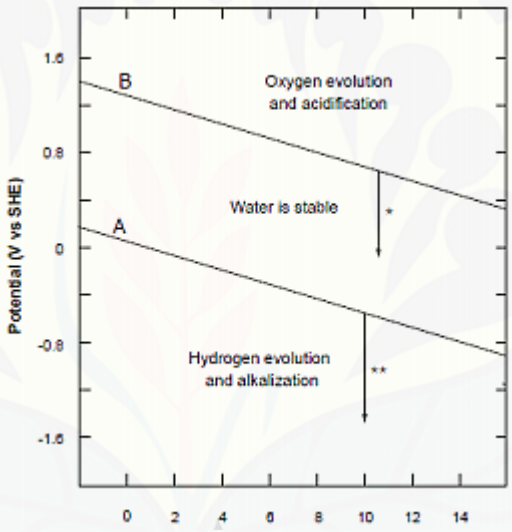
Digital Repository Universitas Jember

logaritma berbasis 10 persamaan tersebut menjadi :

E = E0 -0,059/z log Hasil reaksi/reaktan (2.12)

E adalah ketidakseimbangan yang dibangkitkan pada reaksi, dengan reaktan menyatakan konsentrasi reaktan dan hasil reaksi menyatakan konsentrasi hasil reaksi.

Perilaku termodinamika dapat dijelaskan pada diagram pourbaix/ E-pH. Dalam diagram ini menggambarkan hubungan pH dan potensial elektoda dalam kondisi elektroda sehingga dapat memperlihatkan kondisi-kondisi dimana logam akan terkorosi, tidak terkorosi atau mengalami pemasifan dalam larutan dalam pelarut air.



Gambar 2.4 Stabilitas Termodinamika Pada Air, Oksigen Dan Hidrogen. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

2.1.2 Teori Korosi Berdasarkan Reaksi Elektrokimia

Mekanisme korosi tidak terlepas dari reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron. Perpindahan elektron merupakan hasil reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Mekanisme korosi melalui reaksi elektrokimia melibatkan reaksi anodik di daerah anodik. Reaksi anodik (oksidasi) diindikasikan melalui peningkatan valensi atau produk elektronelektron. Reaksi anodik yang terjadi pada proses korosi logam yaitu :

Digital Repository Universitas Jember

$$M \rightarrow Mn^{+} + ne \quad (2.13)$$

Proses korosi dari logam M adalah proses oksidasi logam menjadi satu ion (n^{+}) dalam pelepasan *n* elektron. Harga dari *n* bergantung dari sifat logam.

Peristiwa korosi pada struktur pipa, baik yang terjadi dilingkungan tanah dan air harus melibatkan syarat-syarat diatas. Peristiwa korosi pada struktur pipa memiliki reaksi anoda dan katoda :

Reaksi anodik : $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$ (2.14)

Reaksi katodik : $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$ (2.15)

Reaksi keseluruhan :

$$2Fe + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe^{2+} + 4OH^{-} = 2Fe(OH)_2$$

Pada reaksi (2.14) dan (2.15) melibatkan elektron. Reaksi anodik adalah reaksi perubahan logam baja menjadi ion Fe^{2+} dengan melepaskan 2 elektron dimana terjadi penambahan bilangan oksidasi dari 0 menjadi 2, sedangkan reaksi katodik adalah reaksi pelarutan oksigen O_2 didalam air menjadi ion OH^{-} dengan membutuhkan 4 elektron dimana terjadi pengurangan bilangan okdasi 0 menjadi -4. Elektron ini akan mengalir dari reaksi anodik menuju reaksi katodik untuk mencapai kesetimbangan yang dinamis. Pergerakan elektron ini mengakibatkan terjadinya arus listik yang arahnya berlawanan dengan arah aliran elektron. Arah aliran elektron berasal dari anoda menuju katoda sehingga arah aliran arus listrik berasal dari katoda menuju anoda. (Sumber : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

2.1.3 Proses Korosi

Dalam kehidupan sehari-hari korosi kita dengan istilah perkaratan. Daerah yang paling agresif pada lingkungan laut adalah zona atmosferik dan zona percikan (splashing) karena pada zona tersebut kandungan oksigennya sangat tinggi, sehingga meningkatkan laju korosi. Agresifitas lingkungan laut disebabkan oleh beberapa factor, seperti :

- laut merupakan elektrolit yang memiliki sifat konduktifitas yang sangat tinggi.

Digital Repository Universitas Jember

- Kandungan oksigen terlarut cukup tinggi.
- Temperatur permukaan laut yang cukup tinggi.
- Ion klorida pada air laut umumnya tinggi.
- Adanya biofoling

Bentuk-bentuk serangan korosi yang umum terjadi dilingkungan laut adalah korosi merata, korosi galvanic, korosi sumuran (pitting) dan korosi celah (crevice). Korosi dapat terjadi karena beberapa proses, antara lain adalah sebagai berikut :

a). Proses Fisis Adalah korosi yang disebabkan karena struktur logam dari material tersebut yang memungkinkan terjadinya pengkaratan.

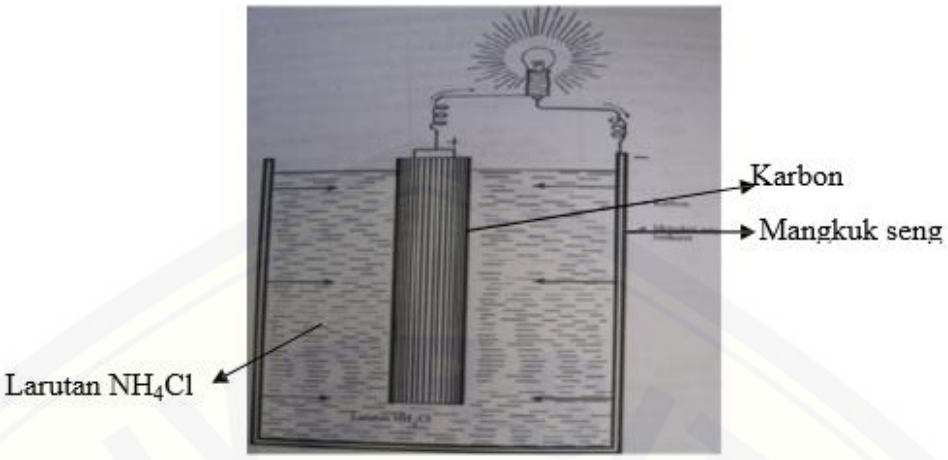
b). Prosos Khemis Adalah korosi yang disebabkan karena adanya proses secara kimia antara logam dengan kondisi lingkungan sekitar, yang dalam hal ini adalah air dan udara.

c). Proses Biologis Adalah korosi yang disebabkan adanya proses biologis, yang dalam hal ini adalah disebabkan oleh mikroba. Mikroba dalam proses korosi dapat bekerja sendiri atau merupakan gabungan dari sejumlah dari sejumlah mikroba yang berbeda.

2.1.4 Korosi Oksidasi dan Korosi Elektrokimia

Pada umumnya proses pengkaratan terdiri dari proses elektrokimia, yang mekanismenya sama dengan yang terjadi di dalam baterai lampu senter. Baterai terdiri dari elektroda yang terbuat dari mangkuk yang terbuat dari seng dan elektroda karbon. Kedua elektroda tersebut dipisahkan oleh elektrolit yang terdiri dari larutan amonium klorida (NH_4Cl).

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 2.5 Proses korosi pada batu baterai. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Kalau elektroda karbon dihubungkan dengan elektroda mangkuk seng melalui sebuah bola lampu, maka bola lampu tersebut akan menyala karena terjadinya arus listrik yang mengalir dari katoda ke anoda melalui elektrolit NH_4Cl.

Pada mangkuk seng terjadi reaksi oksidasi.

$$Zn = Zn^{++} + 2e \text{ (reaksi anoda)}$$

Sedangkan pada elektroda karbon terjadi reaksi reduksi

$$2H^{+} + 2e = H_2, \text{ gas (reaksi katoda)}$$

Akibat oksidasi tersebut, metal Zn diubah menjadi ion Zn yang terhidrasi $Zn^{2+} + nH_2O$. Semakin besar arus yang terjadi, semakin banyak metal Zn yang menjadi ion sehingga metal seng kehilangan massa atau dengan kata lain berkarat. Berat metal yang bereaksi, sesuai dengan hukum Faraday, dinyatakan dalam persamaan di bawah ini.

Berat metal yang bereaksi = kIt (2.16)

Dimana:

I = arus dalam ampere

K = konstanta = 3.39×10^{-4} g/C

Digital Repository Universitas Jember

t = waktu dalam detik

Karena serangan karat tersebut, mangkuk seng akan berlubang (*perforated*) hanya dalam beberapa jam saja, namun apabila kabel penghubung dilepas, arus listrik terputus, umur mangkuk seng dapat bertahun-tahun. Karena dengan kondisi tidak tersambung (*open circuit*) tersebut, proses pengkaratan seng menjadi sangat lambat, yang umumnya disebabkan oleh kotor, seperti besi yang tertanam di dalam permukaan seng. Kotoran tersebut bekerja sebagai katoda terhadap seng yang bersifat anodik, sehingga terjadi aliran elektron dari anoda ke katoda dan menyebabkan karat di daerah anoda.

Bentuk karat elektro kimiawi yang paling sering ditemukan adalah proses elektrokimia dari oksida metal. Oksidasi adalah terlepasnya elektron dari suatu atom, misal terlepasnya elektron dari atom seng. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

$$Zn = Zn^{2+} + 2e$$

Suatu potensial tertentu yang dikandung setiap metal yang bertendensi untuk berkarat atau teroksidasi disebut potensial elektroda. Potensial ini bergantung pada kondisi metal dan kondisi larutan penghantar. Potensial elektroda didapatkan dengan mengukur selisih tegangan listrik antara metal yang diukur dengan elektroda hidrogen standar apabila keduanya dimasukkan ke dalam larutan penghantar. Zat hidrogen masuk ke dalam larutan penghantar melalui reaksi sebagai berikut:

$$H_2 = 2H^+ + 2e$$

Apabila elektroda seng dihubungkan dengan potensiometer, tercatat bahwa potensial elektroda hidrogen lebih tinggi 0.76 volt dibanding potensial elektroda seng. Potensial elektroda baku logam-logam lain pada temperatur 25°C dapat dilihat tabel di bawah ini:

Digital Repository Universitas Jember

Tabel 2.1 Tabel potensial elektroda logam (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Logam	Potensial elektroda (Volt)	
$Au = Au^{3+} + 3e$	1.498	Semakin katodis
$O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$	1.229	
$Pt = Pt^{2+} + 2e$	1.2	
$Pd = Pd^{+2} + 2e$	0.987	
$Ag = Ag^+ + e$	0.799	
$2Hg = Hg_2+ + 2e$	0.788	
$Fe^{3+} + e = Fe^{2+}$	0.771	
$O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH$	0.401	
$Cu = Cu^{2+} + 2e$	0.337	
$Sn^{4+} + 2e = Sn^{2+}$	0.15	
$2H^+ + 2e = H_2$	0	
$Pb = Pb^{2+} + 2e$	-0.126	Semakin anodis
$Sn = Sn^{2+} + 2e$	-0.236	
$Ni = Ni^{2+} + 2e$	-0.25	
$Co = Co^{2+} + 2e$	-0.277	
$Cd = Cd^{2+} + 2e$	-0.403	
$Fe = Fe^{2+} + 2e$	-0.44	
$Cr = Cr^{3+} + 3e$	-0.744	
$Zn = Zn^{2+} + 2e$	-0.763	
$Al = Al^{3+} + 3e$	-1.662	
$Mg = Mg^{2+} + 2e$	-2.363	
$Na = Na^+ + e$	-2.714	
$K = K^+ + e$	-0.925	

Namun apabila seng digabungkan dengan platinum di dalam larutan penghantar, maka seng akan bersifat anodik dan platinum akan bersifat katodik. Di daerah anoda terjadi oksidasi dimana atom seng kehilangan elektronnya menjadi ion bermuatan positif yang larut ke dalam larutan penghantar.

$$Zn = Zn^{2+} + 2e^-$$

Di daerah katoda terjadi reaksi reduksi pada H^+ yang berada di larutan penghantar yang menjadi gelembung gas H_2 dan kemudian menempel di permukaan elektroda karbon.

$$2H^+ + 2e = H_2$$

Digital Repository Universitas Jember

Di dalam larutan terdapat ion-ion $(OH)^-$ yang berasal dari reaksi disosiasi air.

$$H_2O = H^+ + (OH)^-$$

Ion-ion hidroksil ini bereaksi dengan ion-ion seng menjadi:

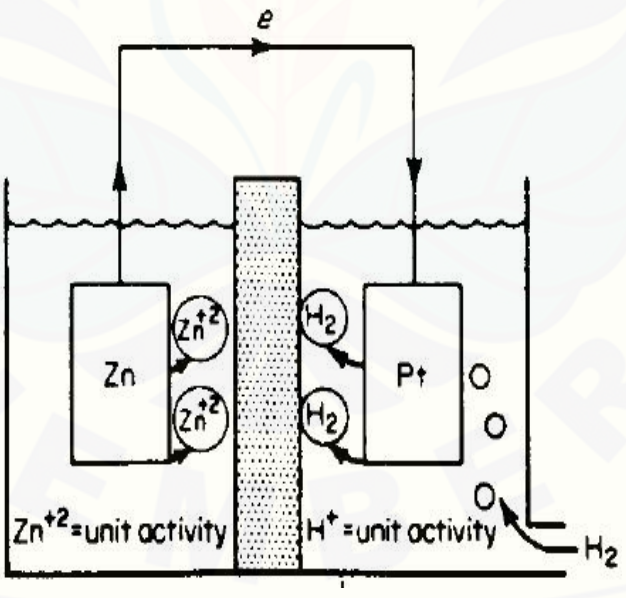
$$Zn^{2+} + 2(OH)^- = Zn(OH)_2$$

Apabila terdapat kelebihan zat asam di dalam larutan akan terjadi pembentukan ion hidroksil di daerah katoda.

$$2H_2O + O_2 + 4e^- = 4(OH)^-$$

Yang mengakibatkan percepatan proses pengkaratan dan menghasilkan kerak/*rust*. $Zn(OH)_2 + (OH)^- = Zn(OH)_3$ (karat)

Elektroda seng yang anodik akan kehilangan massa karena melarutnya ion-ion Zn^{2+} yang tidak stabil, karenanya elektroda seng dikatakan berkarat dengan ditandai terjadinya kerusakan pada permukaannya.



Gambar 2.6 Karat elektrokimia pada logam seng. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Digital Repository Universitas Jember

2.1.5 Korosi Suhu Rendah dan Suhu Tinggi

Pada umumnya logam-logam pada suhu tinggi sangat mudah rusak, karena adanya reaksi yang yang cepat dengan oksigen dari udara. Kecuali logam mulia yang mempunyai daya *affiniteit* yang sangat rendah terhadap oksigen, sehingga terbentuk lapisan oksida yang sangat tipis. Apabila dipanaskan maka oksida tersebut akan terurai kembali. Sebagai contoh perak, di atas 180°C tidak akan terbentuk oksida lagi, juga paladium pada 450°C terjadi hal yang sama. Wolfram yang dipanaskan di udara maka tidak menunjukan perubahan warna yang nyata, hanya beratnya bisa berkurang karena terjadinya penguapan dari oksida yang terjadi. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Pada logam-logam ringan kecuali alumunium, oksidanya tidak membentuk lapisan yang cukup kedap (tidak dapat tembus air), hingga pada suhu tinggi akan lebih mudah teroksidasi, sambil memancarkan cahaya (magnesium). Pada besi sebenarnya terjadi lapisan oksida yang merata dan kedap, tapi sering retak karena molekul oksida besi lebih besar dari besinya dan timbul dorongan sesamanya, dan oksigen dapat berdifusi lagi ke dalamnya, sehingga proses oksidasi dapat berlangsung lagi. Faktor penentuan terjadinya proses ini adalah suhu dan waktu, maka semakin tinggi suhu maka kecepatan oksidasi juga meningkat dengan cepat.

Meskipun oksidasi umumnya mengacu pada reaksi menghasilkan elektron, istilah ini juga digunakan untuk menunjukan reaksi yang terjadi antara logam dan udara (oksigen) di dalam lingkungan air atau fase berair. *Scaling*, *tarnishing*, *dry corrosion* kadang-kadang digunakan untuk menggambarkan fenomena ini. Karena hampir setiap logam dan paduan logam akan bereaksi dengan udara pada suhu tinggi, maka ketahanan oksidasi harus diperhatikan dalam aplikasi metalurgi teknik. Karena peningkatan suhu ini, oksidasi logam juga meningkat. Seperti dalam aplikasi untuk turbin gas, mesin roket dan suhu tinggi sistem petrokimia.

Korosi di kilang Petrokimia dapat diklasifikasikan menjadi korosi suhu rendah, dianggap terjadi di bawah suhu 260°C (500°F). Korosi suhu rendah ini mengharuskan adanya air sebagai elektrolitnya. Sedangkan korosi suhu tinggi

Digital Repository Universitas Jember

terjadi berkisar diatas 260°C (500°F). Air tidak diperlukan dalam korosi ini karena korosi terjadi oleh reaksi langsung antara logam dengan lingkungannya. Karat suhu tinggi yang terjadi pada sudu-sudu pertama dari turbin gas bekerja di bawah suhu antara 650°C atau di bawah 700°C. Sudu-sudu tersebut mengalami serangan oksidasi yang sangat cepat (*accelerated oxiadation*).

Sebuah konferensi tentang korosi suhu tinggi telah diterbitkan. Korosi suhu tinggi ini sangat berkaitan dengan ketahanan oksidasi. Salah satu awal dari studi ilmiah tentang oksidasi, Pilling dan Bedworth mengusulkan bahwa ketahanan oksidasi harus terkait dengan rasio volume oksida dan logam per gram atom logam. Menurut Philip dan Bedworth, volume rasio kurang dari 1 menghasilkan lapisan oksida yang tidak cukup untuk menutupi logam yang terlindungi, sehingga selaput ini berpori dan tidak berfungsi sebagai pelindung. Proses oksidasi terus berjalan dengan laju linier terhadap waktu.

Sama halnya ada yang berpendapat bahwa rasio yang jauh lebih besar dari 1 cenderung untuk menghasilkan lapisan oksida yang dapat menutupi permukaan material, sehingga berfungsi sebagai pelindung. Dalam kasus alumunium misalnya, inilah yang terjadi. Seringkali tegangan dalam berkembang dalam oksida ketika oksida tersebut menebal. Kalau tegangan yang berkembang itu kecil, retak-retak atau cacat-cacat akan menjadi rapat sehingga menghambat laju oksidasi. Tetapi kalau tegangan dalam tersebur cukup besar, ikatan antara oksida dan logam bisa terputus sehingga lapisan itu akan pecah dan mengelupas. Pengelupasan tersebut terjadi karena perpatahan lapisan antarmuka antara logam dan oksida sekaligus melepaskan tegangan dalam oksida. Tentu saja besar tegangan di dalam oksida terus meningkat ketika lapisan tersebut semakin tebal. Oleh sebab itu, bila laju oksida kecil untuk waktu yang lama, tegangan yang terbentuk dalam selaput oksida yang tipis hanya untuk menjaga agar selaput pelindung itu melekat erat. Meskipun dengan laju lambat sekali, selaput itu tetap menebal sampai akhirnya tingkat tegangan itu mampu menyebabkan lapisan antarmuka putus secara spontan dan laju oksidasi tiba-tiba melonjak. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Digital Repository Universitas Jember

Perbandingan volume untuk beberapa metal dapat dilihat pada Tabel 2.2. Seperti ditunjukkan, rasio ini tidak secara akurat memprediksi ketahanan oksidasi, meskipun ada beberapa kesepakatan secara kualitatif. Pada umumnya, logam dengan rasio voume kurang dari 1 maka karat tidak akan menutupi material, berbeda dengan rasio volume yang sangat tinggi (2 sampai 3), tetapi rasio ini dimaksudkan hanya sebagai kriteria empiris dan tidak mencakup sifat-sifat lain yang lebih penting dalam menentukan ketahana oksidasi. Perbandingan yang ideal menurut mereka adalah mendekati satu.

Tabel 2.2 Volume rasio oksida metal. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Protective oxides	Nonprtective oxides
Be-1.59	Li-0.57
Cu-1.68	Na-0.57
Al-1.28	K-0.45
Si-2.27	Ag-1.59
Cr-1.99	Cd-1.21
Mn-1.79	Ti-1.95
Fe-1.77	Mo-3.4
Co-1.99	Cb-2.61
Ni-1.52	Sb-2.35
Pd-1.6	W-3.4
Pb-1.4	Ta-2.33
Ce-1.16	U-3.05
	V-3.15

Source: B. Chalmes, Physical Metallurgy. P.445, John Willey & Sons, Inc, New York 1959

Penyebab karat suhu tinggi diperkirakan disebabkan oleh salah satu sifat oksida yang dominan yakni sifat elektro kimiawi pada suhu tinggi di samping sifat *fluxing* pada titik cairnya. Hal ini terbukti dengan terbentuknya Fe_3O_4 yang konduktif dan keropos (*porous/spongy*) yang jika dipenuhi dengan elektrolit cair akan menghasilkan sel karat yang terdiri dari Fe_3O_4 sebagai elektroda oksigen dan bahan dasar sebagai anoda. Laju oksidanya menjadi sangat tinggi melebihi oksidasi metal yang langsung berhubungan dengan oksigen, hal ini disebabkan oleh

Digital Repository Universitas Jember

terjadinya migrasi ion-ion oksigen dan metal yang sangat cepat. Untuk mengupayakan agar logam baja tahan terhadap proses oksidasi, diperlukan logam pencampur seperti kromium. Dengan dicampurnya baja atau nikel dengan kromium dapat menaikan ketahanan terhadap oksidasi.

2.1.6 *Wet Corrosion* dan *Dry Corrosion*

Korosi adalah reaksi kimia antara logam dan lingkungannya yang berakibat mengalirnya arus listrik. Lingkungan yang dimaksud adalah lingungan yang berair, tetapi ini tidak berarti bahwa korosi tidak terjadi bila air tidak ada. Banyak reaksi korosi dapat berlangsung di lingkungan yang dikatakan kering. Selain itu ingat bahwa korosi dapat terjadi di udara karena kandungan uap air, serta bahan-bahan ionik cukup untuk menyebabkan korosi seperti bila logam direndam dalam air. Keberadaan air dan bahan ionik saling menunjang: arus hanya dapat diangkut melalui air oleh ion-ion bebas, sementara air menyebabkan terurainya padatan ionik menjadi ion-ion bebas yang dibutuhkan. Sebagai contoh untuk menunjukan bahwa arus listrik mengalir dalam larutan hanya bila larutan itu mengandung ion-ion, misalnya larutan natrium klorida berpelarut air, seandainya ion-ion tidak ada, seperti pada spiritus putih, atau hanya sedikit sekali pada air murni, aliran arus tidak ada dan karena itu aliran listrik tidak terbentuk. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Wet corrosion terjadi ketika ada fasa cair yang terlibat dalam proses korosi. Korosi ini biasanya melibatkan larutan berair atau elektrolit. Contoh yang sering dijumpai adalah korosi besi karena berada dilingkungan berair. *Dry corrosion* terjadi karena tidak adanya fasa cair atau fasa diatas titik embun dari lingkungan. Penyebab dari korosi ini adalah uap air dan gasgas yang ada di lingkungan sekitarnya. Korosi ini paling sering dikaitkan dengan suhu yang tinggi. Sebagai contoh serangan korosi pada baja akibat dimasukan di dalam tungku pembakaran. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Digital Repository Universitas Jember

2.2 Laju Korosi

Karena hampir semua korosi adalah merupakan suatu reaksi elektrokimia, semua yang mempengaruhi kecepatan suatu reaksi kimia atau jumlah arus yang mengalir akan mempengaruhi laju korosi. Hukum Ohm dapat diterapkan untuk bagian elektrik dari sel korosi. Laju korosi berbanding lurus dengan sejumlah arus yang mengalir pada sel korosi elektrokimia. Jika arus dapat diukur, suatu kalkulasi yang tepat dari kehilangan metal dapat ditentukan. Ini berarti bahwa suatu pengukuran dalam ampere atau milliampere secara matematis dihitung dalam kilogram (pound) per tahun. Suatu Amp tahun adalah satu Ampere yang mengalir selama periode satu tahun. Logam yang berbeda memiliki laju korosi yang berbeda. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Jika diketahui penurunan massa dari suatu material yang terkorosi maka laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{mpy} = \frac{534\ И}{DAT} \tag{2.17}$$

Dimana:

mpy = mils penetration per year

W = pengurangan massa akibat korosi (mg)

D = massa jenis material (gram/cm³)

A = luas spesimen yang terkorosi (sq.in)

T = lamanya pengujian (jam)

Konversi laju korosi kesatuan yang lain:

1 mpy = 1000 ipy

1 mpy = 0.0254 mm/tahun

1 mpy = 25.4 µm/tahun

Digital Repository Universitas Jember

1 mpy = 12,100 in/bulan

1 mpy = 2.90 nm/jam

1 mpy = 0.0694 d gr/m² tahun.

2.2.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Sering di dalam proses industri, faktor-faktor yang mempengaruhi korosi terkadang diinginkan untuk melakukan perekayasaan diproses industri. Berikut ini adalah faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi laju korosi suatu material:

2.2.1.1 Polarisasi

Suatu reaksi elektrokimia dikatakan terpolarisasi apabila terjadi proses perlambatan dari laju reaksi semula. Polarisasi bertindak sebagai pelapis tambahan, dan mempengaruhi tingkat pH dan konsentrasi ion pada elektrolit. Kecepatan pada reaksi elektrokimia terbatas oleh bermacam-macam faktor fisis dan kimia. Oleh karena itu reaksi elektrokimia dapat dikatakan sebagai polarisasi atau penurunan yang disebabkan oleh faktor lingkungan. Polarisasi dapat dibagi menjadi dua jenis yang berbeda yaitu akitifasi polarisasi dan konsentrasi polarisasi. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

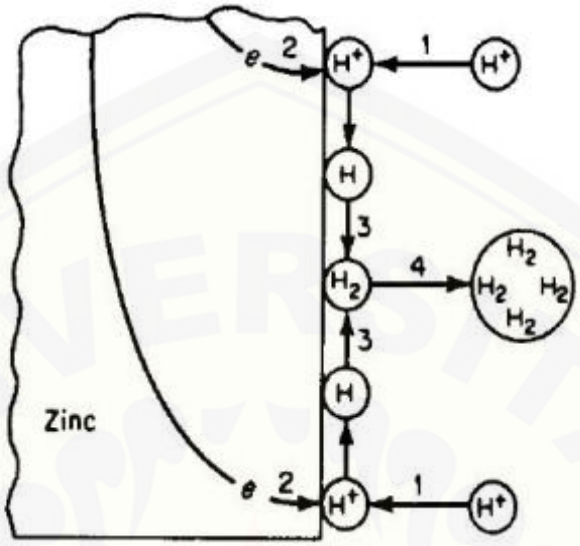
Polarisasi aktivasi adalah polarisasi yang disebabkan oleh faktor pelambat yang berasal dari reaksi elektrokimia itu sendiri, yakni terjadinya evolusi terbentuknya gas hidrogen di katoda.

$$2H^{+} + 2e = H_2$$

Sebagai ilustrasi yang mudah adalah reaksi terlepasnya atom hidrogen pada logam *zinc* sebagai akibat dari korosi pada lingkungan asam. Gambar 2.7 menunjukan skema suatu tahapan pada proses tereduksinya hidrogen pada permukaan logam *zinc*. Tahapan ini dapat pula terjadi pada suatu jenis atom yang tereduksi pada permukaan logam. Tahap pertama atom tersebut harus dapat mengikat suatu permukaan sebelum terjadinya reaksi. Tahap kedua harus terjadi transfer elektron sebagai hasil reduksi dari atom tersebut. Tahap ketiga, dua atom hidrogen menyatu untuk membentuk gelembung dan pada tahap ke empat,

Digital Repository Universitas Jember

gelembung tersebut menjadi gas hidrogen. Kecepatan reduksi pada ion hidrogen dapat dikendalikan dengan memperlambat empat tahap di atas.



Gambar 2.7 Reaksi reduksi hidrogen. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Laju reduksi ion hidrogen menjadi gas hidrogen merupakan fungsi beberapa faktor termasuk kecepatan transfer elektron ke ion hidrogen di permukaan metal. Jadi terdapat keterkaitan antara laju reaksi dengan jenis metal, konsentrasi ion hidrogen serta suhu reaksi tersebut. Kemampuan metal-metal untuk mentransfer elektron ke ion hidrogen dipermukaannya berbeda-beda, sehingga karenanya laju evolusi gas hidrogen pada permukaan berbagai bahan metal pun berbeda-beda pula.

Di samping fenomena tereduksinya ion hidrogen (atom hidrogen) menjadi molekul gas hidrogen yang lazim disebut *Hydrogen Over Voltage*, terdapat pula fenomena terurainya ion OH^- di anoda menjadi molekul O_2 dan air.

$2OH^- = \frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^-$ yang lazim disebut *Oxygen Over Voltage*

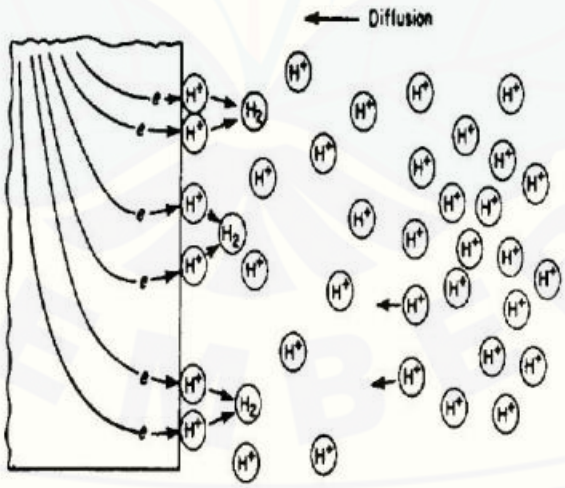
Overvoltage dapat pula terjadi pada unsur Cl^- atau Br^-, namun nilainya pada suatu kepadatan arus tertentu jauh lebih kecil dibanding evolusi O_2 dan H_2. Polarisasi aktifasi meningkat dengan dengan meningkatnya kepadatan arus (i). Hal ini dapat dilihat pada persamaan Tabel di bawah ini:

Digital Repository Universitas Jember

$$\eta = \beta \log i/i_0 \qquad (2.18)$$

dimana β dan dan i_0 konstan untuk suatu kondisi metal dan lingkungan tertentu, namun keduanya sangat bergantung pada suhu. β = Tafel slope i_0 = pertukaran arus, η = polarisasi aktivasi atau *over voltage*.

Polarisasi konsentrasi menyangkut proses pelambatan reaksi elektro kimiawi sebagai akibat dari perubahan konsentrasi di dalam larutan di dekat permukaan metal. Konsentrasi polarisasi digambarkan pada Gambar 2.8. Untuk kasus evolusi hidrogen, dimana terdapat ionion hidrogen yang sangat kecil, dan kecepatan reduksi dapat dikendalikan oleh difusi pada ion-ion hidrogen yang terjadi pada permukaan logam. Aktifasi polarisasi biasanya dapat dikontrol pada media yang mengandung konsentrasi tinggi dan pada media pengkorosian aktif (contoh: konsentrasi asam). Konsentrasi polarisasi pada umumnya didominasi ketika konsentrasi pada proses reduksi adalah kecil, (contoh: asam yang terlarut dan aerasi garam). Konsentrasi yang berhubungan dengan logam biasanya kecil dan bisa diabaikan. Konsentrasi polarisasi sangat penting hanya pada reaksi reduksi.



Gambar 2.8 Polarisasi konsentrasi selama reduksi hidrogen. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Digital Repository Universitas Jember

Apabila reaaksi tetap berlangsung pada laju yang tinggi, sedang konsentrasi ion hidrogen di dalam larutan relatif rendah, maka di daerah dekat permukaan metal akan kekurangan ion hidrogen karena telah dikonsumsi oleh reaksi katodik. Pada kondisi ini laju reaksi ditentukan oleh laju difusi ion hidrogen ke permukaan metal.

Misalkan sebagai contoh apabila tembaga dibuat katoda di dalam larutan $CuSO_4$, yang aktivitas ion cuprinya diekspresikan dalam Cu^{2+}, maka potensial $\theta 1$, tanpa adanya arus luar dinyatakan dalam persamaan Nernst.

$$\theta 1 = 0.337 + \frac{0.0592}{2} \log Cu^{2+} \qquad (2.19)$$

Apabila terjadi aliran arus, tembaga dideposisikan pada permukaan elektroda, sehingga mengurangi konsentrasi ion cupri di permukaan sehingga aktivitas ion cupri menjadi $(Cu^{2+})S$. Potensial elektroda menjadi $\theta 2$ yang besarnya:

$$\theta 2 = 0.337 + \frac{0.0592}{2} \log (Cu^{2+})S \qquad (2.20)$$

Karena $(Cu^{2+})S$ lebih kecil dari Cu^{2+}, maka potensial elektroda yang terpolarisasi menjadi lebih tidak mulia (lebih aktif) daripada apabila tidak terdapat arus dari luar, selisih potensial.

$$\theta 2 - \theta 1 = -\frac{0.0592}{2} \log \frac{Cu^{2+}}{(Cu^{2+})S} \qquad (2.21)$$

Disini dapat disimpulkan bahwa polarisasi adalah jangkauan dari perubahan potensial yang disebabkan oleh arus dan ke elektroda yang dinyatakan dalam volt.

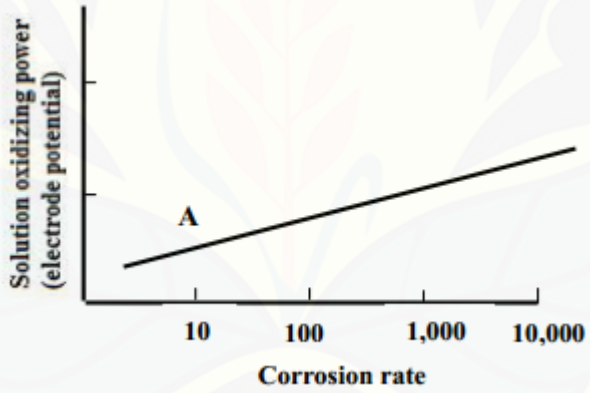
2.2.1.2 Pasivasi

Pada dasarnya, pasivitas adalah lepasnya suatu unsur akibat reaksi kimia yang dialami oleh beberapa logam dan paduan pada suatu kondisi lingkungan khusus. Logam dan paduan yang mengalami pasivitas diantaranya besi, nikel,

Digital Repository Universitas Jember

silicon, chromium, titanium dan paduanpaduannya. Observasi juga telah dilakukan untuk mengetahui efek pasivitas pada beberapa logam, diantaranya *zinc*, *cadmium*, *tin* dan *thorium.*

Pasivitas sulit untuk didefinisikan, karena pasivitas hanya dapat digambarkan secara kuantitatif dimana karakteristik suatu logam akan mengalami pengaruh yang luar biasa akibat pasiviatas. Pada Gambar 2.9 diilustrasikan suatu pasivitas yang dialami oleh logam, dimana laju korosi logam tersebut dipengaruhi oleh daya oksidasi dengan menggunakan potensial elektron. Gambar tersebut mengilustrasikan bahwa sebuah logam dicelupkan pada lingkungan asam yang terbebas dari kandungan udara, lingkungan tersebut ditambahkan daya oksidasi pada titik A dan laju korosinya digambarkan dengan sebuah garis pada gambar tersebut. Jika daya oksidasi pada lingkungan ini meningkat, maka laju korosi pada logam tersebut juga meningkat.

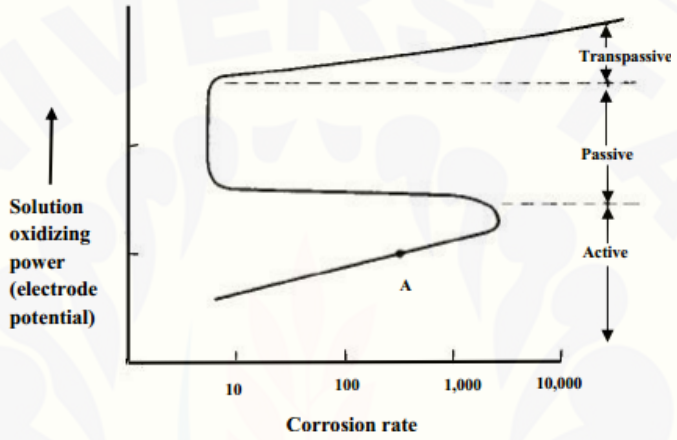


Gambar 2.9 Laju korosi pada logam sebagai fungsi dari potensial elektron. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Gambar 2.10 mengilusrasikan jenis-jenis material berdasarkan laju korosinya pada penambahan daya oksidasi dengan menggunakan elektroda potensial. Jenis-jenis material dibagi menjadi tiga kategori yaitu aktif, pasif dan transpatif. Untuk material pada daerah aktif biasanya daerah ini identik dengan logam pada umumnya, dimana penambahan daya oksidasi dengan menggunakan elektroda potensial diikuti dengan penambahan laju korosi. Untuk material yang berada pada daerah pasif, penambahan daya oksidasi tidak mempengaruhi laju

Digital Repository Universitas Jember

korosi yang terjadi pada material tersebut. Sedangkan untuk daerah transpatif, penambahan daya oksidasi tidak mempengaruhi laju korosi, namun untuk penambahan daya oksidasi yang besar, laju korosi material tersebut juga ikut bertambah.

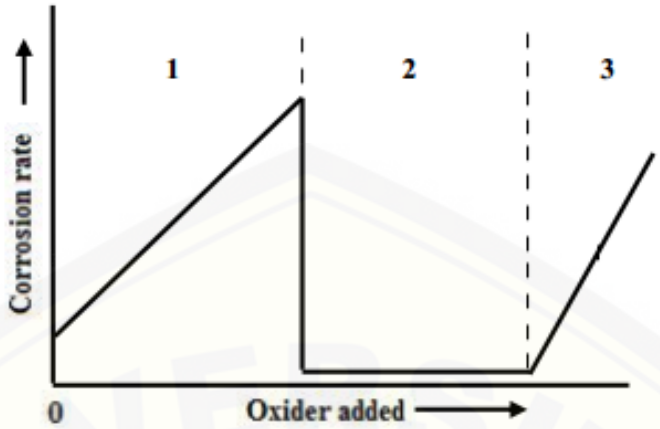


Gambar 2.10 Karakteristik korosi dari logam aktif-pasif sebagai fungsi potensial elektroda. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

2.2.1.3 Konsentrasi Oksigen

Pengaruh oksigen pada laju korosi dapat digambarkan pada grafik yang ditunjukan pada Gambar 2.11. Bentuk grafik tersebut dibagi menjadi tiga bagian yang berbeda. Untuk daerah 1 adalah karakteristik pada logam normal dan juga pada logam aktif-pasif di mana logam tersebut berada pada daerah aktif. Untuk logam yang ditunjukan pada daerah transisi aktifpasif, sifat pasif dicapai bila kuantitas oksigen tercukupi. Bertambah cepatnya laju korosi seiring dengan bertambahnya konsentrasi oksigen yang ditambahkan hal ini digambarkan pada daerah 1 dimana karakteristik daerah ini dimiliki oleh logam monel dan tembaga pada lingkungan *acid solution* yang mengandung oksigen.

Digital Repository Universitas Jember



Examples

1: Monel in $HCl + O_2$

Cu in $H_2SO_4 + O_2$

Fe in $H_2O + O_2$

1-2: 18Cr-Ni in $H_2SO_4 + Fe^{3+}$

Ti in $HCl + Cu^{+2}$

2: 18Cr-8Ni in HNO_3

Hastelloy C in $FeCl_3$

2-3: 18Cr-8Ni in $HNO_3 + Cr_2O_3$

1-2-3: 18Cr-8Ni in concentrated $H_2SO_4 + HNO_3$ mixtures at

Gambar 2.11 Pengaruh oksigen terhadap laju oksidasi. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

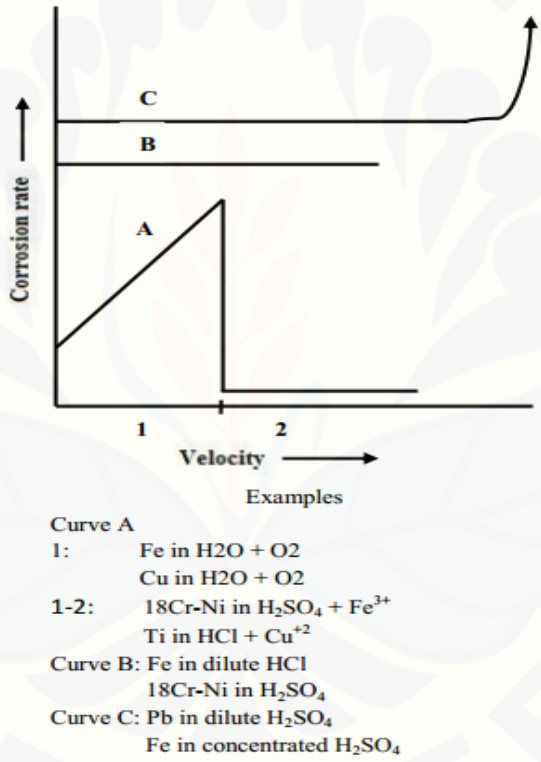
2.3.1.4 Kecepatan Angin

Pengaruh kecepatan angin terhadap laju korosi adalah seperti pengaruh penambahan oksigen terhadap laju korosi. Gambar 2.10 menunjukan ciri khas pengaruh kecepatan terhadap laju reaksi. Untuk proses korosi yang dikendalikan oleh aktifasi polarisasi maka kecepatan tidak memiliki pengaruh terhadap laju reaksi, seperti yang diilustrasikan oleh kurva B. Jika proses korosi dikendalikan oleh difusi katodik. Ketika kecepatan meningkat maka laju korosi meningkat seperti yang ditunjukan pada kurva A bagian 1. Pengaruh ini umumnya terjadi ketika adanya zat pengoksidasi dalam jumlah yang sedikit, seperti halnya oksigen yang

Digital Repository Universitas Jember

terlarut dalam larutan asam atau air. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Jika proses mengalami difusi dan logam bersifat pasif maka besarnya laju reaksi akan digambarkan oleh kurva A bagian 1 dan 2. Beberapa logam memiliki ketahanan korosi pada medium tertentu karena terbentuknya lapisan pelindung yang sangat besar. Ketika material yang terkena sinar matahari dan terdapat angin yang sangat besar maka hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan pelindung tersebut, sehingga laju korosi meningkat. Seperti yang ditunjukan pada kurva C.



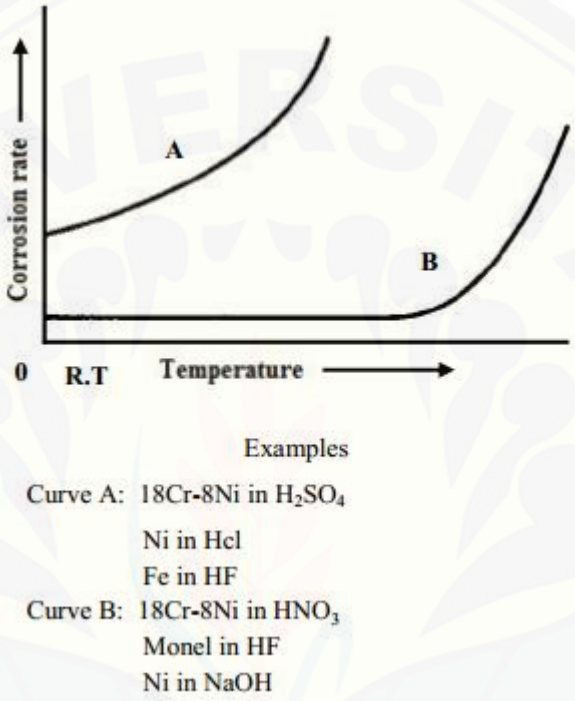
Gambar 2.12 Pengaruh kecepatan terhadap laju korosi. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

2.3.1.5 Pengaruh Suhu

Peningkatan suhu dapat meningkatkan laju reaksi kimia. Gambar 2.13 menggambarkan pengamantan dua keadaan umum pengaruh suhu terhadap laju korosi logam. Kurva A menunjukan kenaikan yang sangat cepat dalam laju korosi

Digital Repository Universitas Jember

disebabkan oleh kenaikan suhu pula. Kurva B menggambarkan bahwa laju reaksi tidak terlalu dipengaruhi oeh kenaikan suhu, yaitu pengaruh suhu diabaikan terhadap laju reaksi meskipun terjadi dalam suhu yang sangat tinggi. Sebagai contoh kasus yang terjadi pada baja karbon, monel dan nikel dalam lingkungan yang asam.



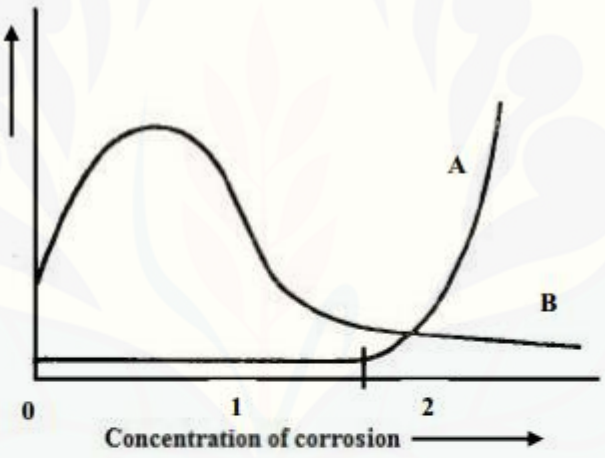
Gambar 2.13 Pengaruh suhu terhadap laju reaksi. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

2.2.1.6 Konsentrasi Korosif

Gambar 2.14 menunjukan konsentrasi korosif terhadap laju reaksi. Sebagai catatan kurva A memiliki dua bagian yaitu 1 dan 2. Kebanyakan material menunjukan bahwa efek konsentrasi korosif tidak terlalu berdampak pada laju korosi. Seperti yang ditunjukan pada kurva bagian pertama. Adapun material yang lain menunjukan perilaku yang berbeda ketika konsentrasi korosif meningkat mengakibatkan laju korosi meningkat pula. Timah adalah contoh yang menunjukan pengaruh tersebut. Pada konsentrasi yang rendah timah membentuk lapisan pelindung, namun pada konsentrasi yang tinggi lapisan pelindung tersebut larut

Digital Repository Universitas Jember

sehingga laju korosi bertambah seiring dengan pertambahan konsentrasi korosif. Sifat asam yang larut dalam semua konsentrasi air, sering menghasilkan kurva yang mirip dengan kurva B. Awalnya pada kurva B, kenaikan konsentrasi korosi menyebabkan laju korosi juga meningkat. Terutama karena fakta menunjukan bahwa sejumlah ion hidrogen yang bersifat aktif akan bertambah banyak karena konsentrasi asam juga meningkat. Namun karena konsentrasi asam terus meningkat, laju korosi mencapai titik maksimum dan akhirnya akan menurun. Hal ini tidak diragukan lagi karena fakta, bahwa konsentrasi yang sangat tinggi maka ionisasi asam akan berkurang. Karena ini, kebanyakan larutan asam seperti *sulfuric*, *acetic*, *hydrofluoric* dan yang lainnya pada hakekatnya tidak dapat bereaksi pada kondisi murni atau 100% konsentrasi.



Examples

Curve A

1: Ni in NaOH
18Cr-8Ni in HNO_3
Hastelloy B in HCl

1-2: Monel in HCl
Pb in H_2SO_4

Curve B

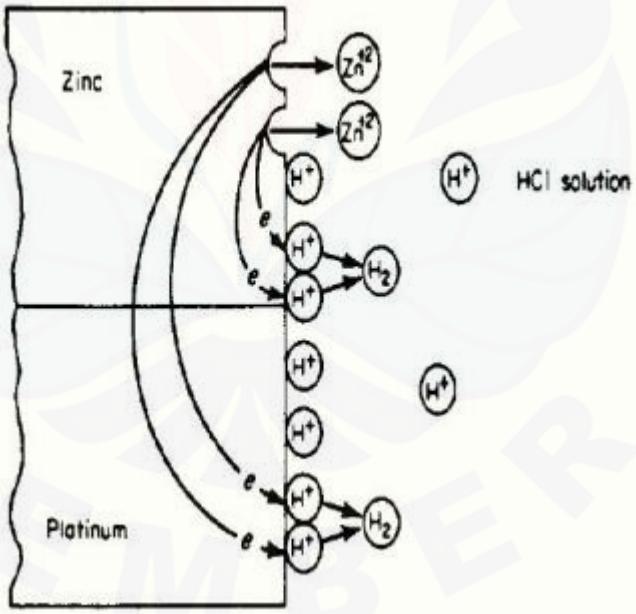
Al in acetic acid and HNO_3
18Cr-8Ni in H_2SO_4
Fe in H_2SO_4

Gambar 2.14 Pengaruh konsentrasi korosif terhadap laju korosi. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Digital Repository Universitas Jember

2.2.1.7 Pengaruh Pasangan Galvanik

Di kebanyakan pemanfaatan material, kontak antara material-material yang berbeda adalah sesuatu yang sulit untuk dihindarkan. Di dalam proses aliran fluida dan pemipaan, perbedaan material dan paduan sering terjadi kontak antara material tersebut. Sepotong seng dicelupkan ke dalam larutan asam klorida dan disambungkan dengan logam mulia seperti platinum. Karena platinum tidak dapat bereaksi dalam medium tersebut, hal itu akan menyebabkan terjadinya evolusi ion hidrogen dipermukaan platinum tersebut. Selanjutnya, evolusi hidrogen lebih mudah terjadi pada permukaan platina dibandingkan dengan seng. Akibat dari pasangan galvanik pada contoh tersebut adalah hampir identik dengan penambahan oksidator pada larutan korosif. Dalam kasus tersebut logam akan kehilangan elektronnya dan karenanya tingkat pelarutan logam juga meningkat. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).



Gambar 2.15 Pasangan galvanik antara platinum dan seng. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Digital Repository Universitas Jember

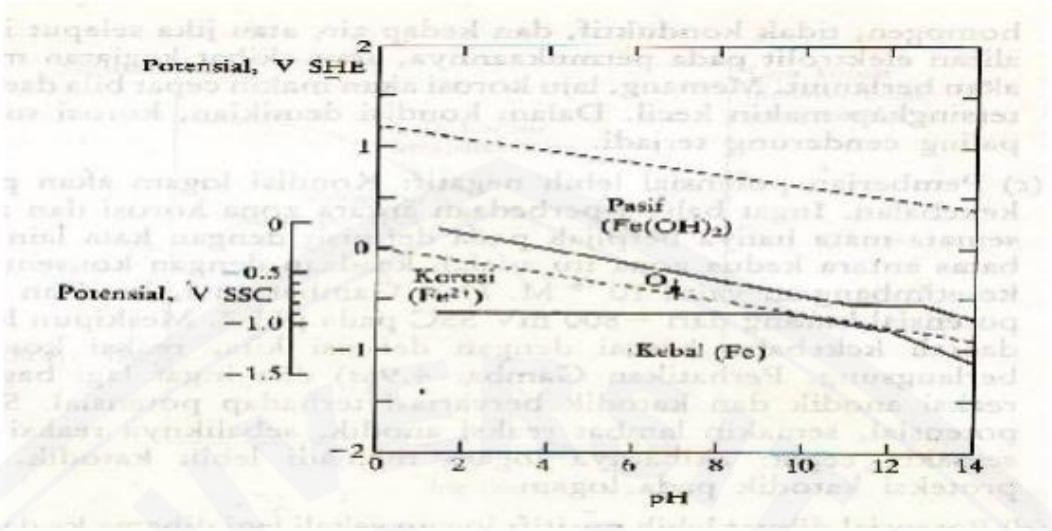
2.3 Pengertian Anoda

Didalam proses korosi, secara kimia benda akan melepaskan elektron-elektron bebas yang terdapat pada struktur benda itu sendiri, peristiwa ini disebut oksidasi atau karat pada logam. Peristiwa ini disebabkan oleh potensial benda yang lebih besar dibanding potensial dilingkungan sekitarnya. Dengan demikian benda tersebut harus dilindungi agar laju korosi bisa terhambat. Salah satu cara perlindungan tersebut adalah diberikan anoda pada benda tersebut. Anoda merupakan suatu alat dari logam yang biasa dipasang pada lambung kapal untuk memproteksi kapal tersebut dari korosi (karat). Metode pengendalian korosi semacam ini ada dua cara yaitu, metode anoda tumbal (sacrificial anoda) dan metode arus terpasang (impressed current). Metede anoda tumbal adalah metode yang menggunakan prinsip dasar dwilogam, yaitu apabila dua logam yang mempunyai potensial yang berbeda apabila digabungkan akan berperan menjadi anoda sedangkan logam yang satu akan berperan menjadi katoda. Dengan cara ini anodalah yang akan terkorosi sedangkan katoda tidak terkorosi. Metode arus terpasang juga menggunakan prisip dasar yang sama dengan metode anoda tumbal, tetapi dalam proses kerjanya anoda arus terpasang tidak terkorosi karena menggunakan teknik elektrik.

2.4 Dasar Teori Proteksi Anodik dan Katodik

Lingkungan laut adalah lingkungan yang paling rentan terhadap korosi. Seperti lambung kapal yang terbuat dari baja, anjungan pengeboran lepas pantai, dan pipa minyak serta gas dalam laut, semua harus dilindungi terhadap serangan korosi dengan cara menggunakan metode-metode dan teori-teori tentang korosi.

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 2.16 Diagram E/pH untuk besi dalam air. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Dari gambar diatas potensial korosi bebas, E_{kor}, untuk besi dalam air yang teraerasi berada dalam rentang -600 hingga -700 mV SSC pada pH sama dengan 7. Potensial ini dinyatakan dengan titik O dalam gambar. Untuk kondisi air laut, perubahan yang paling tampak diatas adalah tidak adanya pasivasi dibawa pH samadengan 5. ini sangat tidak relevan dengan kondisi air laut alami yang mempunyai pH antara 8,2 dan 8,5. karena itu titik O digeser ke harga pH yang sesuai, tetapi rentang harga-harga Ekor sendiri tetap sama. Entah berada dalam lingkungan yang mengandung klorida atau tidak, titik O selalu berada dalam zona korosi dan besi akan berkarat dengan cepat apabila pemasokan oksigen slalu cukup.

Ada empat macam cara berbeda yang mempengaruhi kesetimbangan termodinamik dititik O yaitu :

Cara (a) pengurangan pH : dalam hal ini larutan dibuat lebih asam. Dari gambar diatas tersirat bahwa spesimen tetap berada dalam zona korosi pada semua harga pH < 7, yakni zona ketika ion-ion besi yang dapat larut merupakan unsur yang paling mantap karena laju korosi meningkat bila pH turun.

Cara (b) peningkatan pH : peningkatan sedikit saja ternyata memindahkan besi ke daerah pemasifan, karena unsure paling mantap disini adalah besi hidroksida (atau oksida terhidrasi) yang tidak dapat larut. Kalau bahan itu dibiarkan

Digital Repository Universitas Jember

melapisi besi, maka akan mengurangi laju korosi karena selaput itu akan memisahkan besi dari lingkungan yang korosif. Tetapi kita tidak dapat beranggapan bahwa selaput yang tidak dapat larut tersebut akan selalu menjadi pelindung, Karena apabila selaput tersebut kedap air, rusak akibat aliran elektrolit atau akibat kegiatan mekanik maka korosi akan berlanjut.

Cara (c) pemberian potensial lebih negative : kondisi akan pindah ke daerah kekebalan. Karena perbedaan antara zona korosi dan zona kekebalan atau yang menjadi batas antara kedua zona itu logam dengan potensial kurang dari -800 mV SSC pada pH 7. Tetapi meskipun logam berada didaerah kekebalan, reaksi korosi masih bisa berlangsung karena reaksi-reaksi anodik dan katodik bervariasi terhadap potensial. Semakin negatif potensial semakin lambat reaksi katodik, sebaliknya reaksi katodik justru semakin cepat. Akibatnya logam menjadi lebih katodik inilah prinsip proteksi katodik pada logam.

Cara (d) potensial dibuat lebih positif : yaitu logam dibawah ke daerah pasif yaitu kondisi dimana laju korosi mempunyai peluang untuk berkurang akibat pembentukan selaput antara logam dan elektrolit. Cara ini telah digunakan secara efektif untuk kombinasikombinasi baja dengan elektrolit tertentu, sebagaimana hal nya untuk kombinasi-kombinasi elektrolit dan logam-logam lain. Cara ini dikenal sebagai proteksi anodik.

Dalam contoh diatas kita telah menemukan bahwa cara-cara (b) (c) dan (d) merupakan tiga cara perlindungan terhadap korosi yang teoritis. Kalau cara (b) yang dipilih, elektrolitnya sendiri sering berada diluar kemampuan pengendalian perekayasa atau pakar korosi yang bertugas. Pada anjungan minyak lepas pantai, misalnya, tidak ada orang yang sanggup mengubah pH air laut. Demikian pula, perekayasa proses tidak dapat mengubah komposisi produk yang ingin dibuatnya tetapi yang telah menyebabkan wadah dan pipa-pipa mengalami korosi. Ada kalanya, inhibitor tertentu dapat ditambahkan ke dalam elektrolit. Cara (c) dan (d) merupakan dasar pengendalian korosi melalui proteksi katodik dan anodik.

Digital Repository Universitas Jember

2.5 Metode Kehilangan Berat (Weight Loss)

Metode ini sering digunakan untuk menentukkan laju korosi dalam berbagai lingkungan. Metode ini berdasarkan ASTM G1,G4,A90 dan NACE RP0775. Korosi kupon digunakan untuk pada pengukuran total kehilangan berat pada periode penanaman. Ini menunjukkan korosi akan terjadi, sebuah kupon tunggal tidak dapat digunakan untuk menentukan kecepatan korosi beragam atau berubah selama periode penanaman. Informasi perubahan kecepatan korosi dapat ditentukan dengan beberapa pemasangan kupon pada satu waktu dan evaluasi kupon pada interval waktu yang pendek. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Gambar 2.17 Kupon untuk analisa kehilangan berat. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Interpretasi data coupon terdiri dari lokasi,waktu, pengukuran kedalaman, profil permukaan (penggelembungan atau erosi) produk korosi dan atau komposisi *scale*(produk yang terbentuk karena tanah memiliki pH basa yang bereaksi dengan tanah) dan faktor operasi (inhibitor,dll).

Dalam preparasi kupon, harus bersih dari semua kontaminan (debu, minyak dan produk karat), pengoperasian pengamplasan harus dilakukan sangat hati-hati untuk menghindari temperatur tinggi pada permukaan yang akan mempengaruhi mikrostruktur kupon. Untuk setiap sudut kupon harus dipoles untuk menghindari adanya konsentrasi tegangan yang mengarah pada korosi karena retak tegangan. Karena jumlah kupon yang ditanam lebih dari satu sehingga pemberian nomor seri menjadi sangat penting dalam penganalisian.

Digital Repository Universitas Jember

Setelah proses preparasi sampel, data berat, dimensi dan nomor serinya dicatat dan juga penduplikasian foto permukaan menjadi sangat penting untuk data perbandingan setelah penanaman.

Tipe kupon memiliki ukuran dan konfigurasi yang berbeda-beda tergantung alat yang digunakan (holder) atau keinginan dari pengguna. Komposisi kupon terbuat dari 0.1 hingga 0.2 % baja karbon dalam bentuk *strip* atau *plate* yang memiliki kemudahan dalam pengerjaannya.

Waktu penanaman harus dipertimbangkan ketika penginterpretasi data kupon korosi. Waktu pendek penanaman (15 hingga 45 hari) sudah dapat menunjukkan kecepatan korosi dari suatu logam [NACE RP0775]. Untuk waktu penanaman yang panjang (60 hingga 90 hari) sering digunakan untuk mendeteksi serangan pitting.

Setelah penanaman dilakukan dalan jangka tertentu, pembersihan dan penghilangan produk korosi dan semua yang terekspos dipermukaan harus dilakukan dengan hati-hati sebelum berat akhir diukur. Pembersihan dilakukan secara mekanika,kimia atau keduanya. Untuk lebih jelasnya dalam pembersihan permukaan pada sampel kupon dijelaskan dalam ASTM G1,G4 dan NACE RP0775.

Gambar 2.18 Kupon yang terkorosi. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Untuk mengetahui weight loss yang terjadi pada benda kerja , dilakukan penimbangan specimen/kupon sebelum dan sesudah proses pengujian. Proses penimbangan dilakukan menggunakan neraca digital.

Digital Repository Universitas Jember

2.6 Bentuk-Bentuk Korosi

Akan lebih mudah untuk mengklasifikasikan korosi berdasarkan penampilan atau rupa logam yang terserang korosi. Masing-masing bentuk korosi dapat dikenali dengan hanya melakukan pengamatan secara visual. Pada kebanyakan kasus, pengamatan bentuk korosi hanya dengan mata telanjang sudah cukup. Tetapi kadang-kadang pengamatan dengan menggunakan perbesaran juga dibutuhkan. Informasi yang penting untuk solusi dari masalah korosi sering diperoleh melalui pengamatan yang cermat dari spesimen uji korosi. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Beberapa dari delapan bentuk korosi adalah bersifat unik. Delapan bentuk korosi tersebut adalah : *uniform or general attack, galvanic or two metal corrosion, crevice corrosion, pitting, intergranular corrosion, selective leaching or parting, erosion corrosion, and stress corrosion*. Bentuk-bentuk korosi tersebut mencakup hampir semua kegagalan korosi. *Hydrogen damage* adalah bukan bentuk korosi, akan tetapi sering terjadi akibat dari serangan korosi.

2.6.1 *Uniform Attack* (Korosi Merata)

Korosi merata adalah bentuk korosi yang pada umumnya sering terjadi. Hal ini biasanya ditandai dengan adanya reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi pada permukaan yang bereaksi. Logam menjadi tipis dan akhirnya terjadi kegagalan pada logam tersebut. Sebagai contoh, potongan baja atau seng dicelupkan pada asam sulfat encer, biasanya akan terlarut secara seragam pada seluruh permukaannya. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Contoh lain dari korosi merata adalah pada pelat baja atau profil, permukaannya bersih dan logamnya homogen, bila dibiarkan di udara biasa beberapa bulan maka akan terbentuk korosi merata pada seluruh permukaanya.

Digital Repository Universitas Jember

Gambar 2.19 Korosi merata pada logam. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

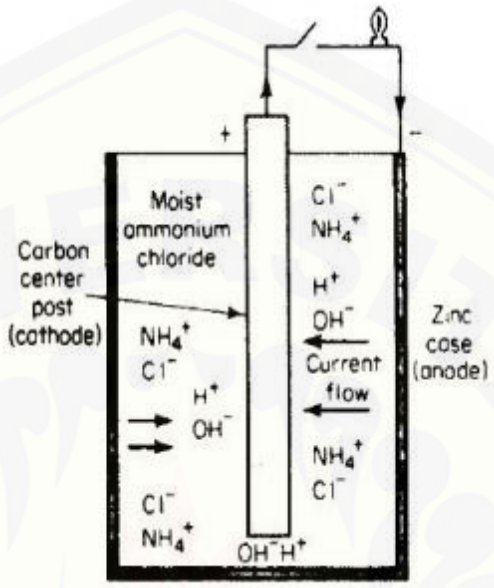
Korosi merata merupakan keadaan kerusakan yang sangat besar terhadap material. Namun demikian korosi ini kurang diperhatikan karena umur dari peralatan dapat diperkirakan secara akurat dengan pengujian lain yang lebih sederhana. Korosi merata dapat dilakukan pencegahan dengan cara pelapisan, inhibitor dan proteksi katodik.

2.6.2 *Galvanic Corrosion* (Korosi Galvanik)

Perbedaan potensial biasanya terjadi diantara dua logam yang berbeda, ketika keduanya di celupkan ke dalam larutan korosif. Ketika logam tersebut berkontak, dengan adanya perbedaan potensial akan menghasilkan aliran elektron. Elektron mengalir dari logam yang kurang mulia (anodik) menuju ke metal yang lebih mulia (katodik). Akibatnya metal yang kurang mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion-ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa tersebut permukaan anoda kehilangan metal. Korosi akan menyerang logam yang ketahanan-korosi nya lebih rendah dan serangan pada logam yang lebih tahan-korosi akan lebih sedikit. Logam yang terserang korosi akan menjadi anoda dan logam yang lebih tahan terhadap serangan korosi akan menjadi katoda. Biasanya logam yang katodik akan terserang sedikit bahkan tidak terjaidi korosi ketika kedua logam tersebut disambungkan. Jenis korosi ini disebut korosi galvanik. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Digital Repository Universitas Jember

Contoh dari korosi galvanik dapat dilihat pada kasus batu baterai. Pada Gambar 2.20, elektroda karbon sebagai logam mulia atau yang tahan terhadap korosi (katoda) dan seng sebagai anoda yang terserang karat.



Gambar 2.20 Korosi galvanik pada batu baterai. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Bila besi kontak langsung dengan tembaga dimana tembaga lebih mulia, maka besi akan bersifat anodik dan akan mengorbankan diri sehingga akan terjadi korosi pada besi, sedangkan tembaganya tetap utuh.

2.6.3 *Crevice Corrosion* (Korosi Celah)

Korosi lokal sering terjadi di dalam celah-celah dan daerah yang tertutup pada permukaan logam yang terkena korosi. Jenis korosi ini biasanya disebabkan oleh lubang yang kecil, dan celah-celah di bawah kepala baut dan paku keling. Seperti yang ditunjukan pada Gambar 2.21.

Digital Repository Universitas Jember

Gambar 2.21 *Crevice corrosion* pada baut. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Karat celah sebenarnya adalah sel korosi yang diakibatkan oleh perbedaan konsentrasi zat asam. Akan halnya karat celah, proses pengkaratannya dapat dijelaskan sebagai berikut:

Karena celah sempit terisi dengan elektrolit (air yang pH-nya rendah) maka terjadilah suatu sel korosi dengan katoda-nya permukaan sebelah luar celah yang basah dengan air yang banyak mengandung zat asam daripada bagian dalam celah yang sedikit mengandung zat asam sehingga bersifat anodik. Akibatnya terjadi kehilangan metal pada bagian yang di dalam celah. Proses pengkaratan ini berlangsung cukup lama karena cairan elektrolit di dalam celah cenderung lama mengeringnya walaupun bagian luar celah telah lama mengering. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

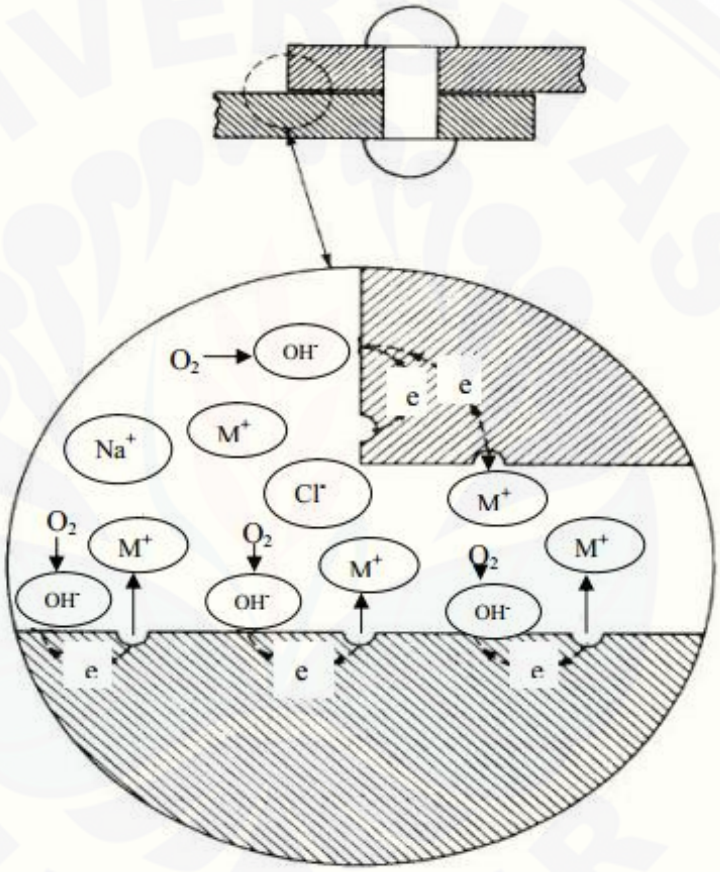
Untuk menggambarkan dasar pembentukan korosi celah, celupkan dua buah plat logam M yang dipaku dicelupkan di dalam air laut (pH 7) seperti yang ditunjukan pada Gambar 2.22. Reaksi tersebut mengakibatkan logam M menjadi terkikis dan reduksi oksigen menjadi ion hidroksida.

$$\text{Oksidasi M} \longrightarrow M^{+} + e$$

$$\text{Reduksi } O_2 + 2H_2O + 4e \longrightarrow 4OH^{-}$$

Digital Repository Universitas Jember

Awalnya reaksi ini terjadi merata di atas seluruh permukaan, termasuk bagian dalam celah. Setiap elektron yang dihasilkan selama pembentukan ion logam akan bereaksi dengan oksigen. Setelah waktu yang singkat, oksigen dalam celah habis karena konveksi dibatasi, sehingga reduksi oksigen berhenti di daerah celah. Hal ini, dengan sendirinya tidak menyebabkan perubahan yang berarti di dalam celah akibat korosi. Oleh karena itu laju korosi di dalam dan di luar celah tetap sama.



Gambar 2.22 Proses tahap awal korosi celah. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

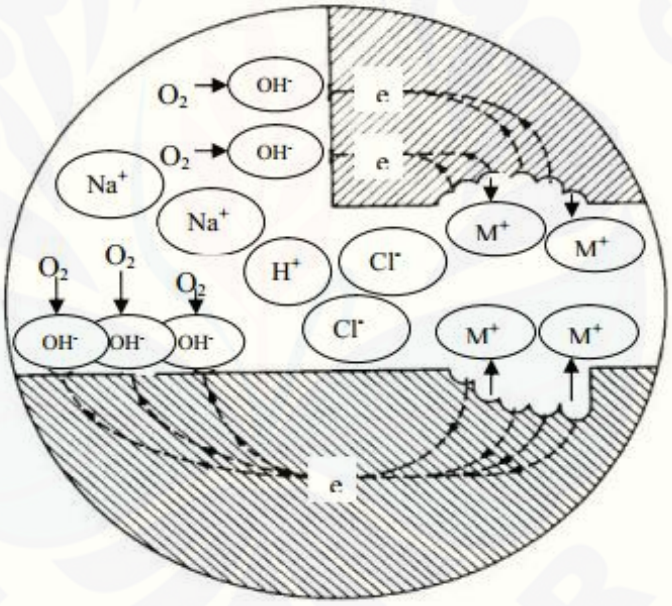
Secara tidak langsung penurunan oksigen memiliki pengaruh yang penting, yang menjadi lebih jelas dengan meningkatnya penyinaran. Setelah oksigen habis, tidak ada pengurangan oksigen lebih lanjut, meskipun larutnya logam M terus menerus terjadi seperti yang terlihat pada Gambar 2.22. Ini cenderung

Digital Repository Universitas Jember

menghasilkan kelebihan muatan positif dalam larutan (M^+), yang tentu seimbang dengan migrasi ion klorida ke dalam celah. Kecuali untuk logam alkali (misalnya natrium dan kalium), logam garam, termasuk klorida dan sulfat.

$$M^+ + Cl^- + H_2O \longleftrightarrow MOH + H^+ Cl^-$$

Persamaan di atas menunjukan bahwa di dalam larutan logam klorida terurai menjadi hidroksida yang tidak larut dan menjadi asam bebas. Untuk alasan yang belum diketahui, baik ion klorida maupun hidrogen dapat mempercepat tingkat pelarutan logam dan paduan. Ion-ion tersebut masuk ke dalam celah sebagai akibat dari migrasi dan hidrolisis, dan akibatnya laju pelarutan logam M akan meningkat, seperti ditunjukan pada Gambar 2.23.



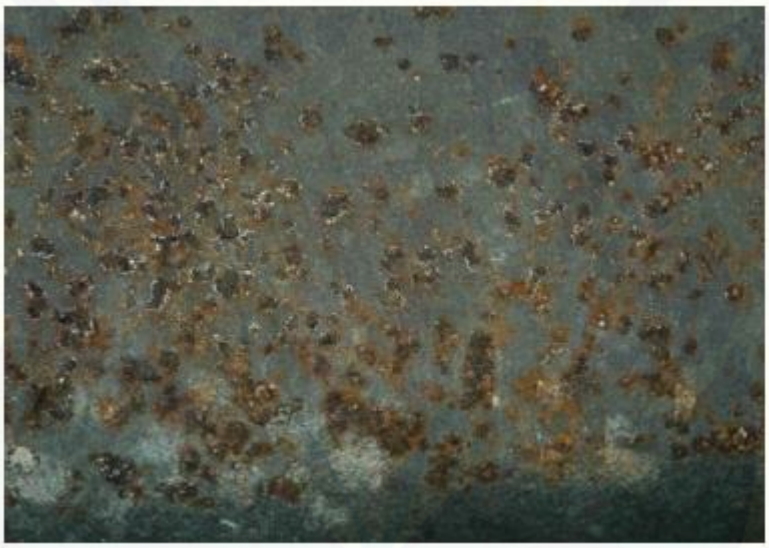
Gambar 2.23 Proses selanjutnya dari korosi celah. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

2.6.4 *Pitting Corrosion* (Korosi Sumur)

Pitting corrosion adalah bentuk serangan korosi yang sangat lokal (menyerang pada daerah tertentu saja) yang mengakibatkan lubang dalam logam. Lubang ini mungkin memiliki diameter yang kecil atau besar, namun dalam banyak

Digital Repository Universitas Jember

kasus lubang tersebut kecil relatif kecil Lubang terisolasi atau kadang-kadang terlihat seperti permukaan yang kasar. *Pits* umumnya dapat digambarkan sebagai rongga atau lubang dengan diameter permukaan kurang-lebih sama atau kurang dari kedalaman. *Pitting corrosion* adalah salah satu bentuk korosi yang paling merusak dan berbahaya. Hal itu menyebabkan peralatan menjadi gagal karena dengan penurunan massa yang sedikit saja akibat adanya lubang, maka kegagalan dapat terjadi dengan mudah. Sering kali sulit untuk mendeteksi *pit* karena ukurannya yang kecil dan arena lubang-lubang tersebut tertutup oleh produk korosi. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24 Korosi sumuran pada bak mandi. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Perhatikan lubang yang tampak menyolok serta kurangnya serangan korosi pada sebagian besar permukaan logam. Serangan meningkat dalam beberapa hari. Namun, ini adalah contoh ekstrim, karena pitting biasanya membutuhkan berbulan-bulan atau tahun untuk melubangi bagian logam.

Terjadinya korosi bentuk ini antara lain karena karena komposisi logam tidak homogen dan dapat menimbulkan korosi yang dalam pada beberapa tempat. Dapat juga karena ada kontak antara logam yang berlainan dan logam kurang mulia, maka pada daerah batas, timbul korosi berbentuk sumur. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Digital Repository Universitas Jember

2.6.5 *Intergranular Corosion* (Korosi Batas Butir)

Di daerah batas butir memilki sifat yang lebih reaktif. Banyak-sedikitnya batas butir akan mempengaruhi kegunaan logam tersebut. Semakin sedikit batas butir pada suatu material maka akan menurunkan kekuatan material tersebut. Jika logam terkena karat, maka di daerah batas butir akan terkena serangan terlebih dahulu dibandingkan daerah yang jauh dari batas butir. Serangan yang terjadi pada daerah batas butir dan daerah yang berdekatan dengan batas butir.

Intergranular corrosion dapat terjadi karena adanya kotoran pada batas butir, penambahan pada salah satu unsur paduan, atau penurunan salah satu unsur di daerah batas butir. Sebagai contoh paduan besi dan alumunium, dimana kelarutan besi lambat maka akan terjadi serangan pada batas butir.

Beberapa kegagalan pada 18-8 baja karbon telah terjadi karena *intergranular corrosion*. Ini terjadi dalam lingkungan dimana paduan harus memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Ketika baja dipanaskan pada suhu kira-kira antara 950°F sampai 1450°F, baja tersebut akan peka atau rentan terhadap *intergranular corrosion*. Sebagai contoh untuk menghindari terjadinya *intergranular corrosion*, maka prosedur kepekaan di panaskan pada suhu 1200°F selama satu jam.

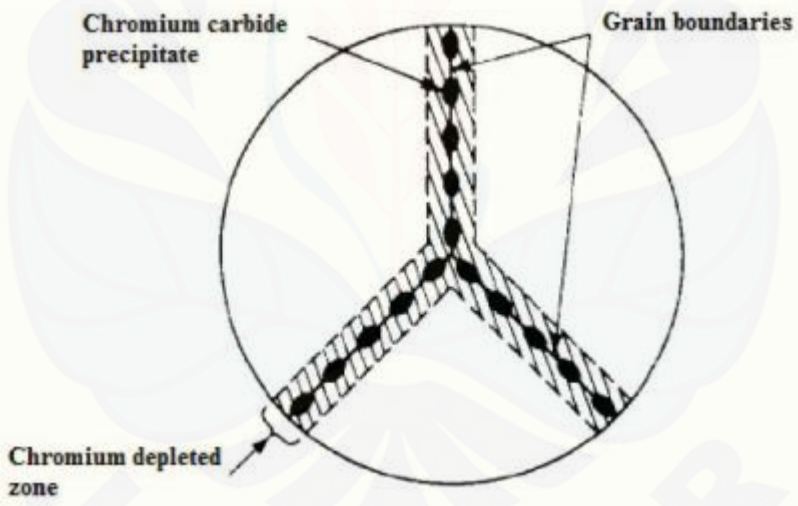
Kebanyakan teori tentang terjadinya *intergranular corrosion* didasarkan pada kehilangan atau penipisan kromium di daerah batas butir. Penambahan kromium pada baja akan meningkatkan ketahanan korosi diberbagai kondisi lingkungan. Umumnya penambahan tersebut berkisar 10% kromium untuk pembuatan baja karbon tahan karat. Jika kromium secara efektif diturunkan ketahanan terhadap korosi akan berkurang.

Di suhu antara 950°F-1250°F, endapan kromium karbida ($Cr_{23}C_6$) dan karbon akan hampir larut pada kandungan karbon sekitar 0.02% atau lebih tinggi. Kromuim dengan demikian akan hilang dari larutan padat dan hasilnya adalah logam akan kehilangan kromium di daerah yang berdekatan dengan batas butir. Kromium karbida di daerah batas butir tidak akan menyebabkan serangan korosi.

Digital Repository Universitas Jember

Pengurangan kromium pada daerah sekitar batas butir akan menyebabkan serangan korosi, karena tidak mengandung ketahanan korosi yang cukup untuk melawan serangan di berbagai kondisi lingkungan. Umumnya 18-8 *stainless steel*, tipe 304 biasanya mengandung 0.06% - 0.08% karbon, sehingga akan kelebihan karbon yang akan bersenyawa dengan kromium untuk memebentuk endapan karbida. Keadaan ini ditunjukan pada Gambar 2.25. Karbon berdifusi cukup mudah menuju batas butir pada suhu sensitivitas, namun kromium jauh kurang bergerak. Permukaan yang ada pada batas butir akan berubah menjadi permukaan baru, yaitu disebut kromium karbida. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

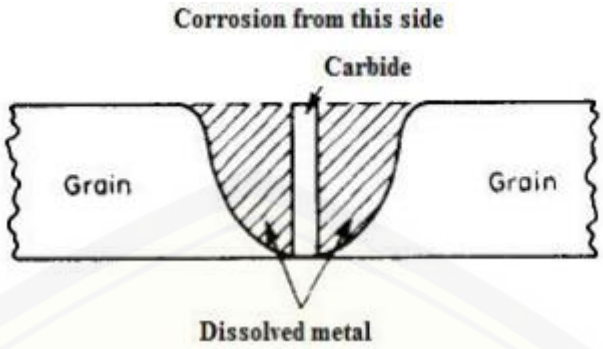
Ada beberapa bukti yang menunjukan bahwa kandungan kromium pada batas butir dapat berkurang ke tingkat yang sangat rendah atau tidak ada sama sekali. Menganggap bahwa kandungan kromium dikurangi menjadi 2%.



Gambar 2.25 Batas butir pada baja karbon tipe 304. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

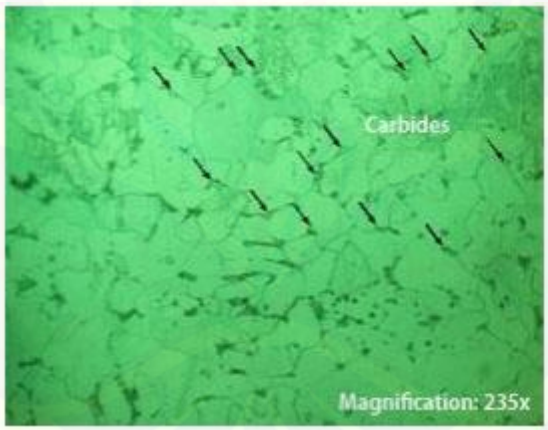
Jika paduan dipotong menjadi lembaran tipis, di daerah batas butir akan ditunjukan pada Gambar 2.26. Daerah berkarat akan muncul sebagai sebuah parit yang dalam dan sempit ketika diamati pada perbesaran rendah.

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 2.26 Potongan melintang batas butir *stainless steel* tipe 304. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Endapan karbida kromium telah dijelaskan selama bertahun-tahun sebagai partikel karena mereka terlalu kecil untuk pemeriksaan dengan menggunakan mikroskop cahaya. Mahla dan Nielson dari Du Pont, menggunakan mikroskop elektron, menunjukan bahwa bentuk karbida seperti sebuah film atau amplop di sekitar butir-butir dalam struktur *leaflike*. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.27.

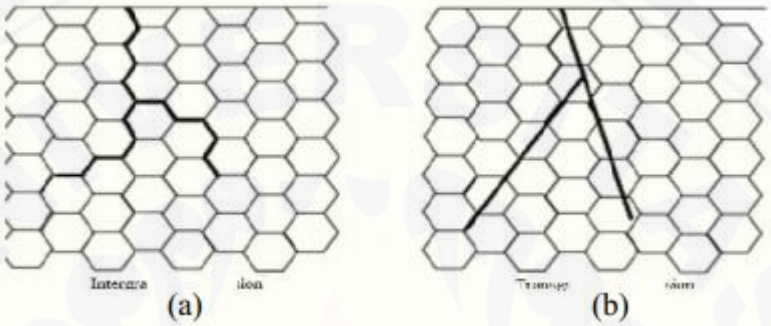


Gambar 2.27 Endapan karbida. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Yang menunjukan bahan sisa dari salah satu unsur paduan dilarutkan dalam asam klorida yang kuat. Ini menekankan bahwa karbida sendiri tidak diserang, akan tetapi kromium yang berdekatan dengan batas butir akan terlarut. Pada kenyatannya, larutan asam cepat menimbulkan korosi pada semua jenis paduan 1 8-8 terlepas dari perlakuan panas. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Digital Repository Universitas Jember

Korosi antar batas butir (*intergranular corrosion*) terjadinya hanya pada batas butir biasanya akibat serangan elektrolit, karena tegangan pada kristal adalah paling tinggi. Pengendaliannya adalah menghindari terbentuknya karbida pada batas butir.. Pada Korosi transkristalin (*transgranular corrosion*), terjadinya korosi adalah melewati kristal. Perbedaan korosi antar batas butir dengan korosi transkristalin ditunjukan pada gambar 2.28.



Gambar 2.28 (a) *Intergranular corrosion* dan (b) *transgranular corrosion*. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

2.6.6 *Selective Leaching*

Selective leaching (pelarutan selektif) adalah pemindahan salah satu unsur dari sebuah paduan yang padat akibat proses korosi. Contoh yang paling umum adalah pelarutan selektif dalam paduan seng kuningan (*dezinfication*). Proses yang sama terjadi dalam sistem paduan lain dimana alumunium, besi, kobalt, kromium dan elemen lainnya yang akan terlarut. Pelarutan selektif adalah istilah umum yang menggambarkan proses-proses dan penggunaan istilah tersebut tidak mencakup pada istilah *dealuminumification*, *decobsltification* dan lainlain. *Parting* (*dealloying*) adalah istilah metalurgi yang kadang-kadang digunakan, akan tetapi istilah *selective leaching* lebih disukai. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Zat komponen yang larut adalah selalu bersifat anodik terhadap komponen yang lain. Walaupun secara visual tampak perubahan warna pada permukaan paduan namun tidak tampak adanya kehilangan materi berupa takik, perubahan

Digital Repository Universitas Jember

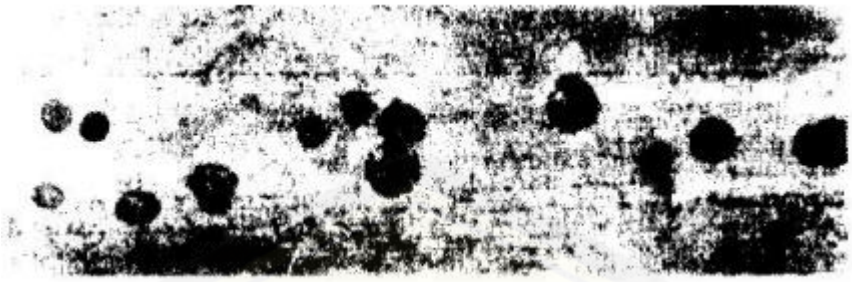
dimensi, retak atau alur. Bentuk permukaan tampaknya tetap tidak berubah tingkat kehalusan/kekasarannya. Namun sebenarnya berat bagian yang terkena karat ini menjadi berkurang, berpori-pori dan yang terpenting adalah kehilangan sifat mekanisnya yakni menjadi getas dan memiliki kekuatan tarik yang sangat yang rendah.

Kuningan umumnya terdiri dari sekitar 30% seng dan 70% tembaga. *Dezincfication* mudah diamati dengan mata telanjang karena perubahan mencolok dari warna kekuningan (kuningan) menjadi warna merah tembaga. Ada dua jenis bentuk *dezinfication*, dan keduanya mudah dikenali. Pertama adalah *uniform* (merata) atau *layer-type* dan yang kedua adalah *localized* (setempat) atau *plug-type*. Gambar 2.29 adalah contoh *uniform attack*. Lapisan bagian dalam adalah bagian yang terlarut dan bagian luar adalah bagian yang tidak terserang.

Gambar 2.29 *Uniform dezincfication.* (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Gambar 2.30 adalah contoh yang tepat untuk kasus *plug-type dezincification*. Daerah yang gelap pada pipa adalah daerah yang terserang. Sementara bagian yang lainnya tidak terserang karat. Serangan dapat terjadi pada permukaan setempat dan bekembang makin ke dalam bukan mendatar. Hal inilah yang membedakan antara *plug-type* dan *uniform type.*

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 2.30 *Plug-type dezincfication*. (Sember : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

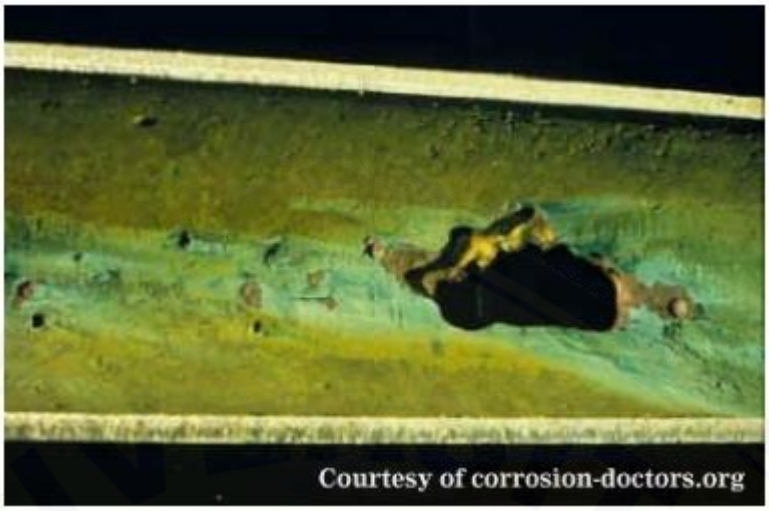
Dealloying dari kunigan ini biasanya terjadi di dalam proses yang menggunakan air lunak (air yang sedikit akan mineral) terutama apabila kandungan karbondioksida-nya tinggi. Faktor lain yang menaikan tingkat kepekaan kuningan terhadap serangan pelarutan selektif adalah suhu tinggi, kandungan klorida dalam air yang tinggi, kecepatan air yang rendah, celah-celah sempit dan endapan.

2.6.7 *Erosion Corrosion* (korosi Erosi)

Korosi erosi adalah percepatan atau peningkatan tingkat kerusakan atau serangan pada logam karena gerakan relatif antara cairan korosif dan permukaan logam. Umumnya gerakan ini cukup cepat, dan berkaitan dengan abrasi. Logam yang berada di permukaan akan berubah menjadi ion terlarut atau menjadi bentuk produk korosi yang padat. Kadang-kadang pengaruh dari lingkungan dapat mengurangi laju korosi, khususnya ketika serangan lokal terjadi dalam kondisi tergenang, tapi ini tidak bisa disebut *erosion corrosion* karena kerusakan tidak bertambah. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

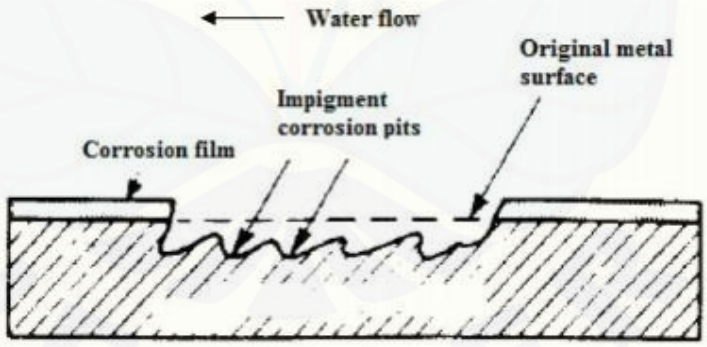
Bentuk fisik dari korosi erosi ditandai dalam penampilan berupa alur, parit, gelombang, lubang bulat, lembah-lembah, dan biasanya menunjukan pola arah. Gambar 2.31 menunjukan penampilan alur dari kegagalan korosi erosi.

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 2.31 Korosi erosi pada pipa air laut. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Gambar 2.32 adalah sketsa yang mempresentasikan korosi erosi pada tabung alat *heatexchanger*. Di berbagai kasus korosi erosi terjadi dalam waktu yang relatif singkat, dan serangan nya tidak terduga karena evaluasi uji korosi terjadi dibawah kondisi statis atau karena efek erosi tidak dipertimbangkan dalam evaluasi uji korosi.



Gambar 2.32 Sketsa korosi erosi. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Kebanyakan logam dan paduan adalah rentan terhadap serangan korosi erosi. Korosi erosi terjadi ketika permukaan logam rusak atau usang karena diserang dengan kecepatan yang tinggi. Logam yang lunak dan mudah rusak seperti tembaga dan timah adalah cukup rentan terhadap korosi erosi.

Digital Repository Universitas Jember

Banyak jenis media korosi dapat menyebabkan korosi erosi. Misalnya gas, larutan, sistem organik dan logam cair. Sebagai contoh, gas panas dapat mengoksidasi logam dan paduan ketika bergerak dengan kecepatan yang tinggi. Dari sudut pandang korosi erosi, padatan dalam suatu cairan (lumpur) adalah sangat merusak.

Semua jenis peralatan yang terkena fluida yang bergerak akan rentan terhadap korosi erosi. Beberapa diantaranya sistem perpipaan terutama bagian tikungan pipa, alat pengukur aliran air seperti *orifice*, system pipa-pipa pada alat *heat-exchanger* seperti pada *heaters* dan *kondensator*.

2.6.8 *Stress Corrosion* (Korosi Tegangan)

Gaya-gaya mekanis seperti tarikan atau kompresi berpengaruh sangat kecil pada proses pengkaratan pada bagian metal yang sama jika ditinjau dari laju pengkaratan dalam mils per tahun. Namun demikian apabila itu merupakan kombinasi antara *tensile stress* dan lingkungan yang korosiif, maka kondisi ini merupakan salah satu dari penyebab utama kegagalan material. Kegagalan ini berupa retakan yang lazim disebut korosi tegangan. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Sifat retak jenis ini sangat spontan (tiba-tiba terjadinya). Bila logam telah dibentuk dingin (diregang, ditekuk) maka walaupun tidak sampai patahan atau retak, tetapi butiran logamnya berubah bentuk hingga timbul tegangan dalam. Butiran logam yang tegang ini mudah sekali bereaksi dengan lingkungannya, hingga suatu saat benda itu akan retak atau pecah dengan sendirinya.

Jenis serangan karat ini terjadi sangat cepat, dalam ukuran menit, yakni jika semua persyaratan untuk terjadi nya karat regangan (tegangan) ini telah terpenuhi pada saat tertentu yaitu adanya regangan internal dan terciptanya kondisi korosif yang berhubungan dengan konsentrasi zat karat (*corrodent*) dan suhu lingkungan.

Karat dapat terbentuk di celah-celah sempit. Volume produk karat tersebut dapat jauh lebih besar dari metal asalnya yang terkonsumsi, akibatnya terjadi tekanan yang cukup besar di dalam celah tersebut sehingga menimbulakan korosi

Digital Repository Universitas Jember

tegangan. Karat tegangan pada awal terjadinya berukuran mikroskopis (sangat kecil). Dengan menjalarnya retak ke dalam material, maka kekuatan penampang menjadi berkurang ketingkat sedemikian rendah sehingga struktur material tersebut gagal. Gambar 2.33 adalah contoh dari karat tegangan.

Gambar 2.33 Korosi retak pada pipa. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

2.7 Korosi Atmosfer

Jenis karat ini terjadi akibat proses elektrokimia antara dua bagian benda padat khususnya metal besi yang berbeda potensial dan langsung berhubungan dengan udara terbuka. Atmosfer di Indonesia termasuk daerah tropis yang lembab, sehingga merupakan daerah yang sangat korosif bila dibandingkan dengan belahan bumi kita di bagian utara.

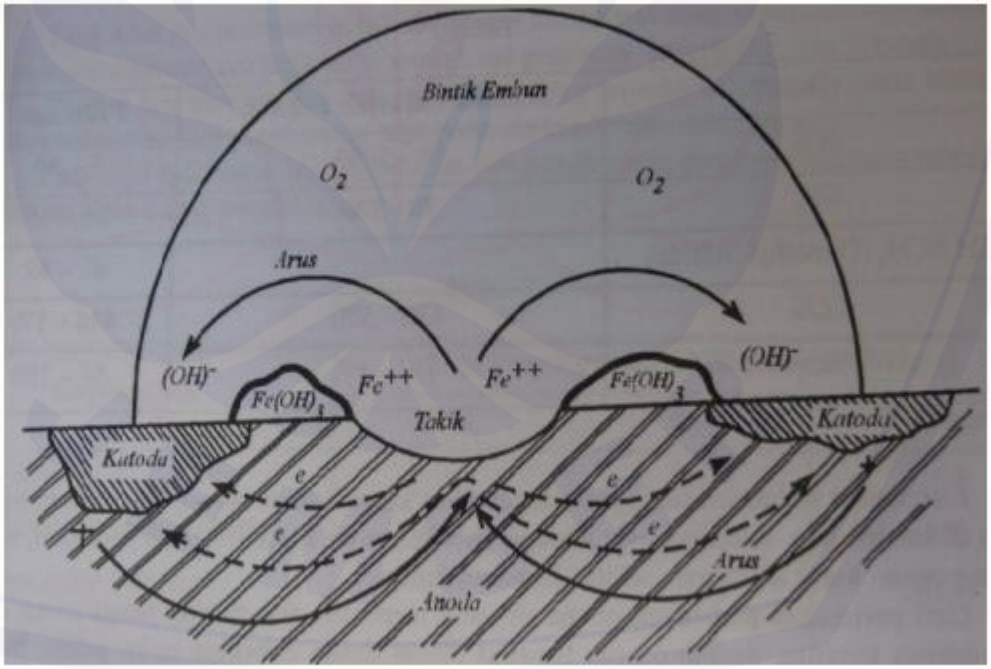
Adapun mekanisme terjadinya karat ini adalah fakta menunjukan hampir tidak ada benda, khususnya metal besi yang bebas dari kotoran di dalam materialnya yang lazim disebut *impurities*, yang berupa oksida dari metal besi tersebut akibat bereaksi dengan zat asam di udara, perbedaan struktur molekuler dari material itu sendiri, serta perbedaan tegangan di dalam bagian-bagian metal

Digital Repository Universitas Jember

besi tersebut. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Secara alami hal-hal tersebut menimbulkan perbedaan potensial antara bagian-bagian, perbedaan potensial ini menyebabkan sebagian dari metal bersifat katodis, yakni bagian metal besi yang murni. Jika keadaan udara dingin dan basah, maka akan terbentuk bintik-bintik embun di permukaan metal besi yang dingin. Juga apabila jatuh hujan, maka permukaan metal menjadi basah. Di dalam udara banyak sekali terdapat sampah, debu sebagai pencemar. yang kadang-kadang menimbulkan larutan yang sangat asam jika bercampur dengan partikelpartikel air embun.

Larutan yang pH-nya sangat rendah inilah yang berfungsi sebagai bahan penghantar (*electrolyte*) yang sangat baik, sehingga terjadilah sel karat di dalam titik embun yang menempel pada permukaan yang memiliki perbedaan beda potensial tersebut (lihat Gambar 2.34).



Gambar 2.34 Proses terbentuknya karat pada titik embun. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Digital Repository Universitas Jember

Sewaktu bintik-bintik embun atau air hujan mengering kena panas matahari, proses pengkaratan terhenti dan akan berlanjut lagi manakala permukaan yang berkarat tadi menjadi basah kembali oleh hujan atau embun. Proses ini akan terjadi melalui mekanisme tersebut di atas secara berulang-ulang hingga takik karat bertambah dalam dan produk karat menutupinya.

Zat pencemar bermacam-macam, yang paling dominan bergantung pada lokasi di tempat terjadinya pengkaratan, misalnya di tepi pantai zat pencemar yang paling dominan adalah NaCl yang berasal dari partikel air laut, di sekitar kawasan industri zat SO_2, H_2S, NH_3 dan NO_2. Di daerah pedesaan yang paling dominan adalah *Carbonyl Sulfida* COS.

Walaupun suatu jenis metal tahan karat di suatu lokasi, belum tentu bersifat sama di tempat lain, misalnya baja berlapis galvanis tahan karat si daerah pedesaan, namun kurang tahan karat di daerah industri. Dari perbedaan-perbedaan pengaruh yang mencolok atas tingkat pengkaratan di daerah-daerah tertentu, maka daerah-daerah tersebut dibagi dalam beberapa jenis yakni: *Marine*, *Industrial*, *Tropical*, *Arctic*, *Urban* (pelosok), *Rural* (pedesaan).

2.7.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Korosi atmosfer

2.7.1.1 Jumlah Zat Pencemar di Udara (Debu dan Gas)

Rata-rata kandungan debu dari udara kota-kota besar sebesae 2 mg/m^3 dan kandungan tersebut menjadi lebih pekat di kawasan industri sebesar 1000 mg/m^3 atau bahkan lebih. Debu tersebut terdiri antara lain butir-butir arang, paduan arang (*Carbon Compound*), oksida metal, H_2SO_4, $(NH_4)_2SO_4$, dan NaCl. (Sember : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Biasanya di udara terdapat sedikit kandungan CO_2. Gas ini tidak menyebabkan karat, justru mengurangi pengkaratan. Gas hidrogen sulfida yang terkandung di dalam udara yang tercemar dapat menyebabkan karat tarnish pada perak atau tembaga. Film *tarnish* terdiri dari Ag_2S pada perak dan campuran Cu_2S + CuS + Cu_2O pada logam tembaga.

Digital Repository Universitas Jember

Gas yang paling merusak pada udara di kawasan industri adalah Sulfur Dioksida (SO_2) yang berasal dari hasil pembakaran batubara, minyak bakar atau bensin. Asam sulfat ini sangat merusak sekali hampir pada keseluruhan material bangunan dan prasarana umum lainnya, bahkan apabila terbawa hujan dapat menyebabkan hujan asam yang dapat membunuh tanaman dan hewan ternak pemakan tumbuh-tumbuhan yang telah tercemar.

2.7.1.2 Suhu dan Kelembaban Kritis

Di daerah yang udaranya bersih dari pencemaran, dengan suhu yang tetap, apabila tingkat kelembaban relatifnya dibawah 100% maka tidak akan terjadi pengkaratan yang berarti pada bahan baja murni. Karena kelembaban relatif biasanya berfluktuasi sesuai dengan berfluktuasinya suhu dan karena sampah/kotoran di udara maupun di dalam baja bersifat higroskopis maka untuk mencegah terjadinya kondensasi di permukaan baja, kelembaban relatif harus diperkecil hingga jauh dibawah 100%.

Tingkat kelembaban dimana dibawah harganya tingkat pengkaratan tidak berarti disebut Kelembaban Relatif Kritis (KRK). KRK untuk baja, tembaga, nikel dan seng berkisar 50 hingga 70%. Di daerah yang sangat berat polusi udaranya, kelembaban relatif kritis tidak ada lagi, karena kelembaban berapapun akan menimbulkan karat atmosfer. Faktor yang sangat menentukan kepekaan suatu metal baja terhadap terhadap serangan karat atmosfer di dalam suatu lingkungan khusus adalah persentase waktu dimana angka kelembaban relatif kritis dilampaui. Waktu ini disebut ‘Waktu Kebasahan’ (*time of wetness*). Hal ini dapat ditentukan dengan menghitung tegangan antara metal yang berkarat dengan elektroda platina. Khusus di daerah tropis dimana tingkat kelembaban relatifnya cukup tinggi, bahaya atmosfer cukup besar, apalagi di daerah tepi pantai dan di kawasan industri.

2.8 Baja karbon

Baja karbon adalah paduan antara Fe dan C dengan kadar C sampai 2,14%. Sifat- sifat mekanik baja karbon tergantung dari kadar C yang dikandungnya. Setiap baja termasuk baja karbon sebenarnya adalah paduan multi komponen yang

Digital Repository Universitas Jember

disamping Fe selalu mengandung unsur-unsur lain seperti Mn, Si, S, P, N, H, yang dapat mempengaruhi sifat-sifatnya. Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian menurut kadar karbon yang dikandungnya, yaitu baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,25 %, baja karbon sedang mengandung 0,25 – 0,6 % karbon, dan baja karbon tinggi mengandung 0,6 – 1,4 % karbon. (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

2.8.1 Baja Karbon rendah

Baja karbon rendah mengandung kurang dari 0,5 % karbon. Kebanyakan dari produk baja ini berbentuk pelat hasil pembentukan roll dingin dan proses anneal. Kandungan karbonnya yang rendah dan mikrostrukturnya yang terdiri dari fasa ferit dan pearlit menjadikan baja karbon rendah bersifat lunak dan kekuatannya lemah namun keuletan dan ketangguhannya sangat baik. Baja karbon rendah kurang responsif terhadap perlakuan panas untuk mendapatkan mikrostruktur martensit maka dari itu untuk meningkatkan kekuatan dari baja karbon rendah dapat dilakukan dengan proses roll dingin maupun karburisasi.

2.8.2 Baja karbon sedang

Baja ini mengandung karbon antara 0,25% – 0,60 %. Didalam perdagangan biasanya dipakai sebagai alat-alat perkakas, baut, porosengkol, roda gigi, ragum, pegas dan lain-lain. (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

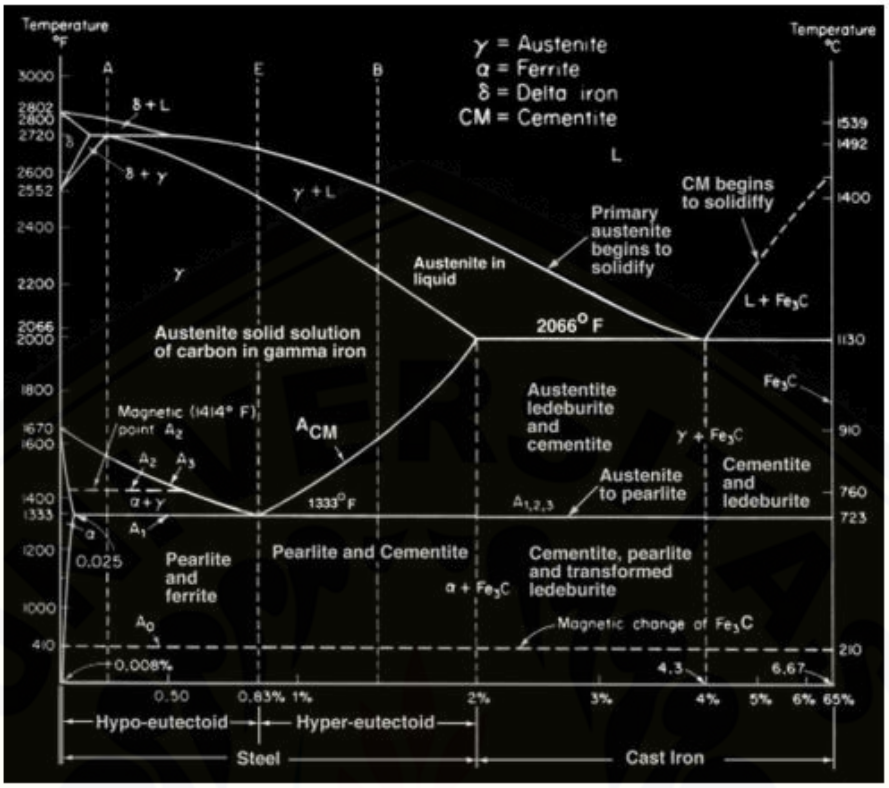
2.8.3 Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi ialah baja yang mengandung kerbon antara 0,6% – 1,4%. Baja ini biasanya digunakan untuk keperluan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi.

2.9 Struktur Mikro

Diagram kesetimbangan fasa Fe-Fe_3C adalah alat penting untuk memahami struktur mikro dan sifat-sifat baja karbon.

Digital Repository Universitas Jember

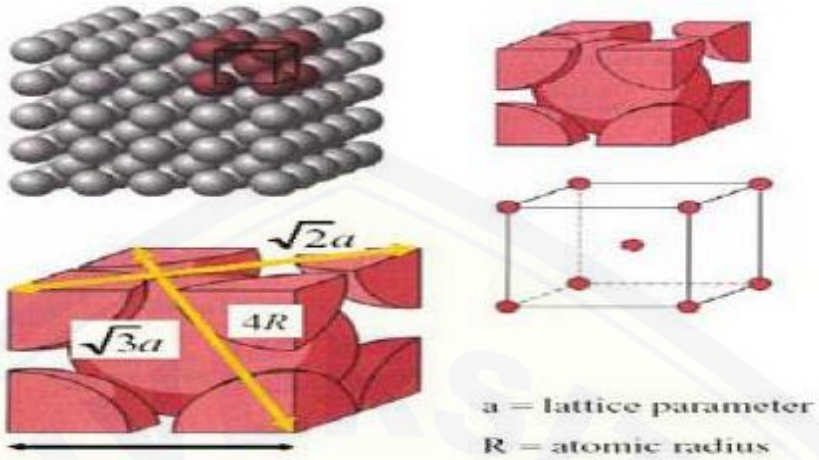


Gambar 2.35 Diagram Fasa Fe-Fe3C. (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

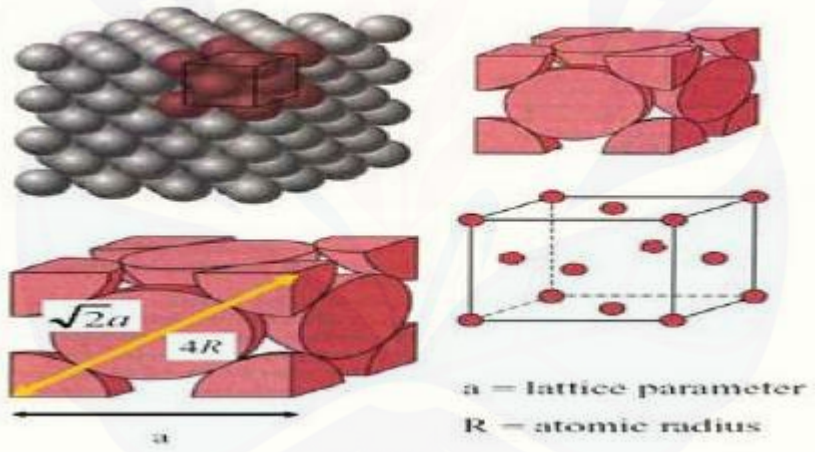
Karbon larut di dalam besi dalam bentuk larutan padat (solution) hingga 0,05% berat pada temperatur ruang. Baja dengan atom karbon terlarut hingga jumlah tersebut memiliki alpha ferrite pada temperatur ruang. Pada kadar karbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk hard intermetallic stoichiometric compound (Fe3C) yang dikenal sebagai cementite atau carbide. Selain larutan padat alpha-ferrite yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada temperatur ruang terdapat fase-fase penting lainnya, yaitu delta-ferrite dan gamma-austenite. Logam Fe bersifat polymorphism yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada temperatur berbeda. Pada Fe murni, misalnya, alpha-ferrite akan berubah menjadi gamma-austenite saat dipanaskan melewati temperature 910°C.

Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400˚C gamma-austenite akan kembali berubah menjadi delta-ferrite. (Alpha dan Delta) Ferrite dalam hal ini memiliki struktur kristal BCC sedangkan (Gamma) Austenite memiliki struktur kristal FCC.

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 2.36 Ilustrasi struktur kristal BCC. (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).



Gambar 2.37 Ilustrasi struktur kristal BCC (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

2.9.1 Ferrite

Ferrite adalah fase larutan padat yang memiliki struktur BCC (body centered cubic). Ferrite dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperatur ruang, yaitu alpha-ferrite atau pada temperatur tinggi, yaitu delta-ferrite. Secara umum fase ini bersifat lunak (soft), ulet (ductile), dan magnetik (magnetic) hingga temperatur tertentu, yaitu Tcurie. Kelarutan karbon di dalam fase ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam fase larutan padat lain di

Digital Repository Universitas Jember

dalam baja, yaitu fase Austenite. Pada temperatur ruang, kelarutan karbon di dalam alpha-ferrite hanyalah sekitar 0,05%. Berbagai jenis baja dan besi tuang dibuat dengan mengeksploitasi sifat-sifat ferrite. Baja lembaran berkadar karbon rendah dengan fase tunggal ferrite misalnya, banyak diproduksi untuk proses pembentukan logam lembaran. Dewasa ini bahkan telah dikembangkan baja berkadar karbon ultra rendah untuk karakteristik mampu bentuk yang lebih baik. Kenaikan kadar karbon secara umum akan meningkatkan sifatsifat mekanik ferrite sebagaimana telah dibahas sebelumnya. Untuk paduan baja dengan fase tunggal ferrite, faktor lain yang berpengaruh signifikan terhadap sifat-sifat mekanik adalah ukuran butir. (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

2.9.2 Pearlite

Pearlite adalah suatu campuran lamellar dari ferrite dan cementite. Konstituen ini terbentuk dari dekomposisi Austenite melalui reaksi eutectoid pada keadaan setimbang, di mana lapisan ferrite dan cementite terbentuk secara bergantian untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi eutectoid. Pearlite memiliki struktur yang lebih keras daripada ferrite, yang terutama disebabkan oleh adanya fase cementite atau carbide dalam bentuk lamel-lamel.

2.9.3 Austenite

Fase Austenite memiliki struktur atom FCC (Face Centered Cubic). Dalam keadaan setimbang fase Austenite ditemukan pada temperatur tinggi. Fase inibersifat non magnetik dan ulet (ductile) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat Austenite lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fase Ferrite. Secara geometri, dapat dihitung perbandingan besarnya ruang intertisi di dalam fase Austenite (atau kristal FCC) dan fase Ferrite (atau kristal BCC).

Perbedaan ini dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena transformasi fase pada saat pendinginan Austenite yang berlangsung secara cepat.Selain pada temperatur tinggi, Austenite pada sistem Ferrous dapat pula direkayasa agar stabil pada temperatur ruang. Elemen-elemen seperti Mangan dan Nickel misalnya dapat

Digital Repository Universitas Jember

menurunkan laju transformasi dari gamma-austenite menjadi alpha-ferrite. Dalam jumlah tertentu elemenelemen tersebut akan menyebabkan Austenite stabil pada temperatur ruang.

2.9.4 Cementite

Cementite atau carbide dalam sistem paduan berbasis besi adalah stoichiometric inter-metallic compund Fe_3C yang keras (hard) dan getas (brittle). Nama cementite berasal dari kata caementum yang berarti stone chip atau lempengan batu. Cementite sebenarnya dapat terurai menjadi bentuk yang lebih stabil yaitu Fe dan C sehingga sering disebut sebagai fase metastabil. Namun, untuk keperluan praktis, fase ini dapat dianggap sebagai fase stabil. Cementite sangat penting perannya di dalam membentuk sifat-sifat mekanik akhir baja. Cementite dapat berada di dalam sistem besi baja dalam berbagai bentuk seperti: bentuk bola (sphere), bentuk lembaran (berselang seling dengan alpha-ferrite), atau partikel-partikel carbide kecil. Bentuk, ukuran, dan distribusi karbon dapat direkayasa melalui siklus pemanasan dan pendinginan. Jarak rata-rata antar karbida, dikenal sebagai lintasan Ferrite rata-rata (Ferrite Mean Path), adalah parameter penting yang dapat menjelaskan variasi sifat-sifat besi baja. Variasi sifat luluh baja diketahui berbanding lurus dengan logaritmik lintasan ferrite rata-rata.

2.9.5 Martensite

Martensite adalah mikro konstituen yang terbentuk tanpa melalui proses difusi. Konstituen ini terbentuk saat Austenite didinginkan secara sangat cepat, misalnya melalui proses quenching pada medium air. Transformasi berlangsung pada kecepatan sangat cepat, mendekati orde kecepatan suara, sehingga tidak memungkinkan terjadi proses difusi karbon. Transformasi martensite diklasifikasikan sebagai proses transformasi tanpa difusi yang tidak tergantung waktu (diffusionless time-independent transformation). Martensite yang terbentuk berbentuk seperti jarum yang bersifat sangat keras (hard) dan getas (brittle). Fase martensite adalah fase metastabil yang akan membentuk fase yang lebih stabil apabila diberikan perlakuan panas. Martensite yang keras dan getas diduga terjadi

Digital Repository Universitas Jember

karena proses transformasi secara mekanik (geser) akibat adanya atom karbon yang terperangkap pada struktur kristal pada saat terjadi transformasi polimorf dari FCC ke BCC. Hal ini dapat dipahami dengan membandingkan batas kelarutan atom karbon di dalam FCC dan BCC serta ruang intertisi maksimum pada kedua struktur kristal tersebut.

2.10 Mekanisme Penguatan Logam

Penguatan logam yang berdampak terhadap peningkatan sifat mekanik dapat terjadi melalui berbagai cara, antara lain dengan mekanisme pengerasan regangan (*strain hardening*), larut-padat (*solid-solution*), fasa kedua, presipitasi, dispersi, penghalusan butir dan tekstur.

2.10.1 Pengerasan regang (*strain hardening)*

Penguatan melalui mekanisme pengerasan regangan dapat terjadi terhadap semua logam akibat proses deformasi plastis yang menyebabkan terjadinya peningkatan kerapatan dislokasi. Dislokasi yang semakin rapat mengakibatkan dislokasi itu sendiri semakin sukar bergerak sehingga bahan menjadi semakin kuat atau keras.

2.10.2 Larut padat (*solid solution strengthening)*

Penguatan melalui mekanisme larut-padat terjadi akibat adanya atom-atom asing yang larut-padat baik secara substitusi maupun interstisi. Atom asing yang larut-padat tersebut dapat berupa unsur pemadu dalam bentuk paduan maupun inklusi berupa atom pengotor. Kelarutan atom-atom asing ini dalam bentuk larut-padat mengakibatkan timbulnya medan tegangan yang berdampak terhadap pergerakan dislokasi. Pergerakan dislokasi semakin sukar dengan timbulnya medan tegangan sehingga mengakibatkan logam menjadi lebih kuat atau keras.

2.10.3 Fasa Kedua

Penguatan atau pengerasan dapat pula terjadi melalui mekanisme fasa kedua karena timbulnya senyawa fasa paduan. Pembentukan senyawa fasa kedua dalam paduan terjadi karena penambahan unsur paduan yang melampaui batas larut-padat.

Digital Repository Universitas Jember

Senyawa fasa yang terbentuk bersifat relatif keras dan pergerakan dislokasi cenderung akan terhambat oleh fasa kedua tersebut. Pergerakan dislokasi yang terhambat oleh senyawa fasa kedua akan memperkuat dan memperkeras logam.

2.10.4 Presipitasi (*precipitate strengthening)*

Pengerasan logam dapat juga ditingkatkan dengan proses presipitasi yaitu pengerasan melalui partikel endapan fasa kedua yang halus dan menyebar. Distribusi presipitat dalam bentuk partikel endapan fasa kedua ini menimbulkan tegangan dalam (*internal stress*). Tegangan yang ditimbulkan semakin besar sehingga mengakibatkan semakin meningkatnya kekuatan atau kekerasan. Pengerasan presipitasi ini terjadi melalui proses perlakuan panas, *quenching* dan *aging*. Paduan logam dalam bentuk dua fasa atau lebih dipanaskan pada suhu tertentu sehingga senyawa fasa tersebut akan larut-padat dalam satu fasa yang relatif homogen. Fasa yang relatif homogen tersebut kemudian didinginkan secara cepat sehingga membentuk fasa larut-padat super jenuh. Fasa larutpadat super jenuh tersebut kemudian mengalami *aging* sehingga terbentuk presipitat berupa partikel endapan fasa kedua yang halus dan tersebar merata yang mengakibatkan bahan menjadi keras. Pengerasan presipitasi ini akan menurun kekuatannya bila mengalami suhu *overaging*. (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

2.10.5 Dispersi (*dispersion strengthening)*

Penguatan logam tanpa pengaruh suhu *overaging* dapat dilakukan dengan metode dispersi. Pengerasan dispersi merupakan pengerasan melalui proses memasukkan partikel-partikel dispersi dalam bentuk serbuk yang tercampur secara homogen. Partikel dispersi yang digunakan merupakan partikel yang sama sekali tidak larut dalam matriknya. Campuran serbuk logam tersebut dikenai proses kompaksi dan *sintering* dengan suhu pemanasan sampai mendekati titik cair logam matrik sehingga mengakibatkan terjadi ikatan yang kuat. Partikel dispersi tersebut merupakan rintangan bagi gerakan dislokasi dan semakin banyak partikel akan semakin banyak terjadinya dislokasi. Dislokasi yang semakin banyak

Digital Repository Universitas Jember

mengakibatkan dislokasi semakin rapat dan semakin sulit bergerak sehingga bahan akan semakin keras.

2.10.6 Penguatan besar butir (*grain boundary strengthening)*

Penguatan dengan cara penghalusan butir (*grain refining*) terjadi melalui struktur butir. Butir logam merupakan kumpulan sel-satuan yang berorientasi sama. Polikristal memiliki butir-butir yang orientasinya berbeda satu dengan yang lain. Pada saat deformasi terjadi, dislokasi akan bergerak pada bidang *slip* dan berusaha mencapai permukaan luar. Oleh karena orientasi setiap butir berbeda dengan yang lain, orientasi bidang *slip* pada butir-butir juga akan berbeda-beda. Sebagai akibatnya pergerakan dislokasi akan terhambat. Gerakan dislokasi yang akan menyeberangi batas butir memerlukan tegangan yang lebih besar sehingga dengan demikian batas butir akan menjadi penghalang dan penghambat gerakan dislokasi. Struktur butir memiliki batas-batas butir yang merupakan rintangan bagi pergerakan dislokasi. Butir yang semakin halus cenderung akan semakin memperbanyak batas butir. Batas butir yang banyak akan mengakibatkan gerakan dislokasi semakin sukar karena semakin banyak rintangan. Penghalusan butir dapat dilakukan melalui proses pembekuan dan proses rekristalisasi. Penguatan tekstur merupakan peningkatan kekuatan atau kekerasan melalui orientasi kristal. Logam yang ditingkatkan kekuatannya diusahakan kristalnya memiliki orientasi tertentu. Pembentukan kristal logam agar sel-satuan memiliki orientasi yang mendekati arah tertentu dapat dilakukan dengan cara deformasi plastis, seperti dengan proses pengerolan.

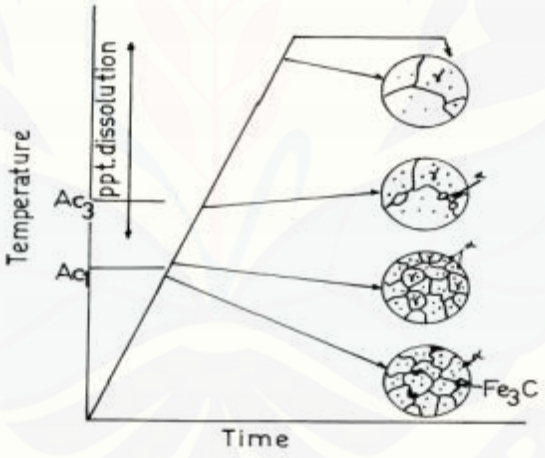
2.11 Proses termomekanik (TMCP) Thermomechanical Controlled Processing

Proses termomekanik adalah teknik perlakuan logam yang didesain untuk meningkatkan kekerasan dan ketangguhan dengan mekanisme penghalusan butir dengan proses deformasi yang terkontrol. Secara umum, proses termomekanik terdiri dari proses pemanasan awal, pengerjaan panas dan pendinginan.

Digital Repository Universitas Jember

2.11.1 Pemanasan awal *(Reheating)*

Pada proses pemanasan awal *(Reheating)* pelat baja dipanaskan hingga temperatur austenit dengan tujuan antara lain untuk melarutkan berbagai paduan yang terdapat dalam baja, dan untuk mencapai besar austenit yang optimum, sehingga dapat mencapai kekuatan baja yang optimum setelah pengerjaan panas. Proses pemanasan awal ini sangat penting dalam menghasilkan sifat mekanis benda jadi karena dengan pemanasan awal dapat diprediksi mikrostruktur akhir yang terbentuk. Selama proses pemanasan awal (*reheating*) untuk baja karbon rendah pada temperatur di bawah Ac_1, strukturnya adalah ferit dan perlit. Semakin tinggi temperatur melewati Ac_1, dibawah Ac_3 terjadi transformasi perlit menjadi austenit. Sehingga pada daerah tersebut fasa yang ada adalah austenit dan ferit. Pada temperatur di atas Ac_3, seluruh struktur mikro baja bertransformasi menjadi austenit. Hal ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.38. Pengaruh proses reheating pada perubahan struktur mikro baja. (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

2.11.2 Pengerolan

Pengerolan merupakan proses pembentukan material untuk mengurangi ketebalan suatu material dengan cara memberikan gaya dengan bantuan roll. Umumnya material yang dilakukan dengan proses pengerolan adalah berupa plat

Digital Repository Universitas Jember

datar dan lembaran. Pengerolan dibagi menjadi dua yaitu Pengerolan Panas dan Pengerolan Dingin. (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

2.11.2.1 Proses pengerolan panas

Proses pengerolam panas didefinisikan sebagai proses pembentukan yang dilakukan pada daerah temperatur rekristalisasi logam. Dalam proses deformasi pada temperatur tinggi terjadi pelunakan yang terus menerus akibat terjadinya rekristalisasi. Karena sifat lunak dan ulet material sehingga gaya pembentukan yang dibutuhkan relatif kecil, serta benda kerja mampu menerima perubahan bentuk yang besar tanpa retak. Karena alasan itulah pengerolan panas digunakan pada proses pembentukan primer yang dapat memberikan deformasi yang besar.

2.11.2.2 Proses pengerolan dingin

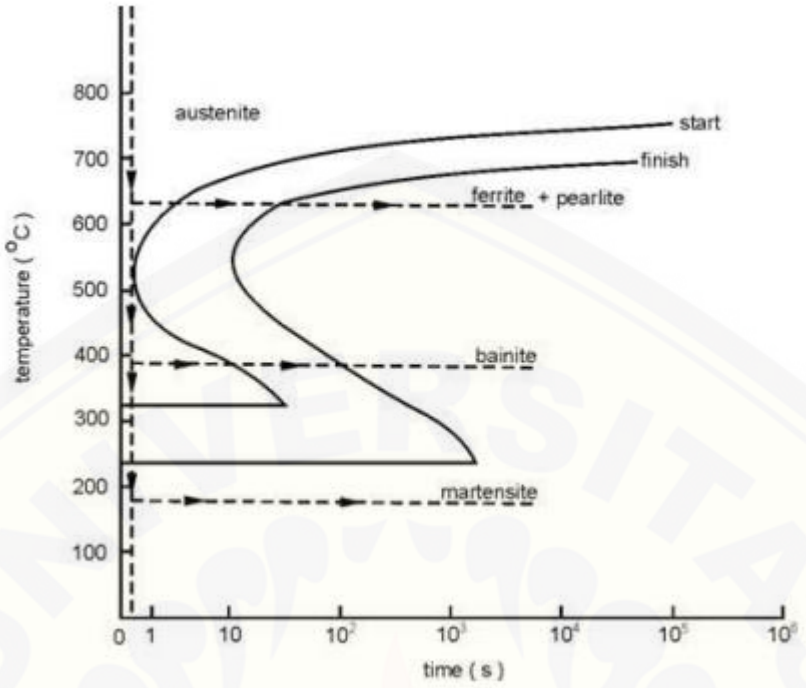
Proses pengerolan dingin adalah proses pembentukan yang dilakukan dibawah temperatur rekristalisasi. Pada kondisi ini logam yang dideformasi mengalami pengerasan regangan (strain hardening). Logam bersifat makin keras dan kuat tetapi semakin getas.

2.11.3 Pendinginan

2.11.3.1 Pendinginan Tidak Kontinyu

Jika suatu baja didinginkan dari suhu yang lebih tinggi dan kemudian ditahan pada suhu yang lebih rendah selama waktu tertentu, maka akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada diagram dibawah ini.

Digital Repository Universitas Jember

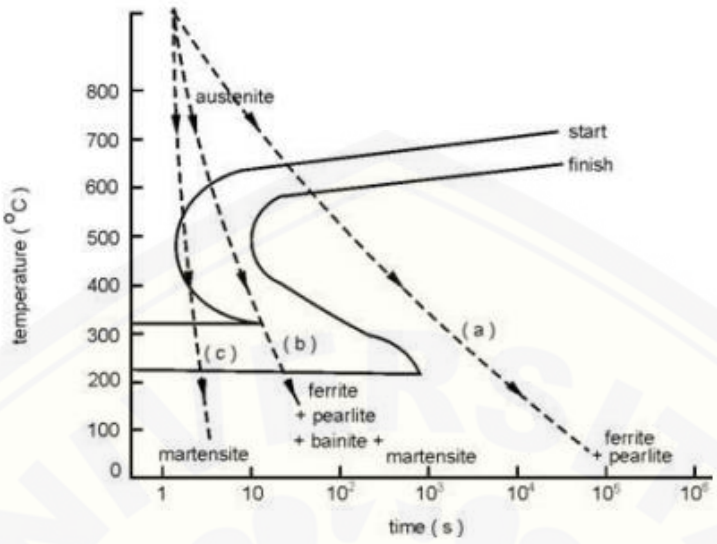


Gambar 2.39 *Isothermal Tranformation Diagram*. (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

2.11.3.2 Pendinginan Kontinyu

Dalam prakteknya proses pendinginan pada pembuatan material baja dilakukan secara menerus mulai dari suhu yang lebih tinggi sampai dengan suhu rendah. Pengaruh kecepatan pendinginan kontinyu terhadap struktur mikro yang terbentuk dapat dilihat dari *Continuous Cooling Transformation Diagram.*

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 2.40 *Continuous Cooling Transformation Diagram.* (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

2.12 Recovery, Rekristalisasi dan Pertumbuhan Butir

Perubahan perubahan yang terjadi setelah proses pemanasan terbagi menjadi tiga yaitu :

2.12.1 *Recovery*

Recovery adalah pelepasan energi regangan didalam bahan kerena gerakan dislokasi (karena gaya yang diberikan) disebabkan oleh difusi atom yang meningkat pada temperatur yang lebih tinggi. Sebagian energi regangan dilepaskan dan jumlah diskolasi turun, konduktivitas listrik dan thermal menjadi lebih baik seperti keadaan sebelum dilakukan pengerjaan dingin. Pada tahapan ini belum terjadi perubahan sifat mekanik maupun struktur mikro. (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

2.12.2 Rekristalisasi

Walaupun recovery telah selesai, butir masih memiliki energi regangan yang tinggi. Rekristalisasi adalah pembentukan butiran ”equiaxed” (bulat) baru yang bebas dari energi regangan dan mempunyai kerapatan diskolasi rendah. karakteristiknya seperti kondisi sebelum dilakukan pengerjaan dingin gaya

Digital Repository Universitas Jember

penggerakan terbentuknya butir baru adalah karena perbedaan energi dalam antara material yang bebas energi regangan dengan yang mempunyai energi regangan.

2.12.3 Pertumbuhan butir

Pertumbuhan butir merupakan lanjutan dari proses *recovery* dan rekristalisasi. Setelah rekristalisasi selesai, butir yang terbentuk akan terus tumbuh atau membesar jika temperatur logam tetap dijaga, fenomena ini disebut pertumbuhan butir. Pertumbuhan butir terjadi karena berpindahnya batas butir. Tidak semua butir menjadi besar, tetapi butir besar tumbuh seiring dengan menghilangnya butir lebih kecil.

2.13 Korosi pada Baja Karbon *(Bare Steel)*

Baja karbon, paling banyak digunakan untuk material keteknikan, diperkirakan 85% dari produksi baja dunia. Walaupun terdapat keterbatasan terhadap ketahanan korosi, baja karbon banyak digunakan untuk aplikasi kelautan (maritim), nuklir, transportasi, proses kimia, industri perminyakan, *refining*, pipa saluran, konstruksi pertambangan dan peralatan proses logam.

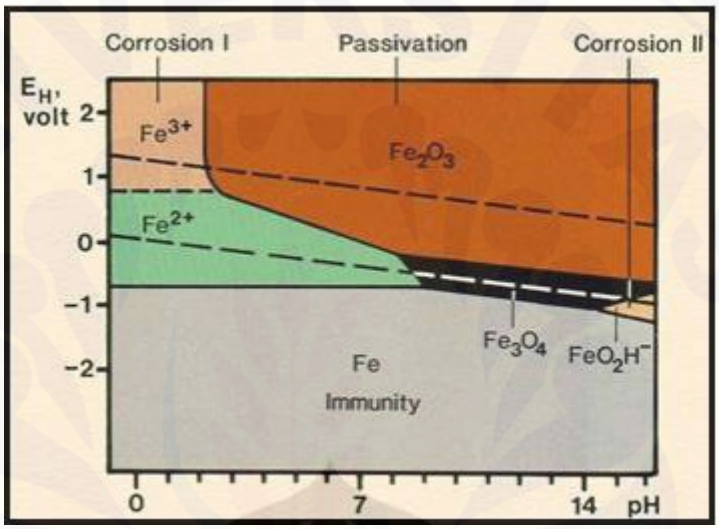
Baja karbon secara alami memiliki keterbatasan terhadap kandungan paduannya, biasanya di bawah 2% dari total penambahan. Namun penambahan tersebut secara umum tidak menghasilkan perubahan terhadap ketahanan korosi. Terkecuali weathering steel, dengan penambahan sedikit tembaga, krom, nikel, dan phosphorus dapat mereduksi laju korosi pada lingkungan tertentu.

Baja merupakan material yang banyak digunakan untuk aplikasi pipa saluran air, khususnya *low carbon steel*. Dengan peningkatan karbon, kekerasan dan kekuatan akan meningkat sehingga *low carbon steel* digunakan karena memiliki sifat mekanis yang baik, mudah dibentuk atau difabrikasi dan harga yang relatif murah. Namun baja terdiri dari beberapa fasa dan terdapat ketidakhomogenan pada permukaan sehingga dapat menyebabkan lokal sel elektrokimia. Hal tersebut menyebabkan rendahnya ketahanan korosi dari baja karena reduksi katodik mudah terjadi sehingga menyebabkan *porous* sebagai

Digital Repository Universitas Jember

produk korosi dan tidak terbentuk produk sampingan seperti lapisan pasif. (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

Reaksi dari baja karbon terhadap korosi tanah tergantung pada sifat utama tanah dan faktor lingkungan, seperti kelembaban dan oksigen. Faktor tersebut dapat mempengaruhi laju korosi. Tanah dengan kadar air tinggi, konduktivitas elektrik tinggi, tingkat keasaman tinggi, larutan garam tinggi akan menjadi lingkungan yang sangat korosif.



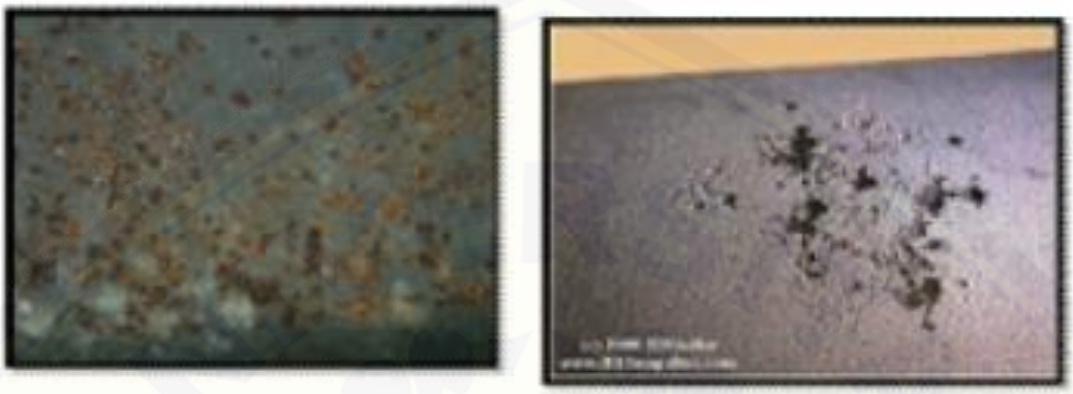
Gambar 2.41 Diagram Pourbaix Fe pada 25˚ C. (Sember : Pengaruh Derajat Tinjuan Literatur Universitas Indonesia).

Proses korosi baja (Fe) secara termodinamika dapat diprediksi dengan menggunakan diagram pourbaix (potensial/V-pH). Pada potensial lebih positif dari -0.6 dan pada pH dibawah 9, ion ferrous (Fe^{2+} atau Fe II) merupakan zat yang stabil. Hal ini mengindikasikan bahwa Fe akan terkorosi pada kondisi tersebut. Pada daerah lain, dapat dilihat bahwa korosi Fe akan menghasilkan ion ferric (Fe^{3+} or Fe III), ferric hydroxide [$Fe(OH)_3$], ferrous hydroxide [$Fe(OH)_2$] dan pada kondisi yang sangat basa terbentuk ion kompleks $HFeO_2^-$. Produk korosi yang padat akan berbeda dari produk korosi sebelumnya, yaitu ferric oxide (Fe_2O_3) dan magnetite (Fe_3O_4).

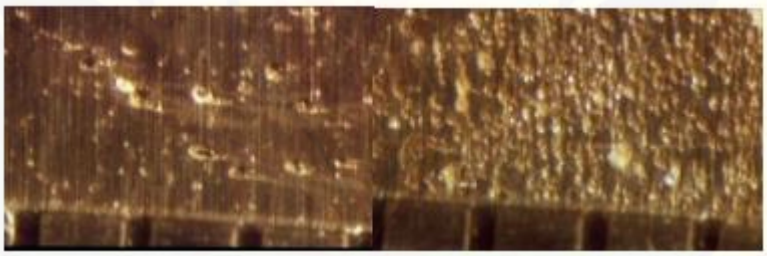
Digital Repository Universitas Jember

2.14 Penelitian Sebelumnya

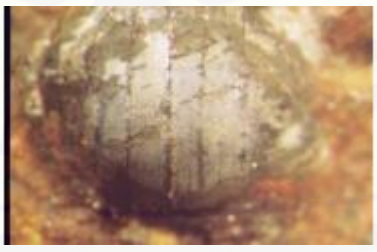
Dilihat dari uji morfologi penelitian sebelumnya terjadi *Pitting Corrosion* yang terbentuk secara extreme di lingkungan kadar garam tinggi :



Gambar 2.42 Bentuk *Pitting Corrosion* yang terbentuk secara extreme pada larutan NaCl (Sumber : Minto Basuki, Abdul Aris Wacana Putra, Dzikri Hidayat. *2012.* ANALISA LAJU KOROSI DUPLEX SS AWS 2205 DENGAN METODE *WEIGHT LOSS)*

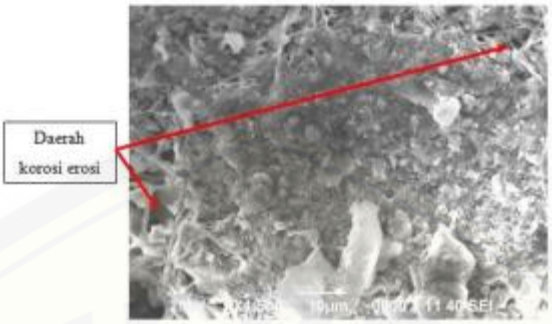


Gambar 2.43 Permukaan benda kerja hasil uji morfologi (Sumber : Somawardi. FENOMENA KOROSI EROSI PADA BAJA KARBON RENDAH AKIBAT PENGARUH KECEPATAN FLUIDA AIR LAUT)



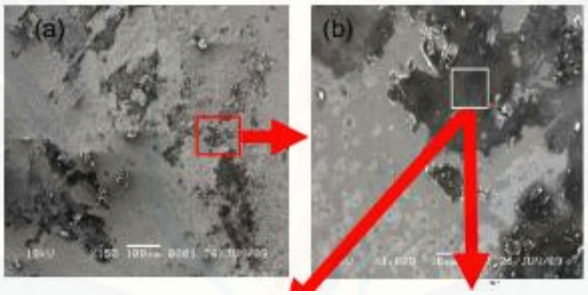
Gambar 2.44 Bentuk *Pitting Corrosion* yang terbentuk (Sumber : Somawardi. FENOMENA KOROSI EROSI PADA BAJA KARBON RENDAH AKIBAT PENGARUH KECEPATAN FLUIDA AIR LAUT)

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 2.45 Hasil SEM baja karbon ST 40 perbesaran 1500x setelah proses korosi selama 100 jam. (Sumber : A.P Bayuseno, Erizal Dwi Handoko. Analisa Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Aliran Air Laut)

Laju korosi pada media air hujan $(2{,}5 \times 10^{-5}$ mm/year) selama 10 hari.



Gambar 2.46 Hasil SEM baja karbon rendah setelah proses korosi selama 4 jam. (Sumber : Lukman, Triwikantoro. 2009. PENGARUH UNSUR KOROSIF PADA AIR HUJAN TERHADAP PERILAKU KOROSI BAJA KARBON RENDAH)

Laju korosi pada media air laut 0,197 mm/year selama 4 hari.

2.15 Hipotesis

Pada penelitian sebelumnya mengindikasikan bahwa semakin tinggi kadar garam di lingkungan maka semakin tinggi juga angka pengurangan berat (weight loss) baja karbon rendah saat uji penimbangan. Oleh sebab itu lingkungan dengan kadar garam yang tinggi akan berpengaruh signifikan terhadap laju korosi, nilai kekerasan, dan pengurangan berat pada baja karbon rendah tipe SWRM 12/1012 *wire mesh*.

Digital Repository Universitas Jember

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental analisa untuk mengetahui pengaruh variasi kadar garam terhadap laju korosi pada baja karbon rendah tipe SWRM 12/1012 *wire mesh* pada lingkungan air laut, air payau, dan air rawa. Rancangan penelitian dengan menggunakan penelitian faktorial dimana penelitian ini berdasarkan faktor lingkungan dengan kadar garam tertentu.

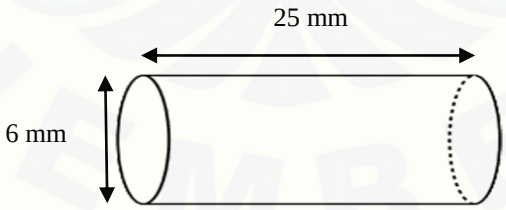
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Biomedik Fak. Farmasi Universitas Jember dan Laboratorium Pengujian Bahan Fak. Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Penelitian dilakukan pada bulan Februari - Maret 2015.

3.3 Populasi dan Sampel

Populasi penelitian adalah *wire mesh* yang diproduksi PT. Ispat Indo baja tipe SWRM 12/1012. Untuk kriteria sampel penelitian ini adalah *wire mesh* dengan kriteria sebagai berikut:

1) *Wire mesh* baja tipe SWRM 12/1012
2) Ukuran Ø 6 mm dan panjang ukur (L) : 25 mm standart JIS G 3505
3) Tidak melalui proses *finishing* (pengecatan)



Gambar 3.1 Ukuran spesimen baja

Digital Repository Universitas Jember

3.4 Identifikasi Variabel Penelitian

Variabel bebas dari penelitian ini adalah variasi kadar garam pada media:

a. Air laut
b. Air payau
c. Air rawa

Untuk variabel terkontrol dari penelitian ini adalah durasi pencelupan yaitu 30 hari dan volume air laut, air payau, dan air rawa masing-masing 1 liter. Sedangkan variabel terikat dari penelitian ini adalah hasil perhitungan *weight loss* dan laju korosi.

3.5 Alat dan Bahan Penelitian

3.5.1 Alat

Alat yang digunakan pada peneltian ini adalah :

1. Neraca digital merk ohaus pioneer
2. Toples (15 buah)
3. Alat pengukur kadar garam (salinometer)
4. Sikat halus
5. Kamera digital canon 16 mega pixels
6. Mikroskop optik panasonic f10 ccd
7. Amplas
8. Kain beludru
9. Grinda

3.5.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Wire mesh baja tipe SWRM 12/1012 (60 buah)
2. 1 liter air laut
3. 1 liter air payau
4. 1 liter air rawa
5. Etanol
6. HNO_3

Digital Repository Universitas Jember

7. HCl
8. Tisu
9. Autosol
10. Aquades

3.6 Prosedur Penelitian

Untuk dapat mengetahui hasil dari penelitian ini, maka prosedur penelitian yang akan dilakukan meliputi:

1. Studi Literatur

Dari studi literatur, nantinya akan dirumuskan variabel-variabel yang akan diteliti dan menentukan hubungan antar variabel tersebut. Juga nantinya akan dirumuskan masalah yang akan diteliti dan membedakan hal-hal yang sudah dilakukan peneliti sebelumnya agar tidak terjadi duplikasi penelitian atau karya masa lalu yang sudah pernah dilakukan oleh orang lain.

2. Penentuan Variabel

Dari studi literatur, telah didapatkan variabel-variabel yang akan digunakan. Dalam penelitian ini adalah variasi kadar garam untuk mengetahui hasil morfologi dan laju korosi baja tipe SWRM 12/1012 setelah melalui proses perendaman air laut, air payau, dan air tawar. Media untuk mengetahui variasi kadar garam dalam penelitian ini ada 3 yaitu pada air laut, air payau, dan air rawa. Sedangkan untuk volume air yang digunakan, menggunakan 1 liter air laut, air payau, air rawa pada setiap spesimen yang diuji.

3. Penelitian awal

Pada peneitian awal ini akan dilakukan pengamatan makro menggunakan kamera digital canon 16 mega pixels dan mikro menggunakan mikroskop optik panasonic f10 ccd. Lalu penimbangan berat awal tanpa perendaman bahan menggunakan alat penimbangan neraca digital.

Digital Repository Universitas Jember

4. Proses Perendaman (*Immersion Test).*

Setelah hasil pengamatan makro, mikro dan penimbangan berat awal didapat, maka menyiapkan alat dan bahan untuk proses perendaman (*immersion test).*

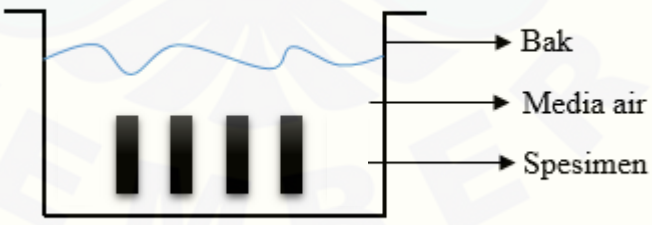
4.1 Alat

a. Toples (15 buah)
b. Alat pengukur kadar garam (salinometer)

4.2 Bahan

a. Baja tipe SWRM 12/1012 (60 buah)
b. 1 liter air laut
c. 1 liter air payau
d. 1 liter air rawa

Untuk proses perendaman itu sendiri, pertama setiap 5 toples diisi oleh 200 mili liter air laut, 200 mili liter air tawar, dan 200 mili liter air rawa. Dan setiap media air lau, air payau, dan air rawa diukur tingkat kadar garam dengan alat salinometer, lalu dicacat sebagai acuan kadar garam tiap media. Kemudian dilakukan perendaman baja tipe SWRM 12/1012, setiap toples berisikan 4 spesimen yang sudah dibersihkan dengan sikat halus. Waktu yang dilakukan dalam proses perendaman ini yaitu selama 30 hari dengan interval pengamatan pada hari ke 6, 12, 18, 24, dan 30.



Gambar 3.2 Skema pengujian perendaman

5. Proses Pengamatan Permukaan Spesimen

Setelah melalui proses perendaman, selanjutnya melakukan pengamatan permukaan benda kerja untuk mengetahui bagaimana pengaruh adanya variasi

Digital Repository Universitas Jember

kadar garam terhadap kerusakan spesimen yang dilakukan secara makro dengan menggunakan kamera digital canon 16 mega pixels dan pemeriksaan secara mikro dengan menggunakan mikroskop optic panasonic f10 ccd sesudah proses perendaman.

Langkah – langkah pengamatan struktur mikro dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

a. Proses Grinding

   Penggosokan dilakukan secara bertahap menggunakan mesin grinding. Tahap awal yaitu menghilangkan goresan – goresan yang agak kasar hingga merata dan halus (bekas goresan harus sejajar). Pada tahap ini penggosokan dilakukan dengan kertas gosok (amplas) mulai dari grid 400 dan dilanjutkan grid 600, 800, 1000, 1200, sampai yang terakhir grid 1500 semua penggosokan dilakukan searah dan selalu dialiri dengan air. Fungsinya adalah untuk melarutkan beram dalam air serta permukaan spesimen tidak panas.

b. Polishing

   Polishing dilakukan pada mesin polisher, yaitu piringan yang diatasnya diberi lapisan kain beludru. Polishing dilakukan dengan sedikit menekan benda kerja kekain beludru dengan menambahkan autosol sampai bekas goresan akibat proses gerinding hilang dan permukaan spesimen terlihat rata.

c. Etching

   Proses mengetsa adalah proses mencelupkan spesimen kedalam larutan kimia. Larutan yang digunakan dalam penelitian ini adalah HNO_3 dan etanol 97% selama 55 detik lalu dimasukkan kedalam air bersih kemudian spesimen tersebut dibersihkan dengan tisu kering, setelah itu dikeringkan. Hal ini bertujuan untuk memperjelas gambar struktur mikro pada mikroskop dan untuk melengkapi analisis yang dilakukan.

d. Pengambilan Foto Mikro

   Pemeriksaan foto mikro bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang diperoleh dari hasil proses pengkorosian pada baja karbon rendah SWRM

Digital Repository Universitas Jember

12/1012 *wire mesh*. Cara yang digunakan adalah dengan menggunakan mikroskop optik. Pengambilan foto dilakukan pada permukaan yang terdapat korosinya untuk mengetahui terjadinya korosi dan jenis korosi yang terjadi. Pengambilan foto mikro harus tepat dan dapat mewakili seluruh struktur dalam variasi.

6. Pengujian Berat

Setelah dilakukan pengamatan makro dan mikro, kegiatan selanjutnya adalah untuk mengetahui berat yang hilang (*weight loss).* Analisis ini menggunakan metode perhitungan yang sesuai dengan standard pengujian metode *weight loss* dan mengacu pada *ASTM* G31 *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metal.* Data yang diperoleh akan digunakan sebagai acuan dalam proses pengujian analisis laju korosi. Penimbangan dilakukan pada spesimen sesudah proses pengujian perendaman. Proses penimbangan dilakukan menggunakan neraca digital.

Digital Repository Universitas Jember

Tabel 3.1 Tabel nilai penimbangan berat spesimen

Hari ke	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat (gr)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/cm³)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)

Digital Repository Universitas Jember

7. Pengolahan dan Analisa Data

Tahap akhir dalam peneliatian ini adalah pengolahan data menggunakan perhitungan laju korosi yang terjadi tiap spesimen. Dengan rumus :

Perhitungan Laju Korosi

$$I = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad \textbf{(mpy)}$$

Dimana: I = Kecepatan Korosi (*mils/year*)
K = Konstanta Korosi = 3,45 x 10^6
W = Kehilangan Berat (gr)
A = Luas Permukaan Spesimen (cm^2)
T = Waktu Perendaman (jam)
D = Densitas (gr/cm^3)

Setelah didapatkan nilai dari hasil pengujian *weight loss* pada baja tipe SWRM 12/1012 melalui proses penimbangan maka data-data nilai dianalisis untuk mengetahui laju korosi dari variasi kadar garam. Dari analisis tersebut, kemudian disimpulkan apakah ada perbedaan nilai laju korosi pada baja tipe SWRM 12/1012 media air laut, air payau, dan air rawa. Kemudian menentukan jenis korosi yang dialami baja tipe SWRM 12/1012 pada media air laut, air payau, dan air rawa.

8. Analisis Eksperimen 2 Faktorial

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Uji statistik yang dilakukan dalam penelitian ini adalah eksperimen faktorial. Penggunaan eksperimen faktorial ini, karena terdapat lebih dari satu faktor yang mempengaruhi sesuatu yang diamati. Seperti yang ada dalam penelitian ini yaitu pengaruh kadar garam dan hari perendaman. Bentuk Eksperimen Faktorial model Rancangan Acak Lengkap dari data hasil percobaan $\mathbf{Y_{ijk}}$ dapat dinyatakan dengan model matematis:

Digital Repository Universitas Jember

$\mathbf{Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}}$ Dengan, i = 1,2 dan 3

j = 1,2, dan 3

k = 1,2,3,4

Dimana :

Y_{ijk} : Pengamatan pada faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j dan ulangan ke-k

μ : Rataan umum

α_i : Pengaruh faktor A taraf ke-i

β_j : Pengaruh faktor B taraf ke-j

$(\alpha\beta)_{ij}$: Pengaruh interaksi dari faktor A taraf ke-i dan faktor B taraf ke j

ε_{ijk} : Pengaruh acak pada faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j dan ulangan ke-k

Model matematik tersebut memperlihatkan bahwa data Y_{ijk} merupakan nilai – nilai rataan (μ) yang bervariasi sebagai akibat adanya pengaruh perlakuan (α_i) , perlakuan (β_j), dan galat (ε_{ijk}) akibat adanya ulangan. Asumsi untuk model acak ialah : $\alpha_i \sim N(0,\sigma^2_\alpha)$, $\beta_j \sim N(0, \sigma^2_\beta)$, $(\alpha\beta)_{ij} \sim N(0,\sigma^2_{\alpha\beta})$

Model Acak merupakan model dimana perlakuan-perlakuan yang dicobakan merupakan sampel acak dari populasi perlakuan dan kesimpulan yang diperoleh berlaku secara umum untuk seluruh populasi perlakuan.

a. Uji Hipotesis

Hipotesis adalah suatu pernyataan yang masih lemah kebenarannya dan perlu dibuktikan atau dugaan yang sifatnya masih sementara. Pengujian hipotesis akan menghasilkan keputusan menerima atau menolak hipotesis. Penolakan suatu hipotesis bukan berarti disimpulkan bahwa hipotesis salah, dimana bukti yang tidak konsisten dengan hipotesis. Penerimaan hipotesis sebagai akibat tidak cukupnya bukti untuk menolak dan tidak berimplikasi bahwa hipotesis itu pasti benar. Pada penelitian ini ditetapkan nilai taraf signifikansi α sebesar 5% atau 0,05 dengan artian ada kemungkinan lima diantara seratus keputusan penolakan hipotesis nol adalah keputusan yang keliru (Sastrosupadi, 2000). Model acak untuk membuktikan hipotesis bahwa uji F dilakukan untuk membandingkan besaran pengaruh perlakuan

Digital Repository Universitas Jember

(KTP) atau pengaruh kontrol lokal (pengelompokan) dengan efek kondisi (galat) (KTG). Model acak untuk membuktikan Hipotesis bahwa :

1. Hipotesis pengaruh utama faktor A

   H_0 : Faktor A tidak berpengaruh terhadap respon yang diamati

   H_1 : Faktor A berpengaruh positif terhadap respons yang diamati

   - Jika nilai sig (A) > α, maka H_0 diterima, H_1 ditolak
   - Jika nilai sig (A) < α, maka H_0 ditolak, H_1 diterima

2. Hipotesis pengaruh utama faktor B

   H_0 : Faktor B tidak berpengaruh terhadap respons yang diamati

   H_1 : Faktor B berpengaruh positif terhadap respons yang diamati

   - Jika nilai sig (B) > α, maka H_0 diterima, H_1 ditolak
   - Jika nilai sig (B) < α, maka H_0 ditolak, H_1 diterima

3. Hipotesis pengaruh interaksi

   H_0 : Faktor A dengan faktor B tidak berpengaruh terhadap respons yang diamati

   H_1 : Faktor A dengan faktor B berpengaruh positif terhadap respons yang diamati

   - Jika nilai sig (A*B) > α, maka H_0 diterima, H_1 ditolak
   - Jika nilai sig (A*B) < α, maka H_0 ditolak, H_1 diterima

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan kadar garam (faktor A) terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012. Faktor kadar garam tersebut dilakukan dengan beberapa variasi yaitu 33 gram, 21 gram, dan 7 gram, dengan variasi hari (faktor B) yaitu 6 hari, 12 hari, 18 hari, 24 hari, dan 30 hari. Rancangan yang digunakan adalah Percobaan Faktorial dengan 4 kali ulangan (r).

b. Metode Rancangan Acak Lengkap

Pada Rancangan acak lengkap ada dua sumber keragaman yaitu sumber keragaman perlakuan dan sumber keragaman galat . Besar nilai kedua komponen sumber keragaman inilah yang menentukan perbedaan antar perlakuan. Dalam penelitian ini menggunakan Metode Rancangan acak lengkap sama yaitu bila jumlah perlakuan sama (p) dan setiap perlakuan diulang (n) kali level maka, dapat

Digital Repository Universitas Jember

dibuat tabel hasil pengamatan dengan pola Acak yang disajikan dalam tabel 2.4 yaitu tabel Anova sebagai berikut:

Tabel 3.2 Tabel Anova

Sumber keragaman (SK)	Derajat bebas (DB)	Jumlah kwadrat (JK)	Kwadrat tengah (KT)	F hitung	Sig.
Perlakuan	AB-1	$\frac{\sum(\sum yj)^2}{r} - FK$	JKP/DBP	KTP/KTG	
A	A-1	$\frac{\sum(\sum yj)^2}{rB} - FK$	JKA/DBA	KTA/KTG	
B	B-1	$\frac{\sum(\sum yj)^2}{rA} - FK$	JKB/DBB	KTB/KTG	
AB	(A-1)(B-1)	JKP-JKA-JKB	JKAB/DBAB	KTAB/KTG	
Galat	AB(r-1)	JKT-JKP	JKG/DBG		
Total	(ABr-1)	$\Sigma(\Sigma ijk)^2 - FK$			

Keterangan:

a. Perlakuan faktor A = A
b. Perlakuan faktor B = B
c. Jumlah ulangan = r
d. Derajat bebas perlakuan (DBP) = AB - 1
e. Derajat bebas faktor A (DBA) = A - 1
f. Derajat bebas faktor B (DBB) = B - 1
g. Derajat bebas faktor AB (DBAB) = (A - 1) (B - 1)
h. Derajat bebas galat (DBG) = AB (r - 1)
i. Derajat bebas total (DBT) = (ABr - 1)
j. Faktor koreksi (FK) = $\frac{(\sum yj)^2}{A \times B \times r}$
k. Jumlah kwadrat total (JKT) = $\Sigma(\Sigma ijk)^2 - FK$
l. Jumlah kwadrat perlakuan (JKP) = $\frac{\sum(\sum yj)^2}{r} - FK$

Jumlah kwadrat faktor A (JKA) = $\frac{\sum(\sum yj)^2}{rB} - FK$

Digital Repository Universitas Jember

m. Jumlah kwadrat faktor B (JK faktor B) = $\frac{\sum (\sum yj)^2}{rA} - FK$

n. Jumlah kwadrat faktor AB (JK faktor AB) = JKP – JKA – JKB

o. Jumlah kwadrat galat (JKG) = JKT – JKP

p. Kwadrat tengah perlakuan (KTP) = JKP / DBP

q. Kwadrat tengah faktor A (KTA) = JKP / DBA

r. Kwadrat tengah faktor A (KTB) = JKP / DBB

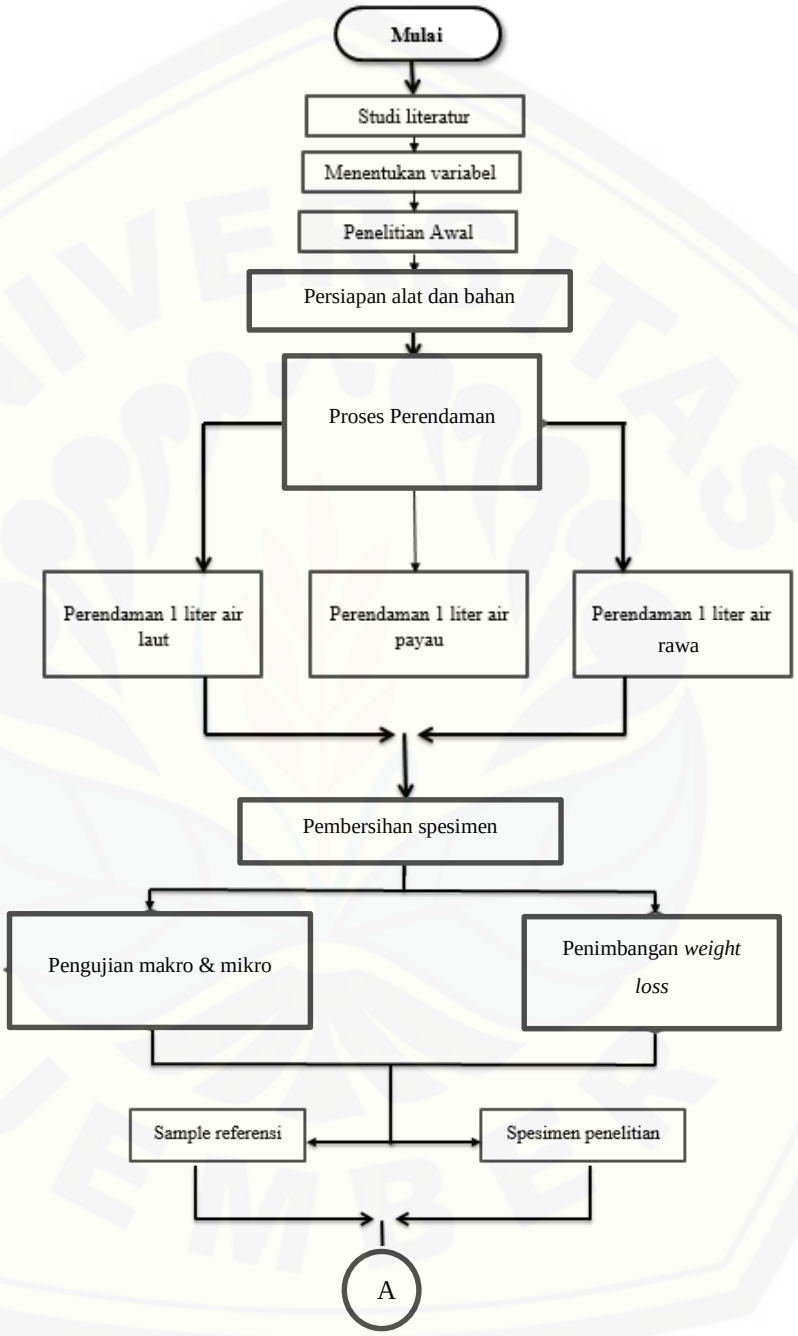
s. Kwadrat tengah faktor AB (KTAB) = JKP / DBAB

t. Kwadrat tengah galat (KTG) = JKG / DBG

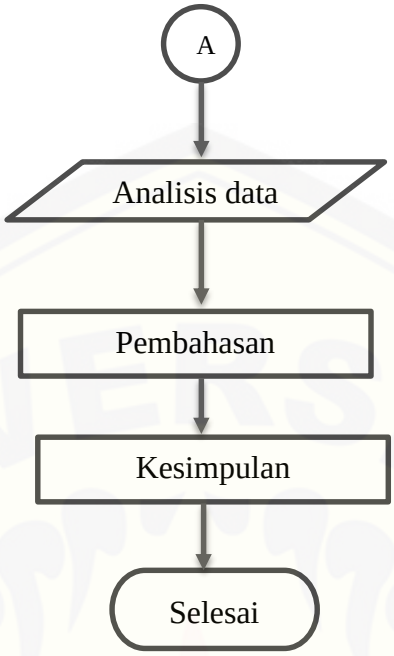
Digital Repository Universitas Jember

3.7 Diagram Alur Penelitian

Dari prosedur penelitian yang dijabarkan di atas, dapat disajikan dalam bentuk diagram alur seperti di bawah ini:



Digital Repository Universitas Jember



Gambar 3.3 Diagram alur penelitian

Digital Repository Universitas Jember

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Penelitian Kadar Garam

Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui kadar garam dalam 1 liter air laut, air payau, dan air rawa menggunakan alat salinometer. Pengujian ini dilakukan pada tanggal 27 Februari 2015 dan didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Air laut mempunyai kandungan garam 33 gram (Pantai Puger, Kab. Jember).
2. Air payau mempunyai kandungan garam 21 gram (Muara Sungai Puger, Kab. Jember).
3. Air rawa mempunyai kandungan garam 7 gram (Sungai Puger, Kab. Jember).

4.1.2 Hasil Pengujian *Weight Loss*

Selanjutnya dilakukan perendaman selama 30 hari dengan interval pengambilan data setiap 6 hari dalam media yang berbeda, didapat data laju korosi yang dihitung berdasarkan kehilangan berat (*weight loss*) selama perendaman dalam masing-masing media sebagai berikut:

4.1 Tabel data penelitian pada media air laut (kandungan 33 gram garam)

Hari ke	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat (gr)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/cm³)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)
6	4,5947	4,5679	0,0268	144	7,8	15,8305	15,8895
	4,5838	4,5559	0,0279	144	7,8	16,4802	
	4,5839	4,5607	0,0232	144	7,8	13,7040	
	4,5877	4,5580	0,0297	144	7,8	17,5435	
12	4,6079	4,5543	0,0536	288	7,8	15,8305	17,6616
	4,6112	4,5445	0,0667	288	7,8	19,6995	

Digital Repository Universitas Jember

Hari ke	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat (gr)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/cm³)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)
12	4,5610	4,5042	0,0568	288	7,8	16,7756	17,6616
	4,5754	4,5133	0,0621	288	7,8	18,3409	
18	4,5975	4,4900	0,1075	432	7,8	21,1663	20,2163
	4,5700	4,4711	0,0989	432	7,8	19,4730	
	4,6014	4,4958	0,1056	432	7,8	20,7922	
	4,5653	4,4666	0,0987	432	7,8	19,4337	
24	4,5877	4,4788	0,1089	576	7,8	16,0815	14,5236
	4,5780	4,4846	0,0934	576	7,8	13,7926	
	4,5733	4,4810	0,0923	576	7,8	13,6301	
	4,5672	4,4684	0,0988	576	7,8	14,5900	
30	4,6009	4,4806	0,1203	720	7,8	14,2120	13,3673
	4,5849	4,4858	0,0991	720	7,8	11,7074	
	4,5998	4,4922	0,1076	720	7,8	12,7116	
	4,5935	4,4679	0,1256	720	7,8	14,8381	

4.2 Tabel data penelitian pada media air payau (kandungan 21 gram garam)

Hari ke	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat (gr)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/cm³)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)
6	4,5663	4,5436	0,0227	144	7,8	13,4086	14,3833
	4,5828	4,5578	0,0250	144	7,8	14,7672	
	4,5725	4,5467	0,0258	144	7,8	15,2398	
	4,5683	4,5444	0,0239	144	7,8	14,1175	
12	4,5950	4,5387	0,0563	288	7,8	16,6279	17,2112

Digital Repository Universitas Jember

Hari ke	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat (gr)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/cm³)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)
12	4,5997	4,5423	0,0574	288	7,8	16,9528	17,2112
	4,5637	4,4965	0,0672	288	7,8	19,8471	
	4,5657	4,5135	0,0522	288	7,8	15,4170	
18	4,5801	4,4810	0,0991	432	7,8	19,5124	19,3254
	4,5881	4,4936	0,0945	432	7,8	18,6067	
	4,5644	4,4745	0,0899	432	7,8	17,7010	
	4,5515	4,4424	0,1091	432	7,8	21,4814	
24	4,5948	4,5001	0,0947	576	7,8	13,9846	14,2873
	4,5582	4,4654	0,0928	576	7,8	13,7040	
	4,5819	4,4827	0,0992	576	7,8	14,6491	
	4,5480	4,4477	0,1003	576	7,8	14,8115	
30	4,5978	4,4995	0,0983	720	7,8	11,6129	12,5167
	4,5975	4,4866	0,1109	720	7,8	13,1015	
	4,5955	4,4754	0,1201	720	7,8	14,1883	
	4,5734	4,4789	0,0945	720	7,8	11,1640	

4.3 Tabel data penelitian pada media air rawa (kandungan 7 gram garam)

Hari ke	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat (gr)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/cm³)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)
6	4,5791	4,5555	0,0236	144	7,8	13,9403	14,2356
	4,5747	4,5496	0,0251	144	7,8	14,8263	
	4,6029	4,5792	0,0237	144	7,8	13,9993	
	4,5587	4,5347	0,0240	144	7,8	14,1765	
12	4,5830	4,5266	0,0564	288	7,8	16,6574	15,7713
	4,5536	4,4978	0,0558	288	7,8	16,4802	
	4,5788	4,5290	0,0498	288	7,8	14,7081	
	4,5673	4,5157	0,0516	288	7,8	15,2398	

Digital Repository Universitas Jember

Hari ke	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat (gr)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/cm³)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)
18	4,6045	4,5111	0,0934	432	7,8	18,3901	18,4289
	4,5732	4,4835	0,0897	432	7,8	17,6596	
	4,5886	4,5052	0,0834	432	7,8	16,4211	
	4,6028	4,4949	0,1079	432	7,8	21,2451	
24	4,5668	4,4677	0,0991	576	7,8	14,6343	14,5973
	4,5838	4,4880	0,0958	576	7,8	14,1470	
	4,5964	4,4958	0,1006	576	7,8	14,8558	
	4,5894	4,4895	0,0999	576	7,8	14,7525	
30	4,5541	4,4337	0,1204	720	7,8	14,2238	14,3182
	4,5591	4,4301	0,1290	720	7,8	15,2398	
	4,5786	4,4540	0,1246	720	7,8	14,7200	
	4,5670	4,4562	0,1108	720	7,8	13,0897	

4.2 Data Hasil Uji Statistik

Pengujian Pengaruh Variasi Kadar Garam dan Hari Perendaman Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah SWRM 12/1012 *wire mesh* dilakukan dengan menggunakan ANOVA desain faktorial dengan bantuan *software* SPSS 16.0, Dari proses analisis didapatkan tabel ANOVA sebagai berikut:

Tabel 4.4 ANOVA pengaruh kadar garam dan hari terhadap laju korosi

SK	DB	JK	KT	**F-hit**	Sig.	Keterangan
Perlakuan	14	292,067	20,862	**12,626**	,000	Signifikan
Kadar garam (salinitas)	2	9,111	4,555	**2,757**	,074	Tidak signifikan
Hari	4	264,649	66,117	**40,016**	,000	Signifikan
Interaksi	8	18,487	2,311	1,399	,223	Tidak signifikan
Galat	45	74,353	1,652			
Total	60	15311,191				

Digital Repository Universitas Jember

Berdasarkan tabel 4.4 di atas, pada sumber keragaman (SK) kadar garam, dengan nilai α = 0,05 dapat dilihat bahwa nilai Sig pada "Kadar garam" lebih besar dari pada nilai α (0,074 > 0,05). Dari pengujian ini didapatkan kesimpulan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan beberapa variasi kadar garam terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh* atau terima H_0 dan tolak H_1.

Pada sumber keragaman (SK) hari, dengan nilai α = 0,05 dapat dilihat bahwa nilai Sig pada "Hari" lebih kecil dari pada nilai α (0,000 < 0,05). Dari pengujian ini didapatkan kesimpulan bahwa terdapat pengaruh signifikan variasi hari perendaman terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh* atau tolak H_0 dan terima H_1.

Pada sumber keragaman (SK) Interaksi, dengan nilai α = 0,05 dapat dilihat bahwa nilai Sig pada "Interaksi" lebih besar dari pada nilai α (0,223 > 0,05). Dari pengujian ini didapatkan kesimpulan bahwa tidak terdapat pengaruh interaksi yang signifikan antara faktor kadar garam dengan variasi hari perendaman terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh* atau terima H_0 dan tolak H_1.

Dari keseluruhan data hasil pengukuran diatas, interaksi antara keduanya berpengaruh terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh* namun tidak signifikan. Variasi kadar garam berpengaruh terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh* tetapi tidak signifikan. Sedangkan hari perendaman berpengaruh terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh* secara signifikan. Dengan kata lain, kedua parameter diatas atau interaksi dari keduanya hanya satu yang lebih berpengaruh, yaitu hari perendaman baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh*.

Digital Repository Universitas Jember

4.3 Analisis Laju Korosi

Analisis laju korosi digunakan untuk mengetahui pengaruh media yang berbeda dimana terdapat perbedaan kandungan garam pada setiap media terhadap perubahan laju korosi.

4.3.1 Analisis Laju Korosi Pada Media Air Laut (Kandungan 33 gram Garam)

Media air laut ini langsung diambil di Pantai Puger, Kab. Jember mempunyai kandungan kadar garam sebanyak 33 gram yang nilainya didapat melalui alat salinometer dan dijadikan sebagai pembanding nilai laju korosi dengan media yang lain. Pengaruh kadar garam pada media air laut dapat dilihat pada gambar grafik 4.1 dibawah ini. Data hasil penelitian laju korosi dapat dilihat pada lampiran A.1.

Gambar 4.1 Grafik kadar garam media air laut (33 gram garam) terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012.

Pada lampiran A.1 menunjukkan selama perendaman 30 hari dengan interval pengambilan data setiap 6 hari dalam media air laut (33 gram garam) mengalami kenaikan nilai kehilangan berat (*weight loss)* yang tinggi dari hari ke 6 sampai hari ke 30. Hal ini terjadi dikarenakan media air laut memiliki banyak kandungan garam (ion klorida) yang mempengaruhi laju korosi pada baja karbon

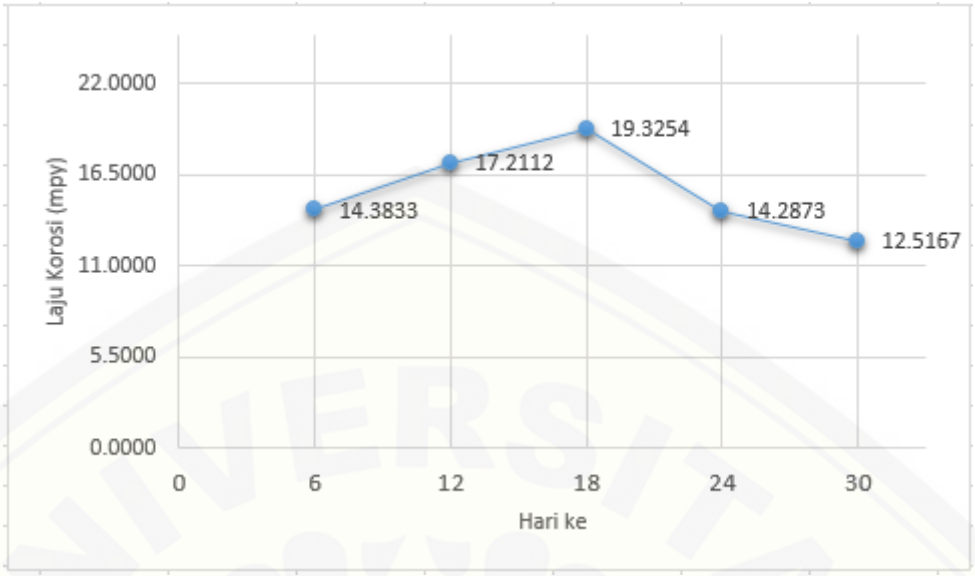
Digital Repository Universitas Jember

rendah SWRM 12/1012. Pada pengambilan data hari ke 6 nilai kehilangan berat tertinggi 0,0297 gram dengan rata-rata nilai laju korosi sebesar 15,8895 *mils per year* (mpy). Pengambilan hari ke 6 spesimen belum mengalami kenaikan *weight loss* yang tinggi, namun pengambilan hari ke 12 mulai mengalami kenaikan yang signifikan menjadi 0,0667 gram dengan rata-rata laju korosi sebesar 17,6616 mpy. Begitu juga pengambilan data hari ke 18 mengalami kenaikan dengan nilai 0,1075 dengan laju korosi sebesar 20,2163 mpy. Laju korosi pada pengambilan data ke 18 memiliki nilai paling tinggi dikarenakan spesimen terkorosi secara penuh oleh ion-ion klorida yang terlarut pada media air laut dari awal perendaman. (Johannes Leonard, 2012). Pada pengambilan data hari ke 24 nilai *weight loss* pada spesimen mengalami penambahan hanya sebesar 0,1089 gram yang cenderung rendah dibandingkan pengambilan data hari ke 6 sampai ke 18 yang nilainya lebih besar. Hal ini berakibat penurunan laju korosi menjadi 14,5236 mpy. Pada pengambilan data hari ke 30 peningkatan nilai weigth loss hanya sebesar 0,1256 gram dan kembali berakibat penurunan nilai laju korosi sebesar 13,3673 mpy. Penurunan laju korosi pada pengambilan data hari ke 24 dan 30 ini karena pengaruh lapisan film pasif yang terbentuk setelah 24 hari perendaman. Lapisan ini terbentuk karena oksidasi dengan udara yang menghambat laju korosi dan berbalik menjadi pelindung permukaan logam dari serangan korosi. (Johannes Leonard, 2012).

4.3.2 Analisis Laju Korosi Pada Media Air Payau (Kandungan 21 gram Garam)

Media air payau ini langsung diambil di muara sungai yang berhubungan langsung oleh Pantai Puger, Kab. Jember dan mempunyai kandungan kadar garam 21 gram yang nilainya didapat melalui alat salinometer. Pengaruh kadar garam pada media air payau dapat dilihat pada gambar grafik 4.2 dibawah ini. Data hasil penelitian laju korosi dapat dilihat pada lampiran A.2.

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 4.2 Grafik kadar garam media air payau (21 gram garam) terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012.

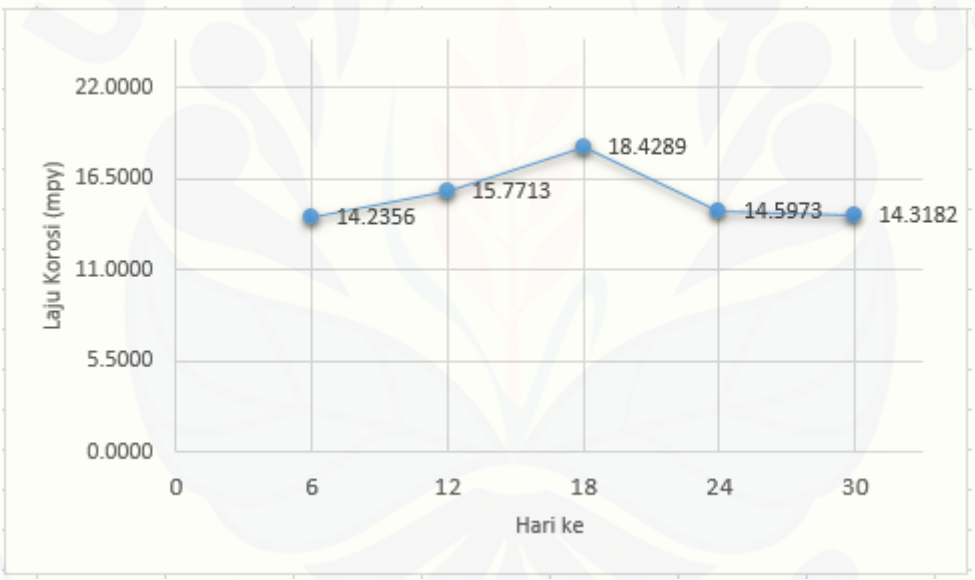
Dari hasil pengujian kehilangan berat pada baja karbon rendah SWRM 12/1012 pada media air payau (21 gram garam) selama 30 hari didapat bahwa setiap interval 6 hari selalu mengalami kenaikan (lampiran A.2. Pada pengambilan data hari ke 6 didapatkan nilai kehilangan berat sebesar 0,0258 gram, nilai ini masih tergolong rendah dengan rata-rata laju korosi sebesar 13,3833 mpy. Pengamatan hari ke 12 mulai didapatkan kenaikan yang signifkan dengan nilai kehilangan berat sebesar 0,0672 gram dengan laju korosi 17,2112 mpy. Pengambilan data hari ke 18 mengalami kanaikan nilai kehilangan berat yang cukup tinggi sampai 0,1091 gram dengan laju korosi 19,3254 mpy. Peningkatan nilai kehilangan berat dan laju korosi ini membuktikan sampai hari ke 18 terjadi penggerusan logam sehingga terkorosi dengan baik. (Muhammad Nanang Muhsinin, 2012). Pada pengambilan data hari ke 24 kenaikan nilai *weight loss* mulai menurun dengan nilai 0,1003 gram disertai penurunan laju korosi dengan nilai 14,2873 mpy, dan pada hari ke 30 nilai kehilangan berat kembali naik namun tidak tinggi sebesar 0,1201 gram yang mengakibatkan kembali mengalami penurunan laju korosi menjadi 12,5167 mpy. Terlihat pada gambar grafik 4.2 laju korosi pada pengambilan data hari ke 24 dan 30 mengalami penurunan nilai, artinya, semakin lama baja terkorosi maka lapisan karat akan semakin tebal namun akibat lapisan karat yang tebal maka reaksi

Digital Repository Universitas Jember

elektrokimia tidak berjalan dengan baik karena dengan adanya lapisan karat pada baja maka lapisan karat berfungsi sebagai lapisan passivasi sehingga kandungan polutan yang terlarut pada muara sungai seperti Cl^- dan SO_4^{2-} tidak dapat menyerang logam. (Muhammad Nanang Muhsinin, 2012).

4.3.3 Analisis Laju Korosi Pada Media Air Rawa (Kandungan 7 gram Garam)

Variasi kadar garam yang ke 3 pada penelitian menggunkan media air rawa yang diambil di rawa daerah Puger, Kab. Jember dan mempunyai kandungan kadar garam 7 gram yang nilainya didapat melalui alat salinometer. Pengaruh kadar garam pada media air rawa dapat dilihat pada gambar grafik 4.3 dibawah ini. Data hasil penelitian laju korosi dapat dilihat pada lampiran A.3.



Gambar 4.3 Grafik kadar garam media air rawa (7 gram garam) terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012.

Dari hasil pengujian *weight loss* pada media air rawa dengan kadar garam 7 gram didapatkan kenaikan nilai pada setiap interval 6 harinya sampai hari ke 30 (lampiran A.3). Pada pengambilan hari ke 6 dari 4 pengulangan didapat nilai kehilangan berat paling tinggi sebesar 0,0251 gram dengan laju korosi yang terjadi 14,2356 mpy. Angka kehilangan berat hari ke 6 tergolong rendah, mengingat belum seluruh logam terkorosi dengan baik. Pengambilan data hari ke 12 didapatkan nilai

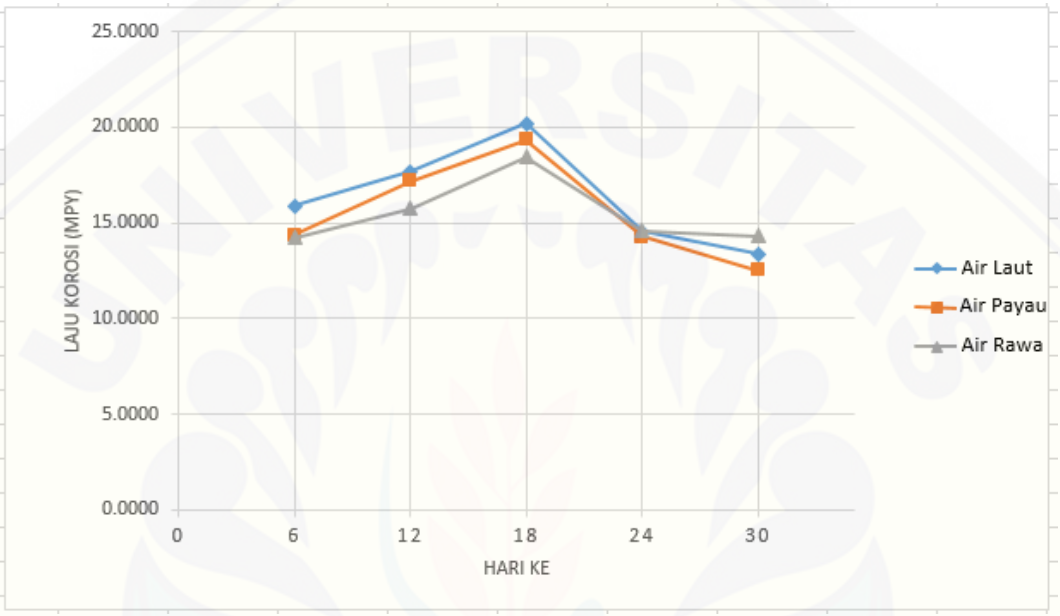
Digital Repository Universitas Jember

kehilangan berat sebesar 0,0564 gram dengan laju korosi yang terjadi sebesar 15,7713 mpy. Nilai laju korosi mengalami kenaikan dari hari ke 6 sebesar 0,0313 gram. Pada pengambilan data hari ke 18 didapatkan nilai *weight loss* sebesar 0,1079 gram dengan laju korosi 18,4289 mpy. Dari grafik (Gambar 4.3) menunjukkan dari hari ke 6 sampai pengambilan data hari ke 18 nilai laju korosi mengalami kenaikan signifikan yang berarti logam mengalami pengikisan permukaan yang berdampak pengurangan berat logam. Pengambilan data hari ke 24 dari 4 pengulangan diperoleh nilai *weight loss* paling tinggi sebesar 0,1006 gram, angka ini menunjukkan penurunan nilai dibanding yang didapatkan pada hari ke 18. Nilai laju korosi pada hari ke 24 juga mangalami penurunan menjadi 14,5973 mpy. Pada pengambilan data hari ke 30 nilai *weight loss* paling tinggi sebesar 0,1246 gram. Nilai ini mengalami sedikit kenaikan dari hari ke 24 sebesar 0,0240 gram. Sedikit kenaikan ini mengakibatkan turunnya nilai laju korosi pada hari ke 30 sebesar 14,3182 mpy. Penurunan laju korosi dari hari ke 24 sampai hari ke 30 dikarenakan lapisan logam sudah terlapisi lapisan passivasi atau kapur yang melindungi permukaan logam dari serangan korosi. Air rawa mengandung ion klorida lebih rendah dari air laut dan CO_2, CO_2 ini akan menghasilkan HCO_3^- yang korosif. (Johannes Leonard, 2012).

Digital Repository Universitas Jember

4.3.4 Analisis Laju Korosi Variasi Kadar Garam pada Air Laut, Air payau, dan Air Rawa.

Analisis ini digunakan untuk memudahkan perbandingkan variasi kadar garam yang paling berpengaruh terhadap laju korosi pada baja karbon rendah SWRM 12/1012.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan kadar garam terhadap laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012.

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa laju korosi media air laut (33 gram garam dan media air payau (21 gram garam) lebih tinggi dibanding media air rawa (7 gram garam). Hal ini dikarenakan kandungan ion klorida di air laut dan air payau lebih tinggi dibanding air rawa. Ion klorida ini sangat agresif menggerus permukaan logam dan mengakibatkan penurunan berat atau *weight loss* pada logam tersebut. Air tawar yang memiliki kandungan klor yang rendah menghasilkan nilai *weight loss* yang rendah pula. (Johannes Leonard, 2012).

Gambar 4.4 menunjukkan pola yang relatif sama dari ketiga media korosif. Pada pengambilan hari ke 6 sampai hari ke 18 menunjukkan kenaikan nilai laju korosi, namun terjadi penurunan dari hari ke 24 sampai hari ke 30. Hal ini terjadi dikarenakan pada hari ke 6 sampai ke 18 logam mengalami peningkatan nilai

Digital Repository Universitas Jember

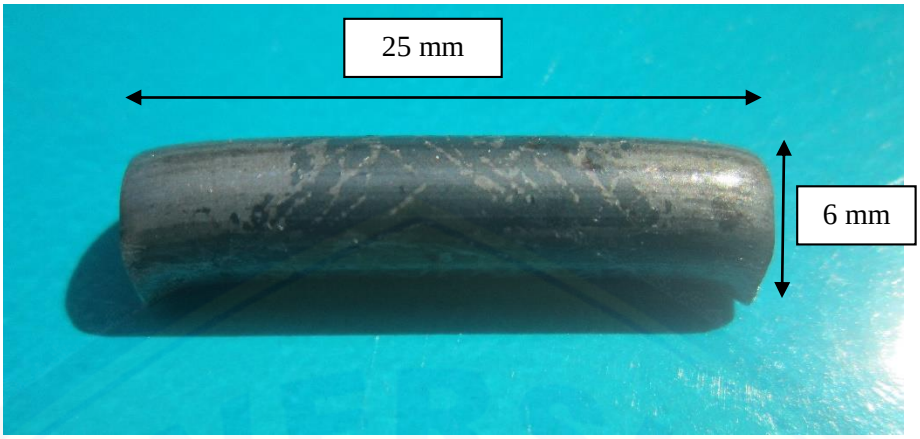
weight loss yang signifikan atau terkorosi dengan stabil. Dan pada hari ke 18 dan ke 30 nilai laju korsi mengalami penurunan nilai, hal ini dikarena rata-rata setiap media sudah menghasilkan mikroba yang menghambat laju korosi, pada permukaan logam sudah membentuk lapisan passivasi dan mulai melindungi permukaan logam dari serangan korosi.

Pada pola grafik yang terlihat pada gambar 4.4 laju korosi pada hari ke 6 sampai hari ke 18 air laut masih dominan dengan titik puncak sebesar 20,2163 mpy diikuti air payau sebesar 19,3254 mpy dan paling randah air rawa sebesar 18,4289 mpy. Sedangkan untuk hari ke 24 dan 30 laju korosi air rawa lebih tinggi dibanding air laut dan air payau, hal ini karena semakin cepat logam terkorosi semakin cepat pula logam terlindungi dengan lapisan passivasi, ini yang terjadi pada logam media air laut dan air payau. Dibandingkan dengan air rawa logam lebih lambat terbentuk lapisan passivasi sehingga laju korosi masih lebih tinggi dibanding air laut dan air payau. Hasil pengujian menunjukkan bahwa laju korosi lebih besar dalam media air laut dari pada dalam media air payau dan air rawa. Menurut (Johannes Leonard, 2012) bahwa peranan ion klorida dalam media amat menentukan naiknya laju korosi tersebut.

4.4 Analisis Struktur Makro

Dari hasil penelitian diketahui bahwa pada setiap variasi kadar garam pada media yang berbeda tingkat korosinya berbeda-beda. Sehingga perlu diamati struktur makro untuk mengetahui perbedaan-perbedaan yang terjadi pada permukaan baja pada setiap variasi media. Pengamatan ini diambil menggunakan kamera digital 16 mega pixels. Gambar 4.5 dibawah ini menunjukkan foto permukaan baja karbon rendah SWRM 12/1012 sebelum dilakukan perendaman media air laut, air payau, dan air rawa. Tampak baja masih tidak ada bercak warna coklat pada permukaannya dalam arti terbebas dari serangan korosi.

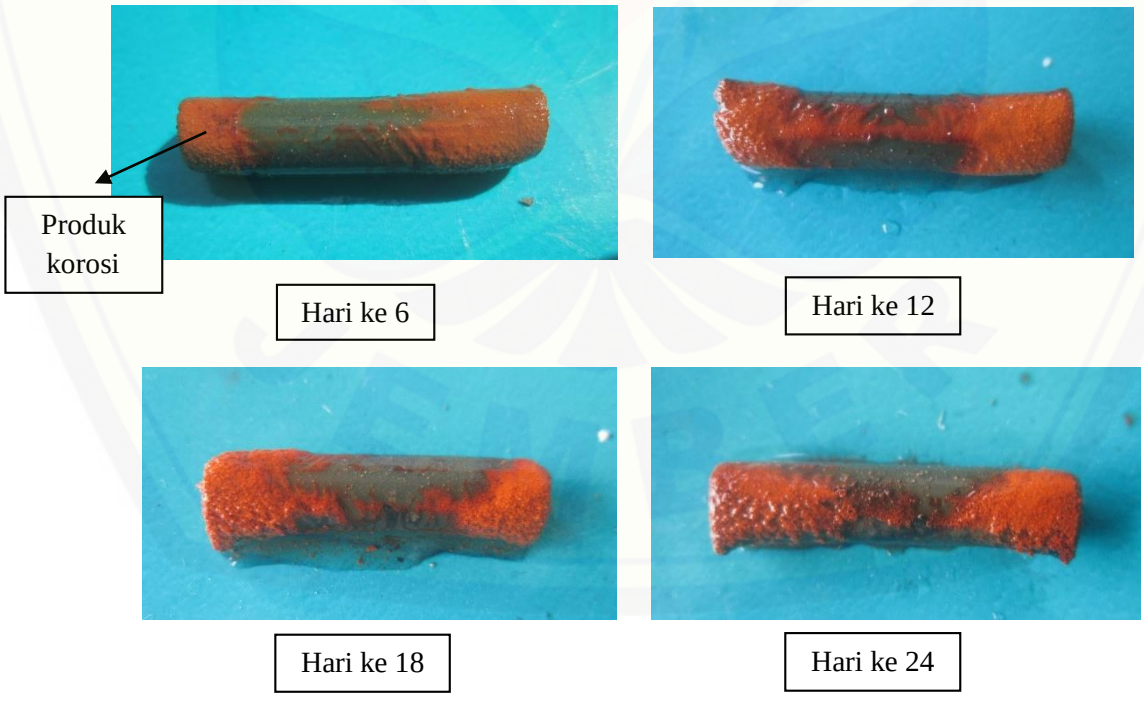
Digital Repository Universitas Jember



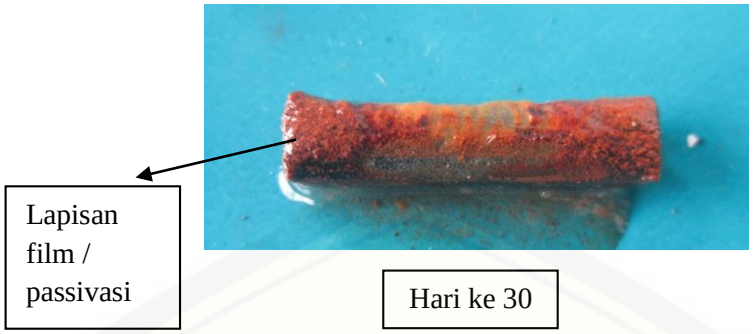
Gambar 4.5 Hasil pengamatan makro baja karbon rendah SWRM 12/1012 sebelum perendaman air laut, air payau, dan air rawa.

4.4.1 Analisis Struktur Makro pada Media Air Laut

Setelah dilakukan perendamam air laut selama 30 hari permukaan baja karbon rendah SWRM 12/1012 menunjukkan beberapa perubahan, yang artinya pada permukan baja sudah terkena korosi. Di bawah ini menunjukkan foto permukaan baja setelah dilakukan perendaman media air laut pada pengamatan interval hari ke 6, 12, 18, 24, dan 30 hari.



Digital Repository Universitas Jember



Gambar 4.6 Hasil pengamatan makro baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air laut.

Dari gambar 4.6 hasil perendaman air laut baja karbon rendah SWRM 12/1012 menunjukkan hasil yang berbeda-beda tiap interval 6 harinya. Hal ini terjadi karena baja mengalami korosi. Korosi inilah yang menyebabkan berat spesimen baja berkurang atau yang disebut *weight loss*. Pada pengangkatan spesimen hari ke 6 logam tampak sudah mengalami korosi namun belum menyeluruh. Seiring dengan proses korosi yang terjadi pada baja karbon di dalam larutan tersebut, ion-ion klorida akan menyerang baja dan menembus masuk ke dalam permukaan baja *(pitting corrosion)* dan menghasilkan bercak lapisan warna coklat . Pada pengangkatan hari ke 24 lapisan film tipis bening atau passivasi mulai terlihat. Lapisan film ini terbentuk dari produk korosi yang semula menyerang permukaan logam berubah melindungi dari serangan korosi. Sampai hari ke 30 perendaman, korosi semakin tebal menyelimuti baja dan melindungi baja dari serangan korosi dan menghambat laju korosi. Perendaman baja pada media air laut lebih banyak produk korosi yang terlihat karena kandungan klorida yang lebih tinggi dan agresif menyerang permukaan baja dibanding air payau dan air rawa.

Dari percobaan ini dapat diketahui korosi pada logam Fe dimana, dari unsur logam yang terkandung pada material, logam Fe merupakan logam yang paling reaktif. Pada peristiwa korosi, logam akan mengalami oksidasi, sedangkan oksigen akan mengalami reduksi. Bila ditunjukkan dengan rumus kimia korosi besi adalah (Fe_2O_3 + H_2O) berwarna coklat atau merah. Korosi inilah yang menyebabkan penggerusan permukaan pada logam *(weight loss)*. (Sumber : Minto Basuki, Abdul Aris Wacana Putra, Dzikri Hidayat. 2012.)

Digital Repository Universitas Jember

4.3.2 Analisis Struktur Makro pada Media Air Payau

Setelah dilakukan perendamam air payau selama 30 hari permukaan baja karbon rendah SWRM 12/1012 menunjukkan beberapa perubahan yang sudah terkena korosi. Di bawah ini menunjukkan foto permukaan baja setelah dilakukan perendaman media air payau pada pengamatan interval hari ke 6, 12, 18, 24, dan 30 hari.

Gambar 4.7 Hasil pengamatan makro baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air payau.

Dari pengamatan makro (Gambar 4.7) pada baja karbon rendah SWRM 12/1012 terlihat dari pengambilan data hari ke 6 spesimen sudah terkena serangan

Digital Repository Universitas Jember

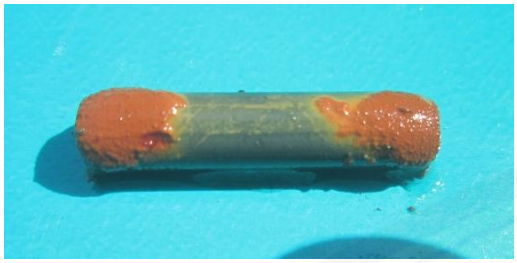
korosi yaitu terdapatnya bercak warna coklat pada permukaan baja. Pengangkatan hari ke 12 korosi mulai menebal dan menyerang bagian tengah permukaan baja. Semakin bertambahnya hari, produk korosi semakin menyelimuti seluruh permukaaan baja yang berpotensi terjadinya korosi sumuran. Pada pengangkatan hari ke 30 baja hampir tertutupi produk korosi. Pada pengangkatan spesimen hari ke 24 mulai terlihat lapisan film tipis dan bening yang bersatu dengan produk korosi yang menyelimuti permukaan baja.

Menurut (Minto Basuki dkk. 2012) *pitting corrosion* yang terjadi pada permukaan material memiliki diameter lubang yang berbeda-beda mulai dari yang kecil sampai yang besar, tetapi pada kebanyakan kasus diameter yang terjadi akibat pitting corrosion relative kecil. Pitting/korosi sumuran umumnya terjadi dalam waktu yang cukup lama untuk dapat terlihat, akan tetapi akibatnya tetap tidak diharapkan, karena banyak kasuskasus kebocoran peralatan justru terjadi dari pitting-pitting ini. Selain itu, pitting juga dapat mengakibatkan penurunan nilai kekuatan dari material itu sendiri.

4.4.3 Analisis Struktur Makro pada Media Air Rawa

Setelah dilakukan perendamam air rawa selama 30 hari permukaan baja karbon rendah SWRM 12/1012 menunjukkan beberapa perubahan yang sudah terkena korosi. Di bawah ini menunjukkan foto permukaan baja setelah dilakukan perendaman media air rawa pada pengamatan interval hari ke 6, 12, 18, 24, dan 30 hari.

Digital Repository Universitas Jember



Hari ke 6

Hari ke 12

Hari ke 18

Hari ke 24

Hari ke 30

Gambar 4.8 Hasil pengamatan makro baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air rawa.

Pada gambar 4.8 hasil pengangkatan hari ke 6 spesimen mulai terserang korosi pada bagian sisinya. Hal ini dikarenakan bagian sisi permukaan logam yang tergerus dari proses pemotongan spesimen. Tergerusnya permukaan ini membuat korosi mudah menyerang permukaan bagian sisi. Korosi menyebabkan berkurangnya berat pada spesimen atau yang disebut *weight loss*. Pada pengangkatan hari ke 12 produk korosi mulai tambak pada bagian tengah permukaan spesimen baja. Hari ke 18 dan ke 24 korosi mulai menyelimuti seluruh bagian spesimen. Pengangkatan hari ke 30 spesimen sudah banyak diselimuti oleh

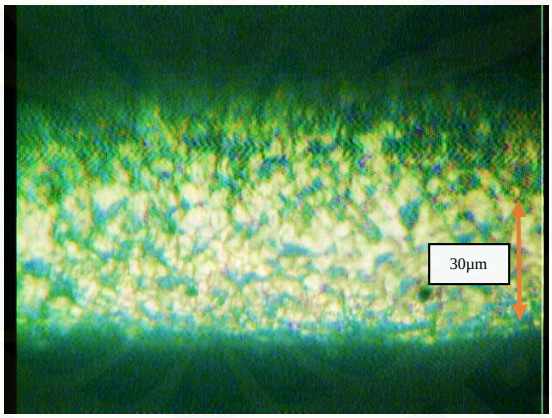
Digital Repository Universitas Jember

produk korosi dan lapisan film tipis dan bening dan menyebabkan melambatnya laju korosi pada perendaman air rawa.

Menurut (A.P Bayuseno, Erizal Dwi Handoko. Analisa Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Aliran Air Laut), Kontak dengan lingkungan ini akan menghasilkan pembentukan lapisan korosi pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk.

4.5 Analisis Struktur Mikro

Pengujian selanjutnya merupakan pengujian struktur mikro pada baja karbon rendah SWRM 12/1012 menggunakan alat mikroskop optik logam merk Panasonic tipe F10 ccd dengan perbesaran 400x. Pengamatan mikro ini dilakukan setelah logam mengalami perendaman dan pengujian makro. Pengujan ini dilakukan analisa untuk mengamati perubahan strukur spesimen uji sebelum dan setelah terjadi korosi pada proses pengujian. Gambar 4.9 dibawah ini merupakan hasil pengamatan mikro perbesaran 400x baja karbon rendah SWRM 12/1012 sebelum dilakukan proses perendaman.

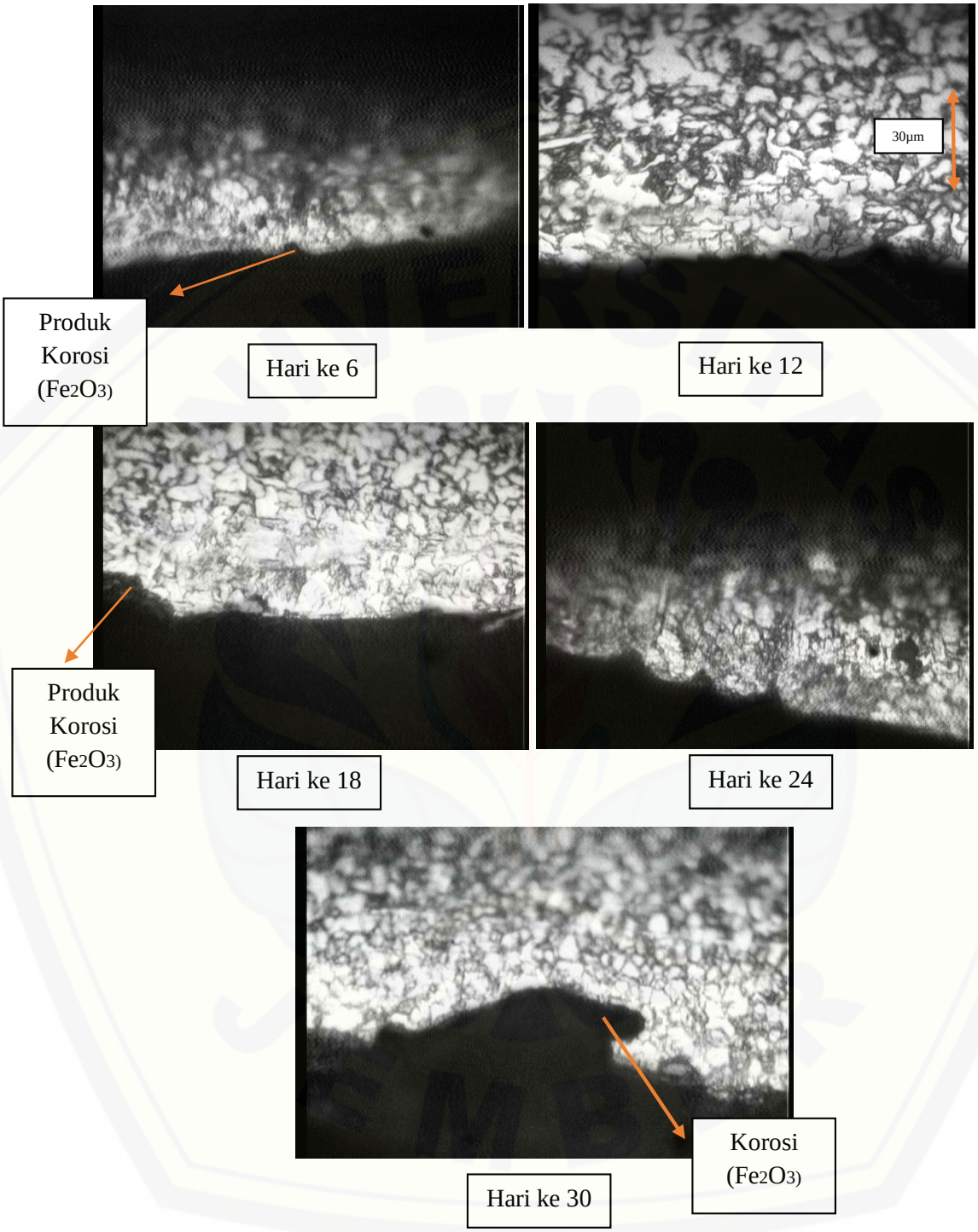


Gambar 4.9 Hasil pengamatan mikro baja karbon rendah SWRM 12/1012 sebelum perendaman air laut, air payau, dan air rawa.

Tampak pada gambar 4.9 belum adanya produk korosi yang menyerang permukaan baja. Pada fasa pearlite logam belum terlihat lubang dan permukaan baja masih terlihat rata.

Digital Repository Universitas Jember

4.5.1 Analisa Struktur Mikro pada Media Air Laut



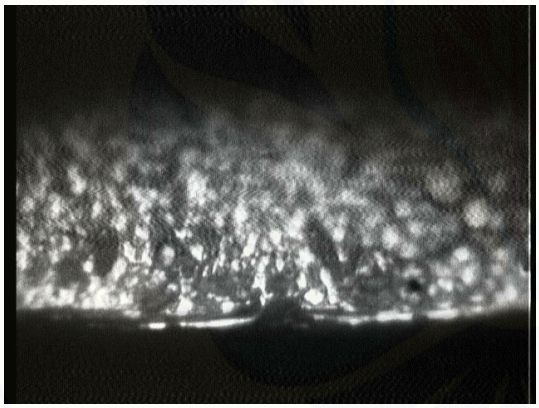
Gambar 4.10 Hasil pengamatan mikro baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air laut.

Digital Repository Universitas Jember

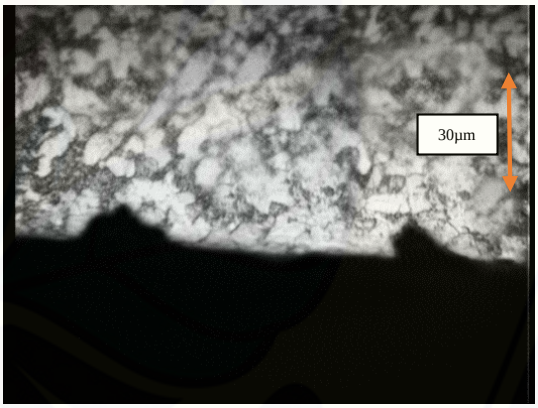
Pada pengamatan struktur mikro (gambar 4.10) pada baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air laut pengangkatan hari ke 6 dan ke 12 permukaan baja mulai terserang korosi yang mengakibatkan penggerusan permukaan baja. Namun serangan korosi belum terlihat parah. Pada hari ke 18 sampai hari ke 24 produk korosi tampak menggerus permukaan logam yang mengakibatkan baja berlubang. Pada pengamatan hari ke 30 permukaan baja terserang korosi cukup parah yang membuat permukaan berlubang, kandungan tinggi NaCl sangat berpengaruh yang mengakibatkan korosi menggerus butiran pearlite.

Munurut (Sulistioso Giat S. 2012) baja yang terkorosi akibat direndam pada media air laut, tampak kerusakan pada permukaan sampel yang disebabkan oleh oksidasi, akibat interaksi antara air laut dengan permukaan logam.

4.5.2 Analisa Struktur Mikro pada Media Air Payau

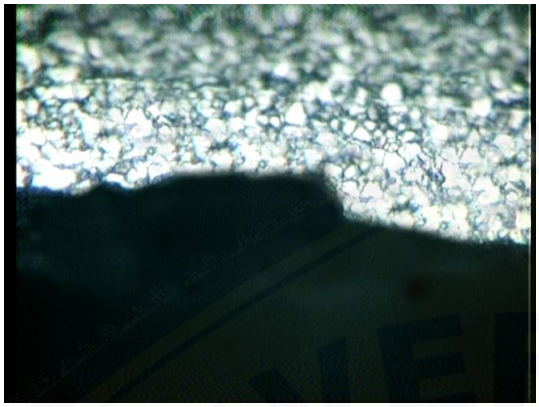


Hari ke 6

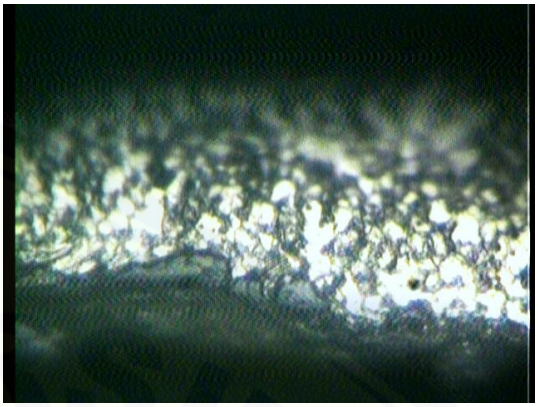


Hari ke 12

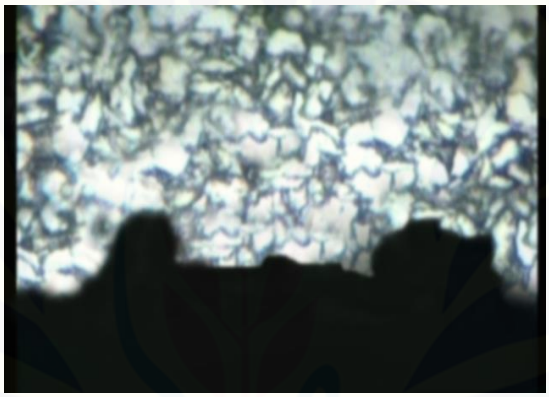
Digital Repository Universitas Jember



Hari ke 18



Hari ke 24



Hari ke 30

Gambar 4.11 Hasil pengamatan mikro baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air payau.

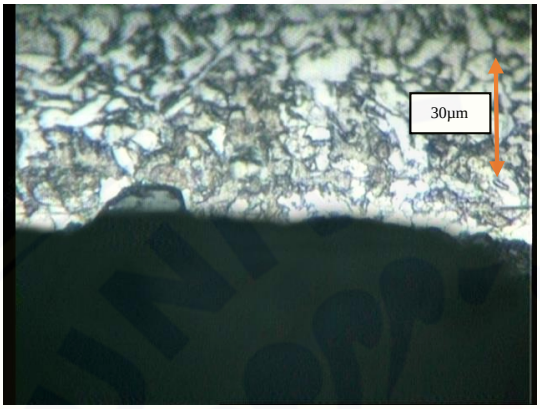
Pada gambar 4.11 hasil perendaman air payau dihari ke 6 tampak permukaan baja terlihat cekungan atau berlubang. Hal ini dikarenakan korosi mulai menggerus permukaan baja. Pada hari ke 12 sampai hari ke 30 korosi semakin banyak menggerus permukaan baja atau yang disebut korosi sumuran (*pitting corrosion)*. Terlihat permukaan baja hasil perendaman ini semakin banyak cekungan dan lubang. Hari ke 30 lubang semakin besar dan dan lubang semakin terlihat banyak .

Setelah mengalami korosi dengan media air yang korosif terdapat perubahan pada tampilan, adanya gambar berwarna gelap menunjukan daerah yang

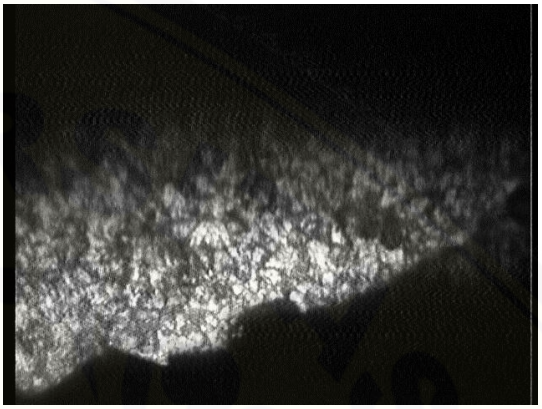
Digital Repository Universitas Jember

terkena korosi dan sering disebut dengan korosi sumuran. (A.P Bayuseno, Erizal Dwi Handoko. Analisa Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Aliran Air Laut)

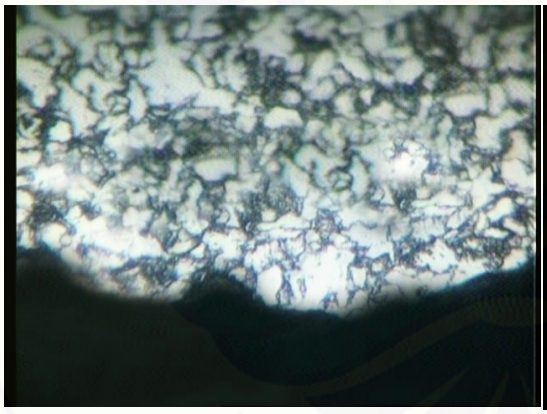
4.5.3 Analisa Struktur Mikro pada Media Air Rawa



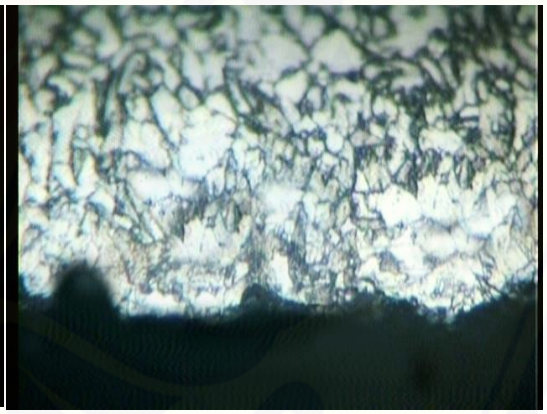
Hari ke 6



Hari ke 12

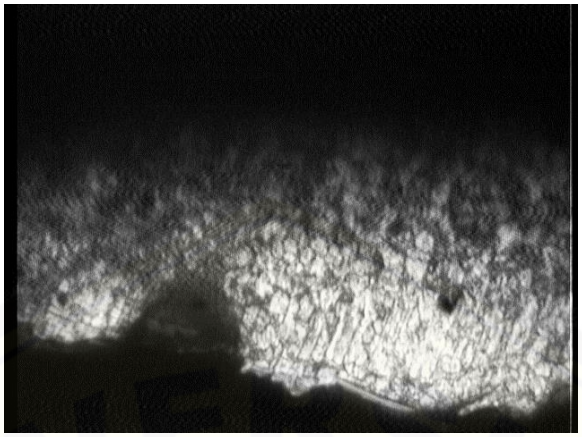


Hari ke 18



Hari ke 24

Digital Repository Universitas Jember



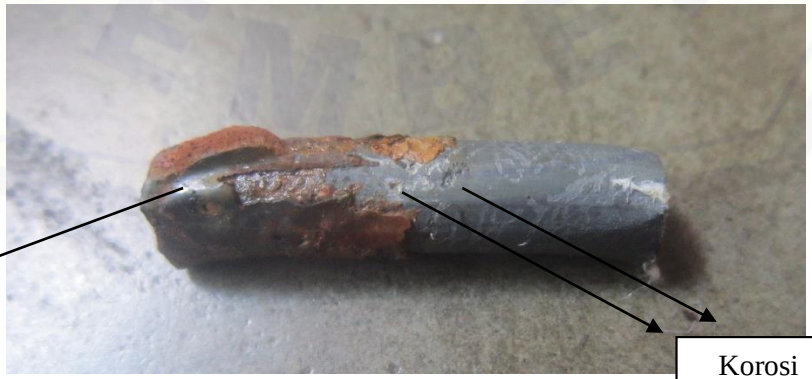
Hari ke 30

Gambar 4.12 Hasil pengamatan mikro baja karbon rendah SWRM 12/1012 setelah perendaman air rawa.

Hasil pengamatan mikro (gambar 4.12) hasil perendaman air rawa pada hari ke 6 lubang akibat serangan sudah terlihat. Begitu pula pada hari ke 12 sampai 30 serangan korosi semakin banyak menyerang permukaan baja, dan menghasilkan cekungan atau lubang pada permukaan baja. Namun hasil korosi pada perndaman air rawa cekungan atau lubang ini tidak terlalu parah jika dibandingkan hasil serangan korosi pada perendaman air laut dan air payau yang kandungan NaCl lebih tinggi.

Menurut (Mohammad Badaruddin, Sugiyanto) seiring lamanya waktu perendaman. Korosi *pitting* terus terjadi akan menjadi pemicu pembentukan retak awal pada daerah *pitting*.

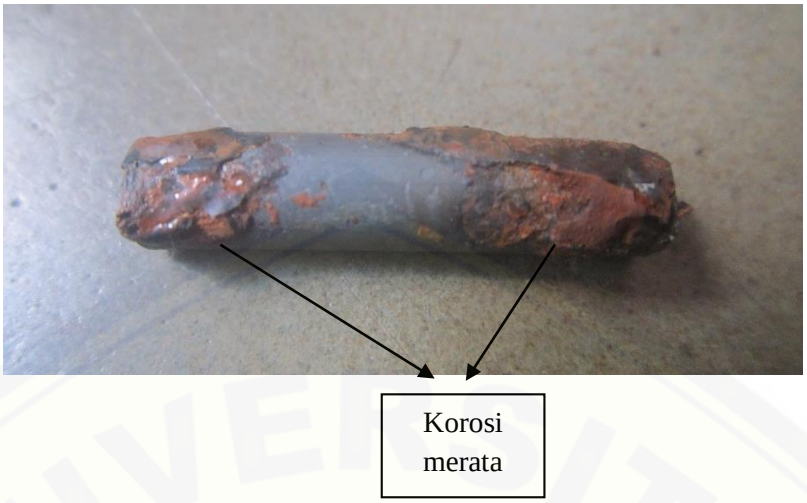
4.6 Analisis Jenis Korosi



Korosi merata

Korosi sumuran

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 4.13 Hasil pengamatan makro jenis korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh*

Korosi yang terjadi setelah proses perendaman yaitu korosi merata (*uniform attack)* dan korosi sumuran (*pitting corrosion).* Terlihat pada gambar 4.13 korosi merata menyebabkan keadaan kerusakan yang sangat besar terhadap permukaan material baja. Apabila terlalu lama dibiarkan logam akan menjadi tipis. *Pitting corrosion* bentuk serangan korosi yang sangat lokal (menyerang pada daerah tertentu saja) yang mengakibatkan lubang dalam pada permukaan logam baja. Korosi jenis ini relatif kecil dan dan kadang-kadang tertutup oleh kotoran sehingga seperti permukaan yang kasar saja. Korosi jenis ini sulit dideteksi sehingga sangat merugikan. *Pitting corrosion* berbentuk sangat lembut dan bentuknya mengarah pada gravitasi. Korosi jenis ini awalnya terlihat kecil dipermukaan tetapi semakin membesar pada bagian dalam. (Munasir, 2009).

Digital Repository Universitas Jember

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Besar laju korosi baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh* berbeda-beda tiap media, pada media air laut mempunyai rata-rata laju korosi sebesar 16,3316 mpy, pada media air payau sebesar 15,5447 mpy, dan pada media air rawa sebesar 15,4703 mpy.
2. Laju korosi pada media air laut adalah paling tinggi dibanding media air payau dan air rawa. Sedangkan laju korosi pada media air rawa mempunyai laju korosi paling rendah.
3. Kandungan salinitas dalam media kurang berpengaruh pada peningkatan laju korosi. Namun lama perendaman (hari) berpengaruh terhadap peningkatan laju korosi.
4. Keberadaan mikroba pada media korosif juga berpengaruh pada laju korosi. Awalnya akan membuat laju korosi semakin cepat, kemudian membuat laju korosi menjadi lambat.
5. Perendaman pada hari ke 18 mempunyai nilai tertinggi laju korosi pada tiap-tiap media.
6. Hasil pengamatan struktur makro menunjukkan hari ke 6 permukaan spesimen sudah terserang korosi. Pengamatan hari ke 24 dan hari ke 30 produk korosi menghasilkan lapisan film tipis dan bening (passivasi).
7. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan pada hari ke 6 permukaan spesimen terdapat cekungan atau lubang akibat serangan korosi. Sampai hari ke 30 permukaan spesimen semakin banyak cekungan.
8. Jenis korosi yang terjadi pada spesimen setelah perendaman yaitu korosi sumuran dan korosi merata.

5.2 Saran

Saran yang dapat diambil pada penelitian ini adalah:

Digital Repository Universitas Jember

1. Untuk penelitian yang serupa, sebaiknya peneliti memberikan variasi metode uji yang berbeda yaitu pengaruh pH untuk mendapatkan informasi yang lebih akurat mengenai fenomena korosi pada baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh*.
2. Pada penelitian tentang korosi pada baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh* sebaiknya dilakukan juga uji bakteri atau mikroba dan kandungan oksigen pada masing-masing media air yang digunakan untuk mengetahui penyebab korosi selain kandungan unsur-unsur yang terdapat dalam media air laut.

Digital Repository Universitas Jember

DAFTAR PUSTAKA

A.P Bayuseno, Erizal Dwi Handoko. Analisa Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Aliran Air Laut.

Amanto, Hari dan Daryanto. 2006. Ilmu bahan, Jakarta: Bumi Aksara.

Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online).

Gadang Priyotomo. 2008. Kamus Saku Korosi Material (Free E-Book Edisi Mahasiswa, Vol 1, No 1), Jakarta.

Johannes Leonard. 2012., Analisis Laju Korosi Material Penukar Panas Mesin Kapal Dalam Lingkungan Air Laut Sintetik dan Air Tawar, Malang.

Lukman, Triwikantoro. 2009. Pengaruh Unsur Korosif Pada Air Hujan Terhadap Perilaku Korosi Baja Karbon Rendah.

M. Rizky Ichwani. 2014. Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L Dalam Larutan Asam, Basa, dan Garam.

Minto Basuki, Abdul Aris Wacana Putra, Dzikri Hidayat. *2012.* Analisa Laju Korosi Duplex SS AWS 2205 Dengan Metode *Weight Loss.*

Masyrukan (2006), "Penelitian sifat fisis dan mekanis baja karbon rendah akibat pengaruh proses pengarbonan dari arang kayu jati", *Media Mesin*, Vol. 7, hal. 40–46.

Munasir. 2009. Laju Korosi Baja SC 42 Dalam Medium Air Laut Dengan Metode *Immers Total*, Surabaya.

Sastrosupadi, 2000. Pengujian Statistik

Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online).

Sukarmin. 2004. Reaksi Oksidasi dan Reduksi, Surabaya.

Digital Repository Universitas Jember

Supardi (1997), Korosi, Bandung.

Supardi, H Rahmat, 1997, Korosi, Edisi Pertama, Penerbit Tarsito, Bandung.

Sulistioso G.S. Analisis Korosi dari SS 440C pada Media Air Tawar dan Air Laut.

Somawardi. Fenomena Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah Akibat Pengaruh Kecepatan Fluida Air Laut.

Trethtwey, K.R. Chamberlin J. (1991), *Korosi untuk mahasiswa dan Rekayasawan*, alih bahasa Alek Tri Widodo, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Digital Repository Universitas Jember

LAMPIRAN

A.1 Tabel data penelitian pada media air laut (kandungan 33 gram garam):

Hari ke	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat (gr)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/cm³)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)
6	4,5947	4,5679	0,0268	144	7,8	15,8305	15,8895
	4,5838	4,5559	0,0279	144	7,8	16,4802	
	4,5839	4,5607	0,0232	144	7,8	13,7040	
	4,5877	4,5580	0,0297	144	7,8	17,5435	
12	4,6079	4,5543	0,0536	288	7,8	15,8305	17,6616
	4,6112	4,5445	0,0667	288	7,8	19,6995	
	4,5610	4,5042	0,0568	288	7,8	16,7756	
	4,5754	4,5133	0,0621	288	7,8	18,3409	
18	4,5975	4,4900	0,1075	432	7,8	21,1663	20,2163
	4,5700	4,4711	0,0989	432	7,8	19,4730	
	4,6014	4,4958	0,1056	432	7,8	20,7922	
	4,5653	4,4666	0,0987	432	7,8	19,4337	
24	4,5877	4,4788	0,1089	576	7,8	16,0815	14,5236
	4,5780	4,4846	0,0934	576	7,8	13,7926	
	4,5733	4,4810	0,0923	576	7,8	13,6301	
	4,5672	4,4684	0,0988	576	7,8	14,5900	
30	4,6009	4,4806	0,1203	720	7,8	14,2120	13,3673
	4,5849	4,4858	0,0991	720	7,8	11,7074	
	4,5998	4,4922	0,1076	720	7,8	12,7116	
	4,5935	4,4679	0,1256	720	7,8	14,8381	

Digital Repository Universitas Jember

A.2 Tabel data penelitian pada media air payau (kandungan 21 gram garam):

Hari ke	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat (gr)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/cm³)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)
6	4,5663	4,5436	0,0227	144	7,8	13,4086	14,3833
	4,5828	4,5578	0,0250	144	7,8	14,7672	
	4,5725	4,5467	0,0258	144	7,8	15,2398	
	4,5683	4,5444	0,0239	144	7,8	14,1175	
12	4,5950	4,5387	0,0563	288	7,8	16,6279	17,2112
	4,5997	4,5423	0,0574	288	7,8	16,9528	
	4,5637	4,4965	0,0672	288	7,8	19,8471	
	4,5657	4,5135	0,0522	288	7,8	15,4170	
18	4,5801	4,4810	0,0991	432	7,8	19,5124	19,3254
	4,5881	4,4936	0,0945	432	7,8	18,6067	
	4,5644	4,4745	0,0899	432	7,8	17,7010	
	4,5515	4,4424	0,1091	432	7,8	21,4814	
24	4,5948	4,5001	0,0947	576	7,8	13,9846	14,2873
	4,5582	4,4654	0,0928	576	7,8	13,7040	
	4,5819	4,4827	0,0992	576	7,8	14,6491	
	4,5480	4,4477	0,1003	576	7,8	14,8115	
30	4,5978	4,4995	0,0983	720	7,8	11,6129	12,5167
	4,5975	4,4866	0,1109	720	7,8	13,1015	
	4,5955	4,4754	0,1201	720	7,8	14,1883	
	4,5734	4,4789	0,0945	720	7,8	11,1640	

Digital Repository Universitas Jember

A.3 Tabel data penelitian pada media air rawa (kandungan 7 gram garam):

Hari ke	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat (gr)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/cm³)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)
6	4,5791	4,5555	0,0236	144	7,8	13,9403	14,2356
	4,5747	4,5496	0,0251	144	7,8	14,8263	
	4,6029	4,5792	0,0237	144	7,8	13,9993	
	4,5587	4,5347	0,0240	144	7,8	14,1765	
12	4,5830	4,5266	0,0564	288	7,8	16,6574	15,7713
	4,5536	4,4978	0,0558	288	7,8	16,4802	
	4,5788	4,5290	0,0498	288	7,8	14,7081	
	4,5673	4,5157	0,0516	288	7,8	15,2398	
18	4,6045	4,5111	0,0934	432	7,8	18,3901	18,4289
	4,5732	4,4835	0,0897	432	7,8	17,6596	
	4,5886	4,5052	0,0834	432	7,8	16,4211	
	4,6028	4,4949	0,1079	432	7,8	21,2451	
24	4,5668	4,4677	0,0991	576	7,8	14,6343	14,5973
	4,5838	4,4880	0,0958	576	7,8	14,1470	
	4,5964	4,4958	0,1006	576	7,8	14,8558	
	4,5894	4,4895	0,0999	576	7,8	14,7525	
30	4,5541	4,4337	0,1204	720	7,8	14,2238	14,3182
	4,5591	4,4301	0,1290	720	7,8	15,2398	
	4,5786	4,4540	0,1246	720	7,8	14,7200	
	4,5670	4,4562	0,1108	720	7,8	13,0897	

Digital Repository Universitas Jember

A.4 *Output software spss*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:nilai

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	292.067[a]	14	20.862	12.626	.000
Intercept	14944.771	1	14944.771	9.045E3	.000
kadar	9.111	2	4.555	2.757	.074
hari	264.469	4	66.117	40.016	.000
kadar * hari	18.487	8	2.311	1.399	.223
Error	74.353	45	1.652		
Total	15311.191	60			
Corrected Total	366.420	59			

a. R Squared = .797 (Adjusted R Squared = .734)

A.5 Perhitungan Uji Statistik

Digital Repository Universitas Jember

Derajat Bebas (db)

Derajat bebas total (dbt) = (a x b x r) – 1 = (3*5*4) – 1 = 60 – 1 = 59
Derajat bebas perlakuan (dbp) = (ab-1) = (3*5-1) = 14
Derajat bebas faktor A (dba) = a – 1 = 3 – 1 = 2
Derajat bebas faktor B (dbb) = b – 1 = 5 – 1 = 4
Derajat bebas interaksi faktor AB (dba*b) = (a-1)(b-1) = (3-1)*(5-1) = 8
Derajat bebas galat (dbg) = dbt – dbp = 59 – 14 = 45

Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{Y_{ij^2}}{a * b * r}$$

$$= \frac{946.9352^2}{3x5x4}$$

$$= \frac{896686.273}{59}$$

$$= 15198.072$$

Jumlah Kuadrat (JK)

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

JKT $= \sum(Yijk)^2 - FK$

= (15.8305² + 15.8305² + 21.1663² + …. + 13.0897²) - 15198.072

= (250.6047 + 250.6047 + 448.0122 +…..+ 171.3402) – 15198.072

= 15554.492 – 15198.072

= 366.42

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum(\sum yj)^2}{R} - FK$$

$$= \frac{(63.5582^2 + 70.6465^2 + 80.8652^2 + \ldots.. + 57.2733^2)}{4} - 15198.072$$

$$= \frac{60947.35297}{4} - 15198.072$$

= 292.067

Digital Repository Universitas Jember

Jumlah Kuadrat Faktor A (JKA)

$$JKA = \frac{\sum(\sum yi)^2}{rb} - FK$$

$$= \frac{(326.6332^2 + 310.8953^2 + 309.4067^2)}{4 \times 5} - 15198.072$$

$$= \frac{299077.6409}{20} - 15198.072$$

$$= 9.111$$

Jumlah Kuadrat Faktor B (JKB)

$$JKB = \frac{\sum(\sum yj)^2}{ra} - FK$$

$$= \frac{(178.0337^2 + 202.5768^2 + 231.8826^2 + 173.633^2 + 160.8091^2)}{4 \times 3} - 15198.072$$

$$= \frac{182510.8837}{12} - 15198.072$$

$$= 264.649$$

Jumlah Kuadrat Interaksi A*B (JKA*B)

$$JKA*B = JKP - JKA - JKB$$

$$= 292.067 - 9.111 - 264.649$$

$$= 18.487$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 366.42 - 292.067$$

$$= 74.353$$

Kuadrat Tengah (KT)

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = JKP/dbp$$

$$= 292.067 / 14$$

$$= 20.862$$

Kuadrat Tengah Faktor A (KTA)

$$KTA = JKA/dba$$

$$= 9.111 / 2$$

$$= 4.555$$

Digital Repository Universitas Jember

Kuadrat Tengah Faktor B (KTB)

KTB = JKB/dbb

= 264.649 / 4

= 66.117

Kuadrat Tengah Interaksi Faktor AB (KTA*B)

KTA*B = JKA*B / dba*b

= 18.487 / 8

= 2.311

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

KTG = JKG/dbg

= 74.353 / 45

= 1.652

Frekuensi Hitung (F-hit)

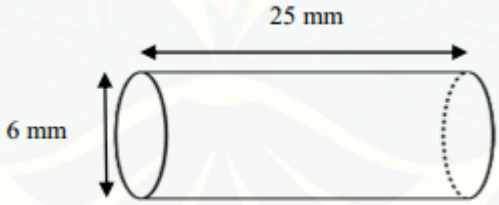
F-hit P = KTP/KTG = 20.862 / 1.652 = **12.626**

F-hit A = KTA/KTG = 4.555 / 1.652 = **2.757**

F-hit B = KTB/KTG = 66.117 / 1.652 = **40.016**

F-hit A*B = KTA*B/KTG = 2.311 / 1.652 = **1.399**

A.6 Perhitungan luas spesimen



Luas silinder = (2 x A.Lingkaran) + A.Selimut Tabung

= (2 x πr^2) + (p x l)

= (2 x πr^2) + (p x keliling lingkaran)

= (2 x πr^2) + (p x (2 x πr))

= (2 x πr (r + p))

= (2 x 3,14 x 3 (3 + 25)

= 527,52 mm^2 = 5,2 cm^2

Digital Repository Universitas Jember

A.7 Perhitungan laju korosi

- Diambil contoh perendaman sampel ke-1 pada variasi kadar garam 33 gram selama 6 hari (144 jam)

  K = 3450000

  W = 0,0268 g

  A = 5,2 cm^2

  T = 144 jam

  D = 7,8 g/ cm^3

  $$\text{Laju Korosi} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

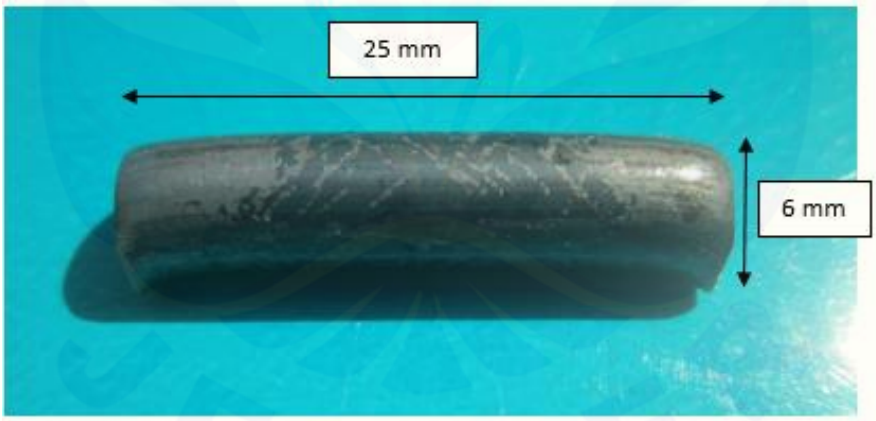
  $$= \frac{3450000 \times 0{,}0268}{5{,}2 \times 144 \times 7{,}8}$$

  = 15,8305 mpy

Keterangan: untuk perhitungan selanjutnya adalah dengan memakai contoh perhitungan yang sama seperti perhitungan diatas.

Digital Repository Universitas Jember

A.8 Proses pemotongan spesimen uji



Keterangan : baja karbon rendah SWRM 12/1012 *wire mesh*

Digital Repository Universitas Jember

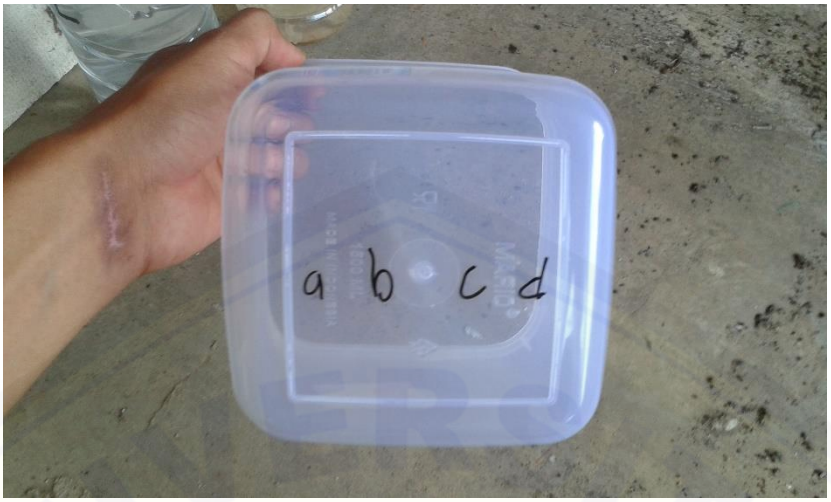
A.9 Alat pengujian kadar garam

Keterangan : Alat Salinometer

A.10 Proses perendaman spesimen

A

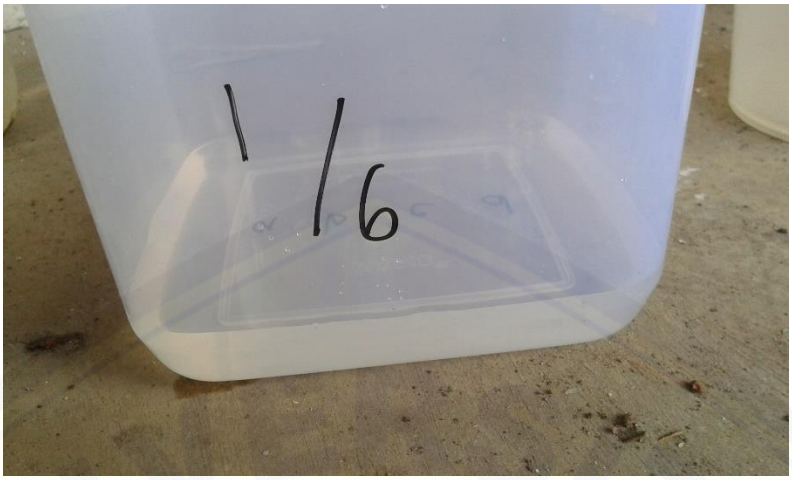
Digital Repository Universitas Jember



B

C

Digital Repository Universitas Jember



D

E

Digital Repository Universitas Jember

F

G

Keterangan:

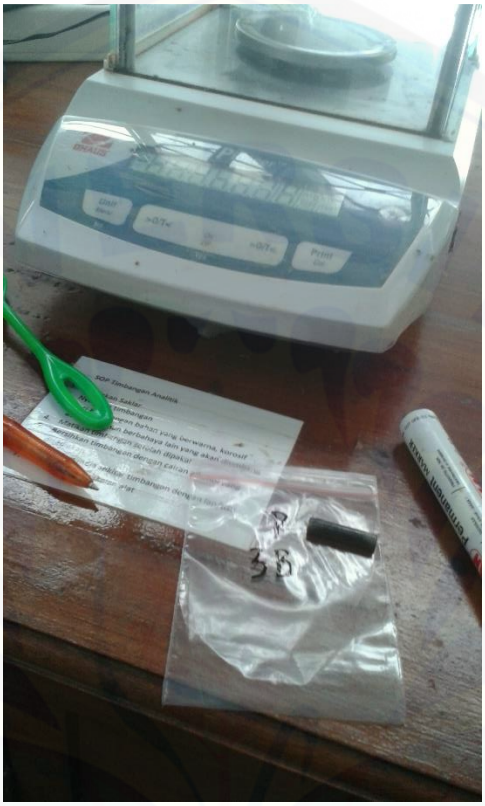
A. Penulisan nama toples dan hari perendaman
B. Penulisan letak spesimen
C. Pengukuran media dengan gelas ukur
D. Pengisian media air
E. Penyusunan toples dengan media berbeda

Digital Repository Universitas Jember

F. Peletakan spesimen

G. Proses perendaman spesimen

A.11 Proses penimbangan spesimen uji



A

Digital Repository Universitas Jember

B

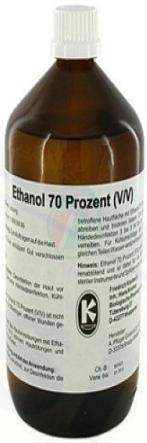
Keterangan:

A. Persiapan penimbangan spesimen
B. Penimbangan spesimen menggunakan neraca digital

Digital Repository Universitas Jember

A.12 Proses Pengamatan Permukaan Spesimen

A



B

C

D

Digital Repository Universitas Jember

E

F

G

Digital Repository Universitas Jember

H

I

J

Digital Repository Universitas Jember

Keterangan :

A. Larutan HCl
B. Larutan etanol
C. Larutan HNO_3
D. Aquadest
E. Autosol
F. Amplas
G. Proses pengamplasan spesimen
H. Proses penghalusan spesimen dengan kain beludru
I. Mikroskop optik Panasonic f10 ccd
J. Proses pengamatan mikro