TUGAS AKHIR- TL141584

PENGARUH BEBAN TERHADAP LAJU KOROSI LAPISAN BAJA GALVALUM (Zn55Al) DI LINGKUNGAN AIR LEDENG DAN AIR LAUT

ADIANTO HIBATULLAH SANTOSO

NRP. 2711 100 048

Dosen Pembimbing

Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh November

Surabaya 2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

FINAL PROJECT- TL141584

THE EFFECT OF LOAD ON CORROSION RATE OF GALVALUME STEEL COATING (Zn55Al) IN FRESH WATER AND SEA WATER ENVIRONMENT

ADIANTO HIBATULLAH SANTOSO

NRP. 2711 100 048

Advisor

Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

Department Of Material And Metallurgical Engineering

Faculty Of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute Of Technology

Surabaya 2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH BEBAN TERHADAP LAJU KOROSI LAPISAN BAJA GALVALUM (Zn55Al) DI LINGKUNGAN AIR LEDENG DAN AIR LAUT

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Material Dan Metalurgi
Pada
Bidang Studi Korosi Dan Kegagalan Material
Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :
Adianto Hibatullah Santoso
NRP. 2711 100 048

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. ..... Pembimbing

Surabaya
Januari 2015

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH BEBAN TERHADAP LAJU KOROSI LAPISAN BAJA GALVALUM (Zn55Al) DI LINGKUNGAN AIR LEDENG DAN AIR LAUT

Nama Mahasiswa : Adianto Hibatullah Santoso
NRP : 2711 100 048
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan,ST., M.Sc.

Abstrak

Baja galvalum memiliki sejarah sebagai rangka atap pada konstruksi bangunan yang efektif dan ekonomis. Baja galvalum terdiri dari lapisan tipis seng dan aluminium yang menyatu pada substrat baja ringan. Paduan lapisan baja galvalum memberikan perlindungan galvanik yang sangat baik dan laju korosi yang rendah. Rangka atap yang berada pada rumah mendapatkan beban yang berbeda. Beban dari rangka atap bergantung pada beban mati, beban hidup terbagi rata, beban hidup terpusat dan beban angin. Rumah dapat berada dalam kawasan tepi pantai maupun berada pada perkotaan sehingga adanya pengujian salt spray dengan tujuan untuk mendapatkan simulasi lingkungan yang dekat dengan laut dan pengujian dengan immerse air ledeng bertujuan untuk mendapatkan simulasi lingkungan perkotaan dan jauh dari laut. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari laju korosi pada spesimen baja galvalum yang diberi variasi beban 0, 20, 30, dan 40 % tegangan luluh dalam media air ledeng dan NaCl 5% selama 10, 20, 30, 40 dan 50 hari dengan temperatur 30^0C. Hasil korosi dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM, dan polarisasi tafel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan

bertambahnya beban, maka laju korosi pada baja galvalum akan meningkat. Air garam lebih korosif daripada air ledeng. Sedangkan dengan bertambahnya waktu, maka laju korosi baja galvalum akan menurun. Hal ini karena produk korosi seng dan aluminium mengendap di permukaan. Hasil pengujian XRD ditemukan senyawa Zinc Hydroxide $Zn(OH)_2$, Zinc Oxide (ZnO), Aluminium hydroxide ($Al(OH)_3$), Aluminium Hydroxide Oxide (AlOOH), dan Aluminium Oxide (Al_2O_3). Dari pengujian SEM, ditemukan daerah gelap yaitu fasa yang kaya akan seng dan daerah terang yaitu fasa kaya akan aluminium.

Kata Kunci: Baja Galvalum, Zn55Al, Laju Korosi, Air Ledeng, Air Laut

THE EFFECT OF LOAD ON CORROSION RATE OF GALVALUME STEEL COATING (Zn55Al) IN FRESH WATER AND SEA WATER ENVIRONMENT

Student Name : Adianto Hibatullah Santoso
NRP : 2711 100 048
Department : Material And Metallurgical Engineering
Advisor : Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

Abstract

Galvalume steel has been used effectively and economically as roof trusses in building construction throughout history. Galvalume steel consists of a thin layer of zinc and aluminum which are fused on mild steel substrate. Galvalum layer provides excellent galvanic protection and lower corrosion rate. Roof truss used in a home received different amount of loads. The loads received by the roof truss are dead load, distributed live load, centralized live load and load caused by wind. The house might be located in coastal areas and urban areas hence it needed to simulate using sea water and simulate urban environment using natural fresh water. The purpose of this research is to study the corrosion rate of the galvalume steel which is given the load variation of 0, 20, 30, 40 % yield strength of the medium fresh water and NaCl 5% for 0, 10, 20, 30, 40 and 50 days with a temperature of 30^0C . Corrosion characterization were analyzed using XRD, SEM, and Tafel polarization. The result of this study, showed that the corrosion rate of galvalume layer increased in accordance with the load applied. Salt water more corrosive than natural fresh water. Whereas the

increasing time would decrease the corrosion rate. This happened because the corrosion products, zinc and aluminum, settled on the surface. From the XRD results, we founded Zinc Hydroxide $Zn(OH)_2$, Zinc Oxide (ZnO), Aluminium hydroxide ($Al(OH)_3$), Aluminium Hydroxide Oxide (AlOOH), dan Aluminium Oxide (Al_2O_3) compounds, and from SEM, we obtained darker area which is a phase rich in zinc and the lighter area, which is a phase rich in aluminum.

Keywords: Galvalume Steel, Zn55Al, Corrosion Rate, Fresh Water, Sea Water.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Hirobbil'alamin

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang berjudul:

"Pengaruh Beban Terhadap Laju Korosi Lapisan Baja Galvalum (Zn55Al) Di Lingkungan Air Ledeng Dan Air Laut"

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

1. Orang tua dan adik penulis, Bapak Ir. Bima Anuesanto dan Ibu Dra. Siti Thoharoh serta Naufaldi Rahmatullah Dwihartantyo yang selalu mendukung penulis, memberikan nasihat serta doa.
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan telah memberikan ilmu, bimbingan serta wawasan.
3. Bapak Ir. Moh. Farid, DEA selaku Dosen Wali penulis pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

4. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro, ST., MT. selaku Ketua Jurusan pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
5. Bapak Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si. sebagai dosen pada Jurusan Kimia FMIPA-ITS yang telah memberikan bimbingan selama melakukan penelitian di jurusan kimia.
6. Humairatunnisa yang selalu membantu dan memberi semangat penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
7. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
8. Teman-teman MT 13 yang selalu membantu penulis dengan baik.
9. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Januari 2015
Penulis,

Adianto Hibatullah Santoso

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**

LEMBAR PENGESAHAN ..... **v**

ABSTRAK ..... **vii**

ABSTRACT ..... **ix**

KATA PENGANTAR ..... **xi**

DAFTAR ISI ..... **xiii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xvii**

DAFTAR TABEL ..... **xxi**

BAB I. PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 2

1.4 Batasan Masalah 3

1.5 Manfaaat Penelitian 3

BAB II . TINJAUAN PUSTAKA **5**

2.1 Baja Galvalum 5

2.2 Aplikasi Baja Galvalum 6

2.3 Sifat Mekanik Aluminium dan Seng 6

2.4 Beban 7

2.5 Tegangan Lentur 9

2.6 Lingkungan 14
2.6.1.Air Tanah 14
2.6.2.Air Laut.....15
2.7 Korosi pada Baja Galvalum 17
2.8 Pengujian Korosi.....20
2.8.1 Pengujian Polarisasi Potensiodinamik (Tafel *Extrapolation*).....20
2.8.2 *Weight Loss Method*.....24
2.9 Penelitian Sebelumnya.....26

BAB III METODOLOGI..... .**29**
3.1 Diagram Alir Penelitian.....29
3.2 Metode Penelitian.....30
3.3 Peralatan dan Bahan.....31
3.3.1 Peralatan Penelitian.....31
3.3.2 Bahan Penelitian.....32
3.4 Prosedur Penelitian 32
3.5 Preparasi Spesimen *Weight Loss Immerse* dan *Salt Spray*.....33
3.6 Preparasi Spesimen Tafel.....34
3.7 Preparasi Spesimen Tarik.....35
3.8 Pembuatan Larutan *Salt Spray*.....37
3.9 Preparasi *Chamber Weight Loss Immerse*.....37

3.10 Preparasi *Chamber Weight Loss Salt Spray*..... 37
3.11 Pengujian Tarik..... 40
3.12 Pengujian *Weight Loss Immerse*..... 40
3.13 Pengujian *Weight Loss Salt Spray*..... 42
3.14 Pengujian Elektrokimia..... 44
3.15 Pengujian Analisa Difraksi Sinar X (XRD)..... 47
3.16 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)..... 48
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... 49
4.1 Hasil Penelitian..... 49
4.1.1 Hasil Pengujian Tarik..... 49
4.1.2 Hasil Pengamatan Visual..... 51
4.1.3 Hasil Pengujian Elektrokimia Tafel..... 54
4.1.4 Hasil Pengujian *Weight Loss Immerse*..... 57
4.1.5 Hasil Pengujian *Weight Loss Salt Spray*..... 58
4.1.6 Perbandingan Hasil Pengujian *Weight Loss Immerse*, *Salt Spray* dan Elektrokimia..... 61
4.1.7 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)*..... 62
4.1.8 Hasil Pengujian Analisa Difaraksi Sinar – X (XRD)..... 64

4.2 Pembahasan .....…. 65

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN…...…….. .**69**

5.1 Kesimpulan...…….……..69

5.2 Saran ...……..…….. 69

DAFTAR PUSTAKA.....……..…….**xxiii**

LAMPIRAN A.....……..……..……**xxvii**

LAMPIRAN B.....**xxxvi**

LAMPIRAN C.....**xli**

LAMPIRAN D.....**lvi**

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Baja Galvalum …….. 5

Tabel 2.2 Nilai Penampang Melintang..... 12

Tabel 2.3 Standart Laju Korosi..... 23

Tabel 2.4 Konstanta Laju Korosi..... 25

Tabel 3.1 Tabel 3.1 Komposisi Kimia Lapisan Baja Galvalum pada Spesimen..... 32

Tabel 3.2 Dimensi Spesimen Tarik menurut Standar ASTM E8M.....36

Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Pengujian *Weight Loss Immerse* Air Ledeng..... 42

Tabel 3.4 Rancangan Percobaan Pengujian *Salt Spray* NaCl 5%.....44

Tabel 3.5 Parameter Pengujian Tafel.....45

Tabel 3.6 Rancangan Percobaan Pengujian Polarisasi dengan Metode Tafel.....46

Tabel 4.1 Nilai Tegangan Luluh Baja Galvalum..... 50

Tabel 4.2 Nilai σ_y 20, 30, dan 40%..... 51

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Laju Korosi Metode Tafel..... 54

Tabel 4.4 Beban Terhadap Laju Korosi (Mpy) dalam *Immerse* Air Ledeng..... 57

Tabel 4.5 Beban Terhadap Laju Korosi (Mpy) dalam *Salt Spray* NaCl 5%.....59

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembebanan Hidup Terpusat Ketika Pemasangan Baja Galvalum ……..... .. 8
Gambar 2.2 Tegangan Bending Pada Balok Lurus …... 9
Gambar 2.3 Kurva Defleksi Pada Balok..... 10
Gambar 2.4 Momen Gaya Pada Balok..... 11
Gambar 2.5 Fasilitas Pengolahan Air Ini Telah Digalvanis Untuk Melindungi Baja Dari Sifat Korosif Dari Air Tanah..... 15
Gambar 2.6 Grafik Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi..... 16
Gambar 2.7 Aerator Kebun Anggur Ini Menggunakan Lapisan Duplex Hot-Dip Galvanizing Dan Cat Untuk Melindungi Terhadap Air Laut Tropis Dan Semprotan Air Garam..... 17
Gambar 2.8 Diagram Pourbaix Zn dan Al 18
Gambar 2.9 Identifikasi SEM 19
Gambar 2.10 Kurva Ekstrapolasi Dari Tafel 21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....29
Gambar 3.2 Spesimen *Weight Loss Immerse* dan *Salt Spray*..... 33
Gambar 3.3 Spesimen Dengan Beban.....34
Gambar 3.4 Spesimen Tafel.....35
Gambar 3.5 Standar Spesimen Tarik.....35
Gambar 3.6 Spesimen Tarik.....36
Gambar 3.7 Chamber Utama (Tampak Atas).....38
Gambar 3.8 *Chamber* Larutan.....39
Gambar 3.9 *Relay* Dan *Socket*.....39
Gambar 3.10 *Thermostat*.....39

Gambar 3.11 Peralatan Pengujian Tarik.....40

Gambar 3.12 Rangkaian Pengujian *Weight Loss Immerse*.....41

Gambar 3.13 Skema Alat Pengujian Polarisasi.....45

Gambar 3.14 Rangkaian Alat Pengujian Polarisasi.....46

Gambar 3.15 Mesin XRD Pan Analitycal.....47

Gambar 3.16 Mesin SEM ZEISS EVO MA10.....48

Gambar 4.1 Diagram Tegangan-Regangan Pengujian Tarik Spesimen Baja Galvalum (a) Spesimen 1, (b) Spesimen 2, (c) Spesimen 3.....49

Gambar 4.2 Foto Makro Baja Galvalum. Dari Kiri ke Kanan Eksposur Selama 10 Hari, 20 Hari, 30 Hari, 40 Hari dan 50 Hari. IM = *Immerse* Air Ledeng. SS = *Salt spray* 5% NaCl.....52

Gambar 4.3 Kurva Polarisasi E *versus* Log I Spesimen Baja Galvalum dalam Air Ledeng 55

Gambar 4.4 Kurva Polarisasi E *versus* Log I Spesimen Baja Galvalum dalam NaCl 5%.....56

Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Beban Terhadap Laju Korosi dalam *Immerse* Air Ledeng.....58

Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Beban terhadap Laju Korosi dalam *Weight Loss Salt Spray* NaCl 5% dan Tafel NaCl 5%.....60

Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Beban terhadap Laju Korosi dalam *Weight Loss Salt Spray Salt Spray* NaCl 5%.....60

Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Laju Korosi Rata-Rata Hari ke 10-50 Baja Galvalum Pada Pengujian *Weight Loss Salt Spray*, *Weight Loss Immerse*, Tafel Media Air Ledeng dan Tafel Media NaCl 5%.....61

Gambar 4.9 Hasil Uji SEM Baja Galvalum (a) Kondisi Awal Tanpa Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 100x; (b) Kondisi

Awal Tanpa Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 1500x. (c) Kondisi Awal Tanpa Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 2000x.....62

Gambar 4.10 Hasil Uji SEM Baja Galvalum *Salt spray* NaCl 5% (a) Kondisi Setelah Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 100x; (b) Kondisi Setelah Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 1500x. (c) Kondisi Setelah Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 2000x..... 63

Gambar 4.11 Hasil XRD Baja Galvalum..... 64

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam merupakan bahan dasar yang sangat vital khususnya dalam menunjang kemajuan industri sehingga tidaklah dapat dibantah bahwa bahan dasar tersebut memegang peranan penting dalam perkembangan peradaban manusia, dengan banyak bukti yang jelas tentang usaha manusia dalam mengubah dan menemukan bahan-bahan dasar industri yang murah, tahan lama tidak mengalami korosi selama dalam pemakaian. Korosi merupakan salah satu masalah utama yang paling sering terjadi dalam sektor industri. Dampak kerusakan logam dapat berupa bocornya pipa–pipa minyak, korosi pada pelat kapal dan kerugian besar lain yang dapat ditimbulkan baik berupa kerugian biaya perawatan maupun kerugian keselamatan manusia. (*Sam, 2012*).

Baja galvalum memiliki sejarah sebagai rangka atap konstruksi yang efektif dan ekonomis. Baja galvalum terdiri dari lapisan tipis seng dan aluminium yang menyatu pada substrat baja. Kombinasi ini menjadikan material yang memiliki sifat mekanik baja dan juga dengan ketahanan korosi dari seng dan aluminium. Lapisan galvanis memiliki kinerja yang telah terbukti dalam berbagai kondisi lingkungan. Ketahanan korosi seng pelapis ditentukan oleh ketebalan lapisan tetapi bervariasi dengan kondisi lingkungan. Prediksi umur lapisan tersebut penting untuk perencanaan dan pembiayaan yang diperlukan dalam pemeliharaan. (*AGA, 2010*).

Mamlu (2001) menyatakan besarnya beban penekanan pada besi beton akan sangat berpengaruh sekali terhadap laju korosi yang terjadi pada besi tersebut. Bahwa semakin besar penekanan (pemberian beban) yang diberikan pada spesimen maka laju korosi yang terjadi akan semakin besar. Korosi dapat menyerang pada logam baik yang mengalami pembebanan maupun

tidak. Pengaruh beban khususnya pada logam yang mengalami tegangan akan sangat berpengaruh terhadap ketahanan laju korosi. Rangka atap yang berada pada rumah mendapatkan beban yang berbeda. Beban dari rangka atap bergantung pada 4 hal, yaitu beban mati, beban hidup terbagi rata, beban hidup terpusat dan beban angin. Rumah yang berada dalam kawasan tepi pantai berbeda tingkat korosivitasnya dengan rumah yang berada pada perkotaan.

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari karakteristik korosi pada lapisan baja galvalum, sebagai rangka atap pada konstruksi bangunan, yang diberi variasi beban dan lingkungan. Hasil korosi dianalisa menggunakan XRD, SEM, dan polarisasi tafel.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun masalah yang terdapat dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variansi beban terhadap karakteristik korosi pada lapisan baja galvalum.
2. Bagaimana pengaruh lingkungan terhadap karakteristik korosi pada lapisan baja galvalum.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari dan memahami pengaruh variansi beban terhadap karakteristik korosi pada baja galvalum.
2. Mempelajari dan memahami pengaruh lingkungan terhadap karakteristik korosi pada lapisan baja galvalum.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dan asumsi pada penelitian ini adalah:

1. Komposisi kimia, dimensi dan kehalusan lapisan coating pada baja galvalum homogen.
2. Larutan salt spray sama dengan air laut sebenarnya.
3. Tidak terjadi perubahan volume dan pH larutan selama pengujian.
4. Kecepatan fluida diabaikan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai referensi laju korosi pada lapisan baja galvalum dengan variansi beban dan lingkungan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Galvalum

Galvalum pertama kali dibuat pada tahun 1962 dan dipatenkan oleh Bethlehem International Engineering Corporation. Produksi komersial pertama baja galvalum adalah pada tahun 1972. (*Ogle, 2012*) Untuk meningkatkan ketahanan korosi pada baja ringan dapat dilakukan dengan pelapisan paduan seng dan aluminium. Efek perlindungan korosi dari kombinasi kedua unsur ini dikenal setelah terdapat penelitian bahwa silikon menghambat reaksi korosi terhadap baja. Dengan demikian, paduan komersial yang dikenal sebagai Galvalume atau Zincalum muncul, dengan komposisi sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komposisi Lapisan Baja Galvalum (Elsner, 2011)

Unsur	%
Aluminium	55
Seng	43.4
Silikon	1.6

Paduan tersebut memberikan perlindungan galvanik yang sangat baik dan laju korosi yang rendah. Untuk mendapatkan tingkat perlindungan yang lebih tinggi dari permukaan logam tersebut, maka pelapisan dapat dipilih untuk memberikan efek penghambat korosi yang lebih efektif dan juga keindahan estetika yang lebih baik. Beberapa kondisi lingkungan agresif mengakibatkan kedua pelindung harus diterapkan untuk mendapatkan keefektifannya. Kombinasi tersebut, disebut sebagai sistem duplex, telah menunjukkan efek yang lebih baik bila dibandingkan dengan sistem pelapisan individu. Perlindungan korosi yang lebih baik ini diperoleh dari seng atau 55% lapisan Al-Zn (proteksi katodik + penyumbatan cacat oleh produk korosi), dan juga oleh sistem cat berpigmen (efek penghalang + baja korosi inhibisi). (Elsner, 2011).

2.2 Aplikasi Baja Galvalum

Paduan baja dengan lapisan 55% Aluminium-Seng baja adalah kombinasi yang baik untuk rangka atap. Dalam kondisi yang tidak dicat, ketahanan korosi baja galvalum melebihi semua baja berlapis logam lainnya. Hal tersebut menambah umur material menjadi dua kali lebih lama daripada lapisan seng biasa dengan ketebalan yang sama dan memberikan perlindungan yang sangat baik terhadap korosi. (ZAC, 2005). Jurnal ini menunjukkan bahwa di atap daerah Amerika dan Eropa, baja galvalum memiliki umur lebih dari 40 tahun. Atap yang ditempatkan di lingkungan perkotaan, industri, laut dan asam memiliki usia sekitar 9-30 tahun. Sebagian besar memiliki kemiringan kurang dari 10 derajat (1 derajat = 1/4: 12).

Dalam aplikasi konstruksi, Galvalume dikenal sebagai produk yang sangat baik untuk atap dengan umur panjang, terutama atap rendah pada bangunan industri. Untuk atap rendah, produk ini digunakan sebagai lembaran atap yang tidak dicat dan terekspos langsung. Ketika digunakan untuk atap rendah-lereng, Galvalume telah terbukti melakukan dengan baik selama lebih dari 20 tahun dan dalam banyak kasus lebih dari 25 tahun tanpa kerusakan. (Ogle, 2012)

2.3 Sifat Mekanik Aluminium dan Seng

Aluminium terkenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh fenomena pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan aluminium oksida di permukaan logam aluminium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi aluminium.Aluminium memiliki kekerasan brinel 245 Mpa dan modulus young sebesar 70 GPa. Sedangkan kekuatan tarik aluminium sebesar 90 MPa. (Yuliana, 2009)

Sedangkan Seng digunakan untuk memproduksi kuningan, perunggu dan galvanis. Seng juga digunakan dalam elemen non-struktural yaitu talang hujan dan panel dekoratif. Seng memiliki modulus young sebesar 108 GPa, modulus geser sebesar 43 GPa, dan kekerasan brinell sebesar 412 MPa. Lapisan seng merupakan pelindung terbaik terhadap efek korosif oksigen atmosfer dan uap air. Dengan cara mencegah kontak fisik dari baja dengan udara. Lapisan seng akan menjadi anoda dalam melindungi baja. (Putra, 2009)

2.4 Beban

Beban yang diterima oleh rangka atap, baja galvalum, harus lebih kecil daripada tegangan luluh yang terdapat pada baja galvalum. Jika beban yang diterima oleh rangka atap lebih besar dari tegangan luluh, maka baja galvalum akan berada pada keadaan plastis sehingga material tersebut akan mengalami kegagalan.

Menurut Peraturan Pembebanan untuk Gedung tahun 1987 (PPG 1987) pembebanan dalam rangka atap adalah sebagai berikut:

Beban mati

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan dengannya yang diakibatkan oleh gording dan penutup atap.

Beban hidup terbagi rata

Beban hidup terbagi rata meliputi beban hujan yang terjadi ketika bangunan sudah mulai beroperasi. Nilai beban hidup terbagi rata disyaratkan adalah minimum w atau 20 kg/m^2 menurut PPG 1987 pasal 2.1.2.2. ayat a.

Beban hidup terpusat

Beban hidup terpusat dalam hal ini terdiri atas beban pekerja yang melaksanakan pekerjaan atap dan bertumpu pada gording. Beban hidup terpusat pada atap gedung, yang dapat dicapai dan dibebani

oleh orang, harus diambil minimum sebesar 100 kg/m^2 bidang datar menurut PPG 1987 pasal 2.1.2.2 ayat 1.

Beban angin

Muatan angin diperhitungkan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m^2. Berdasarkan PPG 1987 pasal 2.1.3.2 ayat 2 pada daerah dekat pantai digunakan koefisien sebesar w = 40 kg/m^2.

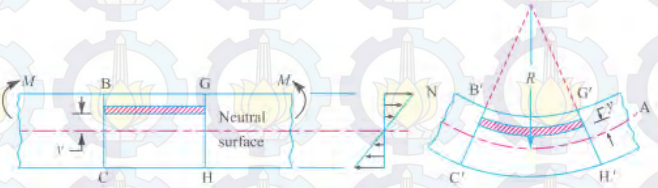
Gambar 2.1 Pembebanan Hidup Terpusat Ketika Pemasangan Baja Galvalum

2.5 Tegangan Lentur

Tegangan lentur adalah tegangan yang terjadi karena adanya pembebanan dari luar tegak lurus ke arah sumbu longitudinal dari elemen. Untuk merumuskan tegangan bending, biasanya dibuat asumsi sebagai berikut.

1. Bahan balok sempurna homogen (misalnya dari bahan yang sama) dan isotropik (yaitu sifat elastis yang sama dalam segala arah).
2. Bahan balok mematuhi hukum Hooke.
3. Setiap lapisan balok bebas untuk memperluas atau kontrak, independen, lapisan, atas atau bawahnya.
4. Modulus Young (E) adalah sama dalam ketegangan dan kompresi.
5. Beban yang diterapkan dalam bidang lentur.

(R.S. Khurmi, 2005)



Gambar 2.2 Tegangan Bending Pada Balok Lurus

Rumus yang digunakan pada tegangan bending adalah:

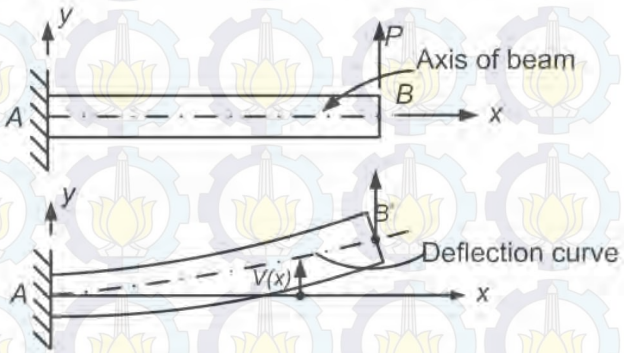
$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y} = \frac{E}{R} \tag{1}$$

Dimana, M = momen lentur (bending moment)
I = Momen Inersia
σ = Tegangan Bending
y = jarak titik tumpu terhadap beban
E = Modulus Young
R = Radius kurva

Maka, dari rumus tersebut, didapatkan rumus tegangan bending sebagai berikut

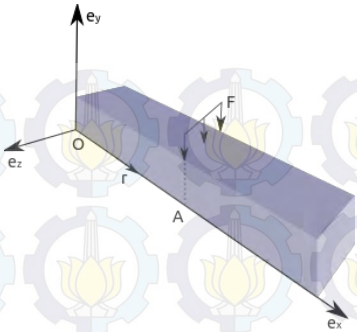
$$\sigma = \frac{M}{I} \times y \tag{2}$$

Momen lentur adalah reaksi yang ditunjukkan oleh elemen struktur ketika terkena gaya atau momen yang teraplikasi pada elemen sehingga mengakibatkan elemen melentur. Momen lentur biasa menggunakan symbol Mz. Beban yang bekerja pada balok yang menyebabkan balok terdeformasi dan membentuk kurva disebut dengan kurva defleksi.



Gambar 2.3 Kurva Defleksi Pada Balok

Bidang xy setelah terjadi deformasi, maka, bidang tersebut disebut sebagai bidang lentur.



Gambar 2.4 Momen Gaya Pada Balok

Rumus yang digunakan untuk menghitung momen pada balok tersebut adalah:

$$M=r \cdot F \tag{3}$$

Dengan M adalah besar Momen, r adalah posisi besaran dari titik 0 terhadap gaya. sedangkan F adalah besar gaya. (Indian Institute of Technology)

Sedangkan momen inersia merupakan sifat massa dari bentuk elemen yang menentukan torsi yang dibutuhkan untuk percepatan sudut yang diinginkan terhadap suatu sumbu rotasi. Momen inersia tergantung pada bentuk elemen dan akan berbeda di sekitar sumbu rotasi yang berbeda. Sebuah momen inersia yang lebih besar di sekitar sumbu yang diberikan, akan membutuhkan torsi lebih untuk meningkatkan rotasi atau menghentikan rotasi terhadap sumbu itu. Momen inersia tergantung pada jumlah dan distribusi massa, dan dapat ditemukan melalui jumlah momen inersia massa yang membentuk seluruh objek, di bawah kondisi yang sama.

Momen Inersia dirumuskan sebagai berikut:

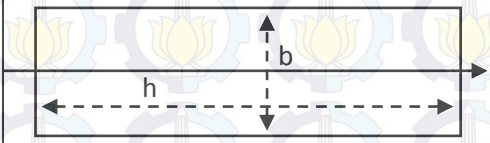
$$I = \frac{L}{\omega}. \tag{4}$$

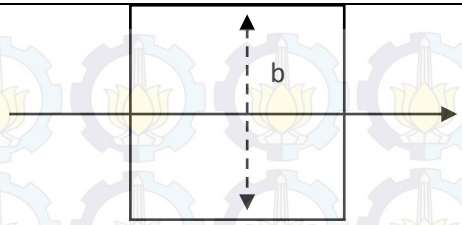
Dengan I = Momen inersia
L = Momen sudut
w = Kecepatan Sudut

(R.S. Khurmi, 2005)

Terdapat nilai momen inersia, modulus section, dan jarak (y) pada tabel berikut:

Tabel 2.2 Nilai Penampang Melintang (R.S. Khurmi, 2005)

Section	
Area	bh
Moment of Inertia	$\frac{bh^3}{12}$
Distance from the neutral axis to the extreme fibre (y)	$\frac{b}{2}$
Section modulus $Z=\frac{I}{y}$	$\frac{bh^2}{6}$

Section	
Area	b^2
Moment of Inertia	$\frac{b^4}{12}$
Distance from the neutral axis to the extreme fibre (y)	$\frac{b}{2}$
Section modulus $Z=\frac{I}{y}$	$\frac{b^4}{6}$

Pada tabel 2.2 jarak antara sumbu netral adalah setengah dari lebar. Atau bisa juga setengah dari tebal material. Ketika tegangan bending terjadi pada suatu material, maka terdapat dua tegangan yang terjadi pada satu material. Salah satu bagian dari material akan terkena tegangan tekan, sedangkan bagian lain akan terkena tegangan Tarik. Seperti pada gambar 2.2, bagian atas (sumbu B'-G') terkena tegangan tekan sehingga terjadi tekanan pada material tersebut. Tetapi untuk bagian bawah (sumbu C'-H') terkena tegangan tarik sehingga terjadi tekanan pada material tersebut. Distribusi regangan dari material tidak linear. Sehingga bagian dari sumbu B'-G' memendek karena tegangan tekan tersebut. Sedangkan sumbu C'-H' memanjang karena penarikan dari tegangan. Antara sumbu B'-G' dan sumbu C'-H' terdapat permukaan yang disebut dengan permukaan netral. dimana terdapat tegangan yang berbeda di antara permukaan tersebut. Perpotongan dari permukaan netral dengan sumbu yang tegak lurus merupakan sumbu netral. (R.S. Khurmi, 2005)

2.6 Lingkungan

2.6.1 Air Tanah

Air atau uap air dalam jumlah sedikit atau banyak akan mempengaruhi tingkat korosi pada logam. Reaksinya bukan hanya antara logam dengan oksigen saja, tetapi juga dengan uap air yang menjadi reaksi elektrokimia. Karena air berfungsi sebagai media elektrolit untuk bereaksinya oksigen dengan logam. Dengan adanya elektrolit, maka dapat terjadi reaksi korosi karena elektrolit adalah salah satu faktor terjadinya korosi pada material. Ion logam pada permukaan logam yang terkena kontak langsung dengan lingkungan lembab akan menghasilkan oksida. sehingga diperlukan penanggulangan untuk melindungi logam.

Galvanizing berhasil digunakan untuk melindungi baja terhadap paparan air ledeng. Air tanah mengacu pada semua bentuk air kecuali air laut. Air tanah dapat diklasifikasikan menurut asal atau aplikasi. Termasuk industri, sungai, danau dan kanal air panas dan dingin. Korosi seng di air ledeng merupakan proses yang kompleks dikendalikan sebagian besar oleh kotoran dalam air. Semua zat tersebut dan faktor-faktor lain seperti pH, suhu, dan gerak mempengaruhi struktur dan komposisi produk korosi yang terbentuk pada permukaan seng yang terbuka. Dalam kondisi kesadahan air sedang atau tinggi, skala alami garam larut cenderung terbentuk pada permukaan galvanis. Penggabungan antara seng (untuk membentuk lapisan pelindung) dari kalsium karbonat dan seng karbonat yang memperlambat laju korosi. (*AGA, 2010*). Pengujian dengan air ledeng digunakan untuk mendapatkan simulasi lingkungan perkotaan dan jauh dari laut. Hasil produk korosi dalam lingkungan air tanah adalah ZnO, $Zn(OH)_2$, Al_2O_3, dan $Al(OH)_3$. (Zhang. 2014).

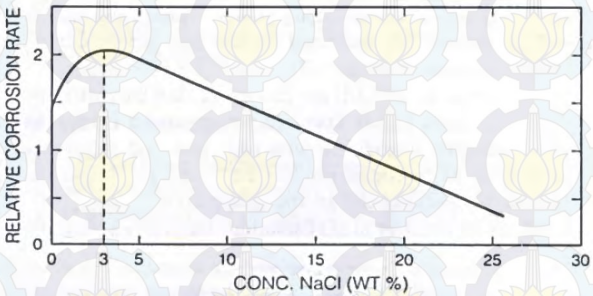
Gambar 2.5 Fasilitas Pengolahan Air Ini Telah Digalvanis Untuk Melindungi Baja Dari Sifat Korosif Dari Air Tanah. (*AGA, 2010*)

2.6.2 Air Laut

Korosi pada baja karbon dipengaruhi oleh konsentrasi ion agresif, seperti ion klorida (Cl^-). Ion klorida dapat merusak lapisan pasif yang menghalangi korosi. Mekanisme tersebut dapat menghasilkan *pitting corrosion* dimana lapisan pasif yang pecah akan memberikan jalan bagi H^+ menuju logam yang sudah tidak terlindungi lagi.

Ion klorida dikenal sebagai ion yang memiliki efek perusak terhadap baja karbon. Kebanyakan ion tersebut memiliki kemampuan untuk terserap di permukaan logam dan berinteferensi membentuk lapisan pasif. *Pitting* merupakan jenis serangan utama yang terjadi akibat ion klorida. Ketika proses korosi dimulai, reaksi hidrolisis logam dari reaksi anodik menyebabkan penurunan pH, yang dapat menghambat perbaikan lapisan pasif dan mempercepat serangan. Baja karbon akan terkorosi di dalam air yang mengandung klorida terutama dalam bentuk korosi uniform dibandingkan dalam bentuk *localized*

attack (*ASM Handbook Vol.13A, 2003*). Pengujian salt spray bertujuan untuk mendapatkan simulasi lingkungan yang dekat dengan laut. Hasil produk korosi baja galvalum pada lingkungan air laut adalah ZnO, $Zn(OH)_2$, $Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$, Al_2O_3, AlOOH, $Al(OH)_3$, $Zn_6Al_2(OH)_{16}CO_3 \cdot 4H_2O$ dan $Zn_2Al(OH)_6Cl \cdot H_2O$. (Zhang. 2014).



Gambar 2.6 Grafik Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi (*Jones, 1992*)

Lapisan galvanis memberikan perlindungan yang cukup pada baja saat terkena semprotan air garam. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi seng di air ledeng juga berlaku untuk air laut. Namun, garam terlarut dalam air laut yang merupakan penentu utama dari perilaku korosi seng yang terkena semprotan air garam. Mengingat tingginya kadar klorida dalam air laut, korosi dalam seng sangat tinggi. Namun, kehadiran ion magnesium dan kalsium dalam air laut memiliki efek penghambatan kuat pada korosi seng. Hasil dari uji laboratorium menggunakan larutan natrium klorida (NaCl) untuk mensimulasikan efek dari paparan air laut pada baja galvanis tidak akurat. Hasil tes lapangan seringkali berbeda dari tes laboratorium. (*AGA, 2010*).

Gambar 2.7 Aerator Kebun Anggur Ini Menggunakan Lapisan Duplex Hot-Dip Galvanizing Dan Cat Untuk Melindungi Terhadap Air Laut Tropis Dan Semprotan Air Garam. (*AGA, 2010*)

2.7 Korosi pada Baja Galvalum

Inisiasi korosi pada baja galvalum terjadi di daerah kaya seng, sedangkan korosi kaya aluminium terjadi setelah pemaparan dalam waktu yang lebih lama, atau pada kondisi korosif. Korosi Galvalume biasanya melibatkan pelepasan unsur yang kurang mulia, sehingga permukaan hanya terdapat unsur yang mulia. Dari lingkungan yang ada, dapat diprediksi unsur yang paling aktif yaitu aluminium atau seng. Namun, produk korosi berkembang bertahap di permukaan, pengayaan satu atau lebih unsur paduan dalam fase paduan mengakibatkan produk korosi berkembang di permukaan oksida. (Zhang. 2014).

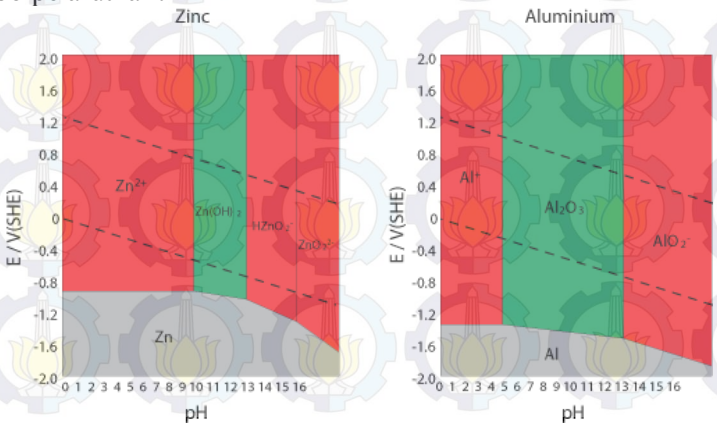
E. Palma. menunjukkan bahwa pada tahap awal paparan atmosfer dari 55% Al-Zn, daerah yang kaya seng akan berkarat terlebih dahulu, sementara fase kaya aluminium sedikit berkarat. Daerah yang kaya seng memberikan perlindungan galvanik

sedangkan daerah yang kaya aluminium menjadi lapisan penghalang.

D. Persson. juga menunjukkan bahwa selama paparan 55% Al-Zn ke lingkungan laut, daerah kaya seng sensitif terhadap korosi sementara daerah yang kaya aluminium lebih tahan terhadap serangan korosi. Produk korosi yang dihasilkan pada baja Zn55Al setelah terekspos lingkungan laut (Brest, Prancis) terdiri dari zinc aluminium hydroxy carbonate, hydrotalcite ($Zn_{0.71}Al_{0.29}(OH)_2(CO_3)_{0.145}$ $.xH_2O$), zinc chloro sulfate ($NaZn_4(SO_4)$-$Cl(OH)_6.6H_2O$) dan zinc hydroxy chloride, $Zn_5(OH)_8Cl_2.H_2O$. Zinc hydroxy carbonate $Zn5(OH)_6(CO_3)_2$ terbentuk setelah pengeksposan dalam waktu yang panjang.

Selain itu, xian zhang dalam thesis yang dia tulis dengan judul *Atmospheric corrosion of zinc-aluminum and copper-based alloys in chloride-rich environments* menjelaskan bahwa produk korosi baja galvalum di lingkungan air laut adalah ZnO, $Zn(OH)_2$, $Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$, Al_2O_3, AlOOH, $Al(OH)_3$, $Zn_6Al_2(OH)_{16}CO_3 \cdot 4H_2O$ dan $Zn_2Al(OH)_6Cl \cdot H_2O$.

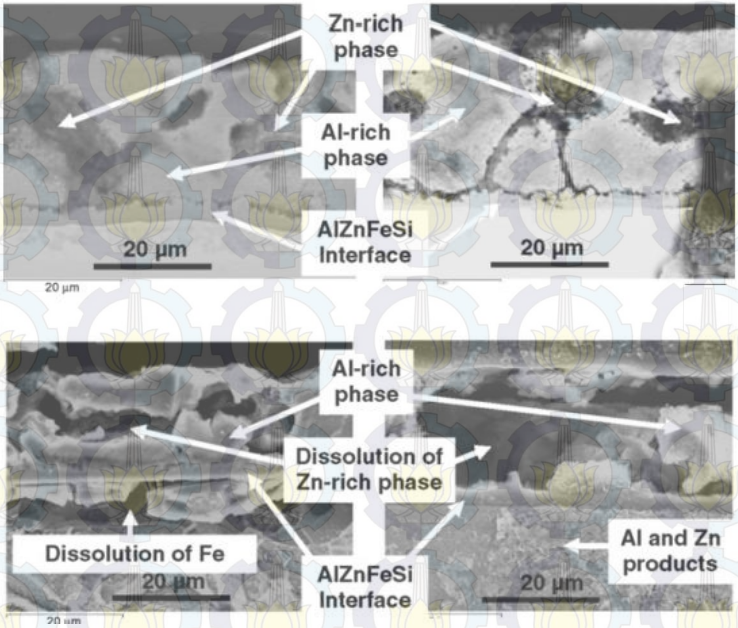
Diagram pourbaix adalah diagram yang memperlihatkan kondisi-kondisi dimana logam akan terkorosi, tidak terkorosi atau mengalami pasifasi dalam larutan berpelarut air.



Gambar 2.8 Diagram Pourbaix Zn dan Al (Cambridge)

Gambar 2.8 adalah diagram pourbaix seng dan aluminium. Menurut diagram pourbaix, daerah abu-abu adalah daerah imun, daerah hijau adalah daerah pasif, dan daerah merah adalah daerah korosif. $Zn(OH)_2$ dan Al_2O_3 adalah lapisan pasif. Zn dan Al murni merupakan fasa imun. Zn^{2+}, $HZnO^{2-}$, ZnO_2^{2-}, Al^{+} dan AlO^{2-} adalah fasa korosif dari seng dan aluminium.

A. Q. Vu meneliti lapisan baja galvalum menggunakan analisa EDX dengan hasil, daerah terang merupakan daerah yang kaya akan fasa aluminium (Al-*Rich Phase*). Sedangkan daerah yang gelap adalah daerah yang kaya akan seng (Zn-*Rich Phase*).



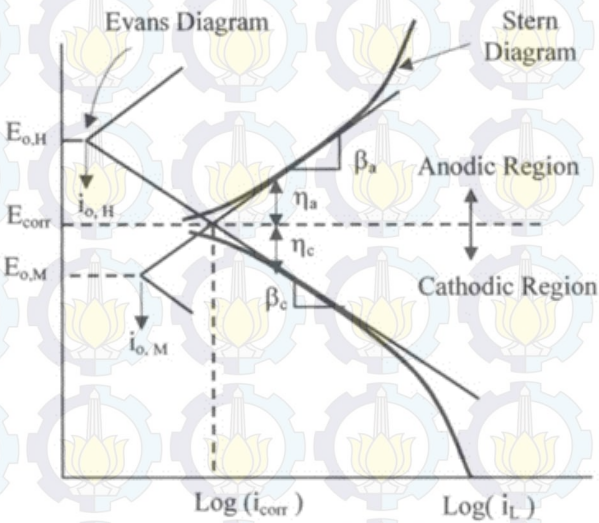
Gambar 2.9 Identifikasi SEM (A.Q.Vu, 2011)

2.8 Pengujian Korosi

2.8.1 Pengujian Polarisasi Potensiodinamik *(Tafel Extrapolation)*

Pengujian elektrokimia menggunakan prinsip polarisasi. Polarisasi adalah kondisi dimana potensial elektrodanya berbeda dengan potensial korosi bebas dikarenakan logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya. Terdapat dua jenis polarisasi yaitu polarisasi aktivasi dan polarisasi konsentrasi. Reaksi elektrokimia yang dikendalikan oleh salah satu tahap siklus reaksi elektrokimia yang terjadi pada permukaan logam dan elektrolit disebut dengan polarisasi aktivasi. Sedangkan polarisasi konsentrasi adalah reaksi elektrokimia yang dikendalikan oleh proses difusi karena adanya perbedaan konsentrasi ion pada larutan dengan ion yang dekat dengan permukaan logam.

Polarisasi potensiodinamik adalah suatu metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik atau katodik. Pengukuran metode tafel untuk kinerja inhibisi dilakukan dalam sel elektrokimia dengan sistem tiga elektroda, yaitu sampel baja karbon sebagai elektroda kerja, Pt sebagai elektroda bantu dan elektroda kolomel sebagai elektroda pembanding. Prinsip polarisasi tafel adalah adanya interaksi antarmuka antara larutan uji dengan elektroda. Interaksi ini menimbulkan polarisasi logam dan arus tertentu. Permodelan tersebut didekati dengan adanya tafel Analisis yaitu ekstrapolasi garis lurus pada daerah katodik dan anodik sehingga bertemu pada suatu titik. Titik ini yang menyatakan E_{kor} dan I_{kor}.



Gambar 2.10 Kurva Ekstrapolasi Dari Tafel (*Nestor perez, 2004)*

Dari grafik tafel diatas dapat diketahui $E_{o,H}$ dan $E_{o,M}$ dimana $E_{o,H}$ adalah open circuit untuk hidrogen, sedangkan $E_{o,M}$ adalah open circuit untuk logam M, $i_{o,H}$ dan $i_{o,M}$ adalah rapat arus untuk hidrogen dan logam M. dengan menarik garis lurus yang disingungkan dengan garis reaksi katoda dan anoda terhadap garis putus – putus horizontal yakni E_{corr} maka akan menghasilkan titik perpotongan yang jika di tarik ke sumbu x akan menghasilkan i_{corr}.

Dengan menggunakan persamaan faraday, maka laju korosi dari suatu logam dalam sistem potensiostat dapat dicari.

$$Q = \frac{n\,F.W}{M} \qquad (5)$$

dimana:

Q : muatan listrik (C)
N : jumlah elektron yang bereaksi
W : berat spesimen (gram)
M : berat molekul (gram)
F : konstanta *faraday*

Dengan mengolah persamaan 5 maka akan dihasilkan:

$$W = \frac{Q\ M}{n\ F} \qquad (6)$$

Dengan:

$$M = EW\ n$$

Sehingga persamaan 5 menjadi:

$$W = \frac{Q\ EW}{F} \qquad (7)$$

Dengan:

$$Q = i\ t$$

Maka persamaan 7 menjadi:

$$W = \frac{i\ t\ EW}{F} \qquad (8)$$

i = Arus
t = Waktu (second)
EW = Equivalent weight.

Laju korosi (CR) dinyatakan sebagai jumlah massa yang hilang per waktu, sehingga dapat dinyatakan seperti:

$$CR = \frac{w}{t} = \frac{i\ EW}{dFA} \qquad (9)$$

$$CR = \frac{i.EW \times 31.6 \times 106 \times 6 \times 103}{dFA \times 2.5 \times 106} \qquad (10)$$

$$CR = \frac{0.13\ icorr.EW}{\rho} \quad (11)$$

Dengan mengkonversikan CR dengan satuan mpy ke CR dengan satuan mmpy,maka persamaan 11 berubah menjadi:

$$CR = \frac{K1\ .Icorr.EW}{\rho} \quad (12)$$

Dimana :

CR : Laju Korosi (mm/year) untuk *Icorr* ($\mu A/cm^2$).

K1 : $3{,}27 \times 10^{-3}$ mm g/ μA cm.

i_{corr} : Rapat arus saat E_{corr} $\mu A/cm^2$ (*exchange current density).*

ρ : density (g/ cm^3).

EW : *Equivalent Weight* (berat ekivalen)

Nilai *corrosion rate* (laju korosi) pada baja dan baja paduan untuk tingkatannya berdasarkan standart (Fontana, 1987). Adapun nilai standart dari laju korosi tersebut seperti yang terlihat pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Standart Laju Korosi (Fontana, 1987)

Relative Corrosion Resistance	**Approximate metric equivalent**				
	mpy	**mm/yr**	**µm/yr**	**nm/hr**	**pm/sc**
Outstanding	<1	<0.02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0.5-1	500-1000	50-150	20-50
Poor	50-200	1-5	1000-500	150-500	50-200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

Tabel diatas menunjukkan keadaan suatu material logam dengan nilai laju korosi sesuai dengan klasifikasinya. Dari nilai laju korosi tersebut suatu material bisa dikatakan masih dalam keadaan bagus atau sudah tidak diterima lagi karena nilai laju korosinya yang terlalu tinggi.

2.8.2 *Weight Loss Method*

Metode *weight loss* atau juga dikenal sebagai metode kehilangan berat. Metode pengukuran korosi ini paling banyak digunakan dikarenakan caranya yang mudah dilakukan. Pada pengujian ini logam akan ditempatkan dalam lingkungan tertentu dalam waktu tertentu untuk dibiarkan terkorosi. Logam yang diuji ini biasa disebut *coupons*. Kupon merupakan lempengan logam yang ditempatkan dalam sistem dan dibiarkan terkorosi untuk mengetahui laju korosi melalui pengurangan berat. (Jones, 1992)

Coupons menggambarkan kerusakan korosi selama periode waktu dan hanya digunakan dalam kondisi dimana peningkatan laju korosi dapat diukur. Bentuk dan dimensi *coupon* dapat bervariasi sesuai persyaratan pengujian. Sebelum *coupon test* diletakan pada media pengujian, maka produk korosi yang terbentuk sebelumnya harus dihilangkan. Metode penghilangan produk korosi dapat dilakukan tanpa menyebabkan korosi lebih lanjut.

Berdasarkan ASTM G31-04, persamaan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut:

$$Corrosion\ Rate = \frac{KW}{DAT} \qquad (13)$$

Dimana:

K = konstanta (mpy = 3,45 x 10^6)
W = kehilang berat (gram)
D = densitas (gram/cm^3)
A = luas permukaan yang terendam (cm^2)
T = waktu (jam)

Tabel 2.4 Konstanta Laju Korosi (ASTM G31-04)

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
mils per year (mpy)	3.45×10^6
Inches per year (ipy)	3.45×10^3
Inches per mounth (ipm)	2.87×10^4
Millimeters per year (mm/y)	8.76×10^7
Micrometers per year (µm/y)	8.76×10^4
Picometers per second (pm/s)	2.78×10^6
Gram per square meter per hour ($g/m^2.h$)	$1.00 \times 10^4 \times D^A$
Miligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D^A$
Micrograms per square meter per second ($\mu g/m^2.s$)	$2.78 \times 10^6 \times D^A$

Definisi korosi adalah suatu kerusakan material yang disebabkan oleh reaksi kimia antara sebuah logam atau logam paduan yang berada di dalam suatu lingkungan (Jones, 1992). Reaksi korosi ini akan menyebabkan suatu material mengalami perubahan sifat (baik secara fisik maupun kimia) yang cenderung kearah lebih rendah atau bisa dikatakan kemampuan dari suatu material atau logam apabila terkena korosi akan mengalami penurunan kualitas maupun kuantitas. Proses korosi ini merupakan suatu fenomena yang alami. Jika dipandang dari sudut metalurgi, fenomena korosi ini merupakan suatu peristiwa dimana suatu material atau logam akan kembali dalam bentuk asalnya karena pada bentuk asalnya logam memiliki energi yang rendah.

2.9 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya, spesimen ZA4 (Zn-4%Al), ZA8 (Zn-8%Al), ZA12 (Zn-12%Al), dan ZA16 (Zn-16%Al) dikorosikan dengan lingkungan hujan asam, hasil yang didapatkan adalah dengan bertambahnya berat Al, laju korosi pada sampel berkurang. Urutan laju korosi adalah ZA4 > ZA8 > ZA12 > ZA16. ZnO dan $Zn_6Al_2(OH)_{16}CO_3.4H_2O$ adalah hasil produk korosinya. (*Yang, 2011*).

Persson, 2010, Meneliti tentang baja HDG (*Hot-dipped Galvanized*) dan Baja yang dilapisi oleh Zn55Al. Sampel dikorosikan pada lingkungan laut di laut Perancis selama 18 bulan.. Hasil analisis dengan difraksi sinar-X dan spektroskopi inframerah menunjukkan bahwa produk korosi yang dihasilkan pada baja Zn55Al setelah terekspos lingkungan laut (Brest, Prancis) terdiri dari zinc aluminium hydroxy carbonate, hydrotalcite ($Zn_{0.71}Al_{0.29}(OH)_2(CO_3)_{0.145}$ $.xH_2O$), zinc chloro sulfate ($NaZn_4(SO_4)$-$Cl(OH)_6.6H_2O$) dan zinc hydroxy chloride, $Zn_5(OH)_8Cl_2.H_2O$. Zinc hydroxy carbonate $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$ terbentuk setelah pengeksposan dalam waktu yang panjang.

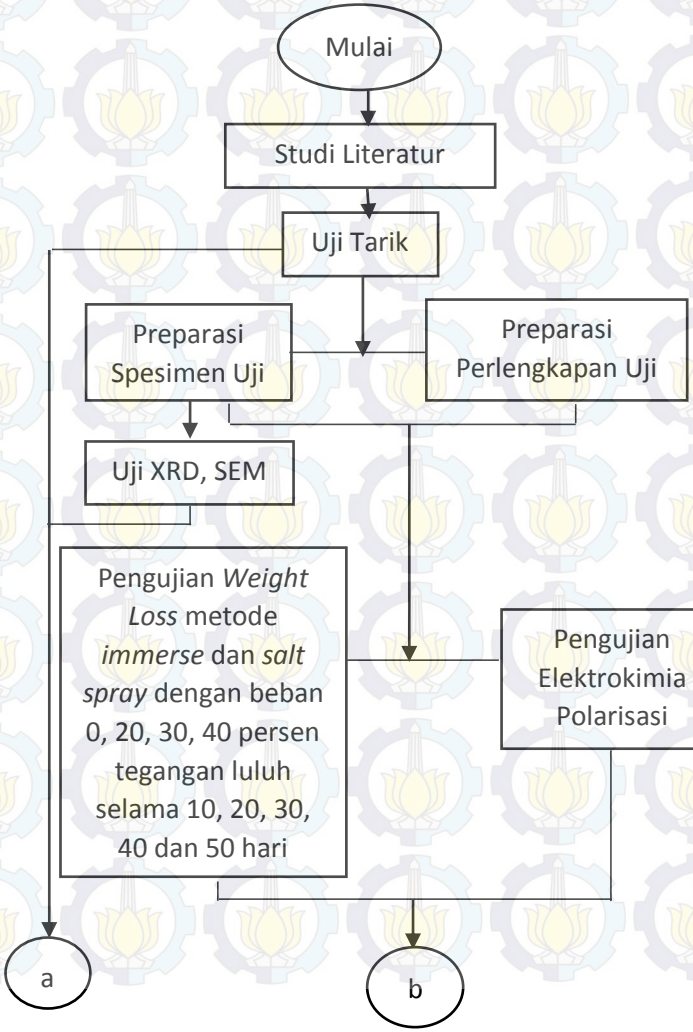
Pada penelitian lain, Spesimen yang digunakan adalah lembaran baja galvanis Zn55Al menggunakan metode basah-kering setiap periode 24 jam.. Hasil yang didapat adalah sifat korosi yang dihasilkan pada lapisan Zn55Al berbeda jika di immers dengan larutan yang mengandung ion sulfat/ion klor. Jika dalam ion klor, lapisan lindung bekerja efisien karena aktivasi merata dari Zn dan Al yang menghambat terjadinya *red rust*. Hal ini dapat diketahui dari pengukuran potensial pada saat immerse. Untuk ion sulfat, proteksi efisien terdapat dalam jangka waktu singkat yaitu 1 jam dikarenakan larutnya fasa yang kaya akan seng menghasilkan presipitasi dan membatasi arus. Proteksi katodik terbatas sehingga pengasaman ini menyebabkan munculnya presipitasi $Al(OH)SO_4$. (*Vu, 2011*).

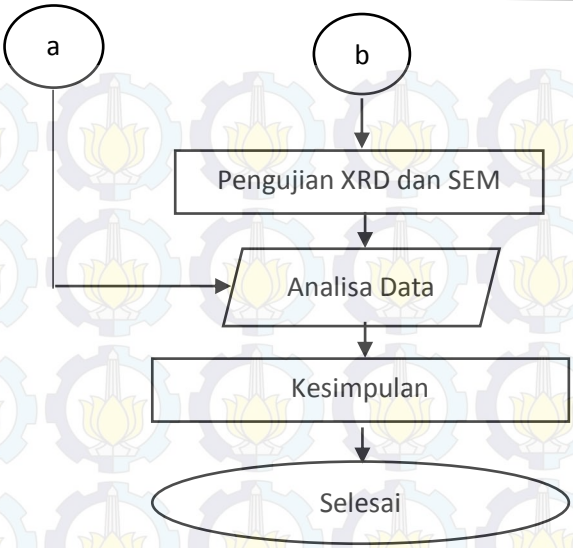
Lembaran baja komersial yang dilapisi dengan 55% Al-Zn terkena atmosfer di stasiun La Plata Argentina selama 12 tahun. Hasil yang didapat adalah laju korosi seng dan lapisan seng-aluminium bertindak sebagai lapisan galvanis pada lembaran baja selama paparan jangka panjang. Kedua bahan melindungi baja selama 12 tahun. Produk korosi berupa $Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$ sedangkan ZnO adalah produk korosi awal baja pada saat terekspos udara. *(Elsner, 2011)*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Studi literatur
   Metode ini menggunakan buku, jurnal, informasi dan penelitian dari situs industri sebagai acuan untuk mempelajari mengenai masalah perubahan beban yang diterima pada baja galvalum terhadap laju korosi.
2. Diskusi dan *interview*
   Metode ini bertujuan memberikan wawasan kepada penulis agar dapat memahami masalah dari penelitian. Hal ini dapat dilakukan dengan dosen pembimbing dan dosen mata kuliah yang ahli di bidang korosi.
3. Experimental
   Metode ini bertujuan untuk mendapatkan data langsung dari pengujian sesuai prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian dalam experimen ini yaitu : *tensile test*, *weight loss corrosion*, Polarisasi, XRD dan SEM

3.3 Peralatan dan Bahan

3.3.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1) Jangka Sorong dan Penggaris
2) Kertas gosok ukuran 1000, 1500 dan 2000
3) Gergaji Besi
4) *Stopwatch*
5) *Hair dryer*
6) Kamera
7) Alat Potong Plat
8) Gunting
9) *Glue Gun*
10) Gelas Ukur
11) Timbangan Digital
12) Peralatan Pengujian XRD
13) Peralatan Pengujian SEM
14) *Salt spray chamber*
15) Peralatan Pengujian Polarisasi Potensiodinamik
16) Peralatan Pengujian Tarik
17) *Thermostat analog*
18) *Thermometer*
19) *Thermocouple*
20) Relay dan Socket
21) Spun
22) Kabel
23) Pompa Udara
24) Kayu
25) Selang dan Pipa
26) *Corrosion Chamber*
27) Paku dan Palu
28) Tali *Nylon*
29) Sikat

3.3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1) Material
   Spesimen yang digunakan adalah baja galvalum profil U. Dengan dimensi 50 mm x 20 mm. Komposisi yang terdapat pada baja galvalum dapat dilihat dalam tabel 3.1 berikut ini :

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Lapisan Baja Galvalum pada Spesimen (Elsner, 2011)

Al %Max	Zn %Max	Si %Max
55	43.3	1.6

2) Serbuk NaCl
3) Beban sebesar 20, 30 dan 40 %σ_y.
4) Akuades
5) Air ledeng
6) Ammonium Persulfat ($(NH_4)_2S_2O_8$)

3.4 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dengan dua jenis penelitian yaitu, untuk melihat laju korosi dan karakterisasi korosi. Pengujian korosi secara elektrokimia dilakukan untuk memperoleh data laju korosi pada variasi beban 0, 20, 30, dan 40 %σ_y pada temperatur kamar dengan larutan air ledeng dan larutan 5% NaCl menggunakan metode *salt spray*. Selain itu, pengujian korosi menggunakan metode *weight loss* dengan 3 beban yaitu 20 %σ_y, 30 %σ_y dan 40 %σ_y yang setara dengan 200 gram, 300 gram dan 400 gram dan tanpa diberi beban selama 10 hari, 20 hari, 30 hari, 40 hari dan 50 hari. Pengujian karakteristik permukaan dilakukan dengan alat XRD dan SEM untuk mendapatkan lapisan produk dan pola korosi.

3.5 Preparasi Spesimen *Weight Loss Immerse* dan *Salt Spray*

Spesimen yang akan diuji *weight loss* adalah baja galvalum. Langkah-langkah preparasi spesimen *weight loss* adalah sebagai berikut:

1. Potong spesimen dengan ukuran 50 mm x 20 mm x 0.5 mm sebanyak 40 buah.
2. Beri lubang pada salah satu ujung tengah spesimen dengan ukuran ø 1 mm yang digunakan untuk mengikat spesimen menggunakan tali *nylon*.
3. *Grinding* sampel dengan kertas gosok ukuran 1000, 1500 dan 2000 secara perlahan untuk menghilangkan kotoran.
4. Setelah *grinding*, bilas dengan air.
5. Timbang berat awal spesimen.
6. Lem sisi lapisan yang terpotong menggunakan *Glue Gun*.
7. Untuk spesimen yang diberi beban, masukkan spesimen kedalam kayu yang sudah di lubangi.
8. Kaitkan beban pada spesimen dengan benang *nylon*.

Gambar 3.2 Spesimen *Weight Loss Immerse* dan *Salt Spray*

Gambar 3.3 Spesimen Dengan Beban

3.6 Preparasi Spesimen Tafel

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja galvalum. Untuk material yang diuji menggunakan potensiostat dibentuk menjadi elektroda.

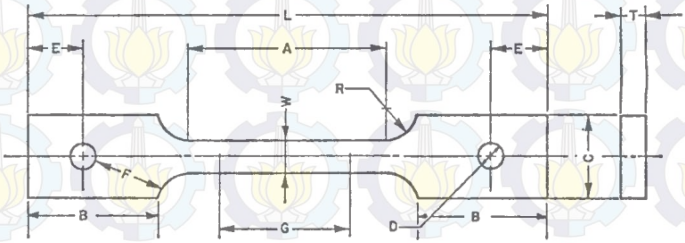
Langkah-langkah preparasi spesimen adalah sebagai berikut :

1. Potong spesimen hingga memiliki ukuran 30 mm x 10 mm dan tebal 0.5 mm.
2. *Grinding* permukaan benda uji dengan kertas gosok ukuran 1000, 1500 dan 2000.
3. Cat permukaan dengan lem *epoxy* dengan luas 10 mm x 10 mm dari tengah spesimen.

Gambar 3.4 Spesimen Tafel

3.7 Preparasi Spesimen Tarik

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja galvalum. Dimensi spesimen tarik mengacu pada standar ASTM E 8M.



Gambar 3.5 Standar Spesimen Tarik

Tabel 3.2 Dimensi Spesimen Tarik menurut Standar ASTM E8M

G— Gage length	50.0 ± 0.1
W— Width	12.5 ± 0.2
T— Thickness, max	12.5
R— Radius of fillet, min	13
L— Overall length, min	200
A— Length of reduced section, min	57
B— Length of grip section, min	50
C— Width of grip section, approximate	50
D— Diameter of hole for pin, min	13
E— Edge distance from pin, approximate	40
F— Distance from hole to fillet, min	15

Gambar 3.6 Spesimen Tarik

3.8 Pembuatan Larutan *Salt Spray*

Larutan *Salt Spray* yang dibuat mengacu pada standar ASTM B 117 – 03. Disebutkan dalam standar "*The salt solution shall be prepared by dissolving 5 ± 1 parts by mass of sodium chloride in 95 parts of water conforming to Type IV water in Specification D 1193*"

Rumus umum yang digunakan sesuai dengan standar ASTM B 117 – 03 :

"*.053 X Mass of Water = Mass of NaCl required*"

Maka, langkah-langkah preparasi larutan *Salt Spray* adalah:

1. Timbang kristal NaCl sebanyak 53 gram.
2. Larutkan kristal NaCl ke dalam labu ukur yang telah diberi akuades 1 liter.
3. Maka akan didapat konsentrasi larutan garam 5%.
4. Setelah garam terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk pengujian.

3.9 Preparasi *Chamber Weight Loss Immerse*

Pada pengujian *Weight Loss* digunakan *chamber* dari bak dengan volume sebesar 60 liter. Preparasi *chamber* dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

1. Bersihkan *chamber* dari kotoran dengan pembersih.
2. Rekatkan kayu yang telah diberi spesimen beserta beban dan *chamber* dengan *Glue Gun* agar kayu tidak jatuh.

3.10 Preparasi *Chamber Weight Loss Salt Spray*

Pada pengujian *weight loss salt spray*, digunakan *chamber* sesuai dengan standar ASTM B 117 – 03. Langkah-langkah preparasi *chamber salt spray* adalah sebagai berikut:

1. Bersihkan *chamber* utama dan *chamber* larutan yang terbuat dari kaca *acrylic* dengan air ledeng dan sikat hingga tidak ada kotoran.
2. Memasukkan semua spesimen uji.
3. Isi *chamber* larutan dengan larutan NaCl 5%.
4. Hubungkan *chamber* larutan dan *chamber* utama dengan selang dan sambung ke *spray gun*.
5. Sambungkan pompa udara dengan *spray gun* melalui selang.
6. Untuk menjaga agar temperatur stabil, pasang *thermocouple* pada *tower chamber* utama.
7. Menyambungkan *thermocouple*, *thermostat*, *relay*, *socket* dan *hair dryer*.
8. Menempelkan *thermometer* pada dinding *chamber* utama.

Gambar 3.7 *Chamber* Utama (Tampak Atas)

Gambar 3.8 *Chamber* Larutan

Gambar 3.9 *Relay* Dan *Socket*

Gambar 3.10 *Thermostat*

3.11 Pengujian Tarik

Pengujian Tarik mengacu pada ASTM E8M. Pengujian dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan 20, 30, dan 40 %σ_y yang digunakan untuk pembebanan pada pengujian *Weight Loss*.

Gambar 3.11 Peralatan Pengujian Tarik

3.12 Pengujian *Weight Loss Immerse*

Pengujian *Weight loss immerse* mengacu pada ASTM G4. Sedangkan untuk proses *cleaning* spesimen mengacu pada ASTM G1. Proses c*leaning* spesimen dilakukan dengan cara mencelup spesimen pada larutan 100 g ammonium persulfat ($(NH_4)_2S_2O_8$) yang dilarutkan dengan akuades hingga 1000 mL selama 5 menit, setelah itu spesimen di gosok dengan sikat dan dicelupkan akuades. Pengujian dilakukan di Laboratorium Korosi jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk

mengetahui berat yang hilang dari spesimen baja Galvalum yang kemudian dijadikan acuan untuk mendapatkan nilai laju korosi. Langkah-langkah pengujian *weight loss immerse* adalah sebagai berikut:

1. Siapkan *chamber weight loss immerse*.
2. Siapkan 5 spesimen baja galvalum dengan ukuran 50 mm x 20 mm.
3. Masukkan air ledeng ke dalam *chamber*.
4. Rendam spesimen tanpa beban ke dalam *chamber*.
5. Spesimen pertama direndam selama 10 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
6. Spesimen kedua direndam selama 20 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
7. Spesimen ketiga direndam selama 30 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
8. Spesimen keempat direndam selama 40 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
9. Spesimen kelima direndam selama 50 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
10. Ulangi langkah 2-9 untuk spesimen dengan penambahan beban 20 %σ_y, 30 %σ_y dan 40 %σ_y.

Gambar 3.12 Rangkaian Pengujian *Weight Loss Immerse*

Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Pengujian *Weight Loss Immerse* Air Ledeng

Beban (%σ_y)	Waktu (hari)	Berat spesimen awal (gr)	Berat spesimen akhir (gr)	Selisih berat (gr)
0 (0 gram)	10			
	20			
	30			
	40			
	50			
20 (200 gram)	10			
	20			
	30			
	40			
	50			
30 (300 gram)	10			
	20			
	30			
	40			
	50			
40 (400 gram)	10			
	20			
	30			
	40			
	50			

3.13 Pengujian *Weight Loss Salt Spray*

Pengujian *salt spray* mengacu pada ASTM B 117 – 03. Sedangkan untuk proses *cleaning* spesimen mengacu pada ASTM G1. Proses c*leaning* spesimen dilakukan dengan cara mencelup spesimen pada larutan 100 g ammonium persulfat ($(NH_4)_2S_2O_8$) yang dilarutkan dengan akuades hingga 1000 mL selama 5 menit, setelah itu spesimen di gosok dengan sikat dan dicelupkan akuades.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Korosi jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat yang hilang dari spesimen baja Galvalum yang kemudian dijadikan acuan untuk mendapatkan nilai laju korosi. Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini adalah:

1. Siapkan *chamber salt spray*.
2. Siapkan 20 spesimen baja galvalum dengan ukuran 50 mm x 20 mm.
3. Masukkan larutan NaCl 5% ke dalam *chamber* larutan.
4. Alirkan larutan NaCl 5% ke *chamber* utama.
5. Nyalakan pompa udara yang telah disambungkan ke *chamber* utama.
6. Nyalakan saklar *thermostat* dan set temperatur kamar sebesar 30 derajat Celcius.
7. Letakkan spesimen tanpa beban ke dalam *chamber*.
8. Spesimen pertama direndam selama 10 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
9. Spesimen kedua direndam selama 20 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
10. Spesimen ketiga direndam selama 30 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
11. Spesimen keempat direndam selama 40 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
12. Spesimen kelima direndam selama 50 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
13. Ulangi langkah 7-12 untuk spesimen dengan penambahan beban 20 %σ_y, 30 %σ_y dan 40 %σ_y.

Tabel 3.4 Rancangan Percobaan Pengujian *Salt Spray* NaCl 5%

Beban (%σ_y)	Waktu (hari)	Berat spesimen awal (gr)	Berat spesimen akhir (gr)	Selisih berat (gr)
0 (0 gram)	10			
	20			
	30			
	40			
	50			
20 (200 gram)	10			
	20			
	30			
	40			
	50			
30 (300 gram)	10			
	20			
	30			
	40			
	50			
40 (400 gram)	10			
	20			
	30			
	40			
	50			

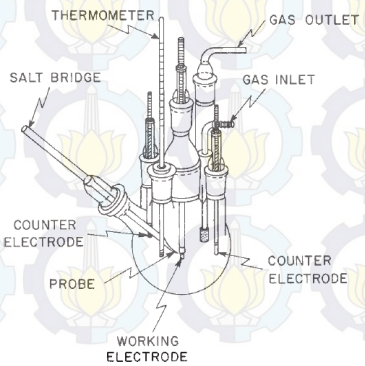
3.14 Pengujian Elektrokimia

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Potentiodynamic Polarization* dengan metode Tafel untuk mengetahui laju korosi Sebelum dilakukan pengukuran secara elektrokimia, sel elektrokimia dibiarkan selama 30 menit agar interaksi antarmuka baja galvalum dengan larutan mencapai

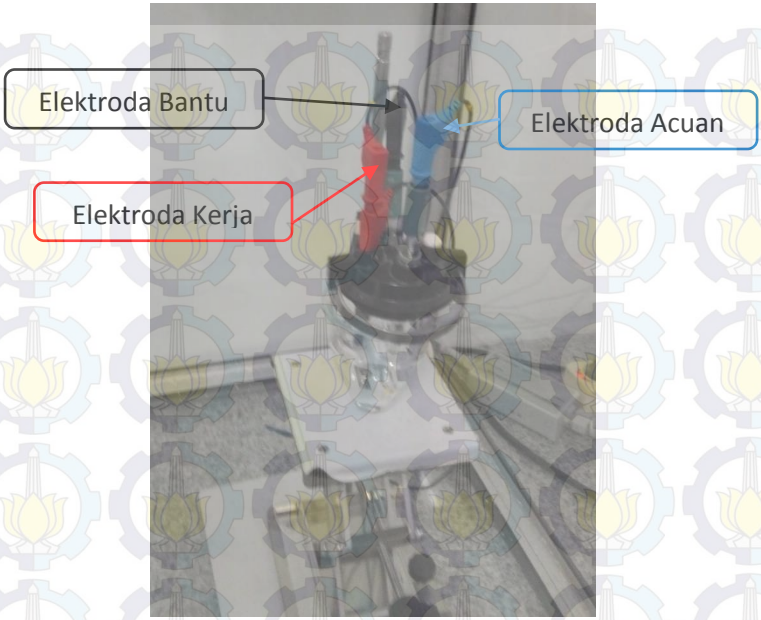
keadaan *steady state.* Tercapainya keadaan ini ditunjukkan oleh nilai *open circuit potential* (OCP) yang relatif. Spesimen yang diuji mempunyai ukuran 30 mm x 10 mm. Pengujian dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Sains Analitik Jurusan Kimia FMIPA – ITS dengan software Autolab. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi material pada larutan air ledeng dan NaCl 5%. Selain itu untuk mengetahui kurva polarisasi potensial material yang digunakan. Berdasarkan kurva tersebut, dapat diperoleh nilai Ecorr dan log Icorr yang didapatkan secara otomatis dengan menggunakan "tafel fit".

Tabel 3.5 Parameter Pengujian Tafel

Elektroda Kerja	Baja Galvalum (Solid)
Equivalent Weight (g/mol)	27.925
Densitas (g/ml)	7.86
Luasan Terekspos (cm^2)	1,00
Counter Electrode	Pt
Reference Electrode	Ag/AgCl



Gambar 3.13 Skema Alat Pengujian Polarisasi



Gambar 3.14 Rangkaian Alat Pengujian Polarisasi

Tabel 3.6 Rancangan Percobaan Pengujian Polarisasi dengan Metode Tafel

Larutan	Spesimen	-Ecorr (V)	Icorr (μA/cm^2)	CR (Mpy)	CR (mm/year)
Air Ledeng	1				
	2				
	3				
NaCl 5%	1				
	2				
	3				

3.15 Pengujian Analisa Difraksi Sinar X (XRD)

Analisa difraksi sinar X dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada baja Galvalum yang telah mengalami pengujian korosi. Yakni dengan pengkorosian selama 0 dan 50 hari, dengan menggunakan mesin XRD dan dimensi spesimen adalah 10 mm x 10 mm. Karakterisasi XRD dilakukan menggunakan alat *Pan Analitycal XRD* di Laboratorium Karakterisasi Teknik Material dan Metalurgi. Memakai spesimen yang dibebani dan menggunakan metode *salt spray* untuk mewakili kondisi sebenarnya dan spesimen awal. Grafik dari pengujian XRD menggunakan *software Match!* Untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk pada lapisan baja galvalum.

Pada pengujian XRD, sampel ditempatkan pada titik fokus hamburan sinar-X yaitu tepat di tengah-tengah *plate* yang digunakan sebagai tempat yaitu sebuah plat tipis yang berlubang di tengah berukuran sesuai dengan sampel (*plate*) dengan perekat pada sisi baliknya. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mencari produk korosi Aluminium dengan lingkungan dan Seng dengan lingkungan.

Gambar 3.15 Mesin XRD Pan Analitycal

3.16 Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope)* menggunakan mesin SEM menggunakan hamburan elektron dalam membentuk bayangan. Elektron berinteraksi dengan atom-atom yang membentuk sampel menghasilkan sinyal yang berisi profil permukaan yang terkorosi, distribusi produk korosi, komposisi dan pertumbuhan korosi yang terbentuk pada spesimen baja Galvalum yang dikorosikan selama 0 dan 50 hari. Dimensi spesimen pada pengujian SEM ini adalah 50 mm x 20 mm. Pengujian dilakukan di gedung Robotika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Menggunakan mesin SEM ZEISS EVO MA10 Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk melihat pola korosi dari baja galvalum.

Adapun cara kerja dari SEM adalah *electron gun* memproduksi *electron beam*, anoda menangkap *electron beam* untuk kemudian diarahkan ke sampel kemudian serangkaian lensa magnetik memfokuskan beam ini dan menembakkan ke sampel, *scanner* membaca struktur permukaan sampel selanjutnya menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem kontrol sehingga dapat dilihat gambarnya pada monitor dan dapat dicetak bila diperlukan.

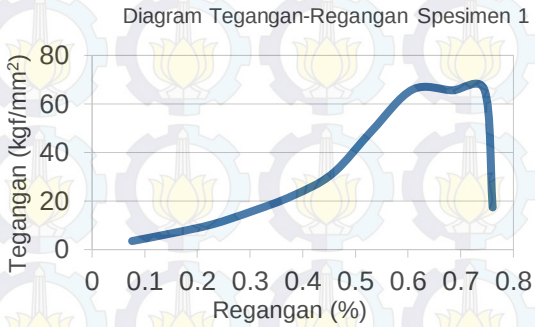
Gambar 3.16 Mesin SEM ZEISS EVO MA10

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

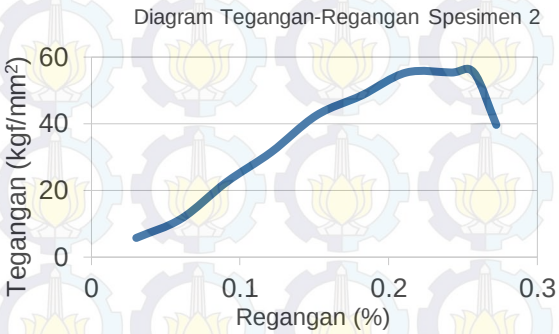
4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Pengujian Tarik

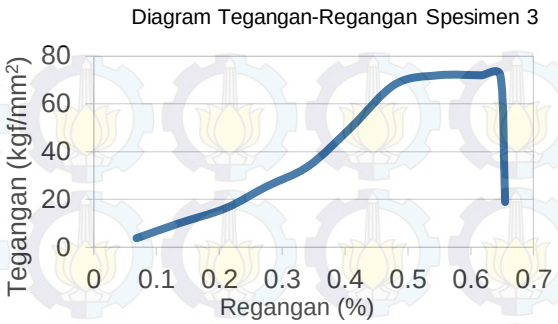
Hasil pengujian tarik baja galvalum dapat ditunjukkan oleh gambar 4.1.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.1 Diagram Tegangan-Regangan Pengujian Tarik Spesimen Baja Galvalum (a) Spesimen 1, (b) Spesimen 2, (c) Spesimen 3.

Gambar 4.1 menunjukkan kurva Tegangan-Regangan dari pengujian baja galvalum. Kurva ini tidak terdapat batas elastisitas. Hal ini dikarenakan tipisnya material galvalum pada saat pengujian dan adanya senyawa yang berbeda dalam satu material mengakibatkan kurva pengujian yang variatif. Dari gambar pengujian tarik, diolah menjadi Tabel 4.1 untuk mendapatkan tegangan luluh baja galvalum rata-rata. Dimana tegangan luluh rata-rata tersebut menjadi patokan untuk beban yang diterima oleh baja galvalum pada pengujian *weight loss*. Berikut Tabel 4.1 mengenai data pengujian baja galvalum.

Tabel 4.1 Nilai Tegangan Luluh Baja Galvalum

	σ_y (kgf/mm^2)
Spesimen 1	51.492
Spesimen 2	54.555
Spesimen 3	84.439
Rata-rata σ_y	63.496

Tabel 4.1 menunjukkan data material baja galvalum yang berbeda spesimen. Data tersebut didapat dari pengukuran pada spesimen uji dan hasil dari pengujian tarik. Tegangan luluh baja galvalum pertama adalah sebesar 51.492 kgf/mm^2. Tegangan luluh baja galvalum kedua adalah 54.555 kgf/mm^2. Sedangkan tegangan luluh baja galvalum ketiga adalah 84.439 kgf/mm^2. Hasil rata-rata tegangan luluh baja galvalum adalah 63.496 kgf/mm^2. Dari rata-rata tegangan luluh (σ_y) diambil 20, 30, dan 40 persen dari nilai tersebut sehingga didapatkan nilai σ_y 20%, σ_y 30%, dan σ_y 40%. Nilai tegangan luluh tersebut terdapat pada tabel 4.2 berikut.

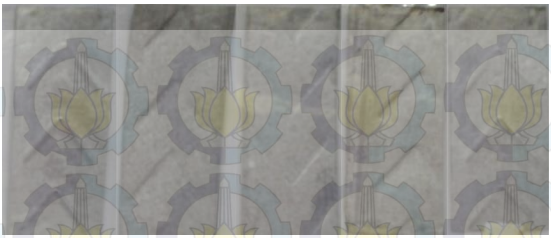
Tabel 4.2 Nilai σ_y 20%, 30%, dan 40%

σ_y 20% (kg/mm^2)	12.699
σ_y 30% (kg/mm^2)	19.048
σ_y 40% (kg/mm^2)	25.398

Dari Tabel 4.2 didapatkan 20 persen tegangan luluh sebesar 12.699 kg/mm^2. Sedangkan 30 persen tegangan luluh sebesar 19.048 kg/mm^2. Dan 40 persen tegangan luluh sebesar 25.398 kg/mm^2. Hasil dari perhitungan ini menjadi dasar untuk menghitung beban yang diterima oleh baja galvalum pada saat pengujian *weight loss immerse* dan *weight loss salt spray*. Beban yang diterima oleh baja galvalum adalah sebesar 0, 200, 300, dan 400 gram.

4.1.2 Hasil Pengamatan Visual

Setelah pengujian *weight loss*, dilakukan penimbangan untuk mendapatkan berat akhir dari hasil pengujian *weight loss*. Setelah penimbangan, dilakukan dokumentasi berupa foto makro dari spesimen baja galvalum. Berikut hasil foto makro dari baja galvalum.



(a.) IM 0 %σ_y

(b.) SS 0 %σ_y

(c.) IM 20 %σ_y

(d.) SS 20 %σ_y

(e.) IM 30 %σ_y

(f.) SS 30 %σ_y

(g.) IM 40 %σ_y

(h.) SS 40 %σ_y

Gambar 4.2 Foto Makro Baja Galvalum. Dari Kiri ke Kanan Eksposur Selama 10 Hari, 20 Hari, 30 Hari, 40 Hari dan 50 Hari. IM = *Immerse* Air Ledeng. SS = *Salt spray* 5% NaCl.

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat foto makro baja galvalum. Jika dibandingkan, Permukaan spesimen baja galvalum *immerse* dan *salt spray*, lebih banyak terkorosi pada *salt spray*. Hal ini dibuktikan dengan adanya perubahan warna dan adanya bercak-bercak hitam atau merah pada baja galvalum. Pada umumnya, baja dengan immersi air ledeng tidak terdapat bercak pada permukaan. Hal ini terdapat pada gambar 4.2a, 4.2c, 4.2e dan 4.2g. Pada gambar 4.2b, spesimen dalam *salt spray* tanpa beban terdapat bercak hitam berupa titik-titik hingga hari ke 40. Sedangkan hari ke 50 adalah bercak hitam merata pada spesimen. Sedangkan untuk beban 20, 30 dan 40 %σ_y, bercak hitam merata muncul pada hari ke 20. Pada hari ke 10 terdapat bercak berupa titik hitam. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.2d, 4.2f dan 4.2h.

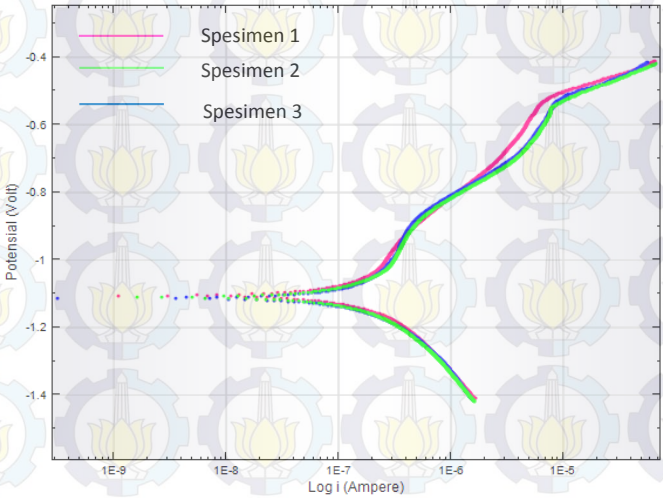
4.1.3 Hasil Pengujian Elektrokimia Tafel

Pengujian metode tafel dilakukan dengan tujuan untuk menganalisa laju korosi yang terjadi pada baja galvalum. Pengujian dilakukan dengan menggunakan spesimen berukuran 10 x 10 mm. Pengujian ini dilakukan tanpa beban dalam media 5% NaCl dan air ledeng. Berikut hasil pengujian laju korosi metode tafel dalam tabel.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Laju Korosi Metode Tafel

Larutan	Spesimen	-Ecorr (V)	Icorr ($\mu A/cm^2$)	CR (Mpy)	CR (mm/year)
Air Ledeng	1	1.105	0.086	0.039	0.001
	2	1.111	0.087	0.040	0.001
	3	1.113	0.081	0.037	0.001
NaCl 5%	1	1.333	4.440	2.031	0.052
	2	1.521	1022.600	467.835	11.883
	3	1.264	1.912	0.875	0.022

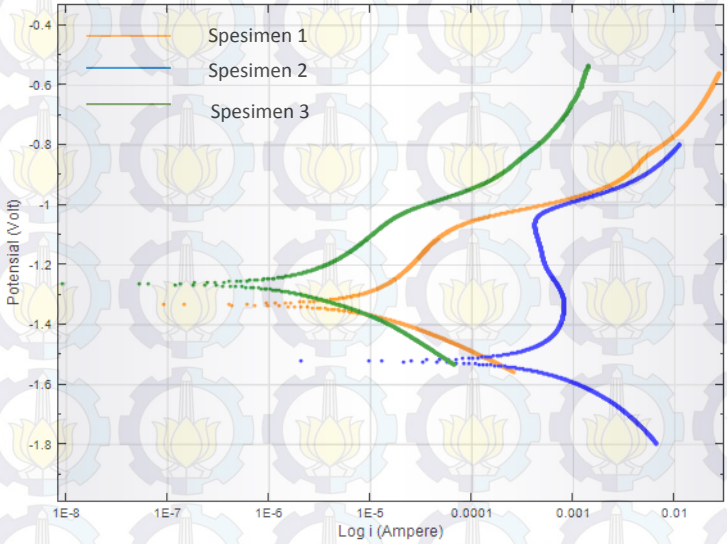
Dari tabel 4.3 didapatkan nilai Ecorr spesimen baja galvalum dalam air ledeng berurut-urut adalah sebesar -1.105 V, -1.111 V, dan -1.113 V. Nilai Ecorr dalam NaCl 5% adalah 1.333 V, 1.521 V, dan 1.264 V. Nilai Icorr dalam air ledeng berurut-urut adalah sebesar 0.086 μA/cm^2, 0.087 μA/cm^2, dan 0.081 μA/cm^2. Pada NaCl 5% nilai Icorr sebesar 4.440 μA/cm^2, 1022.600 μA/cm^2, dan 1.912 μA/cm^2. Laju korosi baja galvalum dalam air ledeng adalah sebesar 0.039 mpy, 0.040 mpy dan 0.037 mpy. Sedangkan laju korosi baja galvalum dalam larutan NaCl adalah sebesar 2.031 mpy, 467.835 mpy dan 0.875 mpy.



Gambar 4.3 Kurva Polarisasi E *versus* Log I Spesimen Baja Galvalum dalam Air Ledeng

Kurva polarisasi E *versus* log I pada gambar 4.3 menggunakan spesimen baja galvalum tanpa perlakuan didalam immersi air ledeng. Kurva ini menunjukkan laju korosi yang konsisten pada baja galvalum. Laju korosi yang konsisten ini menandakan bahwa larutan air ledeng tidak terlalu korosif sehingga nilai laju korosi ketiga spesimen hampir sama. Hal ini

ditunjukkan dengan berhimpitnya kurva anodik dan katodik pada spesimen 1, spesimen 2 dan spesimen 3. Garis berwarna merah mewakili spesimen 1 dengan laju korosi sebesar 0.039 mpy. Garis berwarna hijau mewakili spesimen 2 dengan laju korosi sebesar 0.040 mpy. Garis berwarna biru mewakili spesimen 3 dengan laju korosi sebesar 0.037 mpy.



Gambar 4.4 Kurva Polarisasi E versus Log I Spesimen Baja Galvalum dalam NaCl 5%

Kurva polarisasi E versus log I pada gambar 4.4 menggunakan spesimen baja galvalum tanpa perlakuan didalam immersi NaCl 5%. Kurva ini menunjukkan laju korosi yang variatif pada baja galvalum. Laju korosi variatif ini menandakan bahwa larutan NaCl 5% korosif sehingga setiap pengujian memiliki nilai korosi yang berbeda. Hal ini ditunjukkan dengan berbedanya kurva anodik dan katodik spesimen 1, spesimen 2 dan spesimen 3. Terdapat penyimpangan laju korosi pada spesimen 2 karena memiliki rentang nilai jauh dari spesimen 1 dan spesimen 3. Garis

berwarna kuning mewakili spesimen 1 dengan laju korosi sebesar 2.031 mpy. Garis berwarna biru mewakili spesimen 2 dengan laju korosi sebesar 467.835 mpy. Garis berwarna hijau mewakili spesimen 3 dengan laju korosi sebesar 0.875 mpy.

4.1.4 Hasil Pengujian *Weight Loss Immerse*

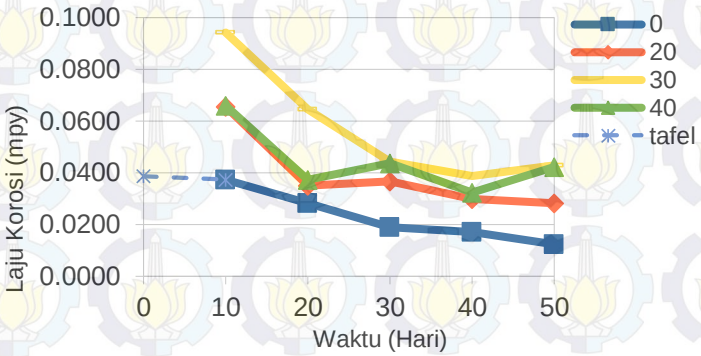
Dari hasil uji *weight loss* dapat dilihat pengurangan berat yang terjadi pada spesimen yang di celup selama 10 hari, 20 hari, 30 hari, 40 hari dan 50 hari dan pada beban sebesar 0, 20, 30, dan 40 %σ_y. Dari tabel tersebut dapat dilihat pengurangan selisih berat yang bertambah seiring dengan adanya penambahan beban. Semakin lama spesimen uji yang terekspos pada lingkungan air ledeng, maka semakin banyak selisih berat yang terjadi pada spesimen tersebut. Laju korosi spesimen baja galvalum pada immersi air ledeng terdapat pada tabel 4.4 hasil perhitungan laju korosi.

Tabel 4.4 Beban Terhadap Laju Korosi (Mpy) dalam *Immerse* Air Ledeng

Beban (%σ_y)	Waktu				
	10 hari	20 hari	30 hari	40 hari	50 hari
0 (0 gram)	0.037	0.028	0.019	0.017	0.012
20 (200 gram)	0.066	0.035	0.037	0.030	0.028
30 (300 gram)	0.094	0.065	0.044	0.039	0.043
40 (400 gram)	0.066	0.037	0.044	0.032	0.042

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa laju korosi terbesar terdapat pada 10 hari pertama dari pengujian. Sedangkan hari selanjutnya laju korosi cenderung menurun. Pada beban 0 %σ_y laju korosi untuk 10, 20, 30, 40, dan 50 hari secara berurutan adalah 0.037 mpy, 0.028 mpy, 0.019 mpy, 0.017 mpy, dan 0.012 mpy. Sedangkan pada beban 20 %σ_y, laju korosi yang terjadi pada 10, 20, 30, 40, dan 50 hari adalah 0.066 mpy, 0.035 mpy, 0.037 mpy, 0.030 mpy,

dan 0.028 mpy. Pada beban 30 %σ_y, laju korosi secara berurutan adalah 0.094 mpy, 0.065 mpy, 0.044 mpy, 0.039 mpy, dan 0.043 mpy. Pada beban 40 %σ_y, laju korosi secara berurutan adalah 0.066 mpy, 0.037 mpy, 0.044 mpy, 0.032 mpy dan 0.042 mpy. Dari data tersebut dapat dilihat pengurangan laju korosi yang stabil dari baja galvalum.



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Beban Terhadap Laju Korosi dalam *Immerse* Air Ledeng

Gambar 4.5 adalah grafik dari pengaruh waktu terhadap laju korosi. Semakin lama waktu pengujian, maka laju korosi cenderung turun. Garis warna biru menandakan laju korosi baja galvalum tanpa beban. Garis warna merah menunjukkan laju korosi baja galvalum dengan beban 20 %σ_y. Garis warna kuning menunjukkan laju korosi baja galvalum dengan beban 30 %σ_y. Garis warna hijau menunjukkan laju korosi baja galvalum dengan beban 40 %σ_y.

4.1.5 Hasil Pengujian *Weight Loss Salt Spray*

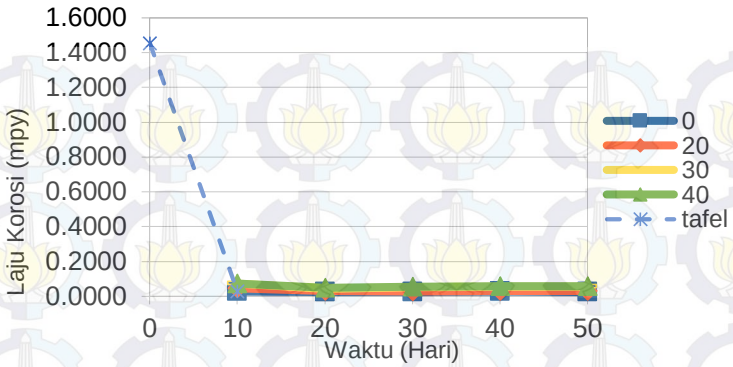
Dari hasil uji *salt spray* dapat dilihat pengurangan berat yang terjadi pada spesimen yang di celup selama 10 hari, 20 hari, 30 hari, 40 hari dan 50 hari dan pada beban sebesar 0, 20, 30, dan 40 %σ_y. Dari tabel tersebut dapat dilihat pengurangan selisih berat

yang bertambah seiring dengan adanya penambahan beban. Semakin lama spesimen uji yang terekspos pada lingkungan garam, maka semakin banyak selisih berat yang terjadi pada spesimen tersebut. Laju korosi spesimen baja galvalum pada lingkungan garam terdapat pada tabel 4.5 hasil perhitungan laju korosi.

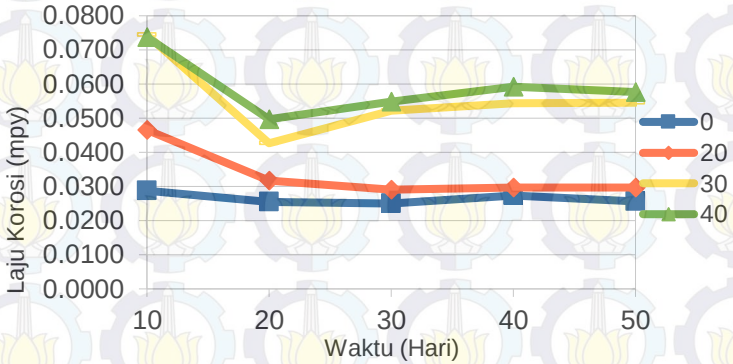
Tabel 4.5 Beban Terhadap Laju Korosi (Mpy) dalam *Salt Spray* NaCl 5%

Beban (%σ_y)	Waktu				
	10 hari	20 hari	30 hari	40 hari	50 hari
0 (0 gram)	0.029	0.026	0.025	0.027	0.026
20 (200 gram)	0.047	0.032	0.029	0.030	0.030
30 (300 gram)	0.074	0.043	0.052	0.054	0.055
40 (400 gram)	0.074	0.050	0.055	0.059	0.058

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa laju korosi terbesar terdapat pada 10 hari pertama dari pengujian. Sedangkan hari selanjutnya laju korosi cenderung menurun. Pada beban 0 %σ_y laju korosi untuk 10, 20, 30, 40, dan 50 hari secara berurutan adalah 0.029 mpy, 0.026 mpy, 0.025 mpy, 0.027 mpy, dan 0.026 mpy. Sedangkan pada beban 20 %σ_y, laju korosi yang terjadi pada 10, 20, 30, 40, dan 50 hari adalah 0.047 mpy, 0.032 mpy, 0.029 mpy, 0.030 mpy, dan 0.030 mpy. Pada beban 30 %σ_y, laju korosi secara berurutan adalah 0.074 mpy, 0.043 mpy, 0.052 mpy, 0.054 mpy, dan 0.055 mpy. Pada beban 40 %σ_y, laju korosi secara berurutan adalah 0.074 mpy, 0.050 mpy, 0.055 mpy, 0.059 mpy, 0.058 mpy. Dari data tersebut dapat dilihat pengurangan laju korosi yang stabil dari baja galvalum.



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Beban terhadap Laju Korosi dalam *Weight Loss Salt Spray* NaCl 5% dan Tafel NaCl 5%

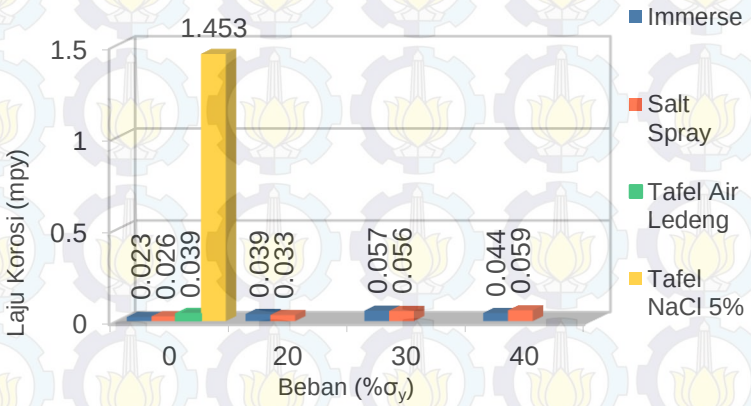


Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Beban terhadap Laju Korosi dalam *Weight Loss Salt Spray* NaCl 5%

Gambar 4.6 dan 4.7 adalah grafik dari pengaruh waktu terhadap laju korosi. Semakin lama waktu pengujian, maka laju korosi cenderung turun. Garis warna biru menandakan laju korosi baja galvalum tanpa beban. Garis warna merah menunjukkan laju korosi baja galvalum dengan beban 20 %σ_y. Garis warna kuning menunjukkan laju korosi baja galvalum dengan beban 30 %σ_y. Garis warna hijau menunjukkan laju korosi baja galvalum dengan beban 40 %σ_y.

4.1.6 Perbandingan Hasil Pengujian *Weight Loss Immerse*, *Salt Spray* dan Elektrokimia

Setelah pengujian *weight loss* selesai, maka dapat diketahui laju korosi dengan satuan mpy. Jika dibandingkan, maka laju korosi pada spesimen baja galvalum untuk pengujian *weight loss immerse* dan *weight loss salt spray* adalah sebagai berikut:

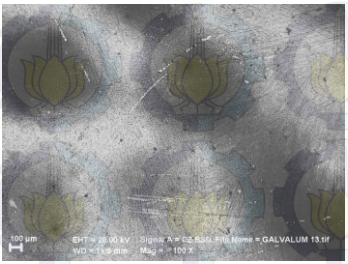


Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Laju Korosi Rata-Rata Hari ke 10-50 Baja Galvalum Pada Pengujian *Weight Loss Salt Spray*, *Weight Loss Immerse*, Tafel Media Air Ledeng dan Tafel Media NaCl 5%

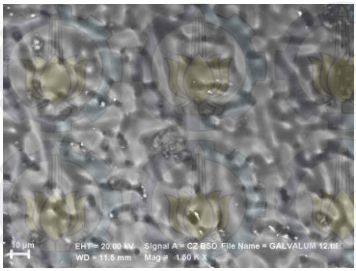
Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan laju korosi pada *weight loss immerse* dan *salt spray*. Warna biru mewakili pengujian *weight loss immerse* sedangkan warna merah mewakili *weight loss salt spray*. Laju korosi tertinggi terdapat pada beban 40 %σ_y pengujian *salt spray*. Tren korosi cenderung meningkat untuk semua pengujian. Misalnya, pada pengujian *salt spray*, terdapat peningkatan yang rata dari tanpa beban hingga pembebanan 40 %σ_y. Sedangkan untuk *immerse*, laju korosi juga cenderung naik. Sehingga semakin besar beban pada tiap-tiap pengujian, semakin besar juga laju korosi yang terjadi pada spesimen baja galvalum.

4.1.7 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

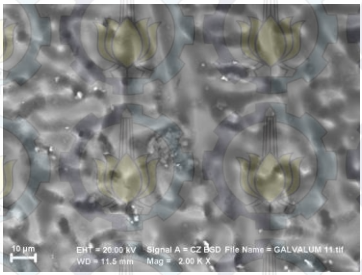
Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) biasanya digunakan untuk meneliti morfologi permukaan suatu material. Sampel yang diuji SEM adalah baja galvalum yang belum dilakukan pengujian korosi dan sampel baja galvalum setelah diberikan beban 40 %σ_y dalam 50 hari. Uji SEM ini dilakukan untuk membandingkan morfologi permukaan baja galvalum kondisi awal dengan baja galvalum yang telah dilakukan pengujian korosi sehingga didapatkan morfologi permukaan sampel awal dan sampel yang terkorosi. Gambar 4.9 menunjukkan hasil uji SEM pada sampel baja kondisi awal sebelum pengujian *Weight Loss* dan setelah pengujian *Weight Loss*.



a



b

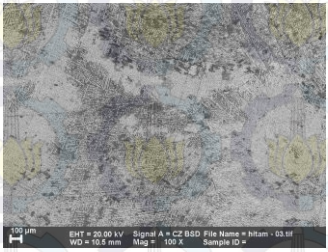


c

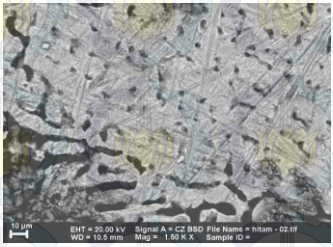
Gambar 4.9 Hasil Uji SEM Baja Galvalum (a) Kondisi Awal Tanpa Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 100x; (b) Kondisi

Awal Tanpa Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 1500x. (c) Kondisi Awal Tanpa Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 2000x

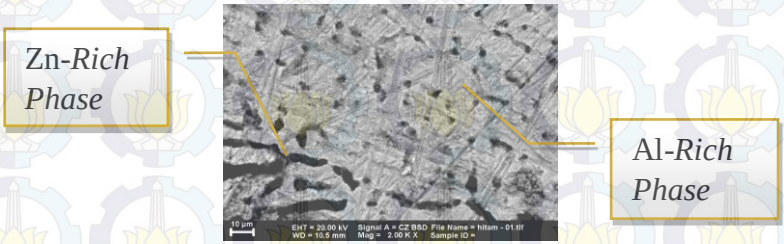
Pada gambar 4.9a permukaan logam rata dan terdapat sedikit bercak-bercak hitam. Ketika diperbesar, seperti gambar 4.9b dan 4.9c terlihat lapisan rata dengan membentuk semacam lapisan pelindung yang bersifat menurunkan laju korosinya sebelum terjadinya korosi sumuran. Adanya larutan NaCl 5% yang bertindak sebagai elektrolit korosif menghasilkan lapisan produk korosi yang lebih banyak seperti pada gambar 4.10.



a



b



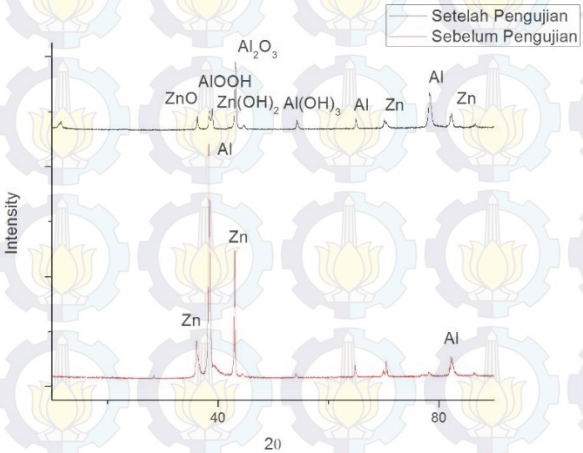
c

Gambar 4.10 Hasil Uji SEM Baja Galvalum *Salt spray* NaCl 5% (a) Kondisi Setelah Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 100x; (b) Kondisi Setelah Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 1500x. (c) Kondisi Setelah Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 2000x.

Dari Gambar 4.10a dapat diketahui bahwa terdapat bercak-bercak hitam merata pada permukaan. Ketika di perbesar 1500 dan 2000x pada gambar 4.10b dan 4.10c dapat dilihat bercak hitam yang merata tersebut adalah titik-titik hitam yang merata pada permukaan. Sehingga ketika dilihat pada perbesaran 100x, hanya terlihat bercak hitam yang merata. A. Q. Vu meneliti lapisan baja galvalum menggunakan analisa EDX dengan hasil, daerah terang merupakan daerah yang kaya akan fasa aluminium (Al-*Rich Phase*). Sedangkan daerah yang gelap adalah daerah yang kaya akan seng (Zn-*Rich Phase*). Hal ini menjadi dasar untuk pemetaan pengujian SEM.

4.1.8 Hasil Pengujian Analisa Difaraksi Sinar – X (XRD)

Pengujian XRD dilakukan pada spesimen baja galvalum sebelum perendaman pada uji *weight loss*. Dimana hasil pengujian XRD ditampilkan pada gambar 4.11. hasil pengujian di analisa menggunakan *software* Match untuk menentukan fasa apa yang terjadi pada spesimen tersebut. Untuk spesimen setelah perendaman dalam NaCl 5% selama 20 hari dihasilkan data XRD.



Gambar 4.11 Hasil XRD Baja Galvalum

Gambar 4.11 adalah gambar hasil pengujian XRD dengan spesimen baja galvalum awal yang belum dilakukan pengujian weight loss dan setelah pengujian. Garis hitam adalah hasil XRD baja galvalum sebelum pengujian, sedangkan garis merah adalah hasil XRD baja galvalum setelah pengujian. Dari hasil pengujian tersebut, dapat diketahui bahwa hasil analisa XRD sebelum pengujian adalah senyawa berupa Zinc (Zn) dan Aluminium (Al). Hasil pengujian XRD dengan spesimen baja galvalum yang telah dilakukan pengujian *weight loss* NaCl 5% selama 20 hari diketahui terdapat senyawa berupa Zinc Hydroxide $Zn(OH)_2$, Zinc (Zn), Aluminium (Al), Zinc Oxide (ZnO), Aluminium hydroxide ($Al(OH)_3$), Aluminium Hydroxide Oxide (AlOOH), dan Aluminium Oxide (Al_2O_3).

4.2 Pembahasan

Laju korosi baja galvalum pada lingkungan air ledeng konsisten. Hal ini dapat dilihat dari kurva polarisasi tafel dari baja galvalum. Laju korosi yang konsisten ini juga dapat dilihat dari pengujian *weight loss immerse* dalam air ledeng yang menunjukkan grafik yang rendah. Sedangkan pada lingkungan NaCl 5%, Laju korosi menurut pengujian tafel tinggi. Hal ini dikarenakan lingkungan NaCl 5% adalah lingkungan korosif, sehingga baja galvalum cenderung terkorosi. Korosi ini terjadi karena adanya reaksi logam pelapis dengan lingkungan. Dalam hal ini yaitu Al yang teroksidasi dan Zn yang teroksidasi. Dengan bertambahnya beban pada baja galvalum maka laju korosi bertambah. Hal ini dapat dibuktikan dengan tren peningkatan laju korosi dari pengujian *weight loss immerse* dan *weight loss salt spray*. Kedua pengujian tersebut mewakili kondisi lingkungan didaerah tepi pantai yang terdapat hembusan air laut berupa garam dan di daerah perkotaan yang terdapat air tawar jika terjadi hujan. Hasil pengujian *weight loss immerse* dalam air ledeng meningkat. Begitu pula dengan pengujian *weight loss salt spray*. Hal ini menurut *American Galvalume Association*, Ion klorida dapat merusak produk korosi yang menghalangi korosi. Ion klorida

dikenal sebagai ion yang memiliki efek perusak terhadap baja karbon. Kebanyakan ion tersebut memiliki kemampuan untuk terserap di permukaan logam dan berinteferensi membentuk produk korosi. Ketika proses korosi dimulai, reaksi hidrolisis logam dari reaksi anodik menyebabkan penurunan pH, yang dapat mempercepat serangan. Menurut Iga Kade Suriadi dalam penelitiannya, semakin besar derajat deformasi, maka semakin besar juga laju korosi. Hal ini berkaitan dengan korosi tegangan Sulistijono, yaitu korosi tegangan akan terjadi bila terdapat 2 faktor secara simultan. Yaitu adanya *internal stress* dan adanya media lingkungan korosif. Beban yang semakin besar pada baja galvalum mengakibatkan semakin besar juga *internal stress* pada baja. Sehingga dengan bertambahnya beban dan terdapatnya lingkungan korosif, maka laju korosi pada *salt spray* besar. Semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mengkorosikan baja, maka laju korosi akan turun. Hal ini dikarenakan pada kondisi awal, logam bereaksi secara spontan. Sehingga laju korosi di 10 hari pertama sangat besar. Sedangkan hari selanjutnya laju korosi cenderung menurun. Cepatnya reaksi ini mengakibatkan terbentuknya produk korosi pada lapisan baja galvalum. Sehingga setelah hari ke 10, produk korosi berupa oksida ini berpotensi untuk menghalangi terjadinya korosi karena telah mengurangi luasan kontak fisik antara lapisan baja galvalum dengan elektrolitnya. Maka dengan adanya produk korosi tersebut, laju korosi pada hari ke 20, 30, 40 dan 50 menurun.

Korosi ini dapat dibuktikan dari pengujian difraksi sinar-X (XRD) dimana terdapat senyawa berupa Zinc Hydroxide $Zn(OH)_2$, Zinc Oxide (ZnO), Aluminium hydroxide ($Al(OH)_3$), Aluminium Hydroxide Oxide (AlOOH), dan Aluminium Oxide (Al_2O_3). Menurut diagram pourbaix, senyawa Zinc Hydroxide $Zn(OH)_2$ adalah lapisan pasif yang dihasilkan oleh Seng. Oksida ini adalah pelindung pertama substrat baja karbon rendah pada inti galvalum. Senyawa Al_2O_3 adalah lapisan pasif yang dihasilkan oleh Aluminium. Senyawa ini merupakan *barrier* kedua setelah oksida seng. Tetapi, dari hasil analisa XRD terdapat senyawa lain yaitu

ZnO, $Al(OH)_3$ dan AlOOH yang menurut diagram pourbaix adalah lapisan korosif.

Lapisan ini dapat dilihat fasanya dalam pengujian Scanning Electron Microscope. Sebelum pengujian, hasil foto SEM menunjukkan warna gelap dan terang yang seimbang. A. Q. Vu meneliti lapisan baja galvalum menggunakan analisa EDX dengan hasil, daerah terang merupakan daerah yang kaya akan fasa aluminium (Al-*Rich Phase*). Sedangkan daerah yang gelap adalah daerah yang kaya akan seng (Zn-*Rich Phase*). Karena komposisi kimia dari baja galvalum adalah 55 persen aluminium, maka dapat dipastikan aluminium lebih besar daripada seng. Meskipun aluminium memiliki potensial lebih tinggi dari seng menurut deret galvanik, aluminium akan bereaksi dengan lingkungan karena besar prosentase dari aluminium pada lapisan *coating* dari baja galvalum. Sedangkan pada foto hasil pengujian SEM baja galvalum setelah eksposur selama 50 hari *salt spray*, didapatkan daerah terang lebih banyak daripada daerah gelap. Hal ini menjelaskan bahwa fasa kaya akan aluminium lebih banyak daripada fasa kaya akan seng. Menurut D. Persson, eksposur pada lingkungan air laut lebih kuat karena ion klorida terdeposit pada permukaan spesimen sehingga ion tersebut akan berpindah ke area anodik sehingga nantinya akan membentuk lapisan yang tidak stabil (ZnO).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin besar pembebanan pada baja galvalum, semakin besar juga laju korosinya. Hal ini terjadi pada hasil pengujian weight loss immerse, dan weight loss salt spray.
2. Dari hasil penelitian laju korosi dengan lingkungan air garam dan air ledeng, dapat disimpulkan bahwa air garam cenderung lebih korosif daripada air ledeng. Tetapi, lingkungan air garam dan air ledeng memiliki tren penurunan laju korosi setelah 20 hari.
3. Semakin lama waktu pengkorosian, maka laju korosi akan menurun. Hal ini karena produk korosi seng dan aluminium mengendap di permukaan.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Percobaan dilakukan pada beban mendekati sebenarnya. yaitu 1% yield strength. Sehingga dapat mengetahui nilai laju korosi pada baja galvalum dalam aplikasi.
2. Perlu adanya variasi temperatur dan lingkungan pada pengujian selanjutnya untuk menambah referensi tentang korosi pada baja galvalum.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

AGA . 2010. **“Performance of hot-dip galvanized steel product : In the atmosphere, soil, water, concrete, and more”**. Amerika. American Galvanizers Association.

Ahmad, Zaki. 2006. “**Principles of corrosion engineering and corrosion control**”. Elsevier Science & Technology Books

ASM Handbook Volume 13 A. 2003. “**Corrosion: fundamentals, testing, and protection**.” USA. ASM International.

ASTM G 31-04. 2004. “**Standard practice for laboratory immersion corrosion testing of metals**”. USA. ASTM International.

D. Persson, D. Thierry, N. LeBozec. 2011. “**Corrosion product formation on Zn55Al coated steel upon exposure in a marine atmosphere**”, Corros. Sci. 53 720-726.

Departemen Pekerjaan Umum, 1983. “**Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung**”. Bandung : Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.

E. Palma, J. M. Puente, M. Morcillo. 1998. "**The atmospheric corrosion mechanism of 55%Al-Zn coating on steel,**" Corros. Sci. 40 61-68.

Elsner, C. I., P. R. Ser´e, A. R. Di Sarli. 2011. "**Atmospheric corrosion of painted galvanized and 55%al-zn steel sheets: results of 12 years of exposure**". Argentina. Hindawi Publishing Corporation.

Fontana, Mars G., 1986. "**Corrosion engineering 3nd edition**". Houston: Mc Graw-Hill Book Company.

I. Odnevall Wallinder, W. He, P. Augustsson, C. Leygraf. 1999. "**Characterization of black rust staining of unpassivated 55% Al-Zn alloy coatings. Effect of temperature, pH and wet storage**". Corros. Sci. 41 2229-2249.

Indian Institut of Technology. 2007. "**Solid Mechanics**". India.

J. C. Zoccola, H.E. Townsend, A.R. Borzillo and J. B. Horton in: S.K. Coburn (Eds). 1978. "**ASTM STP 646, american society for testing materials**". Philadelphia, pp 165-184.

Jones, Denny. 1992. "**Principles and prevention of corrosion**". New York. Macmillan Publishing Company.

Khurmi, R.S., J.K. Gupta, S.Chand. 2005. "**Textbook of Machine Design".** India. S Chand & Co Ltd.

Mamlu, MH, 2001, "**Penelitian sifat fisis dan mekanis pada besi beton yang mendapat beban tekan dan dikorosi**", Yogyakarta. Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Akprind Yogyakarta.

Ogle, M. K. 2012."**Selective dissolution from Zn-Al alloy coatings on steel**". France. Université Pierre & Marie Curie

P. Qui. 2011. "**Quantified in situ analysis of initial atmospheric corrosion, Doctoral thesis in corrosion science".** KTH, Stockholm, Sweden.

Persson, D., D. Thierry, N. LeBozec. 2010. **"Corrosion product formation on Zn55Al coated steel upon exposure in a marine atmosphere"**. Perancis. ScienceDirect.

Putra. 2009. "**Makalah seng dan paduannya**".

Rusianto, Toto. 2008. "**Pengaruh tegangan dalam (internal stress) terhadap laju korosi pada baut.**". Yogyakarta. Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi IST AKPRIND Yogyakarta

Sam, Alimuddin. 2012. **”Analisa kecepatan korosi pipa galvanis pada tanah dengan tingkat kehalusan yang berbeda”**. Palu, Indonesia. Jurnal Universitas Tadulako.

Vu, A.Q., B. Vuillemin, R. Oltra, C. Allély. 2011. **“Cut-edge corrosion of a Zn–55Al-coated steel: A comparison between sulphate and chloride solutions”**. Perancis. ScienceDirect.

Yang, Lijing, Yangming Zhang, Xuduo Zeng, Zhenlun Song. 2011. **“Corrosion behaviour of superplastic Zn–Al alloys in simulated acid rain”**. China. ScienceDirect.

Yuliana. 2009. “**Aluminium murni dan paduannya**”. IPB. Bogor

ZAC North American and European Validation. 2005.“P**rojected to give 40+years life without major maintenance roofs in bare 55% al-zn coated steel**”. USA. ZAC Association.

Zhang, Xian. 2014.”**Atmospheric corrosion of zinc-aluminum and copper-based alloys in chloride-rich environments. -Microstructure, corrosion initiation, patina evolution and metal release.**”. Sweden. KTH Royal Institute of Technology.

LAMPIRAN A
Skema Kerja

1. Pembuatan Elektroda Kerja

Baja Galvalum

- Potong spesimen hingga memiliki ukuran 30 mm x 10 mm dan tebal 0.5 mm.
- *Grinding* permukaan benda uji dengan kertas gosok ukuran 1000, 1500 dan 2000.
- Cat permukaan dengan lem *epoxy* dengan luas 10 mm x 10 mm dari tengah spesimen.

Elektroda Kerja

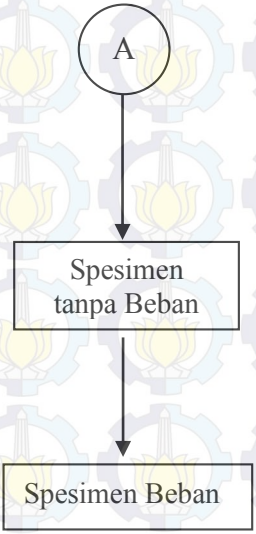
2. Pembuatan Spesimen Weight Loss Immerse dan Salt Spray

Baja Galvalum

- Potong spesimen dengan ukuran 50 mm x 20 mm x 0.5 mm sebanyak 40 buah.
- Beri lubang pada salah satu ujung tengah spesimen dengan ukuran ø 1 mm yang digunakan untuk

A

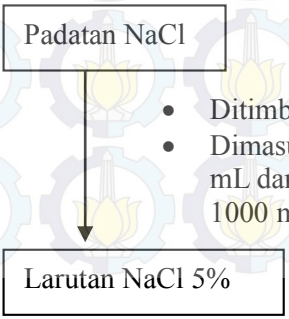
mengikat spesimen menggunakan tali nylon.



- Grinding sampel dengan kertas gosok ukuran 1000, 1500 dan 2000 secara perlahan untuk menghilangkan kotoran.
- Setelah grinding, bilas dengan air.
- Timbang berat awal spesimen.
- Lem sisi lapisan yang terpotong menggunakan Glue Gun.
- Untuk spesimen yang diberi beban, masukkan spesimen kedalam kayu yang sudah di lubangi.
- Kaitkan beban pada spesimen dengan benang nylon.

3. Pembuatan Media Korosi (NaCl 5%)

- NaCl 5%



- Ditimbang sebanyak 52.35 gram
- Dimasukkan dalam *beaker glass* 1000 mL dan diencerkan hingga tanda batas 1000 mL menggunakan aquades

4. Pembuatan Larutan Pembersih (ASTM G1)

- Ammonium Persulfate $(NH_4)_2S_2O_8$

Padatan $(NH_4)_2S_2O_8$

- Ditimbang sebanyak 100 gram
- Dimasukkan dalam *beaker glass* 1000 mL dan diencerkan hingga tanda batas 1000 mL menggunakan aquades

Larutan $(NH_4)_2S_2O_8$

5. Preparasi *Chamber Weight Loss Immerse*

Chamber Immerse

- Bersihkan *chamber* dari kotoran dengan pembersih.
- Rekatkan kayu yang telah diberi spesimen beserta beban dan *chamber* dengan *Glue Gun* agar kayu tidak jatuh.

Chamber Immerse Siap Pakai

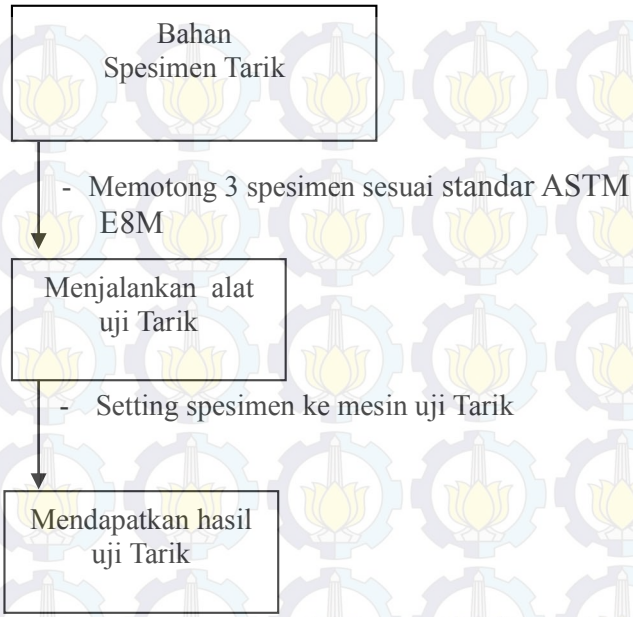
6. Preparasi *Chamber Weight Loss Salt Spray*

Chamber Salt Spray

- Bersihkan *chamber* utama dan *chamber* larutan yang terbuat dari kaca *acrylic* dengan air ledeng dan sikat hingga tidak ada kotoran.
- Memasukkan semua spesimen uji.
- Isi *chamber* larutan dengan larutan NaCl 5%.
- Hubungkan *chamber* larutan dan *chamber* utama dengan selang dan sambung ke *spray gun*.
- Sambungkan pompa udara dengan *spray gun* melalui selang.
- Untuk menjaga agar temperatur stabil, pasang *thermocouple* pada *tower chamber* utama.
- Menyambungkan *thermocouple*, *thermostat*, *relay, socket* dan *hair dryer*.
- Menempelkan *thermometer* pada dinding *chamber* utama.

Chamber Salt Spray Siap Pakai

7. Metode Uji Tarik



8. Metode Uji Weight Loss Immerse

Bahan
-Spesimen
-Media Elektrolit

- Siapkan chamber weight loss immerse.
- Siapkan 5 spesimen baja galvalum dengan ukuran 50 mm x 20 mm.
- Masukkan air ledeng ke dalam chamber.
- Rendam spesimen tanpa beban ke dalam chamber.

Menunggu selama 10, 20, 30, 40 dan 50 hari

- Pengambilan gambar, pencucian menggunakan Ammonium Persulfate sesuai standar ASTM G1 dan penimbangan.
- Ulangi langkah diatas untuk spesimen dengan penambahan beban 20 %σ_y, 30 %σ_y dan 40 %σ_y

Mendapat Pengurangan Beban

9. Metode Uji Weight Loss Salt Spray

Bahan
-Spesimen
-Media Elektrolit

- Siapkan chamber salt spray.
- Siapkan 20 spesimen baja galvalum dengan ukuran 50 mm x 20 mm.
- Masukkan larutan NaCl 5% ke dalam chamber larutan.
- Alirkan larutan NaCl 5% ke chamber utama.
- Nyalakan pompa udara yang telah disambungkan ke chamber utama.
- Nyalakan saklar thermostat dan set temperatur kamar sebesar 30 derajat Celcius.
- Letakkan spesimen tanpa beban ke dalam chamber.

Menunggu selama 10, 20, 30, 40 dan 50 hari

- Pengambilan gambar, pencucian menggunakan Ammonium Persulfate sesuai standar ASTM G1 dan penimbangan.
- Ulangi langkah diatas untuk spesimen dengan penambahan beban 20 %σ_y, 30 %σ_y dan 40 %σ_y.

Mendapat Pengurangan Beban

10. Metode Polarisasi Potensiodinamik

Bahan
-Spesimen
-Media Elektrolit

- Mencolokkan kabel monitor, CPU, Versastat 4
- Menyalakan CPU, monitor, versastat 4
- Memasang elektroda (elektrode kerja, elektrode bantu, elektrode acuan) pada rangkaian potensiostat yang dicelupkan ke dalam media korosi
- Memasang kabel pada tiap elektrode

Menjalankan program Versastat

- Menyalakan program versastat
- Memilih program Tafel sebagai program yang diinginkan
- Mengisi parameter pada kolom "***Properties for Tafel***" dan "***Properties for Common***"
- Memulai program versastat dengan mengklik *play*
- Setelah selesai menjalankan program versastat yang ditandai dengan tulisan "CELL OFF" pada kiri bawah, makan akan muncul grafik tafel
- Kemudian mengklik nilai ujung kiri pada grafik tafel yang dihasilkan. Nilai tersebut adalah *Ecorr*

A

A

- Setelah mengetahui nilai *Ecorr*, kemudian mengeblok ± 30 mV (sesuai dengan *Initial* dan *Final Potential* yang telah diisikan pada "***Properties for Tafel***" pada nilai *Ecorr* nya di *Data view*.
- Daerah tersebut adalah daerah dimana nantinya akan mendapat nilai *icorr* dan laju korosinya (CR), yaitu dengan cara mengklik "***Tafel Fit***" untuk memperoleh nilainya

Mendapatkan nilai Ecorr,Icorr, dan CR

LAMPIRAN B

Perhitungan Beban

Dari pengujian tarik didapatkan nilai Gaya Luluh

	Fy (Kgf)
spesimen 1	520
spesimen 2	425
spesimen 3	565

Convert nilai Gaya Luluh menjadi nilai tegangan luluh dengan membagi Fy dan nilai Luas rata-rata spesimen dibawah ini

	A (mm^2)
spesimen 1	8.97
spesimen 2	9
spesimen 3	8.96

Nilai Rata-rata tegangan luluh adalah 63.495 kgf/mm^2 dengan prosentase 20, 30 dan 40 persen sebagai berikut

20%	12.699	kgf/mm^2
30%	19.048	kgf/mm^2
40%	25.398	kgf/mm^2

Nilai 20, 30 dan 40 % menjadi Tegangan bending. sehingga:

Perhitungan Beban 20 %σ_y

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

M= r.F

M= 50 mm . F (Kilogram)

$$y = \frac{t}{2} = \frac{0.5\ mm}{2} = 0.25\ \text{mm}$$

$$I = \frac{bt^3}{12} = \frac{20mm\ (0.5mm)^3}{12} = \frac{2.5}{12} = 0.21\text{mm}^4$$

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

$$12.699\ \text{kgf/mm}^2 = \frac{50mm\ .F.0.25mm}{0.21mm^4}$$

F=213 gram

Perhitungan Beban 30 %σ_y

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

M= r.F

M= 50 mm . F (Kilogram)

$$y = \frac{t}{2} = \frac{0.5\ mm}{2} = 0.25\ \text{mm}$$

$$I = \frac{bt^3}{12} = \frac{20mm\ (0.5mm)^3}{12} = \frac{2.5}{12} = 0.21\text{mm}^4$$

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

$$19.048\ \text{kgf/mm}^2 = \frac{50mm\ .F.0.25mm}{0.21mm^4}$$

F=319 gram

Perhitungan Beban 40 %σ_y

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

M= r.F

M= 50 mm . F (Kilogram)

$$y = \frac{t}{2} = \frac{0.5\ mm}{2} = 0.25\ \text{mm}$$

$$I = \frac{bt^3}{12} = \frac{20mm\ (0.5mm)^3}{12} = \frac{2.5}{12} = 0.21\text{mm}^4$$

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

$$25.398\ \text{kgf/mm}^2 = \frac{50mm\ .F.0.25mm}{0.21mm^4}$$

F= 426 gram

Pembuatan Media Korosif

- **Pembuatan Larutan NaCl 5%**

Diketahui : Massa pelarut = 1000 mL
Ditanya : Massa NaCl yang dilarutkan ?
Jawab :

$$\rho_{campuran} = \rho_{air} + \rho_{NaCl}$$
$$= \left(0.965\ {}^{g}/_{mL} \times 95\%\right) + \left(2.165\ {}^{g}/_{mL} \times 5\%\right)$$
$$\rho = 1.025\ {}^{g}/_{mL}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$
$$m = \rho \times V$$
$$1.025\ {}^{g}/_{mL} \times 1000\ mL$$

$$Sehingga\ massa\ NaCl\ yang\ dilarutkan\ adalah:$$
$$\frac{5}{100} \times 1025\ gr = 51.25\ gram$$

LAMPIRAN C

Hasil Pengujian Tarik

Dimensi spesimen (lebar dan tebal) dalam mm

1		2		3	
l	t	l	t	l	t
13	1	13	1	13	1
12.5	0.5	12.6	0.5	12.4	0.5
12.5	0.5	12.4	0.5	12.5	0.5
12.7	0.5	13	0.5	12.7	0.5
13	1	13	1	13	1

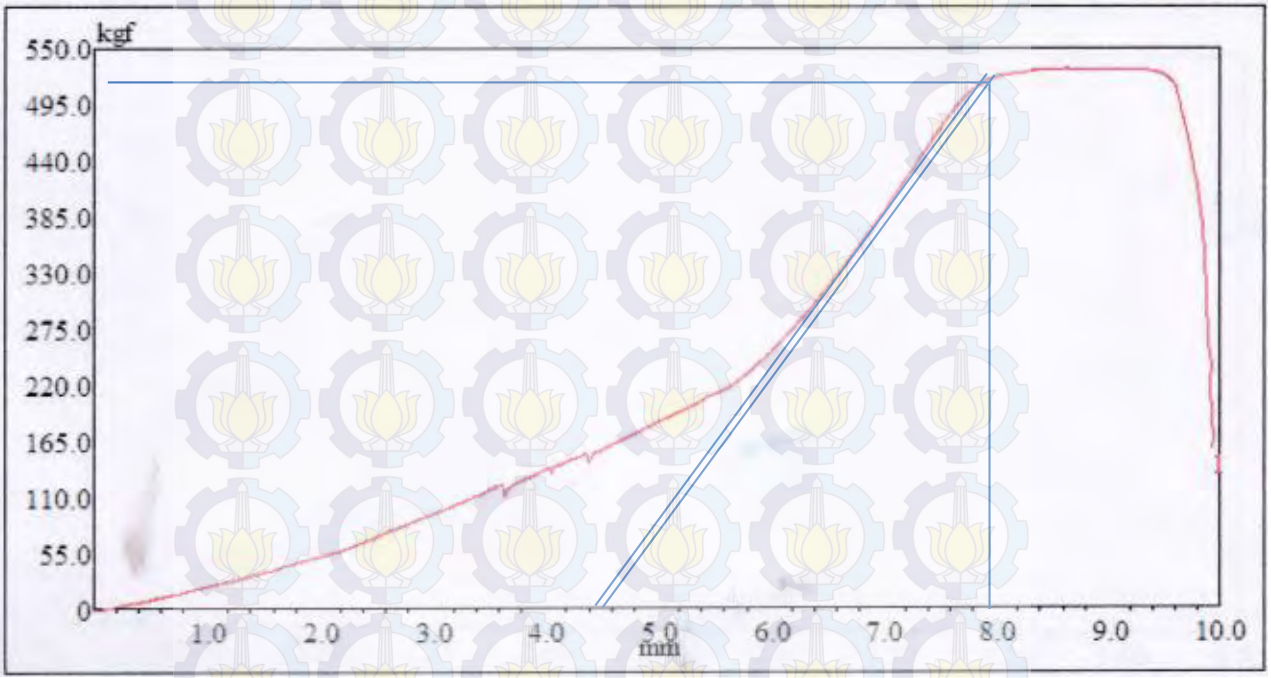
Perhitungan lebar x tebal (luas(A)) dalam mm

(l.t) 1	(l.t) 2	(l.t) 3
13	13	13
6.25	6.3	6.2
6.25	6.2	6.25
6.35	6.5	6.35
13	13	13

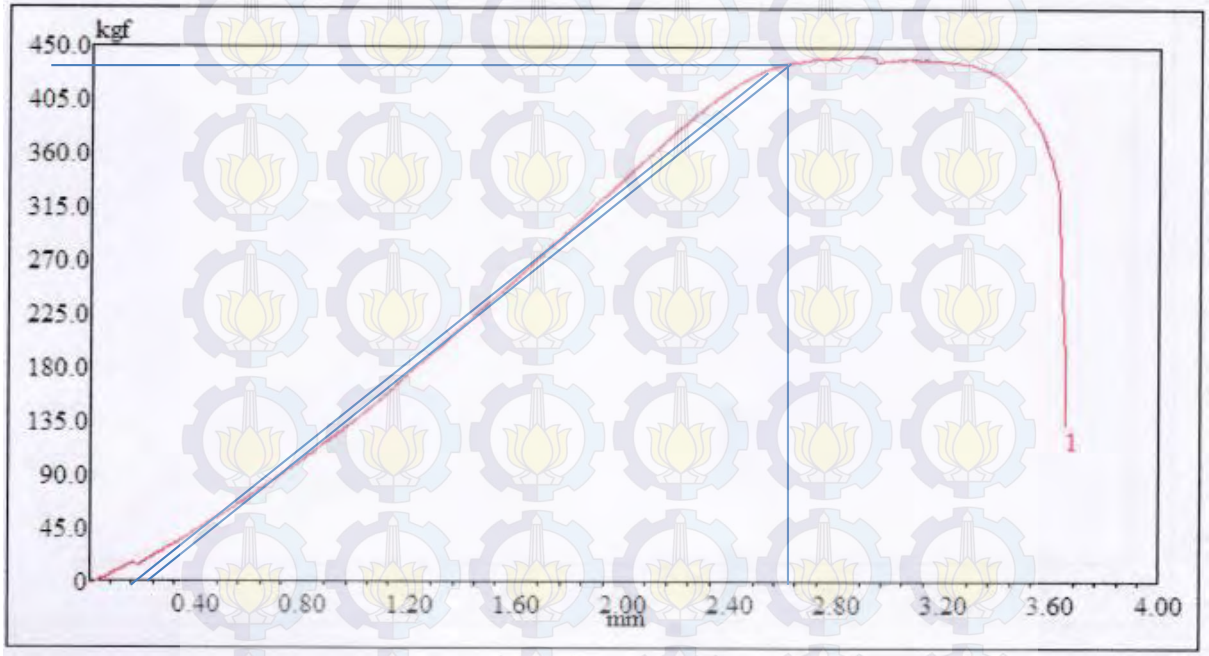
Gaya Luluh Baja Galvalum

	Fy (Kgf)
spesimen 1	520
spesimen 2	425
spesimen 3	565

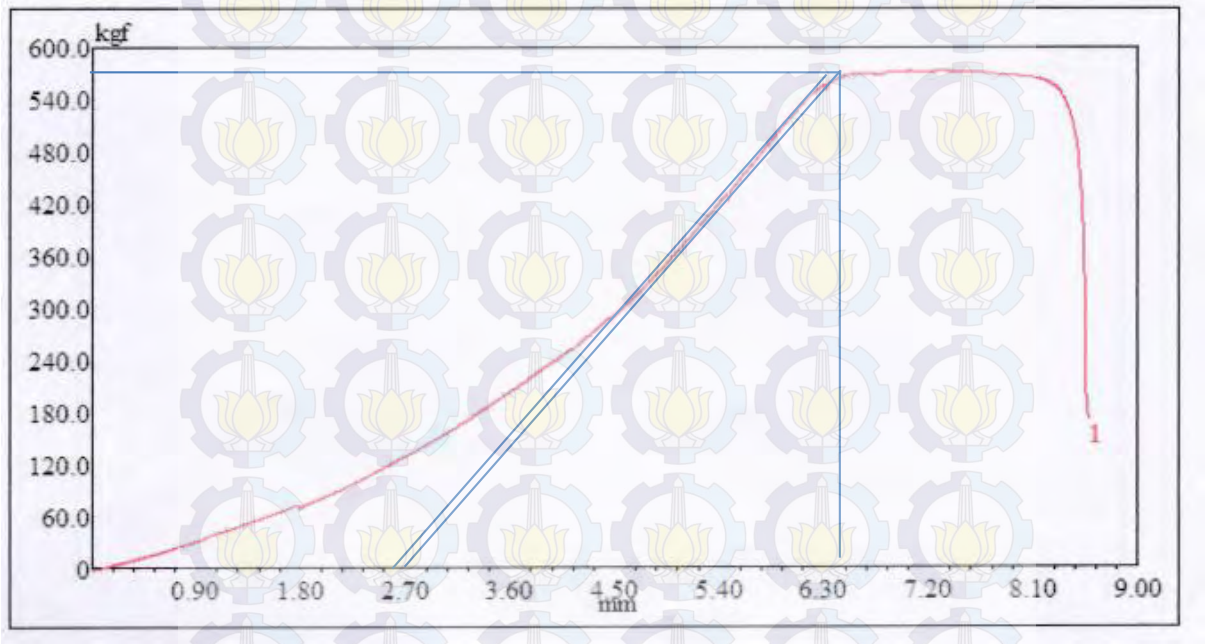
Kurva Gaya- Panjang Spesimen 1



Kurva Gaya- Panjang Spesimen 2



Kurva Gaya- Panjang Spesimen 3



Hasil Pengujian *Weight loss*

Data Spesimen *Immerse* Tanpa Beban

	1		2		3		4		5	
Massa (gram)	3.6296		3.903		3.7398		3.3707		3.8949	
(in mm)	p	l	p	l	p	l	p	l	p	l
	51.5	21.3	51.6	22	51.8	21.8	49.7	20.4	51.6	22.4
	50	21.6	51.7	22.9	52	21.1	50.1	20	51.8	22.8
Average	50.75	21.45	51.65	22.45	51.9	21.45	49.9	20.2	51.7	22.6
Area (p.l) (mm^2)	1088.5875		1159.5425		1113.255		1007.98		1168.42	
area beban (l.t)	10.725		11.225		10.725		10.1		11.3	
massa hilang (gram)	0.0054		0.0079		0.0088		0.0096		0.01	
mpy	0.035667484		0.024493592		0.01894562		0.017119906		0.012307591	

Data Spesimen *Salt Spray* Tanpa Beban

	11		12		13		14		15	
Massa (gram)	3.6243		3.6791		3.6427		3.6471		3.5182	
(in mm)	p	l	p	l	p	l	p	l	p	l
	49.4	21.2	49.9	21.8	50.55	21.1	52.2	21	49.7	20.9
	50	22	50	21.6	50.5	21.8	52	20.55	49.9	21.1
Average	49.7	21.6	49.95	21.7	50.525	21.45	52.1	20.775	49.8	21
Area (p.l) (mm^2)	1073.52		1083.915		1083.76125		1082.3775		1045.8	
area beban (l.t)	10.8		10.85		10.725		10.3875		10.5	
Massa akhir (gram)	3.62		3.6714		3.6314		3.6306		3.4995	
massa hilang (gram)	0.0043		0.0077		0.0113		0.0165		0.0187	
mpy	0.028800523		0.025539216		0.024989964		0.027402315		0.025713726	

Data Spesimen *Immerse* Dengan Beban 20 %σ_y

	16		17		18		19		20	
Massa (gram)	3.658		3.7853		3.6399		3.4601		3.6728	
in mm	p	l	p	l	p	l	p	l	p	l
	49.9	21.3	51.9	22.1	49.4	21.6	50	19.4	50.35	21.5
	50.2	22.1	52	21	49.5	22.2	50.9	20.5	50.4	21.4
Average	50.05	21.7	51.95	21.55	49.45	21.9	50.45	19.95	50.375	21.45
Area (p.l) (mm^2)	1086.085		1119.5225		1082.955		1006.4775		1080.54375	
area beban (l.t)	10.85		10.775		10.95		9.975		10.725	
F 20%σ (kg)	0.229428904		0.219509945		0.234352882		0.209254212		0.225322581	
Massa Akhir (Gram)	3.6481		3.7744		3.6233		3.4434		3.6516	
massa hilang (Gram)	0.0099		0.0109		0.0166		0.0167		0.0212	
mpy	0.065541056		0.035003037		0.036738251		0.029825962		0.028214058	

Data Spesimen *Salt Spray* Dengan Beban 20 %σ_y

	26		27		28		29		30	
Massa (gram)	3.8164		3.7545		3.5552		3.7894		3.8007	
in mm	p	l	p	l	p	l	p	l	p	l
	51.4	21.4	50.95	21.7	50.4	20.95	51.3	21.2	51.8	22.2
	51.3	22.5	51.1	21.9	50.2	20.7	51.6	21.3	51.9	22
Average	51.35	21.95	51.025	21.8	50.3	20.825	51.45	21.25	51.85	22.1
Area (p.l) (mm^2)	1127.1325		1112.345		1047.4975		1093.3125		1145.885	
area beban (l.t)	10.975		10.9		10.4125		10.625		11.05	
F 20%σ (kg)	0.226196852		0.226081986		0.219083416		0.218557661		0.225546448	
Massa Akhir (Gram)	3.8091		3.7447		3.5425		3.7713		3.777	
massa hilang (Gram)	0.0073		0.0098		0.0127		0.0181		0.0237	
mpy	0.046568253		0.031673687		0.029058388		0.029758862		0.02974263	

Data Spesimen *Immerse* Dengan Beban 30 %σ_y

	46		47		48		49		50	
Massa (gram)	3.715		3.4821		3.4439		3.6778		3.4803	
in mm	p	l	p	l	p	l	p	l	p	l
	50	22.4	49	21.2	49	20.4	49	22	48.5	21.1
	50	22.4	48.9	21.3	49	22	49	22.7	48.3	20.8
Average	50	22.4	48.95	21.25	49	21.2	49	22.35	48.4	20.95
Area (p.l) (mm^2)	1120		1040.1875		1038.8		1095.15		1013.98	
area beban (l.t)	11.2		10.625		10.6		11.175		10.475	
F 30%σ (kg)	0.355413333		0.344399047		0.343238095		0.361857143		0.343395317	
Massa Akhir (Gram)	3.7003		3.4634		3.4247		3.6542		3.45	
massa hilang (Gram)	0.0147		0.0187		0.0192		0.0236		0.0303	
mpy	0.09437161		0.064631173		0.044298609		0.038736507		0.042971973	

Data Spesimen *Salt Spray* Dengan Beban 30 %σ_y

	51		52		53		54		55	
Massa (gram)	3.4499		3.6454		3.4356		3.5691		3.5749	
in mm	p	l	p	l	p	l	p	l	p	l
	48.9	21.1	49.5	21.5	49.2	20.6	48.3	22.3	48.8	21
	49.2	20.7	49.3	22.5	49.1	21.4	48.1	21.7	48.8	22
Average	49.05	20.9	49.4	22	49.15	21	48.2	22	48.8	21.5
Area (p.l) (mm^2)	1025.145		1086.8		1032.15		1060.4		1049.2	
area beban (l.t)	10.45		11		10.5		11		10.75	
F 30%σ (kg)	0.338036018		0.353306343		0.33896236		0.362102351		0.349521858	
Massa Akhir (Gram)	3.4393		3.6325		3.4131		3.537		3.5351	
massa hilang (Gram)	0.0106		0.0129		0.0225		0.0321		0.0398	
mpy	0.074346858		0.042672898		0.052246897		0.054414843		0.054550262	

Data Spesimen *Immerse* Dengan Beban 40 %σ_y

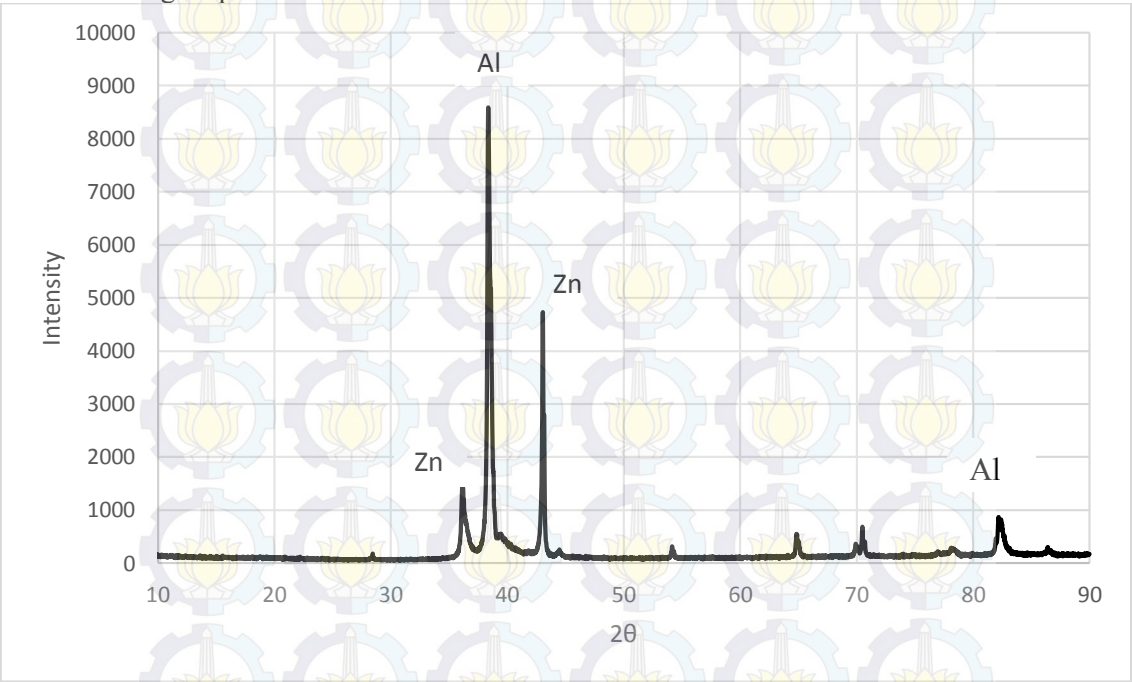
	31		32		33		34		35	
Massa (gram)	3.7238		3.7257		3.6483		3.795		3.9106	
in mm	p	l	p	l	p	l	p	l	p	l
	51.1	21.2	51.15	20.9	50.3	19.9	51.9	21	51.2	22.5
	51.1	21.8	50.8	22.2	50.2	21.8	51.5	22	51.5	22.8
Average	51.1	21.5	50.975	21.55	50.25	20.85	51.7	21.5	51.35	22.65
Area (p.l) (mm^2)	1098.65		1098.51125		1047.7125		1111.55		1163.0775	
area beban (l.t)	10.75		10.775		10.425		10.75		11.325	
F 40%σ (kg)	0.445287019		0.447417034		0.439129353		0.440119278		0.466820837	
Massa Akhir (Gram)	3.7137		3.7143		3.6292		3.775		3.8764	
massa hilang (Gram)	0.0101		0.0114		0.0191		0.02		0.0342	
mpy	0.066100397		0.037308896		0.043693018		0.032343205		0.042285308	

Data Spesimen *Salt Spray* Dengan Beban 40 %σ_y

	36		37		38		39		40	
Massa (gram)	3.7492		3.7192		3.8675		3.5436		3.9304	
in mm	p	l	p	l	p	l	p	l	p	l
	51.6	21.9	49.2	21.6	51.9	22.3	49.5	20.7	51.8	21.8
	51.3	21.7	49.1	22.8	51.8	22.7	49.8	20.7	51.8	22.8
Average	51.45	21.8	49.15	22.2	51.85	22.5	49.65	20.7	51.8	22.3
Area (p.l) (mm^2)	1121.61		1091.13		1166.625		1027.755		1155.14	
area beban (l.t)	10.9		11.1		11.25		10.35		11.15	
F 40%σ (kg)	0.448428895		0.47802645		0.459257473		0.441238671		0.455614543	
Massa Akhir (Gram)	3.7377		3.7041		3.8408		3.5097		3.8841	
massa hilang (Gram)	0.0115		0.0151		0.0267		0.0339		0.0463	
mpy	0.073722155		0.049752225		0.05485305		0.059291463		0.057639263	

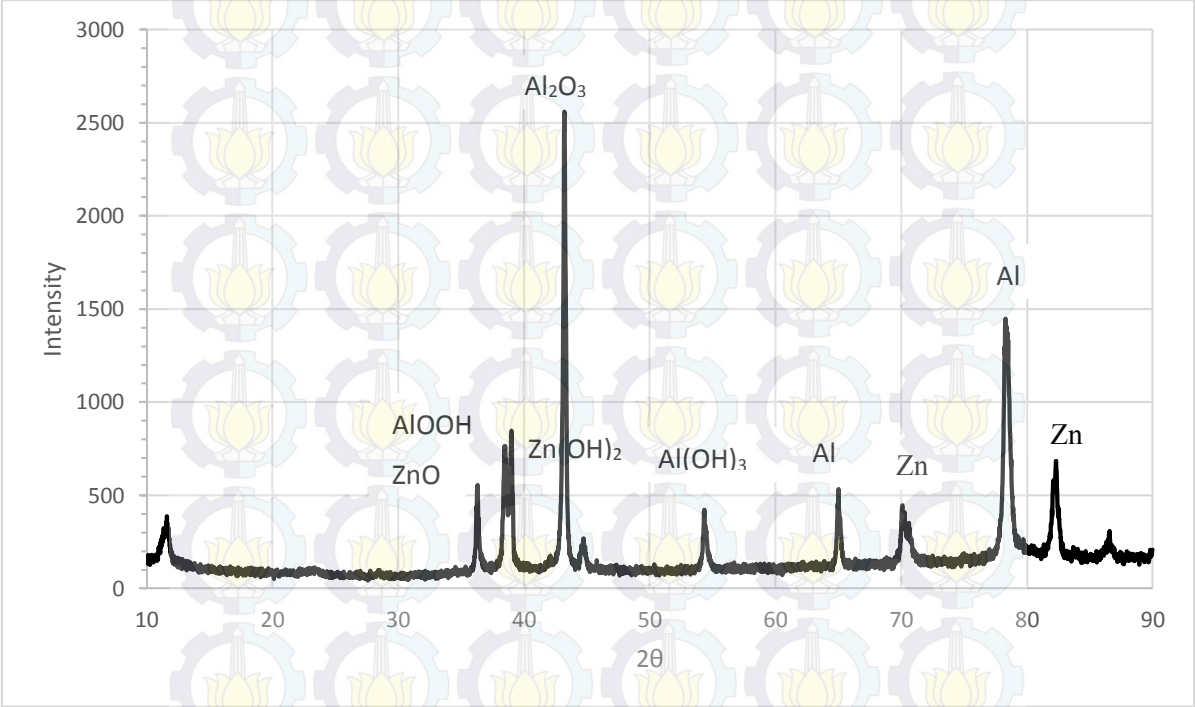
HASIL XRD

Media Air Ledeng tanpa beban



lv

Media 5% NaCl dengan beban 40 %σ_y

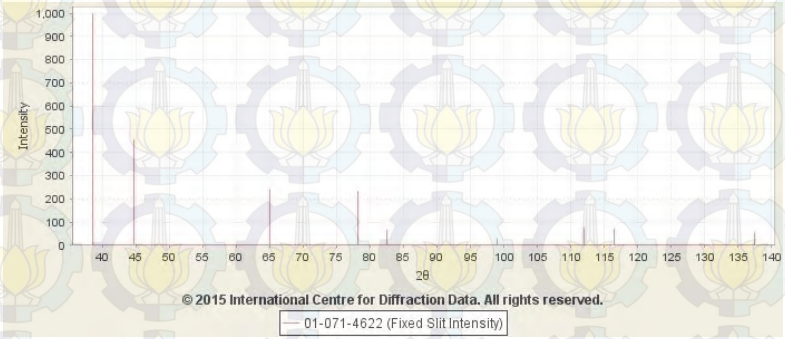


LAMPIRAN D

PDF CARD Aluminium 01-071-4622

PDF Number	01-071-4622	**Status**	Alternate	**Quality Mark**	Indexed (I)
Pressure/Temperature	Ambient				
Chemical Formula	Al				
Structural Formula					
Empirical Formula	Al				
Weight %	Al100.00				
Atomic %	Al100.00				
Compound Name	Aluminum				
ANX	N				
Mineral Name	Aluminum, syn				
Also Called					

d-Spacings



01-071-4622 (Fixed Slit Intensity)

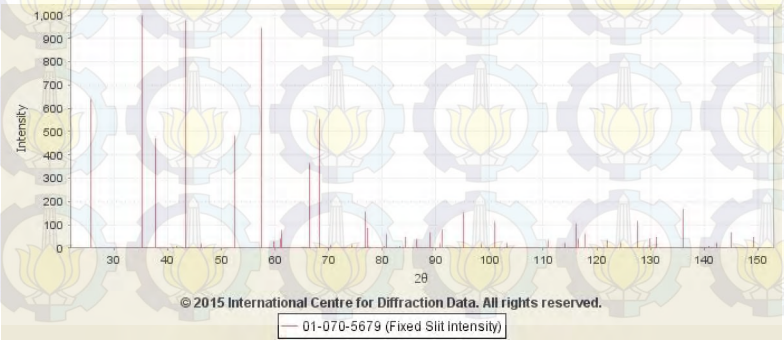
2q	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
38.4675	2.338270	999	1	1	1				
44.7151	2.025000	455	2	0	0				
65.0879	1.431890	238	2	2	0				

78.2180	1.221120	235	3	1	1				
82.4243	1.169130	64	2	2	2				
99.0643	1.012500	26	4	0	0				
111.9985	0.929134	76	3	3	1				
116.5467	0.905608	71	4	2	0				
137.4183	0.826703	56	4	2	2				

PDF CARD AL_2O_3 01-070-5679

PDF Number	01-070-5679	**Status**	Primary	**Quality Mark**	Star (S)
Pressure/Temperature	Ambient				
Chemical Formula	Al2 O3				
Structural Formula					
Empirical Formula	Al2 O3				
Weight %	Al52.93 O47.07				
Atomic %	Al40.00 O60.00				
Compound Name	Aluminum Oxide				
ANX	A2X3				
Mineral Name	Corundum, syn				
Also Called					

d-Spacings



01-070-5679 (Fixed Slit Intensity)

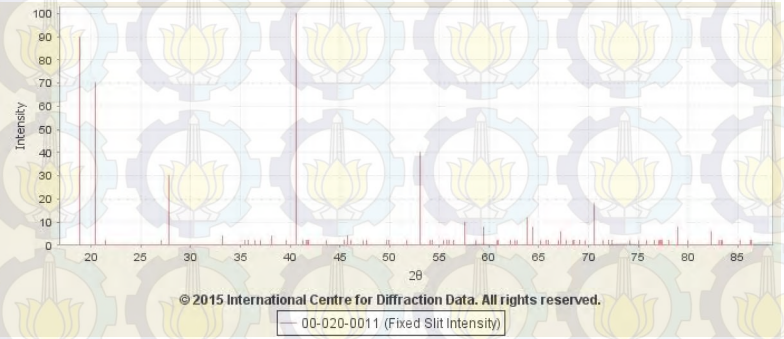
2q	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
25.5718	3.480570	638	0	1	2				
35.1448	2.551350	999	1	0	4				
37.7697	2.379850	469	1	1	0				
41.6718	2.165580	5	0	0	6				
43.3461	2.085730	976	1	1	3				
46.1697	1.964530	15	2	0	2				
52.5421	1.740280	485	0	2	4				
57.4902	1.601700	944	1	1	6				
59.7290	1.546900	24	2	1	1				
61.1185	1.515020	34	1	2	2				
61.2936	1.511110	74	0	1	8				
66.5058	1.404760	365	2	1	4				
68.1956	1.374010	551	3	0	0				
70.4029	1.336240	11	1	2	5				
74.2878	1.275680	14	2	0	8				
76.8624	1.239240	154	1	0	10				

PDF CARD $Al(OH)_3$ 00-020-0011

PDF Card

PDF Number	00-020-0011	**Status**	Primary	**Quality Mark**	Indexed (I)
Pressure/Temperature	Ambient				
Chemical Formula	Al (O H)3				
Structural Formula					
Empirical Formula	Al H3 O3				
Weight %	Al34.59 H3.88 O61.53				
Atomic %	Al14.29 H42.86 O42.86				
Compound Name	Aluminum Hydroxide				
ANX					
Mineral Name	Bayerite, syn				

d-Spacings



00-020-0011 (Fixed Slit Intensity)

2q	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
18.8250	4.710000	90	0	0	1				
20.3990	4.350000	70	0	2	0				
21.4456	4.140000	2	0	1	1				
27.0804	3.290000	2	1	2	0				

27.8572	3.200000	30	1	1	1				
33.1649	2.699000	4	1	2	1				
35.4367	2.531000	2	2	0	0				
35.7431	2.510000	2	1	3	0				
36.4336	2.464000	2	0	3	1				
36.9617	2.430000	2	2	1	0				
38.1668	2.356000	4	0	0	2				
39.5995	2.274000	2	0	1	2				
40.5664	2.222000	100	2	0	1				
41.2646	2.186000	2	2	2	0				
41.6231	2.168000	2	0	4	0				
41.7036	2.164000	2	-2	1	1				
41.8656	2.156000	2	2	1	1				
43.6259	2.073000	2	1	1	2				
45.4729	1.993000	2	1	4	0				
45.7152	1.983000	4	-2	2	1				
46.0588	1.969000	2	0	4	1				
47.3834	1.917000	2	-1	2	2				
47.7270	1.904000	2	2	3	0				
49.6403	1.835000	2	1	4	1				
49.9016	1.826000	2	0	3	2				
51.7513	1.765000	2	2	3	1				
53.1101	1.723000	40	2	0	2				

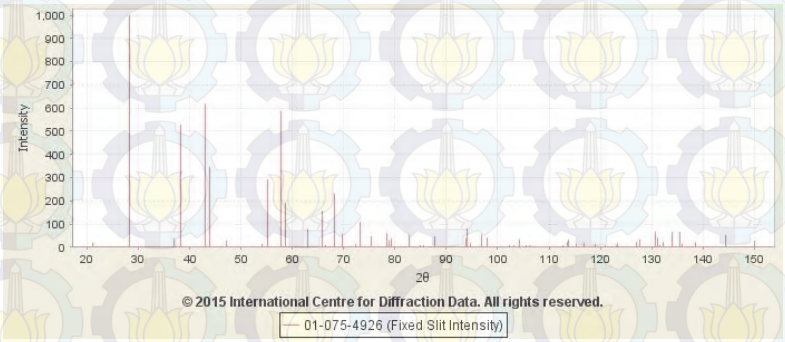
64.4257	1.445000	8	0	6	0				
65.1334	1.431000	2	2	5	0				
65.7013	1.420000	2	-1	2	3				
65.9104	1.416000	2	1	2	3				
66.9237	1.397000	2	0	5	2				
67.1959	1.392000	6	3	3	1				
67.8034	1.381000	2	0	6	1				
68.4228	1.370000	2	-2	5	1				
68.5368	1.368000	2	2	5	1				
69.1127	1.358000	2	-3	1	2				
69.6992	1.348000	2	2	4	2				
70.5996	1.333000	18	-1	3	3				
71.4006	1.320000	2	-2	1	3				
71.9669	1.311000	2	-3	2	2				
72.3499	1.305000	2	3	2	2				
74.1981	1.277000	2	-2	2	3				
75.0225	1.265000	2	4	0	0				
75.7961	1.254000	2	2	6	0				
76.6605	1.242000	2	-3	3	2				
77.0272	1.237000	2	3	3	2				

PDF CARD AlOOH 01-075-4926

PDF Card

PDF Number	01-075-4926	**Status**	Primary	**Quality Mark**	Star (S)
Pressure/Temperature	Ambient				
Chemical Formula	Al O (O H)				
Structural Formula					
Empirical Formula	Al H O2				
Weight %	Al44.98 H1.68 O53.34				
Atomic %	Al25.00 H25.00 O50.00				
Compound Name	Aluminum Oxide Hydroxide				
ANX	AX2				

d-Spacings



01-075-4926 (Fixed Slit Intensity)

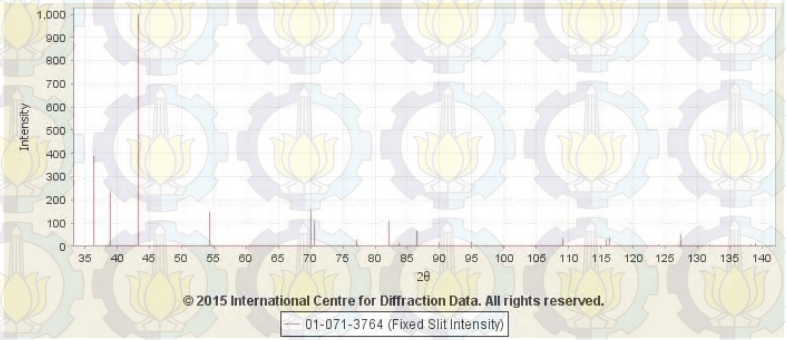
2q	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
21.0238	4.222100	18	0	1	0				
28.3572	3.144700	999	1	1	0				
37.0071	2.427120	37	1	0	1				
38.2405	2.351630	526m	2	0	0				
38.2405	2.351630	m	0	1	1				
42.9464	2.104210	616	1	1	1				
43.9687	2.057630	346	2	1	0				
47.1333	1.926590	25	1	2	0				
54.1466	1.692440	14	0	2	1				
55.1305	1.664540	291	2	1	1				
57.8401	1.592840	584	1	2	1				
58.6668	1.572350	192	2	2	0				
63.0908	1.472320	81	3	1	0				
65.9235	1.415750	157	0	0	2				
66.3665	1.407370	9	0	3	0				
68.2142	1.373680	229m	2	2	1				
68.2142	1.373680	m	3	0	1				
69.6685	1.348520	53	1	3	0				
70.0384	1.342300	2	0	1	2				
72.2678	1.306280	11	3	1	1				
73.2639	1.290960	108	1	1	2				
75.3523	1.260280	44m	3	2	0				
75.3523	1.260280	m	0	3	1				

PDF CARD Zn 01-071-3764

PDF Card

PDF Number	01-071-3764	**Status**	Alternate	**Quality Mark**	Indexed (I)
Pressure/Temperature	Ambient				
Chemical Formula	Zn				
Structural Formula					
Empirical Formula	Zn				
Weight %	Zn100.00				
Atomic %	Zn100.00				
Compound Name	Zinc				
ANX	N				
Mineral Name	Zinc				

d-Spacings



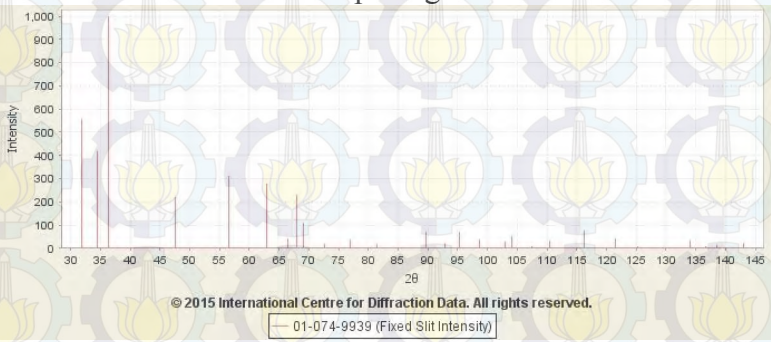
2q	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
36.3017	2.472650	389	0	0	2				
39.0007	2.307520	234	1	0	0				
43.2294	2.091090	999	1	0	1				
54.3348	1.687020	145	1	0	2				
70.0965	1.341330	156	1	0	3				
70.6452	1.332250	101	1	1	0				
77.0766	1.236330	24	0	0	4				
82.1072	1.172840	110	1	1	2				
83.7682	1.153760	13	2	0	0				
86.5582	1.123590	67	2	0	1				
89.9548	1.089770	19	1	0	4				

PDF CARD ZnO 01-074-9939

PDF Card

PDF Number	01-074-9939	**Status**	Alternate	**Quality Mark**	Star (S)
Pressure/Temperature	Ambient				
Chemical Formula	Zn O				
Structural Formula					
Empirical Formula	O Zn				
Weight %	O19.66 Zn80.34				
Atomic %	O50.00 Zn50.00				
Compound Name	Zinc Oxide				
ANX	AX				
Mineral Name	Zincite, syn				

d-Spacings



01-074-9939 (Fixed Slit Intensity)

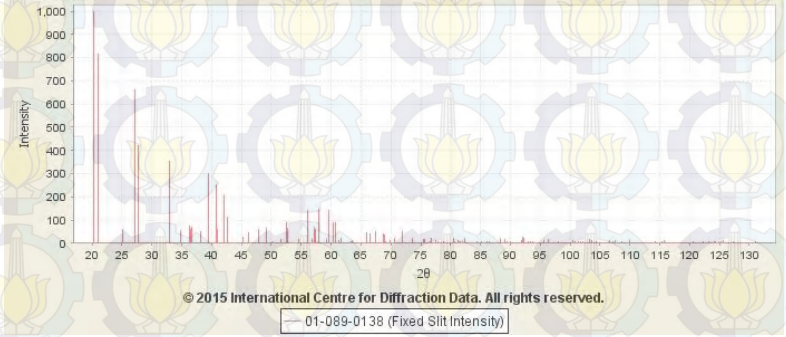
2q	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
31.7722	2.814060	553	1	0	0				
34.4295	2.602700	414	0	0	2				
36.2588	2.475480	999	1	0	1				
47.5480	1.910750	218	1	0	2				
56.6023	1.624700	311	1	1	0				
62.8709	1.476940	278	1	0	3				
66.3846	1.407030	41	2	0	0				
67.9588	1.378220	226	1	1	2				
69.0959	1.358290	110	2	0	1				
72.5851	1.301350	18	0	0	4				
76.9726	1.237740	34	2	0	2				
81.4052	1.181170	18	1	0	4				
89.6305	1.092870	70	2	0	3				

PDF CARD $Zn(OH)_2$ 01-089-0138

PDF Card

PDF Number	01-089-0138	**Status**	Alternate	**Quality Mark**	Star (S)
Pressure/Temperature	Ambient				
Chemical Formula	Zn (O H)2				
Structural Formula					
Empirical Formula	H2 O2 Zn				
Weight %	H2.03 O32.19 Zn65.78				
Atomic %	H40.00 O40.00 Zn20.00				
Compound Name	Zinc Hydroxide				
ANX	AX2				
Mineral Name	Wulfingite, syn				
Also Called	á-Zn (O H)2				

d-Spacings



01-089-0138 (Fixed Slit Intensity)

2q	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
20.1810	4.396480	999	0	1	1				
20.9091	4.245010	814m	1	0	1				
20.9091	4.245010	m	0	0	2				
25.0669	3.549520	58	1	1	0				
27.2166	3.273850	659m	1	1	1				
27.8026	3.206160	420	1	0	2				
32.8919	2.720770	354	1	1	2				
34.8606	2.571500	55	0	2	0				
36.2570	2.475600	75	0	1	3				
36.4847	2.460670	61	0	2	1				
36.6105	2.452500	70	2	0	0				
36.6867	2.447580	62	1	0	3				
38.1701	2.355800	52	2	0	1				
39.5363	2.277490	302	1	2	0				
40.7951	2.210070	252m	2	1	0				
40.7951	2.210070	m	1	1	3				
41.0015	2.199420	60m	1	2	1				
41.0015	2.199420	m	0	2	2				
42.1564	2.141800	208	2	1	1				
42.6478	2.118250	114	0	0	4				
45.1619	2.006000	27	1	2	2				
46.2329	1.961990	45	2	1	2				
47.7952	1.901440	60	0	2	3				
49.1602	1.851790	67	2	0	3				

50.1078	1.818970	7	1	1	4				
51.5040	1.772890	17m	2	2	0				
51.5040	1.772890	m	1	2	3				
52.4769	1.742290	87	2	1	3				
52.6470	1.737060	64	2	2	1				
54.5705	1.680290	16	0	3	1				
56.1422	1.636920	140m	2	2	2				
56.1422	1.636920	m	0	2	4				
56.8449	1.618340	21	1	3	0				
57.1866	1.609480	66	0	1	5				
57.4361	1.603080	61m	2	0	4				
57.4361	1.603080	m	1	0	5				
57.9692	1.589600	148m	0	3	2				
59.2541	1.558160	18	3	1	0				
59.5522	1.551070	144	1	2	4				
60.3500	1.532460	66	3	1	1				
60.4371	1.530460	88m	2	1	4				
60.4371	1.530460	m	1	1	5				
60.6608	1.525350	87	3	0	2				
61.2631	1.511790	13	1	3	2				
61.6740	1.502700	21	2	2	3				
63.4190	1.465490	5	0	3	3				
63.5696	1.462380	12	3	1	2				
65.9640	1.414980	44m	0	2	5				
65.9640	1.414980	m	3	0	3				
66.5379	1.404160	41m	2	3	0				

MSDS AMONIUM PERSULFAT

ScienceLab.com
Chemicals & Laboratory Equipment

Health	2
Fire	1
Reactivity	3
Personal Protection	E

Material Safety Data Sheet
Ammonium persulfate MSDS

Section 1: Chemical Product and Company Identification

Product Name: Ammonium persulfate

Catalog Codes: SLA4228, SLA3385

CAS#: 7727-54-0

RTECS: SE0350000

TSCA: TSCA 8(b) inventory: Ammonium persulfate

CI#: Not available.

Synonym: Ammonium peroxydisulfate

Chemical Name: Ammonium Persulfate

Chemical Formula: (NH4)2S2O8

Contact Information:

Sciencelab.com, Inc.
14025 Smith Rd.
Houston, Texas 77396

US Sales: **1-800-901-7247**
International Sales: **1-281-441-4400**

Order Online: ScienceLab.com

CHEMTREC (24HR Emergency Telephone), call:
1-800-424-9300

International CHEMTREC, call: 1-703-527-3887

For non-emergency assistance, call: 1-281-441-4400

Section 2: Composition and Information on Ingredients

Composition:

Name	CAS #	% by Weight
Ammonium persulfate	7727-54-0	100

Toxicological Data on Ingredients: Ammonium persulfate: ORAL (LD50): Acute: 689 mg/kg [Rat].

Section 3: Hazards Identification

Potential Acute Health Effects:
Hazardous in case of skin contact (irritant, sensitizer), of eye contact (irritant), of ingestion, of inhalation (lung irritant, lung sensitizer). Prolonged exposure may result in skin burns and ulcerations. Over-exposure by inhalation may cause respiratory irritation.

Potential Chronic Health Effects:
CARCINOGENIC EFFECTS: Not available. MUTAGENIC EFFECTS: Not available. TERATOGENIC EFFECTS: Not available. DEVELOPMENTAL TOXICITY: Not available. The substance may be toxic to upper respiratory tract. Repeated or prolonged exposure to the substance can produce target organs damage.

Section 4: First Aid Measures

Eye Contact:

Check for and remove any contact lenses. In case of contact, immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes. Cold water may be used. Get medical attention.

Skin Contact:
In case of contact, immediately flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Cover the irritated skin with an emollient. Cold water may be used.Wash clothing before reuse. Thoroughly clean shoes before reuse. Get medical attention.

Serious Skin Contact:
Wash with a disinfectant soap and cover the contaminated skin with an anti-bacterial cream. Seek immediate medical attention.

Inhalation:
If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical attention.

Serious Inhalation:
Evacuate the victim to a safe area as soon as possible. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. If breathing is difficult, administer oxygen. If the victim is not breathing, perform mouth-to-mouth resuscitation. WARNING: It may be hazardous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation when the inhaled material is toxic, infectious or corrosive. Seek medical attention.

Ingestion:
Do NOT induce vomiting unless directed to do so by medical personnel. Never give anything by mouth to an unconscious person. If large quantities of this material are swallowed, call a physician immediately. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband.

Serious Ingestion: Not available.

Section 5: Fire and Explosion Data

Flammability of the Product: May be combustible at high temperature.

Auto-Ignition Temperature: Not available.

Flash Points: CLOSED CUP: Higher than 93.3°C (200°F).

Flammable Limits: Not available.

Products of Combustion: Not available.

Fire Hazards in Presence of Various Substances:
Slightly flammable to flammable in presence of open flames and sparks, of heat, of reducing materials, of combustible materials.

Explosion Hazards in Presence of Various Substances:
Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: Not available. Risks of explosion of the product in presence of static discharge: Not available. Slightly explosive in presence of reducing materials, of combustible materials, of organic materials, of metals.

Fire Fighting Media and Instructions:
Oxidizing material. Do not use water jet. Use flooding quantities of water. Avoid contact with organic materials.

Special Remarks on Fire Hazards: Not available.

Special Remarks on Explosion Hazards: Not available.

Section 6: Accidental Release Measures

Small Spill: Use appropriate tools to put the spilled solid in a convenient waste disposal container.

Large Spill:

Oxidizing material. Stop leak if without risk. Avoid contact with a combustible material (wood, paper, oil, clothing...). Keep substance damp using water spray. Do not touch spilled material. Prevent entry into sewers, basements or confined areas; dike if needed. Eliminate all ignition sources. Call for assistance on disposal.

Section 7: Handling and Storage

Precautions:
Keep away from heat. Keep away from sources of ignition. Keep away from combustible material.. Empty containers pose a fire risk, evaporate the residue under a fume hood. Ground all equipment containing material. Do not ingest. Do not breathe dust. Wear suitable protective clothing. In case of insufficient ventilation, wear suitable respiratory equipment. If ingested, seek medical advice immediately and show the container or the label. Avoid contact with skin and eyes. Keep away from incompatibles such as reducing agents, combustible materials, organic materials, metals.

Storage:
Strong Oxidizer. Moisture Sensitive. Keep container tightly closed. Keep container in a cool, well-ventilated area. Separate from acids, alkalies, reducing agents and combustibles. See NFPA 43A, Code for the Storage of Liquid and Solid Oxidizers. Do not store above 23°C (73.4°F).

Section 8: Exposure Controls/Personal Protection

Engineering Controls:
Use process enclosures, local exhaust ventilation, or other engineering controls to keep airborne levels below recommended exposure limits. If user operations generate dust, fume or mist, use ventilation to keep exposure to airborne contaminants below the exposure limit.

Personal Protection:
Splash goggles. Lab coat. Dust respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Gloves.

Personal Protection in Case of a Large Spill:
Splash goggles. Full suit. Dust respirator. Boots. Gloves. A self contained breathing apparatus should be used to avoid inhalation of the product. Suggested protective clothing might not be sufficient; consult a specialist BEFORE handling this product.

Exposure Limits: Not available.

Section 9: Physical and Chemical Properties

Physical state and appearance: Solid.

Odor: Unpleasant. (Slight.)

Taste: Not available.

Molecular Weight: 228.2 g/mole

Color: White to yellowish. (Light.)

pH (1% soln/water): Not available.

Boiling Point: Not available.

Melting Point: 120°C (248°F)

Critical Temperature: Not available.

Specific Gravity: 1.98 (Water = 1)

Vapor Pressure: Not applicable.

Vapor Density: Not available.

Volatility: Not available.

Odor Threshold: Not available.

Water/Oil Dist. Coeff.: Not available.

Ionicity (In Water): Not available.

Dispersion Properties: See solubility in water.

Solubility: Soluble in cold water, hot water.

Section 10: Stability and Reactivity Data

Stability: The product is stable.

Instability Temperature: Not available.

Conditions of Instability: Excess heat, ignition sources, incompatible materials

Incompatibility with various substances: Reactive with reducing agents, combustible materials, organic materials, metals.

Corrosivity: Non-corrosive in presence of glass.

Special Remarks on Reactivity:
Strong oxider. Moisture sensitive. May decompose on exposure to moist air or water. May be shock sensitive and thermally unstable. Decomposes when heated. Incompatible with powdered aluminum, iron, sodium peroxide.

Special Remarks on Corrosivity: Not available.

Polymerization: Will not occur.

Section 11: Toxicological Information

Routes of Entry: Inhalation. Ingestion.

Toxicity to Animals: Acute oral toxicity (LD50): 689 mg/kg [Rat].

Chronic Effects on Humans: May cause damage to the following organs: upper respiratory tract.

Other Toxic Effects on Humans: Hazardous in case of skin contact (irritant, sensitizer), of ingestion, of inhalation (lung irritant, lung sensitizer).

Special Remarks on Toxicity to Animals: Not available.

Special Remarks on Chronic Effects on Humans: Not available.

Special Remarks on other Toxic Effects on Humans:
Acute Potential Health Effects: Skin: Causes skin irritation. May cause skin sensitization, an allergic reation, which becomes evident upon re-exposure to this material. Eyes: Causes eye irritation. Ingestion: Causes gastrointestinal (digestive) tract irritation with nausea, vomiting, and diarrhea. May be harmful if swallowed. Inhalation: Causes respiratory tract irritation. May cause chemical pneumonitis and pulmonary edema, inflammation, edema of bronchi and larynx. Chronic Potential Health Effects: Repeated or prolonged skin exposure may cause allergic reactions in sensitive individuals. Repeated or prolonged exposure by inhalation may affect respiration and metabolism.

Section 12: Ecological Information

Ecotoxicity: Not available.

BOD5 and COD: Not available.

Products of Biodegradation:

Possibly hazardous short term degradation products are not likely. However, long term degradation products may arise.

Toxicity of the Products of Biodegradation: The products of degradation are less toxic than the product itself.

Special Remarks on the Products of Biodegradation: Not available.

Section 13: Disposal Considerations

Waste Disposal:
Waste must be disposed of in accordance with federal, state and local environmental control regulations.

Section 14: Transport Information

DOT Classification: CLASS 5.1: Oxidizing material.

Identification: : Ammonium Persulfate UNNA: 1444 PG: III

Special Provisions for Transport: Not available.

Section 15: Other Regulatory Information

Federal and State Regulations:
Connecticut hazardous material survey.: Ammonium persulfate New Jersey: Ammonium persulfate TSCA 8(b) inventory: Ammonium persulfate

Other Regulations:
OSHA: Hazardous by definition of Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200). EINECS: This product is on the European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances.

Other Classifications:

WHMIS (Canada): CLASS C: Oxidizing material.

DSCL (EEC):
R8- Contact with combustible material may cause fire. R20/22- Harmful by inhalation and if swallowed. R36/37/38- Irritating to eyes, respiratory system and skin. R42/43- May cause sensitization by inhalation and skin contact. S22- Do not breathe dust. S24- Avoid contact with skin. S26- In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice. S37- Wear suitable gloves.

HMIS (U.S.A.):

Health Hazard: 2

Fire Hazard: 1

Reactivity: 3

Personal Protection: E

National Fire Protection Association (U.S.A.):

Health: 2

Flammability: 1

Reactivity: 3

Specific hazard:

Protective Equipment:
Gloves. Lab coat. Dust respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Splash goggles.

BIODATA PENULIS

Penulis bernama Adianto Hibatullah Santoso dan lahir di Jakarta pada bulan November. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Ir. Bima Anuesanto dan Dra. Siti Thoharoh. Penulis melakukan studi formal bermula dari SDN Kejapanan 2, SMPN 1 Porong, SMAN 1 Sidoarjo, dan sampai sekarang pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya pada tahun 2011 melalui jalur SNMPTN. Pada tahun 2011-2013, penulis aktif dalam organisasi himpunan mahasiswa jurusan dan dilanjutkan pada tahun 2012-2013 penulis menjadi staff badan semi otonom material techno club. Penulis melakukan kerja praktek pada PT PGN Solution dimana merupakan perusahaan konsultan dari PT PGN. Penulis mengambil studi mengenai tugas akhir penulis pada bidang korosi dan kegagalan material pada jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Penulis memiliki email dan nomor handphone yang dapat dihubungi yaitu adi_atok@yahoo.com 085649200193.