



TUGAS AKHIR (WE40050)

ANALISIS PERBANDINGAN KETAHANAN KOROSI PIPA
API 5L Gr. B DENGAN *COATING* GALVANIS DAN *EPOXY*
PADA LINGKUNGAN DENGAN LARUTAN H_2SO_4 (98%),
HCl (32%), DAN NaCl (10%)

MUHAMMAD
NRP. 0722040077

DOSEN PEMBIMBING:
MUKHLIS, S.T., M.T.
MUDZAKKIR DIOKTYANTO, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGELASAN
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (WE40050)

**ANALISIS PERBANDINGAN KETAHANAN KOROSI PIPA
API 5L Gr. B DENGAN COATING GALVANIS DAN EPOXY
PADA LINGKUNGAN DENGAN LARUTAN H_2SO_4 (98%),
HCl (32%), DAN NaCl (10%)**

**MUHAMMAD
NRP. 0722040077**

**DOSEN PEMBIMBING:
MUKHLIS, S.T., M.T.
MUDZAKKIR DIOKTYANTO, S.T., M.T.**

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGELASAN
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN KETAHANAN KOROSI PIPA API 5L Gr. B DENGAN COATING GALVANIS DAN EPOXY PADA LINGKUNGAN DENGAN LARUTAN H₂SO₄ (98%), HCl (32%), DAN NaCl (10%)

Disusun Oleh:

Muhammad
0722040077

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Pengelasan
Jurusan Teknik Bangunan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian: 27 Juli 2026
Periode Wisuda: Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji

1. Mukhlis, S.T., M.T.
2. Imah Luluk Kusminah, S.T., M.T.
3. Adristi Nisazarifa, S.T., M.T.
4. Dr. Rikat Eka Prastyawan, S.Pd., M.Pd.

NIDN/NUPTK

(0005098007)
(0707039201)
(2738777678230092)
(0729108702)

Tanda Tangan

Dosen Pembimbing

1. Mukhlis, S.T., M.T.
2. Mudzakkir Dioktyanto, S.T., M.T.

NIDN/NUPTK

(0005098007)
(4340774675130263)

Tanda Tangan

Menyetujui
Ketua Jurusan,

Ir. Priyambodo Nur Ardi Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198103242014041001

Mengetahui
Koordinator Program Studi,

Moh. Syaiful Amri, S.ST., MT.
NIP. 199101072019031016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

 PPNS POLITIKAH PENANJARAN NEGERI SURABAYA	<u>PERNYATAAN BEBAS</u> <u>PLAGIAT</u>	No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
--	--	---

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Muhammad

NRP. : 0722040077

Jurusan/Prodi : Teknik Bangunan Kapal/Teknik Pengelasan

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa:

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul:

**ANALISIS PERBANDINGAN KETAHANAN KOROSI PIPA API 5L Gr. B
DENGAN COATING GALVANIS DAN EPOXY PADA LINGKUNGAN
DENGAN LARUTAN H₂SO₄ (98%), HCl (32%), DAN NaCl (10%)**

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut,
maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 16 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan,



Muhammad
NRP. 0722040077

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, atas limpahan berkat, rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“ANALISIS PERBANDINGAN KETAHANAN KOROSI PIPA API 5L Gr. B DENGAN *COATING* GALVANIS DAN *EPOXY* PADA LINGKUNGAN DENGAN LARUTAN H₂SO₄ (98%), HCl (32%), DAN NaCl (10%)”**. Penulisan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi persyaratan akademik dan untuk kriteria memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S. Tr. T) pada Program Studi D4 Teknik Pengelasan Jurusan Teknik Bangunan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya tahun 2026.

Penyusunan tugas akhir ini tentunya tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang memberikan bimbingan, kepercayaan, do’a, serta dukungan dalam bentuk apapun. Pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moril maupun materil diantaranya kepada:

1. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
2. Bapak Ir. Priyambodo Nur Ardi Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. selaku ketua Jurusan Teknik Bangunan Kapal.
3. Bapak Moh. Syaiful Amri, S.ST., M.T. selaku ketua Program Studi Teknik Pengelasan.
4. Mukhlis, S.T., M.T. dan Bapak Mudzakkir Dioktyanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, membantu dan mengarahkan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
5. Seluruh jajaran dosen pengajar dan karyawan teknisi program studi D4-Teknik Pengelasan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah membantu dan membagi ilmu yang bermanfaat dan berguna selama 8 semester ini

6. Terkhusus kepada orang tua tercinta dan tersayang serta keluarga yang selalu mendoakan dan memberi motivasi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
7. PT. Steel Pipe Industry Of Indonesia dan segenap karyawannya yang telah memberikan kesempatan *On the Job Training*.
8. CV. Cipta Agung dan segenap karyawan yang telah memberikan tempat fasilitas pengujian
9. Seluruh teman-teman D4 teknik pengelasan angkatan 2022 yang selaluberbagi suka dan duka serta saling memberi semangat, bantuan, danmotivasi selama pengerjaan tugas akhir ini.

Demikian laporan penelitian tugas akhir ini semoga dapatmemberikan wawasan kepada semua orang yang membutuhkan. Penulismenyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan danpenulisan tugas akhir ini, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifatmembangun sangat penulis harapkan sebagai masukan untuk lebih baik lagikedepannya. Semoga tugas akhir ini bermanfaat dan bisa memberikan masukan bagi pembaca.

Surabaya, 20 Juli
2026

Muhammad

ANALISIS PERBANDINGAN KETAHANAN KOROSI PIPA API 5L Gr. B DENGAN *COATING* GALVANIS DAN *EPOXY* PADA LINGKUNGAN DENGAN LARUTAN H₂SO₄ (98%), HCl (32%), DAN NaCl (10%)

MUHAMMAD

ABSTRAK

Pipa baja karbon rentan korosi sehingga memerlukan lapisan pelindung (*coating*) tahan karat. Penelitian ini membahas pengaruh *coating epoxy* dan galvanis terhadap laju korosi pada lingkungan H₂SO₄ (98%), HCl (32%), dan NaCl (10%). Sebanyak 18 *specimen* (*coating* galvanis, *epoxy*, dan tanpa *coating*) direndam dalam ketiga larutan selama 168 jam, lalu diuji secara visual (kamera Canon E1100D) dan *weight loss* (timbangan analitik). Hasil visual menunjukkan *coating* galvanis memiliki luasan korosi lebih sedikit pada lingkungan H₂SO₄ dan NaCl sedangkan pada larutan HCl seluruh *specimen* mengalami korosi penuh. Uji *weight loss* menunjukkan pada larutan H₂SO₄, laju korosi galvanis 14,5448 mpy sedangkan *coating epoxy* 94,2452 mpy, pada larutan HCl, galvanis 489,3485 mpy dan *epoxy* 394,7184 mpy; pada larutan NaCl *coating* galvanis 5,3369 mpy sedangkan *coating epoxy* 3,6205 mpy. *Specimen* tanpa *coating* memiliki laju korosi tertinggi di semua lingkungan (H₂SO₄: 137,8941 mpy; HCl: 1782,6374 mpy; NaCl: 14,4092 mpy). Disimpulkan bahwa *coating epoxy* lebih efektif menekan laju korosi pada lingkungan HCl dan NaCl, sedangkan *coating* galvanis lebih efektif pada lingkungan H₂SO₄. Hasil ini dapat menjadi pedoman industri dalam memilih jenis *coating* sesuai kondisi lingkungan operasional.

Kata Kunci: Korosi, *Coating*, Galvanis, *Epoxy*, API 5L Gr. B.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CORROSION
RESISTANCE OF API 5L Gr. B PIPES WITH GALVANIZED AND
EPOXY COATINGS IN ENVIRONMENTS CONTAINING
SOLUTION OF H₂SO₄ (98%), HCl (32%), AND NaCl (10%)**

MUHAMMAD

ABSTRACT

Carbon steel pipes are prone to corrosion and require rust-resistant protective coatings. This study investigated the effects of epoxy and galvanized coatings on corrosion rates in H₂SO₄ (98%), HCl (32%), and NaCl (10%) environments. Eighteen specimens (galvanized, epoxy-coated, and uncoated) were immersed in the three solutions for 168 hours, then assessed through visual inspection (Canon E1100D camera) and weight loss testing (analytical balance). Visual results showed galvanized coatings had smaller corroded areas in H₂SO₄ and NaCl environments, while all specimens in HCl underwent complete corrosion. Weight loss testing revealed: in H₂SO₄, galvanized specimens had a corrosion rate of 14.5448 mpy versus 94.2452 mpy for epoxy; in HCl, galvanized specimens showed 489.3485 mpy versus 394.7184 mpy for epoxy; in NaCl, galvanized specimens had 5.3369 mpy versus 3.6205 mpy for epoxy. Uncoated specimens showed the highest corrosion rates across all environments (H₂SO₄: 137.8941 mpy; HCl: 1,782.6374 mpy; NaCl: 14.4092 mpy). The study concluded that epoxy coatings are more effective in suppressing corrosion in HCl and NaCl environments, while galvanized coatings perform better in H₂SO₄ environments. These findings provide practical guidance for industries in selecting appropriate coating types based on specific operational environmental conditions.

Keywords: Corrosion, Coating, Galvanizing, Epoxy, API 5L Gr. B.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Material API 5L Gr. B.....	5
2.2 Korosi	6
2.2.1 Jenis Korosi	6
2.2.2 Laju Korosi	7
2.3 <i>Galvanizing</i>	7
2.2.3 Macam-Macam Metode <i>Galvanizing</i>	7
2.4 <i>Epoxy</i>	8
2.5 Larutan NaCl	8
2.6 Larutan H ₂ SO ₄	9
2.7 Larutan HCl	9
2.8 Pengujian Visual	10
2.9 Pengujian <i>Weight Loss</i>	10
2.10 Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>	11
2.11 <i>Pull Off Test</i>	12

2.12 Uji ANOVA	12
2.13 Penelitian Sebelumnya	13
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Diagram Alir.....	15
3.2 Identifikasi Masalah.....	16
3.3 Perumusan Masalah.....	16
3.4 Pengumpulan Data	16
3.5 Persiapan Alat Dan Bahan.....	16
3.6 Proses <i>Coating</i> Metode <i>Hot Dip Galvanizing</i>	18
3.7 Proses <i>Coating Epoxy</i>	19
3.8 Pengukuran Tebal <i>Coating</i>	20
3.9 Penimbangan Awal Berat <i>Specimen</i>	20
3.10 Pengujian Awal <i>Pull Off</i>	20
3.11 Perendaman <i>Specimen</i> Pada Larutan Korosif	20
3.12 Pembersihan <i>Specimen</i>	21
3.13 Pengujian Visual.....	22
3.14 Penimbangan Akhir	22
3.15 Perhitungan Laju Korosi	22
3.16 Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>	23
3.17 Pengujian Akhir <i>Pull Off</i>	23
3.18 Analisis Dan Pembahasan	24
3.19 Kesimpulan Dan Saran.....	24
3.20 Jadwal Penelitian.....	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Hasil Proses <i>Coating</i>	27
4.1.1 <i>Coating Galvanis</i>	27
4.1.2 <i>Coating Epoxy</i>	28
4.2 Hasil Pengujian <i>Specimen Non Treatment</i> Korosi	29
4.2.1 Hasil Pengujian <i>Dry Film thickness</i>	29
4.2.2 Hasil pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>	30
4.2.3 Hasil Pengujian <i>Pull Off</i>	32
4.3 Hasil Pengujian <i>Specimen Treatment</i> Korosi	35
4.3.1 Hasil Pengujian Visual	35

4.3.2 Pengujian <i>Weight loss</i>	44
4.3.3 Hasil <i>Pull Off Test</i>	49
4.3.4 Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>	55
4.3.5 Hasil Pengujian Anova	58
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN.....	67

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>	12
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 3. 2 Dimensi <i>Specimen</i>	18
Gambar 4. 1 Specimen Galvanis	27
Gambar 4. 2 Specimen <i>Epoxy</i>	28
Gambar 4. 3 Rangkaian Sirkuit $R_s - (CPE \parallel R_p)$	30
Gambar 4. 4 Grafik EIS pada <i>specimen E2</i>	31
Gambar 4. 5 Grafik EIS pada <i>specimen G1</i>	31
Gambar 4. 6 Degradasi <i>Zinc</i> dan <i>Polymer coating</i>	32
Gambar 4. 7 Alat <i>PosiTest AT-M Adhesion Tester</i>	33
Gambar 4. 8 Diagram Luasan Korosi	40
Gambar 4. 9 Proses Kerusakan <i>Polyester</i> dan <i>Zinc</i>	43
Gambar 4. 10 SEM Larutan H_2SO_4 5%	44
Gambar 4. 11 SEM Larutan HCl 5%	44
Gambar 4. 12 Diagram Nilai Laju korosi.....	46
Gambar 4. 13 Alat <i>PosiTest AT-M Adhesion Tester</i>	49
Gambar 4. 14 Diagram Nilai <i>Pull Off Test</i>	50
Gambar 4. 15 Proses Kerusakan <i>Polyester</i> Dan <i>Zinc</i>	51
Gambar 4. 16 Proses Kerusakan <i>Polyester</i> Dan <i>Zinc</i>	55
Gambar 4. 17 Grafik EIS pada <i>specimen EA1</i>	55
Gambar 4. 18 Grafik EIS pada <i>specimen GA1</i>	55
Gambar 4. 19 Grafik EIS pada <i>specimen GS1</i>	56

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Tensile Requirment</i> Pada Pipa Baja API 5L Gr. B.....	5
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Pada Pipa Baja API 5L Gr. B	5
Tabel 2. 3 Penilaian Laju Korosi	7
Tabel 2. 4 Sifat Fisik dan Kimia H ₂ SO ₄	9
Tabel 2. 5 Penelitian Sebelumnya	13
Tabel 3. 1 Penamaan <i>Specimen</i>	20
Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian.....	24
Tabel 4. 1 Nilai Dry Film Thikcness	29
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kuantitatif Pull Off	33
Tabel 4. 3 Luasan Korosi	34
Tabel 4. 4 Scale and Description of Rust Ratings	36
Tabel 4. 5 Luasan Korosi	37
Tabel 4. 6 Rating Laju Korosi	45
Tabel 4. 7 Laju Korosi.....	45
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Kuantitatif Pull Off	50
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Kualitatif Pull Off	52
Tabel 4. 10 Presentase Kegagalan Adhesive	54
Tabel 4. 11 Parameter listrik.....	57
Tabel 4. 12 Pengujian Normalitas	58
Tabel 4. 13 Pengujian Homogenitas.....	59
Tabel 4. 14 Pengujian Two Ways ANOVA.....	59

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam industri modern baja merupakan salah satu komoditas yang banyak digunakan. Mengingat sifat baja yang kuat dan tangguh dalam pemenuhan kebutuhan dunia industri saat ini. Akan tetapi baja juga memiliki kelemahan yaitu korosi. Korosi merupakan reaksi kebalikan dari reaksi pemurnian logam. Korosi memiliki sifat yang merusak pada logam. Seperti halnya kayu yang keropos karena rayap. Baja juga dapat keropos karena adanya korosi. Hal ini akan menjadi masalah besar bahkan membahayakan keselamatan manusia apabila terjadinya korosi pada objek vital seperti jembatan, *lift*, dan tabung gas. Mengingat penggunaan baja sudah sangat melekat pada kebutuhan manusia modern (Afandi, 2015).

Pada era saat ini sudah beragam cara untuk mencegah dan mengatasi terjadinya korosi pada baja. Salah satu teknik pencegahan korosi yang paling umum digunakan adalah metode *coating*. *Coating* merupakan pelapisan tipis pada permukaan untuk melindungi suatu objek. Dalam konteks korosi *coating* berfungsi sebagai pelindung permukaan baja dari paparan oksigen. Artinya permukaan baja dibuat kedap udara agar tidak terekspos langsung terhadap oksigen (Ali et al., 2019). Dalam proses *coating* memerlukan adanya persiapan sebelum dilakukan *coating* yaitu proses pembersihan permukaan material dengan metode manual seperti digosok menggunakan kertas gosok atau metode modern seperti *sand blasting*, *vapor blasting* dan pembersihan dengan larutan kimia. Pembersihan permukaan ini penting karena ada hubungannya terhadap daya rekat *coating* dengan material yang di *coating* (Anam et al., 2024).

Pada era saat ini sudah banyak variasi *coating* baja seperti pengecatan, electroplating, galvanizing, dan anodizing. Metode *galvanizing* merupakan salah satu metode yang dapat mencegah terjadinya korosi pada permukaan baja. *Galvanizing* memanfaatkan sifat tahan korosi pada material *Zinc* dengan cara melelehkan material *Zinc* pada tungku sampai mencapai temperatur 450°C. Kemudian mencelupkan baja yang akan dilakukan *coating* pada *furnace* yang berisi cairan *Zinc* (Marcell et al., 2021). Metode yang kedua yang paling banyak

digunakan adalah metode pengecatan. Metode ini banyak digunakan karena alat, bahan dan prosesnya yang tergolong mudah karena dalam proses pengecatan hanya memerlukan cat dan kuas/*spray gun* (Afandi, 2015).

Pada penelitian sebelumnya jenis *coating galvanis* dan *epoxy* sudah cukup banyak digunakan sebagai salah satu metode untuk menurunkan laju korosi. Pada jenis *coating galvanis* metode *hot dip* mendapatkan nilai ketahanan terhadap laju korosi sebesar 49,35 mpy pada kondisi lingkungan dengan larutan H_2SO_4 dengan waktu pengujian berlangsung selama 5 hari (Wahyudi & Fahrudin, 2017). Pada penelitian jenis *coating epoxy* pada lingkungan HCl memiliki laju korosi 3,04 mmpy sedangkan pada material yang tidak diberi *coating* mendapat nilai laju korosi 727,48 mmpy. Untuk lingkungan H_2SO_4 untuk yang diberi *coating* memiliki nilai laju korosi 29,50 mmpy dan untuk yang tidak diberi *coating* memiliki nilai laju korosi 1392,20 mmpy (Suharyadi et al., 2025).

Berdasarkan penelitian sebelumnya belum ada jurnal yang membandingkan secara langsung laju korosi dan ketahanan *coating* pada jenis *coating galvanis* dan *epoxy* pada lingkungan asam yang ekstrem. Pada penelitian kali ini peneliti sedang membahas tentang permasalahan korosi yang terjadi pada perusahaan pipa yang mengalami permasalahan korosi pada pipa penyalur larutan HCl, NaCl, dan H_2SO_4 pada jenis pipa API 5L Gr. B. Selama ini perusahaan pipa belum menerapkan *coating* pada instalasi pipa sehingga terjadi korosi yang cukup parah pada seluruh permukaan pipa akibat dari larutan HCl, NaCl, dan H_2SO_4 . Sehingga peneliti akan membandingkan laju korosi pada pipa yang diberi jenis *coating hot dip galvanizing* menggunakan bahan *Zinc* dengan pipa yang diberi *coating* dengan bahan *epoxy* pada lingkungan dengan larutan NaCl (10%), HCl (32%) dan H_2SO_4 (98%).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah yang dikemukakan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi *coating hot dip galvanis* dan *spray epoxy* terhadap laju korosi dan ketahanan *coating* pada larutan NaCl (10%)?
2. Bagaimana pengaruh variasi *coating hot dip galvanis* dan *spray epoxy* terhadap laju korosi dan ketahanan *coating* pada larutan H_2SO_4 (98%)?

3. Bagaimana pengaruh variasi *coating hot dip galvanis* dan *spray epoxy* terhadap laju korosi dan ketahanan *coating* pada larutan HCl (32%)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain:

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi *coating hot dip galvanis* dan *spray epoxy* pada larutan NaCl (10%) terhadap laju korosi dan ketahanan *coating*.
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi *coating hot dip galvanis* dan *spray epoxy* pada larutan H₂SO₄ (98%) terhadap laju korosi dan ketahanan *coating*.
3. Untuk menganalisis pengaruh variasi *coating hot dip galvanis* dan *spray epoxy* pada larutan HCl (32%) terhadap laju korosi dan ketahanan *coating*.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi mahasiswa penelitian ini dapat memperdalam keilmuan tentang jenis *coating galvanis* dan *epoxy* terhadap laju korosi.
2. Bagi institusi dapat menambah jurnal referensi ilmiah mengenai *coating galvanis* dan *epoxy* terhadap laju korosi.
3. Bagi perusahaan dapat menjadi dasar pemilihan jenis *coating* yang sesuai dengan jenis lingkungan guna untuk mencegah kerusakan dan kerugian bagi perusahaan.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan masalah dan agar tujuan penelitian ini terarah, maka perlu dirumuskan Batasan masalah sebagai berikut :

1. Jenis material yang digunakan sebagai *specimen* pengujian 1 adalah Pipa API 3" 5L Gr. B yang sudah dilakukan *coating galvanis*.
2. Jenis material yang digunakan sebagai *specimen* pengujian 2 adalah Pipa API 3" 5L Gr. B yang sudah dilakukan *coating epoxy*.
3. Jenis material yang digunakan sebagai *specimen* pengujian 3 adalah Pipa API 3" 5L Gr. B tanpa diberi *coating*.
4. Tebal pipa API 5L Gr. B sebesar 5,49 mm.

5. Tebal masing-masing *coating* minimum adalah 70 μm (Tunggal) dan minimum 78 μm (rata-rata) (ASTM A53, 2002).
6. Larutan HCl memiliki kandungan 32%.
7. Larutan NaCl memiliki kandungan 10%.
8. Larutan H₂SO₄ memiliki kandungan 98%.
9. Pengujian korosi dilakukan dengan mencelupkan *specimen* selama 168 jam pada tiap variasi larutan.
10. Pembersihan *specimen* setelah proses korosi menggunakan: 50 gr NaOH, 200 gr Zinc, dan 1000ml air .
11. Pengujian korosi menggunakan metode Visual, *Weight Loss*, *Electrochemical Impedance Spectroscopy*, dan *Pull Off Test*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material API 5L Gr. B

Pipa baja API 5L Gr. B merupakan jenis pipa baja yang memiliki spesifikasi 5L yang artinya pipa ini digunakan pada *offshore pipelines*. Grade B menunjukkan bahwa pipa ini memiliki izin dioperasikan pada tekanan 35000 psi atau 241 MPa yang tertera pada Tabel 2.1. Pipa jenis ini biasa digunakan pada pipa penyaluran tekanan minyak dan gas bertekanan. Pipa baja API 5L Gr. B banyak digunakan pada industri sebagai penyalur minyak, gas, dan air bertekanan yang ekonomis dan efisien (Ramadani, 2016).

Tabel 2. 1 *Tensile requirment* pada pipa baja API 5L Gr. B

Grade	Yield Strenght (Minimum)		Ultimate Tensile Stress (Minimum)	
	psi	MPa	psi	MPa
A25	25000	172	45000	310
A	30000	207	48000	331
B	35000	241	60000	414

Sumber: (API 5L, 2004)

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia pada pipa baja API 5L Gr. B

Grade	Carbon (Max)	Manganese (Max)	Phosphorus		Sulfur (Max)	Titanium (Max)
			Minimum	Maximum		
Welded						
A25,C1 I	0.21	0.6	0.045	0.03	0.03	
A25,C1 II	0.21	0.6	0.045	0.08	0.03	
A	0.22	0.9	0.045	0.03	0.03	
B	0.26	1.2	0.045	0.03	0.03	0.04
Seamless						
A25,C1 I	0.21	0.6	0.045	0.03	0.03	
A25,C1 II	0.21	0.6	0.045	0.08	0.03	
A	0.22	0.9	0.045	0.03	0.03	
B	0.28	1.2	0.045	0.03	0.03	0.04

Sumber: (API 5L, 2004)

Berdasarkan Tabel 2.2 Pipa API 5L Gr. B termasuk dalam jenis material *low carbon* yang meiliki kandungan *carbon* sebesar 0.28%, kandungan *magnesium* 1.2%, kandungan *sulfur* dan *phosphor* maksimum 0.03% (*seamless*), untuk (*welded*) kandungan *carbon* 0,26%, kandungan *magnesium* 1.2%, kandungan *phosphor* dan *sulfur* maksimum 0.03% (Ramadani et al., 2016).

2.2 Korosi

Korosi merupakan penurunan kualitas pada logam akibat reaksi dari logam atau paduan logam yang bereaksi dengan lingkungan, korosi memiliki beberapa jenis mulai dari korosi yang tersebar rata pada seluruh bagian logam atau korosi yang terpusat pada satu titik, beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya korosi seperti kelembapan, temperatur, pH, dan ion klorida. Faktor-faktor tersebut dapat menjadi faktor yang memperpendek umur pakai pipa, resiko kebocoran, dan peningkatan laju korosi (Imadudin, 2021).

2.2.1 Jenis Korosi

Beberapa korosi yang sering terdapat pada sistem perpipaan sebagai berikut:

1. Korosi seragam merupakan jenis yang terjadi pada permukaan logam secara menyeluruh akibat dari reaksi kimia dari pH air yang rendah dan udara lembab, sehingga dapat mengurangi tebal pipa.
2. Korosi sumuran merupakan jenis korosi yang disebabkan oleh perbedaan komposisi logam yang berbeda sehingga muncul korosi sumuran pada daerah batas paduan logam.
3. Korosi *galvanic* merupakan jenis korosi yang terjadi pada dua logam yang memiliki beda potensial pada satu elektrolit, logam memiliki nilai *anodic* lebih rendah akan terkorosi.
4. Korosi erosi merupakan korosi yang terjadi pada aliran fluida yang kuat dan reaksi elektrokimia, serta dapat juga terjadi pada benda yang bergerak cepat didalam fluida.
5. Korosi tegangan merupakan korosi yang terjadi akibat adanya perubahan pada butiran logam yang berubah bentuk akibat ada perlakuan khusus (ditekuk, diregang) atau benda mendapatkan beban, butiran ini dapat mudah bereaksi dengan lingkungan.
6. Korosi celah merupakan jenis korosi yang sering dijumpai pada celah, sela-sela dua logam, dan ulir baut akibat adanya endapan kotoran pada celah.
7. Korosi selektif merupakan korosi yang berhubungan larutan satu atau lebih dari suatu paduan logam (Simon et al., 2025).

2.2.2 Laju Korosi

Laju korosi merupakan hilangnya logam pada permukaan tertentu dalam satuan waktu. Laju korosi pada umumnya menggunakan satuan *mils per year* (mpy). Satuan *mils per year* (mpy) sama dengan 0,0001 inch. Berikut merupakan Tabel 2.3 hubungan ketahanan korosi dengan laju korosi (Simon et al., 2025).

Tabel 2. 3 Penilaian Laju Korosi

Korosi Relatif	Laju Korosi		
	mpy	mmpy	µm/yr
Sangat baik	<1	<0,02	<25
Baik	1-5	0,02-0,1	25-100
Cukup	5-20	0,1-0,5	100-500
Kurang	20-50	0,5-1	500-1000
Buruk	50-200	1-5	1000-5000
Sangat buruk	>200	>5	>5000

Sumber: (Simon et al., 2025)

2.3 Galvanizing

Galvanizing merupakan salah satu metode pelapisan pada besi atau logam menggunakan pelapis *Zinc* dengan tujuan mencegah terjadinya korosi (Wahyudi & Fahrudin, 2017). *Galvanizing* memiliki dua fungsi pelindung pertama *galvanizing* sebagai lapisan proteksi sebab *galvanizing* memiliki ikatan metalurgi yang tangguh dengan *base material* yang seluruhnya terlapisi oleh *Zinc* sehingga dapat mencegah serangan korosi, fungsi kedua sebagai anoda korban. *Zinc* dapat berperan sebagai anoda korban sehingga dapat meminimalisir resiko diskontinuitas dan kerusakan pada *base material* (Royani et al., 2019).

2.2.3 Macam-Macam Metode *Galvanizing*

Beberapa macam metode penambahan *coating galvanis* pada material sebagai berikut:

1. *Hot dip galvanizing*

Hot dip galvanizing merupakan metode penambahan *coating Zinc* pada *base material* dengan menecelupkan *base material* pada larutan *Zinc* panas. Hasil pencelupan bergantung pada temperatur larutan *Zinc* dan durasi pencelupan *base material* pada larutan galvanis. Pencelupan dengan waktu yang sebentar mendapatkan hasil *coating* yang tipis dan kurat merekat dan jika waktu pencelupan terlalu lama menyebabkan hasil yang kusam pada permukaan galvanis. Durasi

pencelupan yang sesuai dapat menghasilkan ketebalan galvanis yang sesuai dan ketahanan korosi yang baik (Wahyudi & Fahrudin, 2017).

2. *Electroplating galvanis*

Electroplating galvanis merupakan metode penambahan *coating* dengan mengalirkan arus listrik pada *treatment bath galvanizing* sehingga partikel-partikel Zinc akan menempel pada *base material*. Dua buah plat besi dihubungkan dengan kutub positif dan negatif menggunakan arus *direct current* sehingga partikel Zinc akan menempel pada *base material* (Wahyudi & Fahrudin, 2017).

2.4 *Epoxy*

Resin *epoxy* atau biasa dikenal dengan sebutan bahan *epoxy* merupakan jenis polimer yang masuk jenis *thermoset* yang dihasilkan dari proses polimerisasi kondensasi yang termasuk dalam jenis plastik yang tidak dapat dibentuk kembali setelah proses pengeringan. Resin *epoxy* memiliki sifat: Berstruktur *armorf*, tidak bisa dilelehkan, tidak dapat didaur ulang, dan atom atomnya berikatan kuat sekali. Resin *epoxy* memiliki kelebihan: Tahan terhadap bahan kimia, Tahan terhadap temperatur tinggi, Mudah dimodifikasi pembuatannya, Memiliki sifat mekanik yang baik, dan Memiliki sifat *insulator* (Ali et al., 2019).

Epoxy merupakan jenis polimer yang paling banyak digunakan untuk pelapisan. Pada umumnya memiliki bentuk cairan dan bubuk. *Epoxy* memiliki ketahanan *adhesi* yang baik sehingga memiliki ketahanan yang baik untuk melindungi *base material* terhadap korosi. Resin *epoxy* menjadi jenis *coating* yang sering digunakan karena memiliki beberapa keunggulan. Pertama tidak membutuhkan tingkat kekasaran spesifik pada *substrat*, Kedua dapat dicampurkan dengan *curing agents*, *pigmen*, dan *binder* untuk memperoleh sifat yang dibutuhkan (Ali et al., 2019).

2.5 Larutan NaCl

Natrium klorida atau biasa disebut dengan garam dapur merupakan senyawa yang memiliki rumus kimia NaCl. Larutan NaCl memiliki perbandingan natrium dan klorida 1:1. Serta memiliki massa molar masing- masing 22,99 dan 35,45 g/mol. Pada 100 gram NaCl memiliki kandungan natrium 39,34 gram dan

kandungan klorida 60,66 gram. Senyawa NaCl merupakan senyawa yang paling berpengaruh pada salinitas air laut dan *eskraseluler* pada organisme *multiseluler*.(Sinaga et al., 2020).

2.6 Larutan H₂SO₄

Asam sulfat merupakan jenis asam mineral anorganik yang termasuk dalam asam kuat. Asam sulfat dapat larut dengan air pada semua kondisi kepekatan. Asam sulfat memiliki banyak fungsi seperti produksi baja, produksi biji mineral, sintesis kimia, pengolahan air limbah, dan proses pemurnian dalam kilang minyak. Sifat asam kuat dari asam sulfat memiliki sifat korosif pada benda organik. Spesifikasi detail pada larutan tertera pada Tabel 2.4 (Atma, 2015).

Tabel 2. 4 Sifat fisik dan kimia H₂SO₄

Spesifikasi	Keterangan
Rumus molekul	H ₂ SO ₄
Bentuk	Liquid
Warna	Bening
Bau	Berbau
Keasaman	2,148
Titik Didih	336,85°C
Titik Leleh	10,31°C
Kelarutan	548gr/100mL
Spesifik Gravity	1,84 (Air=1)
Berat Molekul	98,08
Viskositas	2,4-2,9 cP

Sumber : (Atma, 2015)

2.7 Larutan HCl

Asam Klorida merupakan jenis produk kimia yang termasuk dalam jenis aquatic dari gas *hydrogen chloride*. Asam klorida memiliki bau yang sangat menyengat dan masuk dalam kategori limbah berbahaya atau kinbah B3. Industri pada umumnya memproduksi asam klorida dengan konsentrasi maksimum 38%. Mengingat sifat asam klorida yang memiliki tekanan uap yang tinggi yang dapat menyulitkan dalam penyimpanan larutan. Asam klorida merupakan asam *monoprotic* yang artinya hanya dapat berdisosiasi melepas H⁺ cuma sekali. Dalam larutan asam sulfat ion H⁺ bergabung dengan air dan menghasilkan ion hydronium H₃O⁺ yang tertetera pada Persamaan 2.1 (Sinurat, 2023).



Jenis asam yang kuat dan banyak dipakai berbagai sektor industri. Asam klorida termasuk dalam jenis larutan yang korosif apabila terkena kulit atau mata dan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan apabila penggunaannya tidak benar. Dalam industri pada umumnya asam klorida banyak digunakan sebagai zat kimia pelarut pada industri pupuk, bahan kimia, dan farmasi (Sinurat, 2023).

2.8 Pengujian Visual

Pengujian visual meliputi pengamatan pada seluruh permukaan *specimen* yang telah mengalami korosi setelah proses *treatment*. Pengamatan visual memberikan informasi tentang jenis korosi dan *specimen* mana yang mengalami korosi yang paling terpengaruh. Pada pengujian visual tidak didapatkan hasil data kuantitatif tentang bagaimana laju korosi. Meskipun tidak memperoleh data secara kuantitatif peneliti dapat gambaran tentang bagian mana dan seberapa berpengaruh korosi terjadi sehingga dapat memperoleh langkah dan strategi untuk dapat mengurangi laju korosi (Arwati, 2024).

2.9 Pengujian Weight Loss

Pengujian *weight loss* merupakan jenis pengujian korosi yang paling sederhana. *Specimen* yang belum dilakukan *treatment* sebelumnya akan diuji dengan ditimbang untuk mengetahui massa sebelum dan dilakukan penimbangan massa setelah dilakukan *treatment* untuk mengetahui selisih dari berat sebelum dan sesudah. Metode *weight loss* digunakan untuk menghitung jumlah kehilangan berat sesudah *treatment*. Metode ini dapat menghitung laju korosi dengan dengan metode yang terdapat pada Persamaan 2.2 (Hijrahanisa, 2024).

$$mpy = \frac{K \times W}{A_s \times D \times T} \quad (2.2)$$

Keterangan:

K = Konstanta ($3,45 \times 10^6$)

W = Kehilangan berat (gram)

D = Densitas (gram/cm³)

A_s = Luas permukaan terendam (cm²)

T = Waktu (jam)

Pengurangan berat pada laju korosi dapat dihitung dengan menimbang sebelum *treatment* dan sesudah proses *treatment* menggunakan persamaan berikut:

$$W = W_0 - W_a$$

Keterangan :

W = Pengurangan berat

W_0 = Berat awal *specimen*

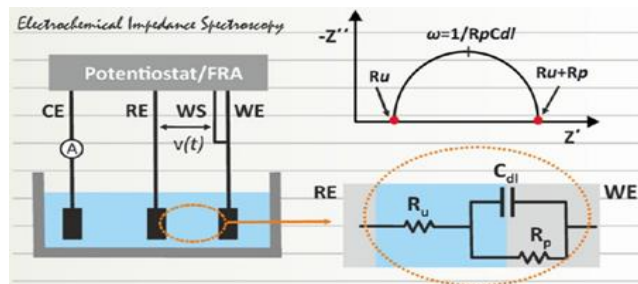
W_a = Berat akhir *specimen*

Sumber: (Hijrahanisa, 2024)

2.10 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy*

Electrochemical impedance spectroscopy merupakan pengujian yang kompleks dalam penelitian. EIS merupakan metode untuk menganalisa respon suatu elektroda terkorosi terhadap sinyal potensial AC pada amplitudo rendah (10mV) dari rentang frekuensi yang sangat lebar. Impendansi adalah kebalikan dari arus bolak-balik (AC) dalam sistem yang kompleks. Untuk mendapatkan data dari pengujian EIS perlu untuk menerapkan potensial AC ke perangkat elektronik, mengukur respons arus AC, serta merekam perubahan pada fasa dan amplitude pada rentang frekuensi tertentu (Naufal Ajhar, 2024).

Terdapat dua metode untuk memplot spektrum impedansi. Metode pertama yaitu dengan metode *plot bode*. Metode ini menghasilkan semua informasi yang dengan jelas. Dalam penataan kapasitor dan resistor dalam posisi yang sejajar. Metode yang kedua adalah metode *Nyquist*. Pada *plot Nyquist* lebih kompleks dibandingkan dengan *plot bode*. Akan tetapi *plot Nyquist* lebih umum digunakan karena penggunaannya lebih praktis. salah satu penyebab kenapa *plot Nyquist* lebih kompleks karena lebih sensitif terhadap perubahan. Pada *plot Nyquist* sinyal pada respon arus AC dipisahkan menjadi komponen imajiner dan impedansi real dalam ruang uang kompleks. Komponen imajiner dilambangkan dengan sumbu vertikal (Z) dan komponen impedansi dilambangkan dengan sumbu horizontal (X). perolehan data yang lebih jauh dari asal akan dikaitkan dengan spektrum frekuensi yang lebih kecil sedangkan pada perolehan data yang lebih dekat dengan asal akan dikaitkan dengan spektrum frekuensi yang lebih besar. Detail gambar perangkat terdapat pada Gambar 2.1 (Naufal Ajhar, 2024).



Gambar 2. 1 *Electrochemical Impedance Spectroscopy*
(Lazanas & Prodromidis, 2023)

2.11 Pull Off Test

Pull Off Test salah satu jenis pengujian yang mengukur kekuatan *adhesi* pada *coating* terhadap *substrat*. Dalam pengujian *pull of test* prinsip yang digunakan adalah dengan menempelkan benda uji dengan *dolly*. Pada permukaan *dolly* dan *specimen* akan diberikan lem untuk kemudian didiamkan untuk beberapa saat kemudian *dolly* dan *specimen* akan ditarik untuk dipisahkan. Dari pengujian ini dapat memperoleh data berupa kekuatan *coating*. Pengujian jenis ini tergolong pengujian yang sederhana dan ekonomis sehingga banyak digunakan dalam pengukuran kekuatan *coating* (Jihan Alldzi Khoir, 2023).

2.12 Uji ANOVA

Uji anova merupakan jenis Teknik statistik yang digunakan sebagai pembandingan pada dua atau lebih data kelompok. Tujuan dari membandingkan adalah untuk mengetahui apakah dua atau lebih kelompok memiliki nilai rata-rata yang signifikan. Uji anova memiliki dua jenis yaitu anova satu arah dan anova dua arah. Pada jenis anova satu arah digunakan untuk membandingkan dua kelompok data. Jenis anova ini merupakan pengembangan dari Uji t.

Uji anova dua arah adalah Teknik menganalisa dengan mencari pengaruh dari dua variabel independen dan satu variabel dependen dan menilai interaksi pada kedua variabel independen tersebut. Pada pengujian anova dua arah hanya memiliki satu observasi pada suatu ruang lingkup (Raihan Nuraditya Pratama, 2024).

2.13 Penelitian Sebelumnya

Untuk membantu dalam pengambilan Kesimpulan dan pengambilan refresnsi dalam penentuan jenis pengujian yang sesuai, penulis mengumpulkan bebeapa jurnal penelitian sebelumnya pada Tabel 2.5:

Tabel 2. 5 Penelitian Sebelumnya

1	Peneliti	Ari Wibawa Budi Santosa, Reimigius Baskatara Bungkan, Ocrid Mursid (2022)
	Judul Penelitian	Analisa Pengaruh Metode <i>Hot Dip Galvanizing</i> dengan Variasi Temperatur dan Waktu Pencelupan Terhadap Laju Korosi Pipa Air Laut
	Metode	Metode Penelitian Kuantitatif
	Hasil Penelitian	Hasil dari penelitian ini adalah bahwa laju korosi baja non galvanis sebesar 1,81462 mmpy. Laju korosi teroptimal dari masing-masing variasi temperatur dengan penggunaan metode <i>Hot Dip Galvanizing</i> pada 440°C waktu pencelupan 6 menit sebesar 0,01796 mmpy, pada 455 °C waktu pencelupan 6 menit sebesar 0,01289 mmpy, dan pada 480°C waktu pencelupan 4 menit sebesar 0,0074 mmpy. Berdasarkan data tersebut penggunaan metode pelapisan Hot Dip Galvanizing mampu mengurangi laju korosi yang terjadi pada baja AISI 1020.
	Variabel	Variabel independen: Temperatur dan Waktu Pencelupan Variabel dependen: Laju Korosi Pipa
	Indeks	Sinta 2
2	Peneliti	Tubagus Hidayatullah Cahayaa, Kardimanb, Iwan Nugraha Gusniarc (2024)
	Judul Penelitian	Pengaruh waktu celup hot dip <i>galvanize</i> pada baja karbon astm a516 grade 70 terhadap ketahanan laju korosi menggunakan metode <i>weight loss</i> variasi ph air
	Metode	Metode Penelitian Kuantitatif
	Hasil Penelitian	Hasil dan kesimpulan dari penelitian ini Adalah lama waktu pencelupan pelapisan, ketebalan lapisan, serta variasi pH air sebagai media uji korosif. Dari penelitian ini didapatkan hasil pengujian pH dan salinitas air media uji korosif sangat berpengaruh pada nilai laju korosi dengan ditandai hasil laju korosi (mpy) terbesar terjadi pada medua uji air laut dengan nilai rerata 6,45 mpy dengan kriteria relatif ketahanan korosi pada stage good. Sedangkan nilai laju korosi terendah dengan nilai laju korosisebesar 0,63 mpy terjadi pada media korosi air tanah dengan kriteria relatif ketahanan korosi pada stage outstanding lama waktu pencelupan pelapisan, ketebalan lapisan, serta variasi pH air sebagai media uji korosif. Dari penelitian ini didapatkan hasil pengujian pH dan salinitas air media uji korosif sangat berpengaruh pada nilai laju korosi dengan ditandai hasil laju korosi (mpy) terbesar terjadi pada medua uji air laut dengan nilai rerata 6,45 mpy dengan kriteria relatif ketahanan korosi pada stage good. Sedangkan nilai laju korosi terendah dengan nilai laju korosisebesar 0,63 mpy terjadi pada media korosi air tanah dengan kriteria relatif ketahanan korosi pada stage outstanding
	Variabel	Variabel independen: ph air Variabel dependen: ketahanan laju korosi
	Indeks	Sinta 5
3	Peneliti	Yoyok Wahyudi, A'rasy Fahrudin (2016)

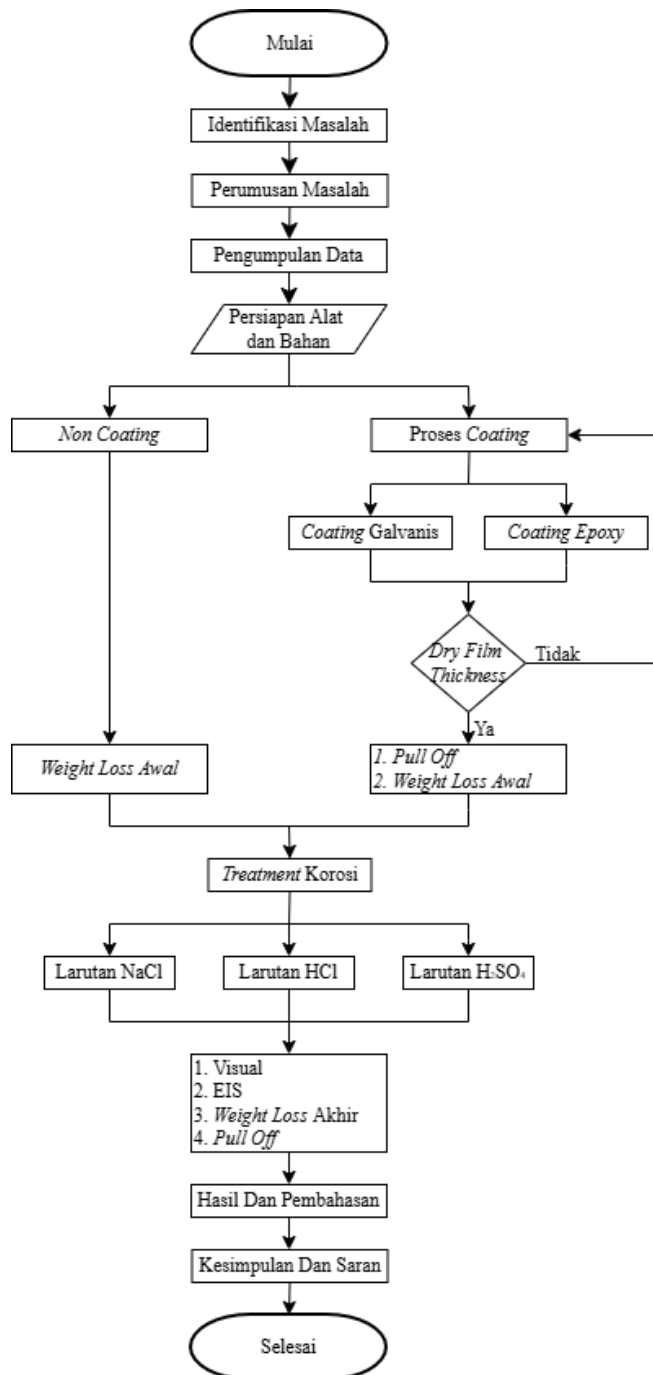
	Judul Penelitian	Analisa Perbandingan Pelapisan Galvanis Elektroplating Dengan Hot Dip Galvanizing Terhadap Ketahanan Korosi Dan Kekerasan Pada Baja
	Metode	Metode Penelitian Kuantitatif
	Hasil Penelitian	Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan terhadap hasil pengujian kekerasan dan laju korosi pada baja karbon JIS3101ss400 terhadap larutan asam sulfat (H_2SO_4). Dari hasil pengujian kekerasan material galvanis elektroplating nilai kekerasannya lebih keras yaitu, Nilai kekerasan lapisan galvanis elektroplating yang mencapai 200,1 VHN lebih keras dibandingkan dengan logam dasar 193,8 VHN maupun pada hot dip galvanis 1 menit 184,1 VHN, hot dip galvanis 3 menit 157,1 VHN, hot dip galvanis 131,7 VHN. Sedangkan laju korosi terbesar terjadi pada pelapisan elektroplating galvanis 5 menit dengan waktu pengujian selama 5 hari, yaitu 479,11 mpy; 347,18 mpy; 458,03 mpy, sedangkan laju korosi terkecil terjadi pada pelapisan galvanis hot dip 49,35 mpy; 64,23 mpy; 65,47 mpy
	Variabel	Variabel independen: <i>hot dip galvanizing dan electroplating</i> Variabel dependen: laju korosi dan kekerasan
	Indeks	Sinta 4
4	Peneliti	Makanjuola Oki, Kayode Oki, John Otaigbe, Samuel Otikor (2013)
	Judul Penelitian	Pencegahan korosi aluminium dalam asam klorida oleh resin <i>epoxy</i> yang dimodifikasi dengan amina
	Metode	Metode Penelitian Kuantitatif
	Hasil Penelitian	Hasil penelitian ini terdapat penurunan korosi aluminium dalam larutan HCl 1 M mencapai 92% pada 30°C dan 83% pada 60°C dengan konsentrasi inhibitor 100 ppm. Laju korosi pada konsentrasi ini adalah $3,0 \times 10^{-2}$ dan $1,5 \times 10^{-1}$ mm/tahun pada 30°C dan 60°C. Untuk <i>specimen</i> dalam HCl tanpa inhibitor pada periode perendaman 10 jam, laju korosi masing-masing sebesar $3,8 \times 10^{-1}$ dan $8,6 \times 10^{-1}$ mm/tahun pada 30°C dan 60°C. Data yang diperoleh sesuai dengan isoterma Langmuir.
	Variabel	Variabel independen: <i>Epoxy</i> dan Amina Variabel dependen: Laju Korosi
	Indeks	Sinta 4
5	Peneliti	Hafid Suharyadi, Kasturil, Susilo Handoko, Burhanudin Hasan, Daniswara Hasta Pratama (2025)
	Judul Penelitian	Perilaku Korosi Baja Karbon yang Dilapisi dengan <i>Epoxy</i> Grafen dalam Larutan yang Berbeda
	Metode	Metode Penelitian Kuantitatif
	Hasil Penelitian	Hasil penelitian menunjukkan bahwa Hasil eksperimen menunjukkan bahwa laju korosi terendah terdapat pada <i>epoxy</i> grafen pada lingkungan HCl memiliki laju korosi 3,04 mmpy sedangkan pada material yang tidak diberi <i>coating</i> mendapat nilai laju korosi 727.48 mmpy. Untuk lingkungan H_2SO_4 untuk yang diberi <i>coating</i> memiliki nilai laju korosi 29.50 mmpy dan untuk yang tidak diberi <i>coating</i> memiliki nilai 1392,20 mmpy.
	Variabel	Variabel independen: <i>Epoxy</i> , Jenis lingkungan. Variabel dependen Laju Korosi
	Indeks	Sinta 4

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Urutan langkah pada penelitian Tugas Akhir ini sesuai dengan diagram alir pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Identifikasi Masalah

Pada tahapan identifikasi masalah peneliti melakukan pada saat *on the job training* di lapangan secara sengaja, terarah, terencana, dan sistematis sesuai dengan tujuan yang akan dicapai dengan mencatat dan mengamati seluruh kejadian dan peristiwa yang terjadi selama proses identifikasi masalah yang mengacu pada ketentuan penelitian.

3.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan hasil dari perolehan identifikasi masalah, studi literatur, dan studi lapangan didapatkan judul penelitian tugas akhir yang diangkat sebagai sebagai topik penelitian dengan judul: ANALISIS PERBANDINGAN KETAHANAN KOROSI PIPA API 5L GR B DENGAN *COATING* GALVANIS DAN *EPOXY* PADA LINGKUNGAN DENGAN LARUTAN H_2SO_4 (98%), HCl (32%), DAN NaCl (10%) dengan variasi jenis pengujian visual, *weight loss*, *electrochemical impedance spectroscopy*, dan *Pull Off*.

3.4 Pengumpulan Data

Dalam pengerjaan Tugas Akhir diperlukan pengumpulan data mengenai korosi dan material yang tercantum pada pada ASTM A53, ASTM G1, API 5L, ASTM A123, dan lain sebagainya. Dibutuhkan juga jurnal-jurnal serta tugas akhir sebelumnya yang terkait dengan *coating* dan korosi sebagai referensi dalam penelitian. Serta diskusi dan bimbingan dengan praktisi yang terkait juga diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir.

3.5 Persiapan Alat Dan Bahan

A. Persiapan Peralatan

Dalam proses penelitian diperlukan alat penunjang yang membantu dalam proses pembuatan, pengukuran, dan keselamatan pada proses sebelum dan sesudah *treatment* korosi dan *coating*

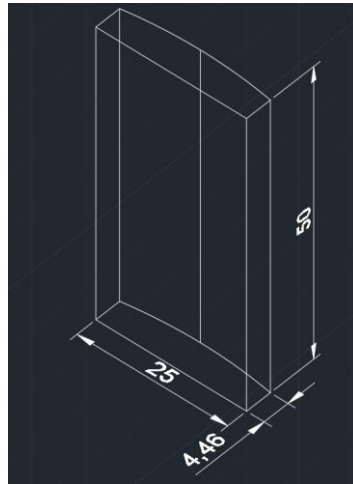
1. Bak Galvanis
2. *Spray Gun*
3. Kompresor Angin
4. Mesin Bubut

5. Pipet Ukur
6. Wadah Kaca
7. Oven
8. *Bunsen Burner*
9. Mesin Frais
10. Peralatan Ukur :
 - a. Mistar Besi
 - b. Jangka Sorong
 - c. *Coating Thickness*
 - d. *Thickness caliper*
11. Peralatan Bantu
 - a. Kamera (*Handphone*)
 - b. Kertas Gosok
 - c. Gerinda
12. Alat Pelindung Diri
 - a. Kacamata
 - b. Sarung Tangan Karet
 - c. Masker

B. Persiapan Material

Jenis material yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir adalah material pipa API 5L Gr. B. material pipa dipotong menjadi plat kecil sejumlah 18 pcs. Setiap *specimen* dibentuk menjadi ukuran 25 mm x 50 mm x 5,49 mm (ASTM G31, 1999). Dikarenakan diperlukan perataan permukaan *specimen* karena adanya pengujian *Pull Off* maka pada satu sisi *specimen* dilakukan pemangkasan tebal material hingga 1,03 mm menggunakan mesin frais sehingga dimensi *specimen* menjadi 25 mm x 50 mm x 4,46 mm dapat dilihat pada Gambar 3.2. Pada setiap *specimen* dilakukan penghalusan permukaan menggunakan kertas gosok. Kemudian *specimen* dilakukan proses *pickling* yaitu proses pencelupan *specimen* pada larutan HCl. Tujuan dari proses *pickling* adalah menghilangkan sisa kerak dan pengotor pada permukaan *specimen*. Kemudian material diangkat kemudian lanjut

ke pencucian menggunakan air sabun dan dibilas menggunakan air mengalir supaya material bersih sebelum dilakukan *treatment*.



Gambar 3. 2 Dimensi *Specimen*

3.6 Proses *Coating Metode Hot Dip Galvanizing*

Menurut standar (ASTM A123/A123M, 2013). Terdapat 3 tahapan utama dalam proses *coating hot dip galvanizing*. Tahapan pertama adalah proses *degreasing* yaitu dengan merendam *specimen* dengan larutan NaOH 5% dengan temperatur 70°C selama 600 detik. Dalam proses *degreasing* dibantu dengan sendok untuk mengaduk larutan dan mengontrol temperatur larutan. Tujuan dari proses *degreasing* adalah menghilangkan zat pengotor seperti minyak, cat, dan kotoran padat lainnya. Kemudian dilanjutkan dengan proses *rinsing* pertama yaitu proses pembilasan *specimen* dengan air mengalir hingga bersih dari larutan NaOH. *Specimen* lanjut pada proses *pickling* yaitu proses perendaman *specimen* pada larutan HCl 10% dengan temperatur 60°C selama 600 detik. Tujuan dari proses *pickling* adalah menghilangkan lapisan korosi yang terdapat pada *specimen* dan menghilangkan lapisan oksida yang dapat menyebabkan korosi baru. Penggunaan sendok digunakan untuk mencampur larutan dan menjaga temperatur ideal pada larutan.

Specimen lanjut ke proses *rinsing* dengan membilaskan air mengalir pada *specimen* untuk membersihkan *specimen* dari larutan HCl. Kemudian lanjut ke tahap berikutnya adalah tahap *fluxing* yaitu tahapan pencelupan *specimen* pada larutan *Zinc ammonium chloride* (ZAC) dengan tujuan membantu proses perekatan

Zinc. Pada proses *fluxing specimen* dicelupkan pada larutan *Zinc ammonium chloride* pada temperatur 60°C selama 300 detik. Diperlukan sendok untuk mengaduk dan menjaga kestabilan temperatur larutan. Pada tahap akhir seluruh *specimen* yang akan diuji dikeringkan dengan oven pada temperatur 100°C proses ini disebut dengan proses *drying*

Tahap kedua adalah proses pencelupan pada larutan *Zinc*. *Specimen* dibagi menjadi 6 *specimen*. Proses pencelupan menggunakan larutan *Zinc* dengan temperatur 455°C selama 5 menit. Waktu pencelupan berpengaruh terhadap hasil tebal *coating*. Sesuai dengan *standards* (ASTM A53, 2002). Mengatur pada tebal minimum *coating* adalah sebesar 78 µm. Kemudian lanjut ke tahap pendinginan atau disebut dengan tahapan *quenching*. *Specimen* yang sudah melalui proses *hot dip galvanizing* dicelupkan pada larutan sodium bikarbonat dengan konsentrasi 0,015% dalam air. Proses ini bertujuan untuk mengurangi terjadinya *white rust* (Karat Putih) pada permukaan *specimen* (Wibawa et al., 2022).

3.7 Proses *Coating Epoxy*

Proses *coating epoxy* menggunakan produk dari belkote *epoxy 2k primer surfacer*. Persiapan pada permukaan material yang akan dilakukan proses pengaplikasian *epoxy* dengan membersihkan permukaan menggunakan kertas gosok ukuran no. 220-320. Setelah membersihkan permukaan dengan kertas gosok dilanjutkan dengan mencampur belkote *epoxy 2k primer surfacer* dengan *Hardener Epoxy Primer (HighBuild)* dan *AXT Express Reducer* dengan perbandingan 4:1:2. Pada penelitian ini menggunakan *epoxy primer* 100 ml, *hardener* 25 ml, dan *reducer* 50 ml.

Tahapan kedua adalah proses pengaplikasian *epoxy* pada permukaan dengan menggunakan *spray gun* dengan ukuran *nozzle* 1,3 mm – 1,8 mm dengan minimum tekanan pada kompresor sebesar 1.7-2.2 bar. Proses pengaplikasian dilakukan sebanyak 2 *layer*. Setelah proses pengaplikasian pada *layer* pertama *epoxy* dibiarkan untuk kering selama 20 menit kemudian dilakukan proses pengaplikasian *layer* kedua.

Tahapan ketiga adalah proses pengukuran pada tebal *coating* dengan minimum tebal *coating* sebesar 78 µm. Dalam kasus ini tebal sengaja dibuat sama dengan

specimen galvanis untuk mengetahui ketahanan dari jenis *coating* bukan pengaruh dari tebal *coating* (TDS BELKOTE, 2024).

3.8 Pengukuran Tebal *Coating*

Sebelum *specimen* dilakukan *treatment*. *Specimen* perlu untuk dilakukan pengujian pada tebal *coating* menggunakan *dry film thickness*. Tebal minimum yang perlu dicapai pada masing-masing jenis *coating* menurut standar (ASTM A53, 2002) adalah sebesar 78 μm secara rata-rata. Peneliti mengambil 3 titik pada pengukuran ketebalan *coating* yang kemudian akan dijumlah dan dijadikan rata-rata pada tiap jenis *coating*.

3.9 Penimbangan Awal Berat *Specimen*

Seluruh *specimen* yang sudah di *coating* galvanis dan *epoxy* akan ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui berat awal *specimen* sebelum proses *treatment* pada *specimen*. Penimbangan menggunakan timbangan analitis pada laboratorium kimia Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

3.10 Pengujian Awal *Pull Off*

Pada *specimen* yang sudah diberi *coating* galvanis dan *epoxy* akan dilakukan pengujian *Pull Off* untuk mengetahui nilai *adhesivitas* pada masing-masing jenis *coating*. Pengujian mengacu pada standar (ASTM D4541, 2017). Pengujian dilakukan pada permukaan *specimen* dengan menempelkan *dolly* pada permukaan *specimen*. *Dolly* berukuran 20 mm akan ditempelkan menggunakan lem *araldite* pada permukaan *specimen*. *Specimen* didiamkan selama 12 jam hingga lem mengering. Kemudian *dolly* akan dilepaskan dengan *specimen* untuk mengetahui nilai *adhesivitas* pada *coating*.

3.11 Perendaman *Specimen* Pada Larutan Korosif

Tabel 3. 1 Penamaan *Specimen*

Jenis <i>Coating</i>	Larutan Korosif	Kode <i>Specimen</i>
Galvanis	NaCl	Ga1,Ga2
	HCl	Gc1,Gc2
	H ₂ SO ₄	Gs1,Gs2
	N/A	G1,G2
<i>Epoxy</i>	NaCl	Ea1,Ea2
	HCl	Ec1,Ec2
	H ₂ SO ₄	Es1,Es2
	N/A	E1,E2

Jenis <i>Coating</i>	Larutan Korosif	Kode <i>Specimen</i>
Tanpa <i>Coating</i>	NaCl	NaI
	HCl	NcI
	H ₂ SO ₄	NsI

Larutan korosif yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan NaCl 10%, H₂SO₄ 98%, dan HCl 32%. Proses perendaman dilakukan pada piring kaca ukuran diameter 24 cm sejumlah 6 pcs yang digunakan sebagai tempat *treatment* korosi. Pembagian tempat dibagi menjadi 6 piring. Setiap piring diisi dengan 2 *specimen*. 3 piring berisi *specimen* jenis *coating* galvanis, 3 piring diisi dengan jenis *coating epoxy*, dan 3 piring berisi *specimen* tanpa *coating* sesuai dengan Tabel 3.1 diatas.

Mengacu pada standar (ASTM G31, 1999). Volume minimal larutan korosif yang dibutuhkan untuk pelaksanaan pengujian adalah sebesar 0,20 ml/mm². dengan jumlah luasan *specimen* sebesar 3.049 mm². maka diperlukan larutan korosif sebesar 609,8 ml pada tiap *specimen*. Dikarenakan pada tiap piring terdapat 2 *specimen* maka pada setiap piring diisi dengan larutan korosif sebesar 1.219,6 ml.

Kemudian *specimen epoxy* dan galvanis direndam pada larutan korosif dalam masing -masing piring yang berisi larutan NaCl 10%, HCl 32%, dan H₂SO₄ 98% dengan waktu perendaman selama 168 jam.

3.12 Pembersihan *Specimen*

Pengangkatan dan pembersihan *specimen* dilakukan setelah *specimen* dilakukan proses *treatment* korosi selama 168 jam dalam media korosif. *Specimen* yang sudah diangkat perlu untuk dibersihkan pada bagian permukaannya, untuk *specimen* galvanis sesuai dengan standar (ASTM G1, 1999). Pembersihan material menggunakan 100 gram *ammonium chloride* yang dilarutkan pada 1000 ml air kemudian dipanaskan hingga temperatur 70°C. *specimen* dimasukkan pada larutan *ammonium chloride* selama 2-5 menit.

Pada pembersihan jenis *coating epoxy* menggunakan 3,5 gram *hexamethylene tetramine* dan 500 mL *hydrochloric acid* pada temperatur 20-25°C *specimen* dicelupkan dan ditahan selama 10 menit. Setelah semua *specimen* melalui proses pembersihan. Seluruh *specimen* dibilas menggunakan air mengalir untuk membersihkan bahan kimia yang melekat pada permukaan *specimen*. Kemudian dilanjutkan untuk proses pengeringan dengan memanaskan *specimen* dengan oven pada temperatur 100°C hingga kering.

3.13 Pengujian Visual

Pengujian visual dilakukan setelah *specimen* dibersihkan dari kontaminasi larutan *treatment*. Pengamatan visual yang dilakukan adalah pengamatan secara makro. Informasi yang didapatkan setelah melakukan identifikasi pada *specimen* berupa jenis korosi yang timbul dari *treatment* korosi. Yang kedua data berupa *specimen* yang mengalami korosi dari yang paling berat hingga yang paling ringan. Kemudian data berupa perubahan bentuk dan warna dari *specimen* yang telah melalui *treatment* korosi. Data dan informasi dari pengujian ini akan dijadikan gambaran awal dan perbandingan untuk pengujian selanjutnya.

3.14 Penimbangan Akhir

Setelah *specimen* telah melalui proses *treatment* korosi dan *specimen* sudah melalui proses pembersihan sesuai dengan standar ASTM G1, *specimen* dilakukan proses penimbangan ulang pada laboratorium kimia Polteknik Perkapalan Negeri Surabaya menggunakan timbangan analitik. Tujuan dari penimbangan adalah untuk mengetahui selisih dari berat diawal dan berat diakhir dari *specimen*. Sehingga bisa diketahui jumlah berat yang hilang selama proses *treatment korosi*.

3.15 Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi dilakukan dengan metode *weight loss*. Data didapatkan dari penimbangan awal *specimen* sebelum dilakukan *treatment* korosi dan penimbangan akhir setelah dilakukan *treatment* korosi. Perhitungan nilai laju korosi berdasarkan rumus yang terdapat pada (ASTM G31, 1999) pada Persamaan 3.1

$$mpy = \frac{K \times W}{As \times D \times T} \quad (3.1)$$

Pada persamaan diatas perhitungan laju korosi menggunakan satuan *milimeter per year* (mmpy). Huruf K pada rumus merupakan konstanta yang memiliki nilai tetap sebesar $8,76 \times 10^4$. Huruf W merupakan selisih berat dari penimbangan awal dan akhir *specimen* menggunakan satuan gram. As adalah luas permukaan *specimen* yang terendam pada larutan korosif. D merupakan densitas dari *specimen* menggunakan satuan gram/cm^3 . T merupakan lama waktu perendaman dalam larutan korosif dinyatakan dengan satuan jam.

3.16 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy*

Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* mengacu pada standar (ASTM D8370, 2022). Dilakukan pada laboratorium kimia Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Dalam pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* menggunakan 3 jenis elektroda yang memiliki fungsi masing-masing. *Working electrode* merupakan elektroda yang berfungsi sebagai tempat oksidasi atau reduksi analit. *Reference electrode* merupakan elektroda yang berfungsi untuk mengukur potensial elektroda kerja. *Counter electrode* berfungsi untuk mengukur arus reaksi dari oksidasi atau reduksi. Seluruh elektroda dihubungkan dengan *potensiostat*. Sebelum pengujian dimulai *specimen* perlu untuk direndam terlebih dahulu dengan larutan elektrolit selama 1 hingga 24 jam proses ini disebut dengan *hydration time*.

Pada pengujian ini Peneliti menggunakan gelas *beaker* ukuran 500 ml sebagai tempat pengujian. *Specimen* yang telah melalui proses *treatment* korosi dihubungkan dengan *working electrode* kemudian dimasukkan ke dalam gelas beaker yang berisi larutan elektrolit sejumlah 200 ml. Jenis elektrolit yang dipakai adalah NaCl 3%. Untuk *counter electrode* menggunakan bahan karbon atau *graphite* yang memiliki konduktivitas listrik yang baik. Seluruh elektroda dan *specimen* harus tercelup sebagian pada larutan elektrolit. Pengujian dilakukan pada rentang rekuensi 0,01 Hz sampai 10.000 Hz dengan input impedance sebesar $10^{11}\Omega$. Voltase yang digunakan sebesar 5 V dengan rentang arus ± 100 pA sampai ± 10 mA dengan menghubungkan sumber listrik AC. Durasi pengujian adalah 3 menit. Seluruh aspek seperti frekuensi, luas permukaan *specimen*, dan durasi pengujian dimasukkan pada *software potensiostat* sebelum pengujian dimulai.

Untuk luasan *specimen* kurang dari 100 m^2 maka cukup diambil 10 sampai 20 titik. Setelah melakukan pengujian didapatkan data berupa *nyquist plot* dan *bode plot*. Data yang diperoleh dilanjutkan pada proses analisa data pada *software data analyst*.

3.17 Pengujian Akhir *Pull Off*

Pengujian *Pull Off* dilakukan dengan menggunakan *standards* dari (ASTM D4541, 2017) “*Method-Off Strength Of Coating Using Portable Adhesion Testers*”. Pada pengujian ini *standards* ASTM D4541 digunakan sebagai dasar acuan dalam

melaksanakan pengujian *Pull Off*. Pada pengujian *Pull Off specimen* akan ditempelkan dengan *dolly* berukuran 20 mm menggunakan lem jenis lem *araldite*. Kedua permukaan *specimen* dan *dolly* diberikan lem kemudian lem akan didiamkan untuk mengering selama 12 jam. Kemudian *dolly* akan dilepaskan dengan *specimen* sehingga mendapatkan data berupa *Pull Off strength* dalam satuan MPa.

3.18 Analisis Dan Pembahasan

Setelah melakukan seluruh rangkaian persiapan, pengujian dan pencatatan data maka perlu untuk melakukan proses analisis dan pembahasan dengan menggunakan metode pengujian ANOVA. Data yang diperoleh dari pengujian EIS, *Pull Off*, dan *Weight loss* akan dimasukkan berdasarkan 3 kelompok jenis *coating*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *software* SPSS untuk melakukan pengolahan data. Metode yang digunakan adalah *two way* ANOVA untuk membandingkan data dari perolehan serangkaian pengujian. Dengan begitu dapat memperoleh data berupa laju korosi dan ketahanan *coating* pada jenis *coating epoxy* dan galvanis pada lingkungan H₂SO₄ (98%), HCl (32%), dan NaCl (10%).

3.19 Kesimpulan Dan Saran

Setelah proses analisis dan pembahasan dapat diperoleh kesimpulan dan saran dari hasil penelitian. Pada penelitian kali ini adalah apakah penambahan *coating* galvanis dan *epoxy* dapat memberikan pengaruh yang signifikan pada ketahanan korosi dan ketahanan *coating* pada lingkungan H₂SO₄ (98%), HCl (32%), dan NaCl (10%). Saran yang dimaksud dituju pada peneliti selanjutnya yang akan meneliti topik yang sama dengan objek yang lebih luas sebagai bahan pertimbangan dan ide untuk memperbaiki dan memperluas penelitian sejenis.

3.20 Jadwal Penelitian

Pelaksanaan penelitian terhitung dari tahap pelaksanaan penelitian hingga tahap penyusunan Tugas Akhir. Penjadwalan diperlukan untuk memastikan pelaksanaan kegiatan penelitian dapat terlaksana secara tepat waktu dan terstruktur mengingat ada batasan waktu pengerjaan dari kampus. Rincian penjadwalan pada penelitian kali terdapat pada Tabel 3.2 sebagai pedoman waktu dalam pengerjaan.

Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan Ke-					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Literatur						
2	Perisapan alat dan bahan						
3	Proses <i>treatment</i> korosi						
4	Pengujian						
5	Analisis						
6	Kesimpulan dan saran						

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Proses *Coating*

Setelah dilakukan proses *coating Epoxy* dan galvanis didapatkan hasil visual pada permukaan pipa API 5L Gr. B yang akan dilakukan proses treatment korosi pada larutan H_2SO_4 (98%), HCl (32%), dan $NaCl$ (10%).

4.1.1 *Coating Galvanis*

Proses *coating galvanis* dimulai dari persiapan permukaan material, terdapat tiga tahapan proses dalam proses *hot dip galvanis*. Tahapan pertama merupakan proses *degreasing* dengan merendam *specimen* dengan larutan $NaOH$ 5% dengan temperatur $70^\circ C$ selama 600 detik. Tahapan kedua proses *pickling* yaitu proses perendaman dengan larutan HCl 10% dengan temperatur $60^\circ C$ selama 600 detik. Tahapan ketiga yaitu proses *rinsing* yaitu proses pembilasan *specimen* dengan *aquades*. Kemudian masuk ke proses pencelupan *specimen* pada larutan *zinc*. Proses pencelupan berlangsung selama 5 menit dengan temperatur larutan *zinc* sebesar $455^\circ C$. Berikut merupakan hasil visual pada *specimen* yang telah dilakukan proses *coating galvanis* pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 *Specimen Galvanis*

4.1.2 Coating Epoxy

Proses *coating Epoxy* menggunakan produk dari Berkote *Epoxy 2K Primer Surfacers*. Persiapan pada permukaan material yang akan dilakukan proses pengaplikasian *Epoxy* dengan membersihkan permukaan menggunakan kertas gosok ukuran no. 220. Setelah membersihkan permukaan dengan kertas gosok dilanjutkan dengan mencampur berkote *Epoxy 2k primer surfacer* dengan *Hardener Epoxy Primer (HighBuild)* dan *AXT Express Reducer* dengan perbandingan 4:1:2. Pada penelitian ini menggunakan *Epoxy primer* 100 ml, *hardener* 25 ml, dan *reducer* 50 ml.

Tahapan kedua adalah proses pengaplikasian *Epoxy* pada permukaan dengan menggunakan *spray gun* dengan ukuran *nozzle* 1,3 mm – 1,8 mm dengan minimum tekanan pada kompresor sebesar 1.7-2.2 bar. Proses pengaplikasian dilakukan sebanyak 2 *layer*. Setelah proses pengaplikasian pada *layer* pertama *Epoxy* dibiarkan untuk kering selama 20 menit kemudian dilakukan proses pengaplikasian *layer* kedua. Berikut merupakan hasil *specimen* yang telah diberi *coating Epoxy* pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Specimen Epoxy

Setelah dilakukan serangkaian proses persiapan *specimen*, *treatment* korosi pada tiga variasi larutan H_2SO_4 (98%), HCl (32%), dan NaCl (10%). Proses pengujian pada material pipa API 5L Grade. B yang sesuai dengan rancangan dan *standards* pengujian. Didapatkan beberapa data hasil pengujian dari beberapa variasi dimana data tersebut didapatkan dari pengujian *Dry Film Thickness*, visual, *weight loss*, *Pull Off Test*, dan *electrochemical impedance spectroscopy*.

4.2 Hasil Pengujian *Specimen Non Treatment* Korosi

Pengujian *Specimen Non Treatment* korosi merupakan serangkaian pengujian *specimen* yang telah dilakukan proses *coating epoxy* dan galvanis yang dilakukan pengujian meliputi *dry film thickness*, *electrochemical impedance spectroscopy* dan *Pull Off Test*. Pada pengujian *destructive test* meliputi *pull off test*, *specimen* tidak dilanjutkan ke proses *treatment* korosi sedangkan *specimen* yang melalui pengujian *non destructive test* meliputi *dry film thickness* dan *electrochemical impedance spectroscopy*, *specimen* akan lanjut ke proses *treatment* korosi.

4.2.1 Hasil Pengujian *Dry Film thickness*

Pengujian *dry film thickness* bertujuan untuk mengetahui ketebalan *coating* yang diukur dari permukaan *substrat base material* sampai permukaan *coating*. Pengujian dilakukan pada tiga titik secara *random*, pengujian ini penting untuk mengontrol ketebalan *coating* pada setiap *specimen*. Hasil pengamatan pengujian *dry film thickness* dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Nilai *Dry Film Thickness*

<i>Specimen</i>	Nilai			Rata-Rata	Standard ASTM A53
	Titik 1	Titik 2	Titik 3		
<i>Coating Epoxy</i> (EA1)	91 μm	80 μm	81 μm	84 μm	Memenuhi
<i>Coating Epoxy</i> (EA2)	78 μm	90 μm	81 μm	83 μm	Memenuhi
<i>Coating Epoxy</i> (EC1)	78 μm	86 μm	79 μm	81 μm	Memenuhi
<i>Coating Epoxy</i> (EC2)	84 μm	83 μm	88 μm	85 μm	Memenuhi
<i>Coating Epoxy</i> (ES1)	84 μm	78 μm	81 μm	81 μm	Memenuhi
<i>Coating Epoxy</i> (ES2)	84 μm	89 μm	79 μm	84 μm	Memenuhi
<i>Coating Galvanis</i> (GA1)	80 μm	92 μm	86 μm	86 μm	Memenuhi
<i>Coating Galvanis</i> (GA2)	79 μm	82 μm	78 μm	80 μm	Memenuhi
<i>Coating Galvanis</i> (GC1)	84 μm	96 μm	80 μm	87 μm	Memenuhi
<i>Coating Galvanis</i> (GC2)	89 μm	78 μm	86 μm	84 μm	Memenuhi
<i>Coating Galvanis</i> (GS1)	90 μm	84 μm	78 μm	84 μm	Memenuhi
<i>Coating Galvanis</i> (GS2)	79 μm	87 μm	79 μm	82 μm	Memenuhi
<i>Coating Galvanis</i> (G1)	85 μm	88 μm	84 μm	86 μm	Memenuhi
<i>Coating Epoxy</i> (E1)	88 μm	83 μm	87 μm	86 μm	Memenuhi

Sumber: Data yang diolah, 2026

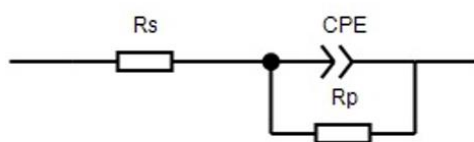
Hasil pengujian menunjukkan bahwa *specimen* dengan *coating galvanis* dan *epoxy* memiliki ketebalan *coating* dengan rata-rata 80-87 μm . Hal ini sesuai dengan rencana peneliti dimana *specimen* dengan *coating galvanis* dan *epoxy* memiliki ketebalan minimum 78 μm (ASTM A53, 2002). Dari hasil pengukuran pada 3 titik didapatkan nilai pada kedua jenis *coating* sudah di atas batas minimum ketebalan.

Pengujian ini diperkuat dengan jurnal yang membandingkan ketebalan *coating epoxy* terhadap laju korosi pada larutan NaCl 3,5% hasil penelitian

menunjukkan bahwa tebal *coating* memberikan pengaruh terhadap laju korosi (Afandi et al., 2015).

4.2.2 Hasil pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy*

Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* bertujuan untuk mengetahui ketahanan *coating epoxy* dan galvanis sebelum dan sesudah melalui proses *treatment* korosi pada larutan NaCl (10%) dan H₂SO₄ (98%). Kemudian ditambahkan juga *specimen* pembanding yaitu *specimen* yang tanpa dilakukan proses *treatment* korosi. Pada pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* dengan alat *Corrtest Electrochemical and corrosion*. Terdapat lima *specimen* dengan kode GA1, GS1, EA1, E2, dan G2, pengujian dilakukan menggunakan larutan NaCl 3,5% dengan model sirkuit $R_s - (CPE \parallel R_p)$ yang tertera pada Gambar 4.3 berikut:

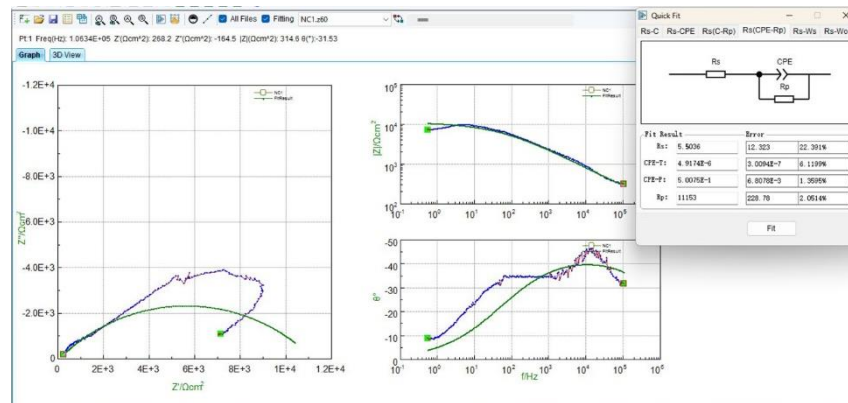


Gambar 4. 3 Rangkaian Sirkuit $R_s - (CPE \parallel R_p)$

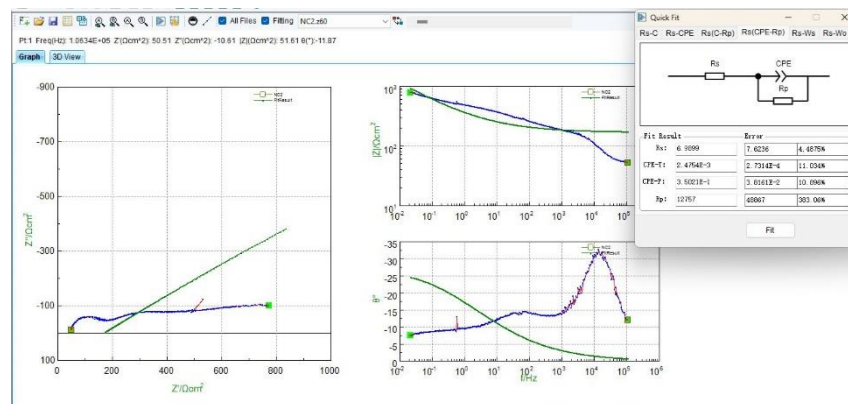
Parameter listrik yang dihasilkan berupa R_s , CPE-T, CPE-P, dan R_p parameter ini didapatkan dari jenis rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 4.5, R_s merupakan nilai tahanan larutan, semakin kecil nilai R_s maka elektrolit semakin konduktif. Nilai CPE-P menunjukkan tingkat homogenitas permukaan *specimen*, semakin mendekati nilai satu maka lapisan *specimen* semakin mulus dan homogen.

Selanjutnya untuk nilai CPE-T merupakan penilaian yang menunjukkan tingkat kerapatan molekul *coating* semakin mendekati nilai satu maka molekul *coating* akan semakin renggang. Nilai R_p/R_{CT} secara umum menunjukkan nilai hambatan dari lapisan *coating*, nilai hambatan ini menjadi parameter dari ketahanan *coating*. Jika suatu *coating* memiliki ketahanan yang tinggi maka akan menghambat transfer muatan elektron dari permukaan *specimen* ke media larutan, semakin tinggi nilai hambatan maka memiliki ketahanan *coating* yang semakin baik (Maman Kartaman Ajiriyanto, 2018).

Berikut merupakan hasil pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* pada *specimen* galvanis dan *epoxy* yang melalui tanpa *treatment* korosi pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5



Gambar 4. 4 Grafik EIS pada *specimen* E2



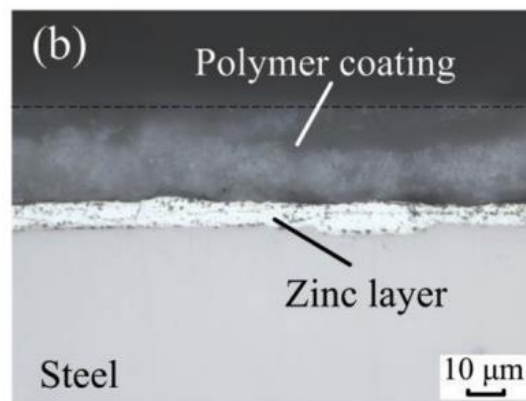
Gambar 4. 5 Grafik EIS pada *specimen* G2

Pada *specimen* jenis *coating* galvanis dan *epoxy* dengan kode *specimen* G2 dan E2 memiliki nilai RS sebesar 6,9899 Ω dan 5,5036 Ω menunjukkan bahwa nilai hambatan pada larutan NaCl 3,5% semakin rendah nilai hambatan maka kondisi larutan saat pengujian berlangsung semakin konduktif. Selanjutnya untuk nilai CPE-P pada jenis *coating epoxy* memiliki nilai sebesar 0,50075 dan untuk jenis *coating* galvanis memiliki nilai sebesar 0,30251 dari kedua hasil *coating* dapat disimpulkan bahwa jenis *coating epoxy* memiliki permukaan *coating* yang lebih rata dan homogen dibandingkan dengan galvanis.

Selanjutnya untuk nilai CPE-T dari *coating epoxy* sebesar 0,0000049174 dan jenis *coating* galvanis sebesar 0,0024754 kesimpulan dari kedua hasil bahwa jenis

coating epoxy memiliki kerapatan molekul yang lebih rapat sebesar 0,0000049174 dibandingkan dengan jenis *coating galvanis*. Selanjutnya untuk nilai hambatan RP kode EA1 didapatkan hasil nilai hambatan memiliki nilai sebesar 11.153 Ω untuk *specimen* dengan jenis *coating galvanis* dengan kode GA1 memiliki nilai tahanan sebesar 12.757 Ω dari kedua hasil *specimen* didapatkan kesimpulan bahwa jenis *coating galvanis* memiliki ketahanan *coating* yang lebih baik dikarenakan memiliki nilai tahanan yang lebih tinggi sebesar 12.757 Ω . Hasil pada pengujian *specimen* tanpa *treatment* digunakan untuk pembandingan *specimen* dengan *treatment* korosi, seberapa jauh penurunan ketahanan *coating* setelah dilakukan *treatment* korosi.

Hasil pengujian didukung dengan Penelitian terdahulu yang membahas tentang karakteristik dari jenis *coating epoxy* dengan galvanis yang dilakukan eksposur dengan larutan NaCl 3,5% dengan temperatur 50 °C selama 50 jam mendapatkan hasil bahwa jenis *coating epoxy* mengalami degradasi pada permukaan yang tertera pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Degradasi Zinc dan *Polymer coating*
Sumber: (Fan et al., 2019)

Bercak putih pada *Polymer coating* menunjukkan adanya degradasi yang terjadi pada permukaan *coating* setelah mengalami eksposur selama 50 jam, sedangkan pada lapisan *Zinc* hanya timbul titik kecil yang mengalami degradasi sumuran pada permukaan *Zinc* (Fan et al., 2019).

4.2.3 Hasil Pengujian *Pull Off*

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data pengujian *Pull Off* satu titik pada tiap *specimen*, *dolly* yang digunakan memiliki diameter 20 mm. Dengan

menggunakan mesin *Pull Off PosiTest AT-M Adhesion Tester* yang tercantum pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Alat *PosiTest AT-M Adhesion Tester*

Dalam pengujian *Pull Off* yang dilakukan pada lapisan permukaan *coating* diperoleh 2 jenis data, yakni data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif berupa *Adhesive strength* dalam satuan MPa sedangkan data kualitatif berupa pengamatan visual permukaan bekas penarikan untuk menilai luas kegagalan adhesi, dengan ini diperoleh data pengujian yang lengkap.

4.2.3.1 Hasil Kuantitatif *Pull Off* Test

Sesuai dengan *standard* ASTM D4541 pengujian menggunakan *protocol* satu yaitu dilakukan pengujian pada permukaan *coating* hingga terjadi *fracture* pada *coating*. Hasil pengujian *Pull Off* dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kuantitatif *Pull Off*

Kode <i>Specimen</i>	Jenis <i>Coating</i>	Larutan <i>Treatment</i>	Nilai Adhesi (Mpa)
G1	Galvanis	N/A	17,88 MPa
E1	Epoxy		7,81 MPa

Sumber: Data yang diolah, 2026

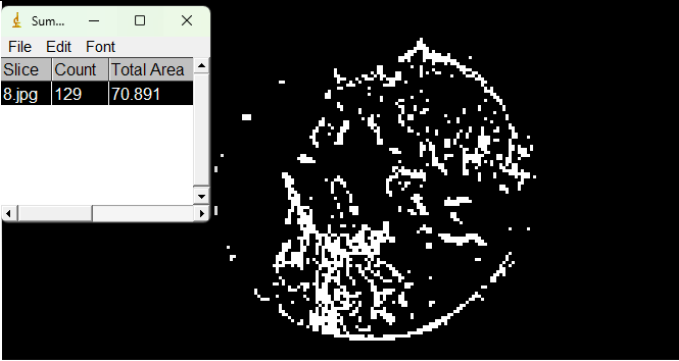
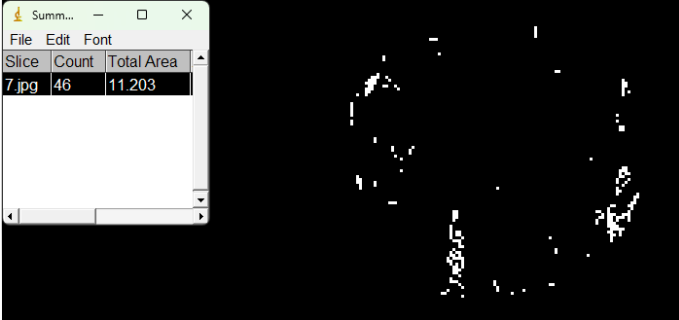
Setelah dilakukan pengujian *Pull Off* pada kedua jenis *coating* tanpa melalui proses *treatment* korosi didapatkan hasil bahwa *specimen* dengan kode G1 jenis *coating* galvanis memiliki nilai kekuatan *adhesi* sebesar 17,88 Mpa dan untuk kode *specimen* E1 dengan *coating* epoxy memiliki nilai sebesar 7,81 Mpa dari kedua hasil didapatkan kesimpulan bahwa jenis *coating* galvanis memiliki nilai kekuatan *adhesi* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan jenis *coating* epoxy selisih 10,7 Mpa.

Hasil pengujian kuantitatif *Pull Off* didukung dengan hasil penelitian sebelumnya mengenai perbandingan antara kekuatan *adhesi* antara *epoxy* (*coating Polymer*) dengan *electroplating* material nikel (*coating* logam) pada material *low carbon steel* SS400 menyatakan hasil bahwa jenis *coating epoxy* memiliki daya rekat rekat lebih rendah sebesar 1,48 Mpa sedangkan untuk jenis *coating* krom (*coating* logam) memiliki nilai sebesar 2,6 Mpa. Penggunaan panas dalam pengaplikasian *coating* logam memberikan pengaruh terhadap kekuatan nilai *adhesi coating* logam dengan substrat. (Riva et al., 2025).

4.2.3.2 Hasil Kualitatif *Pull Off* Test

Pada hasil kualitatif ini akan menunjukkan berupa hasil visual pencabutan. Berikut merupakan hasil visual yang telah dilakukan oleh peneliti menggunakan *software Image-J*. Adapun hasil pengujian *Pull Off* dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4. 3 Luasan Korosi

Kode <i>Specimen</i>	Gambar Area	<i>Adhesive Failure</i>	<i>Cohesive Failure</i>
E1		70,8 mm ² (22,5%)	243,2 mm ² (77,5%)
G1		11,2 mm ² (3,6%)	302,8 mm ² (96,4%)

Sumber: Data yang diolah, 2026

Setelah dilakukan pengujian *Pull Off* penting untuk melakukan pengamatan jenis kegagalan yang terjadi pada *layer coating* dan memastikan bahwa pengujian

dapat dinyatakan valid, syarat pengujian *Pull Off* dikatakan valid apabila tidak ada *glue failure* lebih dari $\frac{1}{4}$ luas dolly (ASTM D4541, 2017). Terdapat dua hasil dari pengamatan sisa pencabutan pada pengujian pull off. Hasil adhesive failure merupakan hasil pencabutan pengujian yang tidak meninggalkan lapisan coating dan lapisan substrat terbuka, sedangkan hasil cohesive failure merupakan hasil pencabutan yang masih menyisakan lapisan coating dan lapisan substrat masih tertutup. Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa jenis *coating epoxy* memiliki nilai *Adhesive failure* sebesar 22,5% dari luas area *dolly*, sedangkan untuk jenis *coating galvanis* memiliki nilai *Adhesive failure* sebesar 3,6% dari kedua hasil pengamatan jenis *coating galvanis* memiliki nilai kegagalan adhesi lebih kecil dibandingkan dengan jenis *coating epoxy*. Hasil pengujian lebih mempertimbangkan jenis kegagalan *adhesive* sebab jika *coating* mengalami kegagalan pada *adhesive layer* maka *coating* tidak dapat memberikan perlindungan korosi pada permukaan material.

Hasil pengujian *Pull Off* kualitatif didukung dengan pengujian terdahulu dengan variasi jenis *coating epoxy* yang dibandingkan dengan *coating* logam pada material SS400, menyatakan bahwa jenis *coating epoxy* mengalami kegagalan *Adhesive* yang lebih banyak dibandingkan dengan kegagalan *cohesive*. Sedangkan untuk jenis *coating* logam kegagalan banyak terjadi pada *cohesive* (Riva et al., 2025).

4.3 Hasil Pengujian Specimen Treatment Korosi

Pengujian *Specimen Treatment* korosi merupakan serangkaian pengujian yang meliputi visual, *weight loss*, *electrochemical impedance spectroscopy* dan *Pull Off Test* pada *specimen* yang telah melalui proses *treatment* korosi pada larutan NaCl 10%, HCl 32%, dan H₂SO₄ 98% selama 168 jam.

4.3.1 Hasil Pengujian Visual

Pengamatan visual dilakukan untuk mengetahui luasan area korosi yang terjadi pada setiap *specimen* yang telah melalui proses *treatment* korosi. *Specimen* yang diamati merupakan *specimen* yang dilapisi *coating galvanis* dan *epoxy* yang dicelupkan pada larutan NaCl 10%, HCl 32%, dan H₂SO₄ 98% selama 168 jam.

Dalam pengujian visual peneliti menggunakan *standard* ASTM D610 untuk memberikan *rust grade* terhadap luasan korosi yang terjadi pada setiap kode *specimen*, penentuan *rust grade* berdasarkan presentase luasan korosi yang terjadi yang tertera pada Tabel 4.4

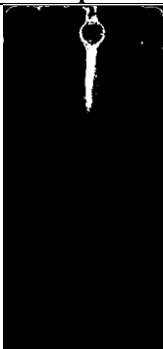
Tabel 4. 4 *Scale and Description of Rust Ratings*

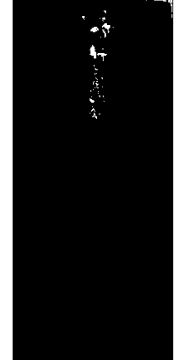
<i>Rust Grade</i>	<i>Percent of Surface Rusted</i>
10	<i>Less than or equal to 0.01 percent</i>
9	<i>Greather than 0.01 percent and up to 0.03 percent</i>
8	<i>Greather than 0.03 percent and up to 0.1 percent</i>
7	<i>Greather than 0.1 percent and up to 0.3 percent</i>
6	<i>Greather than 0.3 percent and up to 1.0 percent</i>
5	<i>Greather than 1.0 percent and up to 3.0 percent</i>
4	<i>Greather than 3.0 percent and up to 10.0 percent</i>
3	<i>Greather than 10.0 percent and up to 16.0 percent</i>
2	<i>Greather than 16.0 percent and up to 33.0 percent</i>
1	<i>Greather than 33.0 percent and up to 50.0 percent</i>
0	<i>Greather than 50.0 percent</i>

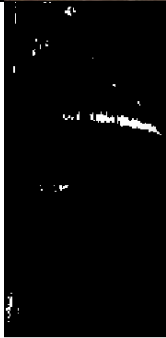
Sumber: ASTM D610

Penyajian data pada Tabel 4.5 merupakan hasil foto dari setiap *specimen*, terdapat 2 jenis foto pada Tabel 4.5, untuk foto yang memiliki warna adalah foto *specimen* yang memiliki luasan korosi penuh pada seluruh permukaan *specimen* dan *specimen* yang tidak mengalami korosi sama sekali. Untuk *specimen* yang memiliki foto hitam putih adalah foto *specimen* yang mengalami korosi pada sebagian permukaan. Metode yang digunakan menggunakan negatif *filter* untuk memberikan kontras antara permukaan yang terjadi korosi dan permukaan *coating*. Warna hitam mewakili lapisan *coating* dan untuk warna putih mewakili luasan korosi. Berikut merupakan hasil pengujian visual korosi pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5 Luasan Korosi

<i>Specimen</i>	Hasil Visual		Luasan Korosi	Grade
	Depan	Belakang		
<i>Coating Epoxy,</i> Larutan NaCl (EA1)			210,7 mm ² (8,4%)	4
<i>Coating Epoxy,</i> Larutan NaCl (EA2)			91,5 mm ² (3,7%)	4
<i>Coating Epoxy,</i> Larutan HCl (EC1)			2.500 mm ² (100%)	0
<i>Coating Epoxy,</i> Larutan HCl (EC2)			2.500 mm ² (100%)	0

Specimen	Hasil Visual		Luasan Korosi	Grade
	Depan	Belakang		
Coating Epoxy, Larutan H ₂ SO ₄ (ES1)			2.500 mm ² (100%)	0
Coating Epoxy, Larutan H ₂ SO ₄ (ES2)			2.500 mm ² (100%)	0
Coating Galvanis, Larutan NaCl (GA1)			51,5 mm ² (2,1%)	5
Coating Galvanis, Larutan NaCl (GA2)			20,1 mm ² (0,8%)	6

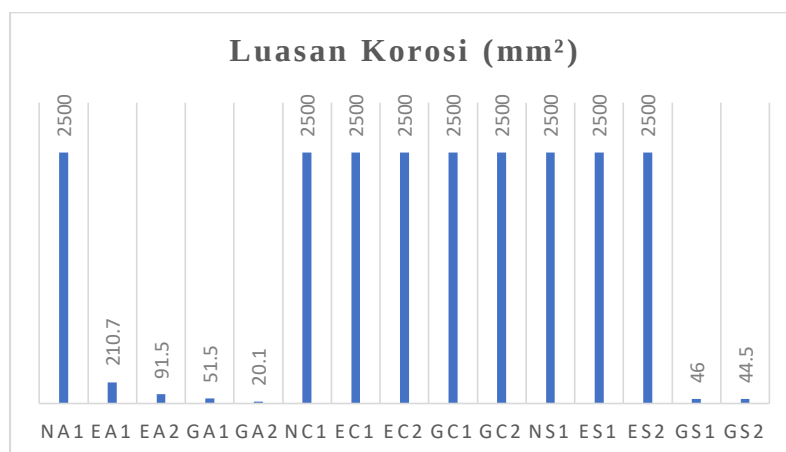
Specimen	Hasil Visual		Luasan Korosi	Grade
	Depan	Belakang		
Coating Galvanis, Larutan HCl (GC1)			2.500 mm ² (100%)	0
Coating Galvanis, Larutan HCl (GC2)			2.500 mm ² (100%)	0
Coating Galvanis, Larutan H ₂ SO ₄ (GS1)			46 mm ² (1,8%)	5
Coating Galvanis, Larutan H ₂ SO ₄ (GS2)			44,5 mm ² (1,8%)	5

Specimen	Hasil Visual		Luasan Korosi	Grade
	Depan	Belakang		
Tanpa Coating, Larutan NaCl (NA1)			2.500 mm ² (100%)	0
Tanpa Coating, Larutan HCl (NC1)			2.500 mm ² (100%)	0
Tanpa Coating, Larutan H ₂ SO ₄ (NS1)			2.500 mm ² (100%)	0

Sumber: Data yang diolah, 2026

Untuk mempermudah dalam membandingkan luasan korosi pada setiap kode *specimen* dapat dijadikan diagram batang pada setiap luasan korosi per *specimen*.

Berikut merupakan diagram hasil pada Gambar 4.8



Gambar 4. 8 Diagram Luasan Korosi

Setelah dilakukan *treatment* korosi didapatkan hasil luasan korosi yang bervariasi pada setiap *specimen*, untuk *specimen* dengan kode EA1 dan EA2 yang melalui *treatment* korosi pada larutan NaCl 10% memiliki luasan korosi 210,7 mm² dan 91,5 mm², kemudian dibandingkan jenis *coating* galvanis pada larutan yang sama yaitu pada *specimen* GA1 dan GA2 memiliki luasan korosi 51,5 mm² dan 20,1 mm². *Specimen* NA1 sebagai *specimen* pembanding dari kedua jenis *coating* galvanis dan *epoxy*. Pada kode *specimen* NA1 korosi terjadi pada seluruh permukaan *specimen* sebesar 2.500 mm². Pada kondisi dengan larutan NaCl 10% jenis *coating* galvanis lebih unggul dibandingkan jenis *coating epoxy* karena memiliki luasan korosi yang lebih kecil sebesar 51,5 mm² dan 20,1 mm².

Pada jenis larutan HCl sebesar 32% didapatkan hasil korosi yang sama pada kedua jenis *coating* yaitu memiliki luasan korosi sebesar 2.500 mm² seluruh permukaan *specimen* mengalami korosi 100%. *Specimen* NC1 merupakan *specimen* pembanding untuk *coating* galvanis dan *epoxy*. Dari semua *specimen* yang melalui *treatment* dengan larutan HCl semua *specimen* baik *coating* dan *non coating* mengalami korosi pada seluruh permukaan *specimen* dengan nilai luasan korosi sebesar 2.500 mm². Hal ini menunjukkan bahwa kedua jenis *coating* ini tidak mampu dalam memberikan perlindungan korosi sehingga seluruh permukaan *coating* terlepas dari substrat.

Untuk jenis *treatment* pada larutan H₂SO₄ 98% kode *specimen* ES1 dan ES2 memiliki hasil yang sama yaitu sebesar 2.500 mm² atau seluruh permukaan *coating epoxy* terangkat dan untuk kode *specimen* GS1 dan GS2 memiliki luasan korosi sebesar 46 mm² dan 44,5 mm². *Specimen* NS1 merupakan *specimen* pembanding dari *specimen* GS1 dan GS2. Pada *Specimen* NS1 nilai luasan korosi sebesar 2.500 mm² hasil ini sama dengan kode *specimen* GS1 dan GS2. Dari kedua hasil perbandingan antara kedua jenis *coating* didapatkan hasil yang lebih unggul pada jenis *coating* galvanis karena memiliki luasan korosi yang jauh lebih kecil sebesar 46 mm² dan 44,5 mm² dari jenis *coating epoxy*.

Berikut merupakan reaksi kimia yang terjadi ketika galvanis bertemu dengan larutan NaCl pada persamaan 4.1



Berikut merupakan reaksi kimia yang terjadi ketika galvanis bertemu dengan larutan HCl pada persamaan 4.2



Berikut merupakan reaksi kimia yang terjadi ketika galvanis bertemu dengan larutan H₂SO₄ pada persamaan 4.3



Pada reaksi yang terjadi pada larutan NaCl tidak membentuk unsur H₂ sedangkan untuk larutan HCl dan H₂SO₄ menghasilkan unsur H₂ dari hasil reaksi, dari hasil reaksi kimia dapat menjelaskan mengapa *specimen* yang melalui *treatment* dengan larutan NaCl (10%) memiliki nilai luasan yang paling rendah disebabkan oleh tidak terbentuknya unsur H₂ pada hasil reaksi.

Pengaruh unsur H₂ dijelaskan pada penelitian sebelumnya yang menjelaskan bahwa unsur hidrogen memiliki sifat dapat menghambat pembentukan lapisan pasif pada permukaan baja sehingga permukaan baja akan terus mengalami pelarutan logam yang tinggi (Wang & Jiang, 2026)

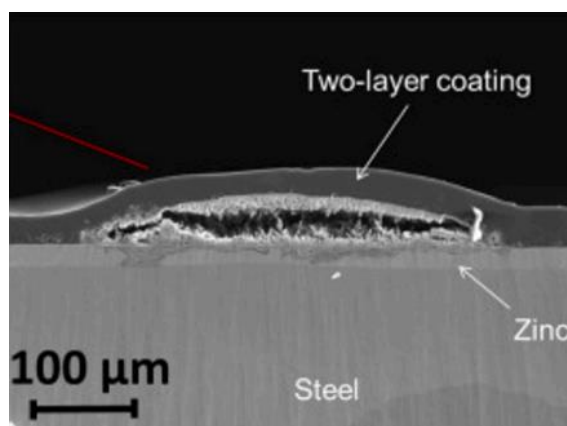
Selanjutnya untuk jenis larutan HCl dan H₂SO₄ keduanya menghasilkan unsur Hidrogen artinya baja akan sulit membentuk lapisan pasif dan akan mengalami reaksi pelarutan logam. Pada penelitian ini larutan H₂SO₄ (98%) memiliki nilai luasan korosi yang lebih rendah dibandingkan dengan larutan HCl (32%). Larutan H₂SO₄ (98%) termasuk dalam larutan yang pekat sedikit mengandung unsur air didalamnya sedangkan untuk larutan HCl (32%) mengandung lebih banyak unsur air bebas dalam kandungannya.

Pada penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa pengaruh kandungan air dalam larutan HCl dan H₂SO₄ mempengaruhi jumlah terbentuknya unsur Hidrogen, semakin banyak jumlah air yang terkandung dalam larutan HCl dan H₂SO₄ maka jumlah unsur hidrogen juga akan semakin banyak terbentuk dan akan menaikkan nilai laju korosi (Ajeel et al., 2017)

Pada larutan H₂SO₄ jenis *coating* galvanis memiliki luasan korosi sebesar 46 mm² (1,8%) dari luas total *specimen* sedangkan untuk jenis *coating epoxy* mengalami korosi seluas 2.500 mm² (100%) dari total luas *specimen*, fenomena ini dapat dijelaskan bahwa proses kerusakan *coating* jenis galvanis dimulai dari permukaan *coating* sedangkan untuk jenis *coating epoxy* proses kerusakan dimulai

melalui dalam *coating* sehingga seluruh permukaan besi terbuka dan larutan H_2SO_4 akan langsung bersentuhan langsung dengan substrat base material, proses kerusakan pada jenis *coating epoxy* seperti ular yang berganti kulit, lapisan *coating* masih ada tetapi sudah terlepas dari base material, sedangkan untuk jenis *coating* galvanis meskipun larutan H_2SO_4 sama-sama bereaksi menghasilkan unsur hidrogen yang dapat merusak logam tapi permukaan galvanis yang dikorbankan dan tidak sampai masuk ke base material.

Hasil penelitian didukung dengan penelitian terdahulu yang membahas proses kerusakan *coating* jenis *Polymer* atau *epoxy* dimulai dari dalam, *coating epoxy* memiliki sifat *water uptake* artinya memiliki sifat yang dapat menyerap larutan disekitarnya melalui pori-pori hingga mencapai lapisan substrat pada *base material* (Sabet-bokati & Plucknett, 2024). penjelasan terdapat pada Gambar 4.9

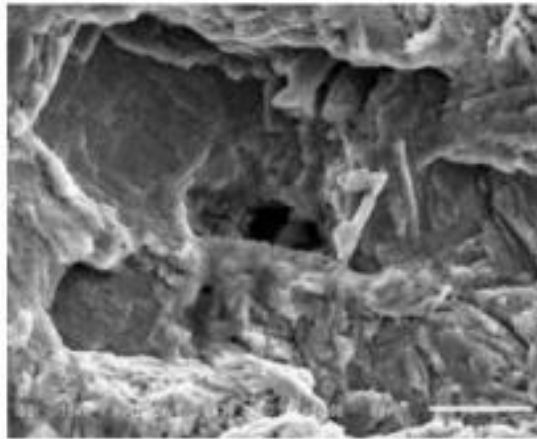


Gambar 4. 9 Proses Kerusakan *Polyester* dan *Zinc*

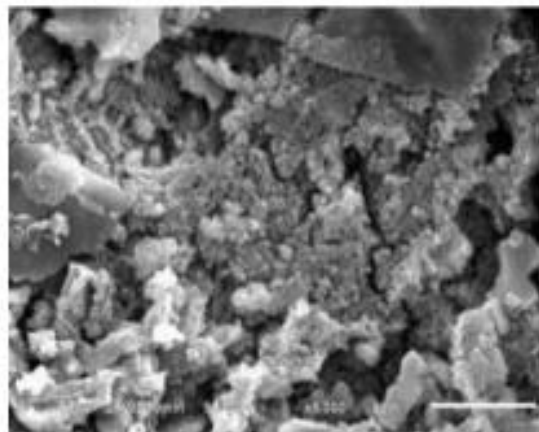
Sumber: (Sabet-bokati & Plucknett, 2024)

Hasil pengujian visual didukung dengan penelitian terdahulu yang membahas tentang korosi pada permukaan baja lunak menggunakan media korosif $NaCl$ 5%, HCl 5%, $NaOH$ 5% dan H_2SO_4 5% dengan metode *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat secara visual kerusakan yang terjadi pada permukaan baja lunak, dalam penelitian mengemukakan hasil bahwa besi yang dicelupkan pada larutan $NaCl$ 5% dan $NaOH$ 5% memiliki kestabilan lapisan, sedangkan untuk jenis larutan H_2SO_4 5% mengalami kerusakan berupa sedikit lubang pada lapisan permukaan baja lunak yang tertera pada Gambar 4.10. Untuk larutan HCl 5% merupakan larutan yang paling merusak ditandai terbentuk lebih banyak lubang-

lubang pada permukaan baja lunak yang tertera pada Gambar 4.11 (Erna & Alif, 2016).



Gambar 4. 10 SEM Larutan H₂SO₄ 5%
Sumber: (Erna & Alif, 2016)



Gambar 4. 11 SEM Larutan HCl 5%
Sumber: (Erna & Alif, 2016)

4.3.2 Pengujian *Weight loss*

Pada penelitian ini dilakukan pengujian *weight loss* dengan tujuan untuk mengetahui laju korosi pada setiap kode *specimen*, metode yang digunakan dalam pengujian *weight loss* adalah menimbang *specimen* di awal setelah dilakukan proses *coating* dan menimbang di akhir setelah proses *treatment* korosi pada 3 jenis larutan yaitu NaCl 10%, HCl 32%, dan H₂SO₄ 98%. Setelah melewati proses *treatment* korosi *specimen* akan mengalami degradasi dan pengurangan massa. Hasil dari selisih penimbangan di awal dan di akhir akan dimasukkan pada Persamaan 4.4

$$mpy = \frac{K \times W}{As \times D \times T} \quad (4.4)$$

Keterangan:

K: Konstanta ($8,76 \times 10^4$)

W: Selisih Berat (gr)

As: Luas Area (cm^2)

D: Densitas Pipa (gr/cm^3)

T: Durasi Perendaman (Hours)

Dalam menganalisis laju korosi diperlukan tabel *Rating* atau penilaian untuk menentukan tingkat laju korosi. Tabel *Rating* tersebut tersaji pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4. 6 *Rating* Laju Korosi

Korosi Relatif	Laju Korosi		
	mpy	mmpy	$\mu\text{m}/\text{yr}$
Sangat baik	<1	<0,02	<25
Baik	1-5	0,02-0,1	25-100
Cukup	5-20	0,1-0,5	100-500
Kurang	20-50	0,5-1	500-1000
Buruk	50-200	1-5	1000-5000
Sangat buruk	>200	>5	>5000

Sumber: (Simon et, al, 2025)

Setelah menjalani proses *treatment* korosi selama 168 jam didapatkan hasil selisih penimbangan pada awal dan akhir proses *treatment*. Berikut adalah selisih hasil penimbangan, hasil perhitungan laju korosi, dan *Rating* laju korosi pada Tabel 4.7

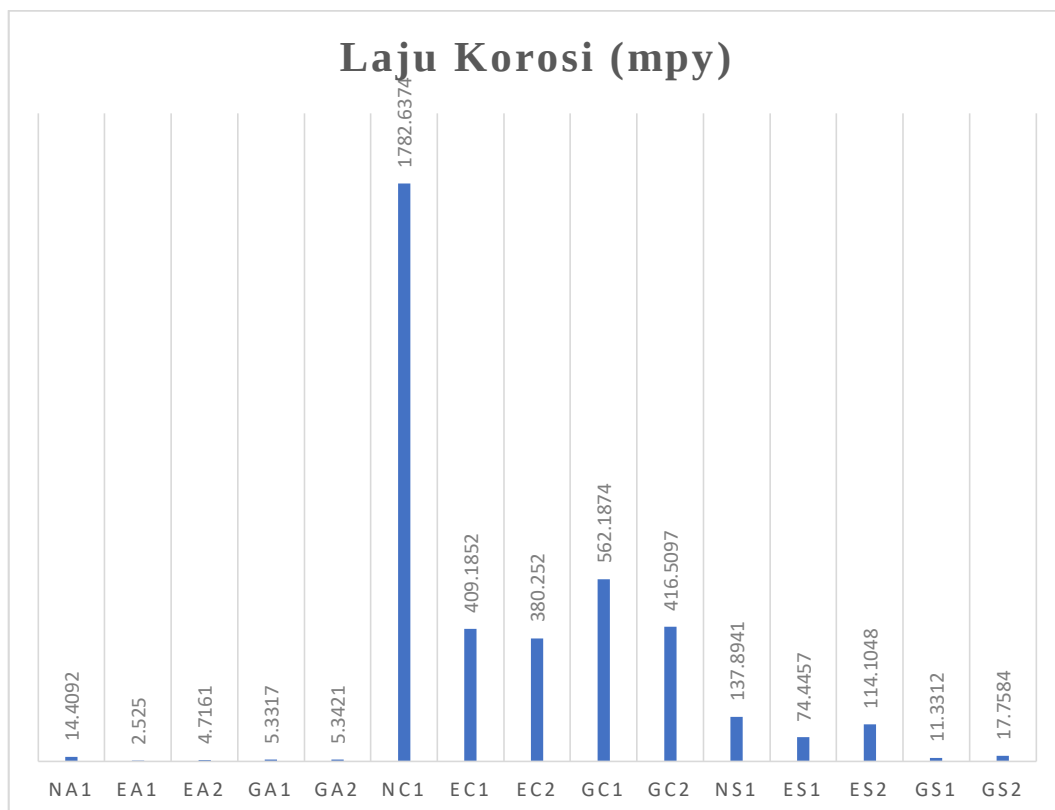
Tabel 4. 7 Laju Korosi

Kode Specimen	Hasil Penimbangan Awal (gr)	Hasil Penimbangan Akhir (gr)	Selisih (gr)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)	Rating
EA1	44,1089	44,0847	0,0242	2,5250	3,6205	Baik
EA2	45,3261	45,2809	0,0452	4,7161		Baik
EC1	42,3542	38,4325	3,9217	409,1852	394,7186	Sangat Buruk
EC2	46,4371	42,7927	3,6444	380,2520		Sangat Buruk
ES1	40,5277	39,8142	0,7135	74,4457	94,2452	Buruk
ES2	47,9752	46,8816	1,0936	114,1048		Buruk
GA1	44,8622	44,8111	0,0511	5,3317	5,3369	Cukup
GA2	45,8532	45,8020	0,0512	5,3421		Cukup
GC1	48,9917	43,6036	5,3881	562,1874	489,3485	Sangat Buruk

Kode Specimen	Hasil Penimbangan Awal (gr)	Hasil Penimbangan Akhir (gr)	Selisih (gr)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)	Rating
GC2	43,8059	39,8140	3,9919	416,5097		Sangat Buruk
GS1	45,1239	45,0153	0,1086	11,3312	14,5448	Cukup
GS2	48,6357	48,4655	0,1702	17,7584		Cukup
NA1	56,4156	56,2775	0,1381	14,4092	14,4092	Cukup
NC1	59,1953	42,1102	17,0851	1782,6374	1782,6374	Sangat Buruk
NS1	53,7442	52,4226	1,3216	137,8941	137,8941	Sangat Buruk

Sumber: Data yang diolah, 2026

Untuk mempermudah dalam menganalisis laju korosi pada setiap kode *specimen* peneliti menambahkan diagram pada Gambar 4.12 berikut:



Gambar 4. 12 Diagram Nilai Laju korosi

Pada *treatment* korosi dengan larutan NaCl 10% dengan kode *specimen* EA1 dan EA2 memiliki nilai laju korosi 2,5250 mpy dan 4,7161 mpy, kemudian untuk jenis *coating* galvanis dengan kode GA1 dan GA2 memiliki laju korosi sebesar

5,3317 mpy dan 5,3421 mpy. Dari kedua jenis *coating* tersebut, *coating epoxy* dapat dikatakan lebih unggul dibandingkan jenis *coating* galvanis dilihat dari nilai laju korosi *epoxy* sebesar 2,5250 mpy jika dibandingkan dengan *coating* galvanis yang hanya sebesar 5,3317 mpy. Selanjutnya, peneliti menambahkan *specimen* pembanding yang melalui *treatment* korosi tanpa diberi *coating* sebagai pembanding yang memiliki kode *specimen* NA1 dengan nilai laju korosi sebesar 14,4092 mpy. Dari hasil penimbangan ini, dapat dilihat pengaruh penggunaan *coating* galvanis dan *epoxy* cukup efektif dalam memberikan perlindungan terhadap korosi dengan nilai selisih sebesar 11,8842 mpy pada jenis *coating epoxy*, lalu untuk jenis galvanis memiliki selisih nilai laju korosi sebesar 9,0775 mpy jika dibandingkan dengan *specimen* tanpa *coating* kode *specimen* NA1.

Pada hasil pengujian laju korosi didukung dengan penelitian terdahulu tentang perbandingan laju korosi pada jenis *coating epoxy* dengan jenis *coating* nikel (*coating* logam) menggunakan larutan NaCl 3,5%. Menyatakan bahwa jenis *coating epoxy* memiliki laju korosi lebih rendah daripada jenis *coating* nikel sebesar 2,376 mpy sedangkan untuk jenis *coating* nikel memiliki laju korosi sebesar 54,538 mpy (Riva et al., 2025)

Selanjutnya pada *treatment* korosi dengan larutan HCl 32% dengan kode *specimen* EC1 dan EC2 memiliki nilai laju korosi 409,1852 mpy dan 380,2520 mpy, kemudian untuk jenis *coating* galvanis dengan kode GC1 dan GC2 memiliki laju korosi sebesar 562,1874 mpy dan 416,5097 mpy. Dari kedua jenis *coating* tersebut, *coating epoxy* dapat dikatakan lebih unggul dibandingkan jenis *coating* galvanis dilihat dari nilai laju korosi *epoxy* sebesar 409,1852 mpy jika dibandingkan dengan *coating* galvanis yang hanya sebesar 562,1874 mpy. Kemudian peneliti menambahkan *specimen* pembanding yang melalui *treatment* korosi tanpa diberi *coating* sebagai pembanding yang memiliki kode *specimen* NC1 dengan nilai laju korosi sebesar 1782,6374 mpy. Dari hasil penimbangan ini, dapat dilihat pengaruh penggunaan *coating* galvanis dan *epoxy* cukup efektif dalam memberikan perlindungan terhadap korosi dengan nilai selisih sebesar 1373,4522 mpy pada jenis *coating epoxy*, lalu untuk jenis galvanis memiliki selisih nilai laju korosi sebesar 1220,45 mpy jika dibandingkan dengan *specimen* tanpa *coating* kode *specimen* NC1.

Selanjutnya pada *treatment* korosi dengan larutan H₂SO₄ 98% dengan kode *specimen* ES1 dan ES2 memiliki nilai laju korosi 74,4457 mpy dan 114,1048 mpy, kemudian untuk jenis *coating* galvanis dengan kode GS1 dan GS2 memiliki laju korosi sebesar 11,3312 mpy dan 17,7584 mpy. Dari kedua jenis *coating* tersebut, *coating* galvanis dapat dikatakan lebih unggul dibandingkan jenis *coating epoxy* dilihat dari nilai laju korosi galvanis sebesar 11,3312 mpy jika dibandingkan dengan *coating epoxy* yang hanya sebesar 74,4457 mpy. Kemudian peneliti menambahkan *specimen* pembanding yang melalui *treatment* korosi tanpa diberi *coating* sebagai pembanding yang memiliki kode *specimen* NS1 dengan nilai laju korosi sebesar 137,8941 mpy. Dari hasil penimbangan ini, dapat dilihat pengaruh penggunaan *coating* galvanis dan *epoxy* cukup efektif dalam memberikan perlindungan terhadap korosi dengan nilai selisih sebesar 63,4484 mpy pada jenis *coating epoxy*, lalu untuk jenis galvanis memiliki selisih nilai laju korosi sebesar 126,5629 mpy jika dibandingkan dengan *specimen* tanpa *coating* kode *specimen* NS1.

Berikut merupakan reaksi kimia yang terjadi ketika baja bertemu dengan larutan NaCl pada persamaan 4.5



Berikut merupakan reaksi kimia yang terjadi ketika baja bertemu dengan larutan HCl pada persamaan 4.6



Berikut merupakan reaksi kimia yang terjadi ketika baja bertemu dengan larutan H₂SO₄ pada persamaan 4.7



Pada reaksi yang terjadi pada larutan NaCl tidak membentuk unsur H₂ sedangkan untuk larutan HCl dan H₂SO₄ menghasilkan unsur H₂ dari hasil reaksi, dari hasil reaksi kimia dapat menjelaskan mengapa NaCl memiliki nilai laju korosi yang paling rendah jika dibandingkan dengan larutan HCl dan H₂SO₄ disebabkan oleh tidak terbentuknya unsur H₂ pada hasil reaksi.

Pengaruh unsur H₂ dijelaskan pada penelitian sebelumnya yang menjelaskan bahwa unsur Hidrogen memiliki sifat dapat menghambat pembentukan lapisan pasif

pada permukaan baja sehingga permukaan baja akan terus mengalami pelarutan logam yang tinggi (Wang & Jiang, 2026).

Selanjutnya untuk jenis larutan HCl dan H₂SO₄ keduanya menghasilkan unsur Hidrogen artinya baja akan sulit membentuk lapisan pasif dan akan mengalami reaksi pelarutan logam. Pada penelitian ini larutan H₂SO₄ (98%) memiliki nilai laju korosi lebih rendah dibandingkan dengan larutan HCl (32%). Larutan H₂SO₄ (98%) termasuk dalam larutan yang pekat sedikit mengandung unsur air didalamnya sedangkan untuk larutan HCl (32%) mengandung lebih banyak unsur air bebas dalam kandungannya.

Pada penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa pengaruh kandungan air dalam larutan HCl dan H₂SO₄ mempengaruhi jumlah terbentuknya unsur Hidrogen, semakin banyak jumlah air yang terkandung dalam larutan HCl dan H₂SO₄ maka jumlah unsur hidrogen juga akan semakin banyak terbentuk dan akan menaikkan nilai laju korosi (Ajeel et al., 2017)

4.3.3 Hasil *Pull Off Test*

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data pengujian *Pull Off* satu titik pada tiap *specimen, dolly* yang digunakan memiliki diameter 20 mm. Dengan menggunakan mesin *Pull Off PosiTest AT-M Adhesion Tester* yang tercantum pada Gambar 4.13



Gambar 4. 13 Alat *PosiTest AT-M Adhesion Tester*

Dalam pengujian *Pull Off* yang dilakukan pada lapisan permukaan *coating* diperoleh 2 jenis data, yakni data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif

berupa *Adhesive strenght* dalam satuan MPa sedangkan data kualitatif berupa pengamatan visual permukaan bekas penarikan untuk menilai luas kegagalan *adhesi*, dengan ini diperoleh data pengujian yang lengkap.

4.3.3.1 Hasil Kuantitatif *Pull Off Test*

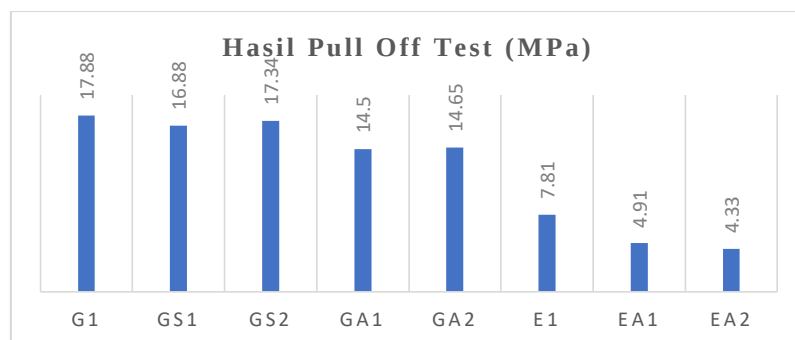
Sesuai dengan *standard* ASTM D4541 pengujian menggunakan *ptotocol* satu yaitu dilakukan pengujian pada permukaan *coating* hingga terjadi *fracture* pada *coating*. Hasil pengujian *Pull Off* dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Kuantitatif *Pull Off*

Kode Specimen	Jenis Coating	Larutan Treatment	Nilai (MPa)	Rata-Rata (Mpa)	Presentasi Penurunan
GS1	Galvanis	H ₂ SO ₄	16,88	17,11	5,59%
GS2			17,34		3,02%
GA1		NaCl	14,50	14,57	18,90%
GA2			14,65		18,06%
GC1		HCl	N/A	N/A	N/A
GC2			N/A		N/A
G1		Non Treatment	17,88	17,88	0%
ES1	Epoxy	H ₂ SO ₄	N/A	N/A	N/A
ES2			N/A		N/A
EA1		NaCl	4,91	4,62	37,13%
EA2			4,33		44,55%
EC1		HCl	N/A	N/A	N/A
EC2			N/A		N/A
E1		Non Treatment	7,81	7,81	0%

Sumber: Data yang diolah, 2026

Untuk *specimen* dengan kode GC1, GC2, EC1, EC2, ES1, ES2 tidak dapat melanjutkan pada tahap pengujian *Pull Off* karena *coating* sudah rusak dan tidak layak untuk dilakukan pengujian *Pull Off*. Dari hasil pengujian kuantitatif dapat dijadikan diagram batang untuk mempermudah dalam menganalisis hasil pengujian pada Gambar 4.14 berikut:

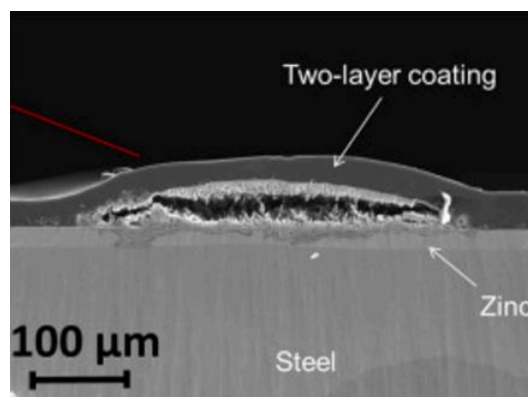


Gambar 4. 14 Diagram Nilai *Pull Off Test*

Seluruh *specimen* akan dibandingkan dan dihitung prensitasi penurunan nilai kekuatan adhesi mengacu pada *specimen* yang tanpa melalui proses *treatment* korosi. Pada jenis larutan H_2SO_4 kode *specimen* GS1 dan GS2 memiliki presentasi yang paling rendah dari seluruh *specimen* yang melalui proses *treatment* yaitu sebesar 5,59% dan 3,02%.

Pada *specimen* dengan *coating* galvanis dan *epoxy* yang dicelupkan pada larutan NaCl (10%) memiliki penurunan nilai kekuatan *adhesi* yang hampir sama. Pada *specimen* GA1 dan GA2 memiliki nilai penurunan sebesar 18,90% dan 18,06%. Sedangkan pada *specimen* EA1 dan EA2 memiliki penurunan nilai kekuatan *adhesi* sebesar 37,13% dan 44,55%. Perbedaan penurunan antara jenis *coating* galvanis dan *epoxy* menunjukkan bahwa jenis seluruh *specimen coating* galvanis memiliki penurunan nilai adhesi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan jenis *epoxy*.

Hasil ini didukung dari penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa proses pelarutan logam dalam kasus ini adalah galvanis dengan larutan tidak dapat menyerap masuk kedalam *coating* jenis galvanis, proses pelarutan logam dimulai dari permukaan logam sehingga kerekatan *adhesi* antara *coating* dan substrat masih terjaga sedangkan proses kerusakan *coating* jenis *Polymer* atau *epoxy* dimulai dari dalam, *coating epoxy* memiliki sifat *water uptake* artinya memiliki sifat yang dapat menyerap larutan disekitarnya melalui pori-pori hingga mencapai lapisan substrat pada *base material* (Sabet-bokati & Plucknett, 2024). Gambaran terjadinya reaksi terdapat pada Gambar 4.15

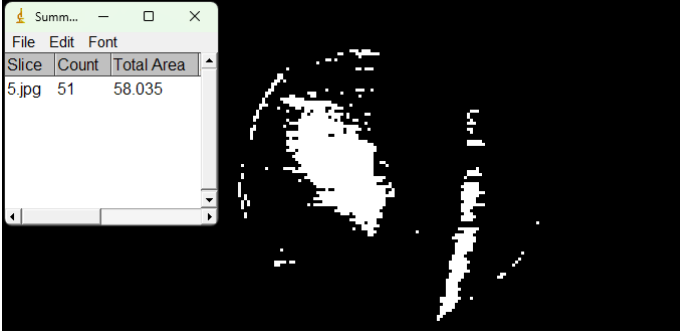
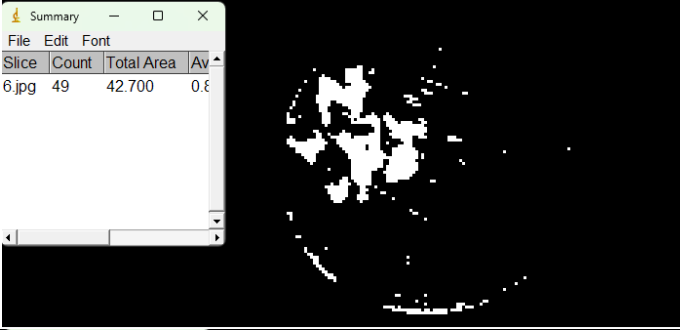
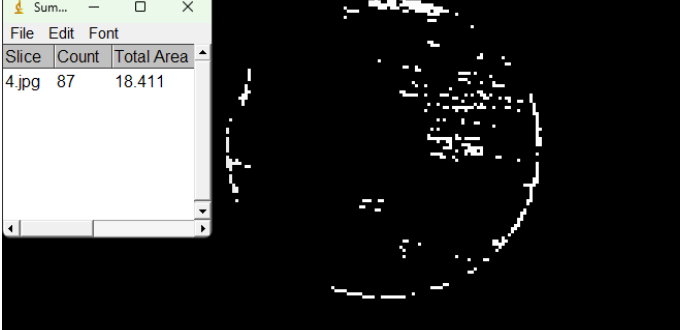


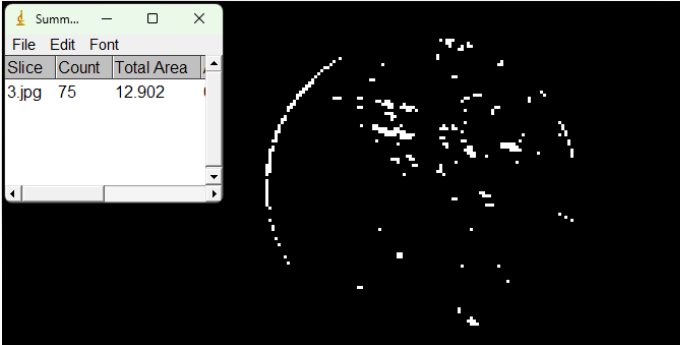
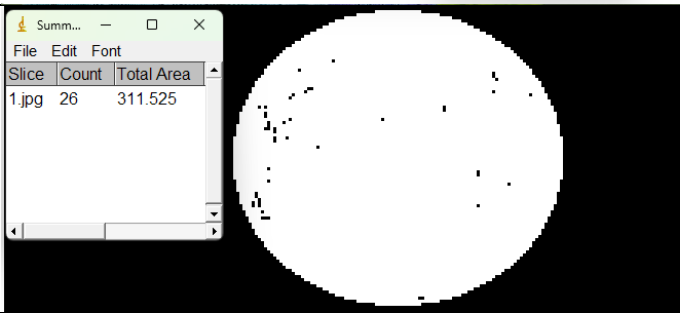
Gambar 4. 15 Proses Kerusakan *Polyester* Dan *Zinc*
Sumber: (Sabet-bokati & Plucknett, 2024)

4.3.3.2 Hasil Kualitatif *Pull Off* Test

Pada hasil kualitatif ini akan menunjukkan berupa hasil visual pencabutan. Berikut merupakan hasil visual yang telah dilakukan oleh peneliti menggunakan *software Image-J*. Adapun hasil pengujian *Pull Off* dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut:

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Kualitatif *Pull Off*

Kode Specimen	Gambar Area	Adhesive Failure	Cohesive Failure
GS1		58,0 mm ² (18,4%)	256 mm ² (81,6%)
GS2		42,7 mm ² (13,6%)	271,3 mm ² (86,4%)
GA1		18,4 mm ² (5,9%)	295,6 mm ² (94,1%)

Kode Specimen	Gambar Area	Adhesive Failure	Cohesive Failure
GA2		12,9 mm ² (4,1%)	301,1 mm ² (95,9%)
EA1		152,4 mm ² (48,5%)	161,6 mm ² (51,5%)
EA2		311,5 mm ² (99,2%)	2,5 mm ² (0,8%)

Sumber: Data yang diolah

Setelah dilakukan pengamatan pada setiap kode *specimen* tidak ditemukan adanya *glue failure* pada semua kode *specimen*, hal ini sudah masuk dalam kriteria pengujian yang valid sesuai dengan *standards* ASTM D4541 yang menyatakan bahwa pengujian tidak valid jika terdapat pengujian yang mengalami *glue failure* lebih besar dari $\frac{1}{4}$ luas *dolly*.

Specimen GS1 dan GS2 yang menggunakan *coating* galvanis dengan *treatment* korosi pada lingkungan H₂SO₄ menunjukkan kegagalan *coating* sebesar 58,0 mm² dan 42,7 mm². Pada *specimen* GA1 dan GA2 juga menggunakan *coating* galvanis pada larutan NaCl, hasil dari pengujian *Pull Off* menunjukkan nilai kegagalan *coating* sebesar 18,4 mm² dan 12,9 mm² hasil ini merupakan hasil terbaik dari semua kode *specimen*.

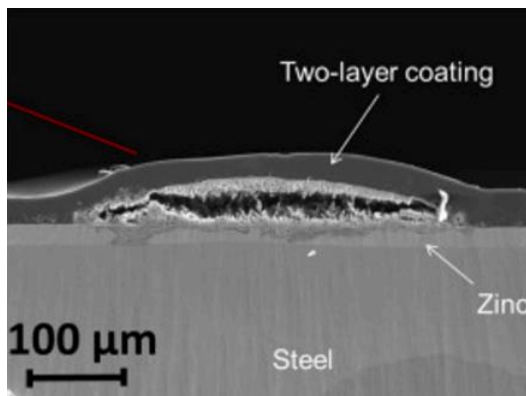
Pada *specimen* dengan jenis *coating epoxy* yang melalui *treatment* dengan larutan NaCl memiliki hasil yang mengalami kegagalan Adhesi *coating* lebih luas jika dibandingkan dengan jenis *coating galvanis*, pada kode *specimen* EA1 total area yang mengalami kegagalan sebesar 152,4 mm², untuk *specimen* dengan kode EA2 mengalami kegagalan paling luas sebesar 311.5 mm². Kedua data tersebut menunjukkan bahwa jenis *coating epoxy* yang melalui *treatment* korosi pada larutan NaCl memiliki kerekatan pada pipa API 5L Gr. B dibawah *coating galvanis* yang melalui *treatment* korosi NaCl. *Specimen* E1 dan G1 kedua *specimen* ini adalah *specimen* pembandingan kedua jenis *coating* yang tanpa melalui *treatment* korosi, pada jenis *coating galvanis* nilai kegagalan *coating* sebesar 11,2 mm² sedangkan pada *coating epoxy* memiliki nilai 70,8 mm². Dari data nilai pembandingan dapat dijadikan acuan untuk membuat data presentase kenaikan kegagalan adhesi pada setiap jenis *coating* yang tertera pada Tabel 4.10

Tabel 4. 10 Presentase Kegagalan *Adhesive*

Kode <i>Specimen</i>	<i>Cohesive Failure</i> (mm ²)	<i>Adhesive Failure</i> (mm ²)	Presentasi kegagalan
G1	302,8	11,2	3,6%
GS1	256	58	18,4%
GS2	271,3	42,7	13,6%
GA1	295,6	18,4	5,9%
GA2	301,1	12,9	4,1%
E1	243,2	70,8	11,2%
EA1	161,6	152,4	48,5%
EA2	2,5	311.5	99,2%

Sumber: Data yang diolah

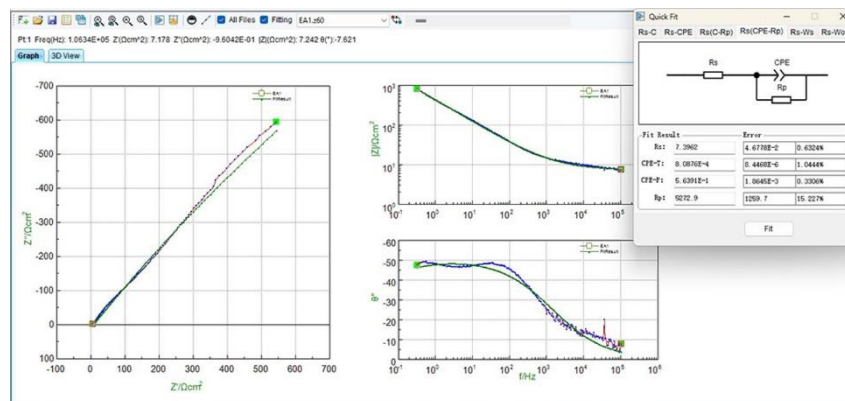
Hasil pengujian *Pull Off* kualitatif didukung dengan pengujian terdahulu bahwa jenis *coating* polimer memiliki sifat *water uptake* yaitu sifat yang dapat menyerap air dari permukaan hingga masuk kedalam lapisan substrat material sedangkan untuk jenis *coating galvanis* tidak memiliki sifat *water uptake* sehingga larutan korosif tidak sampai merusak ikatan antara *coating* dengan material (Sabet-bokati & Plucknett, 2024) Gambaran terjadinya reaksi terdapat pada Gambar 4.16



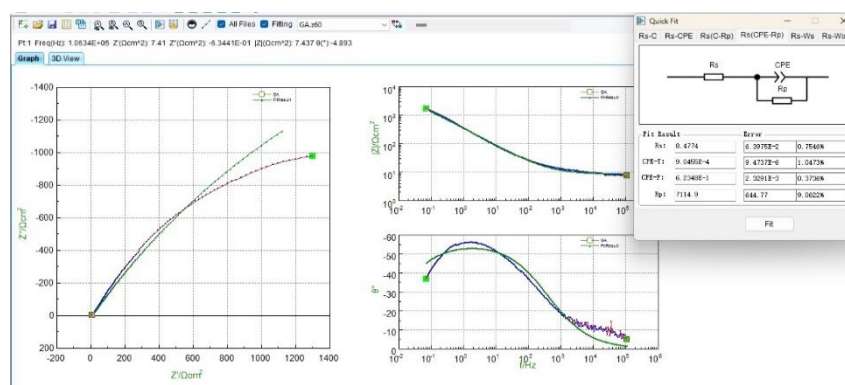
Gambar 4. 16 Proses Kerusakan *Polyester* Dan *Zinc*
Sumber: (Sabet-bokati & Plucknett, 2024)

4.3.4 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy*

Berikut merupakan hasil dari pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* berupa grafik dan parameter listrik pada *specimen epoxy* dan galvanis yang melalui *treatment* korosi menggunakan larutan NaCl (10%) pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18



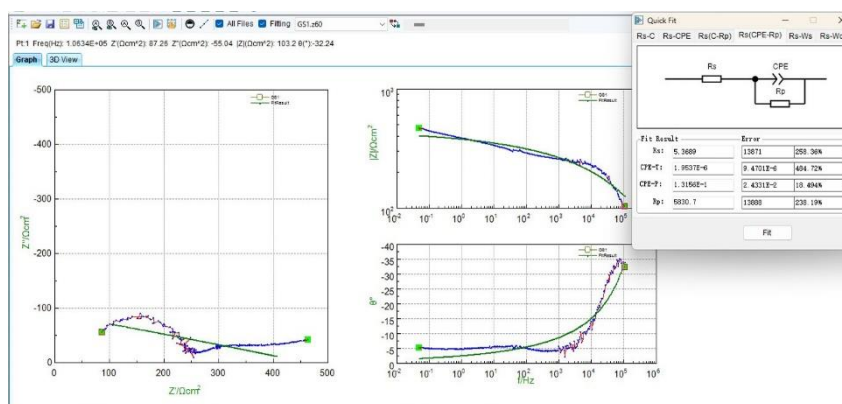
Gambar 4. 17 Grafik EIS pada *specimen* EA1



Gambar 4. 18 Grafik EIS pada *specimen* GA1

Pada *specimen* jenis *coating* galvanis dan *epoxy* dengan kode EA1 dan GA1 memiliki nilai RS sebesar 7,3962 Ω dan 8,4774 Ω menunjukkan bahwa nilai hambatan pada larutan NaCl 3,5% semakin rendah nilai hambatan maka sifat elektrolit akan semakin konduktif. Nilai CPE-P pada jenis *coating epoxy* memiliki nilai sebesar 0,56391 dan untuk jenis *coating* galvanis memiliki nilai sebesar 0,62348 dari kedua hasil *coating* dapat disimpulkan bahwa jenis *coating epoxy* memiliki permukaan *coating* yang lebih rata dan homogen dibandingkan dengan galvanis.

Selanjutnya untuk nilai CPE-T dari *coating epoxy* memiliki nilai sebesar 0,00080876 dan jenis *coating* galvanis sebesar 0,00090455 kesimpulan dari kedua hasil bahwa jenis *coating epoxy* memiliki kerapatan molekul yang lebih rapat sebesar 0,00080876 dibandingkan dengan jenis *coating* galvanis. Selanjutnya untuk nilai hambatan RP kode EA1 didapatkan hasil nilai hambatan memiliki nilai sebesar 5272,9 Ω untuk *specimen* dengan jenis *coating* galvanis dengan kode GA1 memiliki nilai tahanan sebesar 7114,9 Ω dari kedua hasil *specimen* didapatkan kesimpulan bahwa jenis *coating* galvanis memiliki ketahanan *coating* yang lebih baik setelah dilakukan *treatment* korosi pada larutan NaCl (10%) dikarenakan memiliki nilai tahanan yang lebih tinggi sebesar 8272,9 Ω . Berikut merupakan grafik pada *specimen* galvanis yang melalui *treatment* korosi menggunakan larutan H₂SO₄ (98%) pada Gambar 4.19



Gambar 4. 19 Grafik EIS pada *specimen* GS1

Pada *specimen* yang melalui proses *treatment* korosi dengan larutan H₂SO₄ (98%) dengan kode *specimen* GS1 memiliki nilai tahanan sebesar 5830,7 Ω . Pada

jenis larutan H_2SO_4 (98%) tidak memiliki *specimen* pembanding dikarenakan untuk *specimen* dengan *coating epoxy* seluruh permukaan *coating* sudah rusak sebelum masa *treatment* selesai. Untuk mempermudah dalam membandingkan data parameter listrik dengan *specimen* tanpa *treatment* korosi maka dibuat Tabel 4.11

Tabel 4. 11 Parameter listrik

Kode <i>Specimen</i>	Larutan Treatment	R _p (Ω)	R _s (Ω)	CPE-P	CPE-T	Penurunan Nilai R _p
G2	N/A	12757	6,9899	0,30521	0,0024754	0%
GA1	NaCl	7114,9	8,4774	0,62348	0,00090455	44,23%
GS1	H_2SO_4	5830,7	5,3689	0,13156	0,00000195	54,51%
E2	N/A	11153	5,5036	0,50075	0,00000491	0%
EA1	NaCl	5272,9	7,3962	0,56391	0,00080876	52,72%

Sumber: Data yang diolah, 2026

Nilai R_p meujuk pada nilai tahanan *coating* artinya semakin besar nilai tahanan maka sejalan dengan ketahanan *coating*, dari hasil data perhitungan prenstasi penurunan nilai R_p pada jenis larutan treatment NaCl 10% jenis *coating* galvanis mengalami penurunan nilai tahanan sebesar 44,23% sedangkan untuk jenis *coating epoxy* sebesar 52,72% dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa jenis *coating epoxy* mengalami penurunan nilai resistansi yang lebih tinggi data ini menunjukkan bahwa jenis *coating epoxy* memiliki ketahanan *coating* yang lebih rendah sebab aliran elektron bergerak lebih mudah dilihat dari nilai tahanan (R_p).

Hasil pengujian diperkuat dengan penelitian terdahulu yang membandingkan jenis *coating epoxy polyamide* dengan galvanis pada baja karbon dengan waktu perendaman pada larutan NaCl 3% selama 24 jam. Untuk jenis *coating* galvanis mendapatkan nilai resistansi R_{po} sebesar $10^9 \Omega$ sedangkan untuk jenis *coating epoxy polyamide* mendapatkan nilai resistansi $10^4 \Omega$ (R. M. Souto , V. Fox, 2021).

Untuk jenis larutan treatment H_2SO_4 pada jenis *coating* galvanis mengalami penurunan nilai tahanan sebesar 54,51% hasil ini merupakan nilai penurunan tertinggi dari semua *specimen* uji, mengingat reaksi yang terjadi pada lapisan galvanis dengan larutan H_2SO_4 menghasilkan unsur hidrogen yang memiliki sifat dapat melarutkan logam dan mencegah pembentukan lapisan perlindungan pasif (Wang & Jiang, 2026).

4.3.5 Hasil Pengujian Anova

Pengujian Anova dua arah digunakan untuk mengetahui pengaruh dari dua faktor independen yaitu faktor jenis *coating* dan larutan *treatment* terhadap laju korosi pada pipa API 5L Gr. B, serta untuk mengetahui apakah ada interaksi antara kedua faktor tersebut.

sebelum melakukan pengujian anova diperlukan untuk melakukan pengujian normalitas dan homogenitas data agar data yang diuji dapat dikatakan valid. Nilai signifikansi minimum yang harus tercapai dalam pengujian normalitas dan homogenitas sebesar 0,05 (Ghasemi & Zahediasl, 2021)

4.3.5.1 Pengujian normalitas

Pengujian normalitas menguji apakah data hasil pengukuran berdistribusi secara normal, syarat pengujian dapat dikatakan normal apabila nilai dari signifikansi memiliki nilai lebih dari 0,05 (Ghasemi & Zahediasl, 2021). Berikut data hasil pengujian normalitas pada Tabel 4.12

Tabel 4. 12 Pengujian Normalitas

<i>One Sample Kolmogorov-Smirnov Test</i>		
		<i>Unstandardized Residual</i>
N		18
<i>Normal Parameter^{A,B}</i>	<i>Mean</i>	.0000000
	<i>Std. Deviation</i>	21.16617170
<i>Most Extreme Differences</i>	<i>Absolute</i>	.186
	<i>Positive</i>	.186
	<i>Negative</i>	-.186
<i>Test Statistic</i>		.186
<i>Asymp. Sig. (2-Tailed)</i>		.100 ^c
<i>a. Test Distribution Is Normal</i>		
<i>b. Calculated From Data</i>		
<i>c. Lilliefors Significance Correction</i>		

Peneliti menggunakan metode pengujian normalitas *kolmogorov smirnov* didapatkan hasil bahwa nilai signifikansi dari dari pengujian sudah mencapai nilai minimum yaitu sebesar 0,1 artinya data hasil pengukuran dapat dilanjutkan pada pengujian homogenitas.

4.3.5.2 Pengujian Homogenitas

Pengujian homogenitas dilakukan untuk mengetahui dari data hasil pengujian apakah memiliki nilai yang homogen. berikut merupakan hasil pengujian homogenitas pada Tabel 4.13

Tabel 4. 13 Pengujian Homogenitas

<i>Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}</i>					
		<i>Levene Statistic</i>	df1	df2	Sig.
Laju_Korosi	<i>Based on Mean</i>	2.030	5	12	.146
	<i>Based on Median</i>	1.489	5	12	.264
	<i>Based on Median and with adjusted df</i>	1.489	5	6.347	.313
	<i>Based on trimmed mean</i>	1.996	5	12	.152
	<i>Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.</i> <i>a. Dependent variable: Unstandardized Residual</i> <i>b. Design: Intercept + Larutan + Coating + Larutan * Coating</i>				

Hasil pengujian homogenitas bisa dikatakan normal apabila nilai dari signifikansi lebih besar dari 0,05, hasil pengujian homogenitas berdasarkan kategori *mean*, *median*, *median adjusted*, dan *trimmed mean* sudah melebihi 0,05 sehingga data bisa dilanjutkan untuk pengujian anova berikut merupakan hasil pengujian Anova pada Tabel 4.14

Tabel 4. 14 Pengujian Two Ways ANOVA

<i>Tests of Between-Subjects Effects</i>					
<i>Source</i>	<i>Type III Sum of Squares</i>	df	<i>Mean Square</i>	F	<i>Sig.</i>
<i>Corrected Model</i>	711375.226 ^a	5	142275.045	144.209	.000
<i>Intercept</i>	501836.283	1	501836.283	508.659	.000
<i>Larutan</i>	688405.550	2	344202.775	348.882	.000
<i>Coating</i>	138.210	1	138.210	.140	.715
<i>Larutan* Coating</i>	22831.467	2	11415.733	11.571	.002
<i>Error</i>	11839.039	12	986.587		
<i>Total</i>	1225050.548	18			
<i>Corrected Total</i>	723214.265	17			

a. $R\text{ Squared} = .984$ ($Adjusted\ R\text{ Squared} = .977$)
--

a. Pengaruh Variasi Jenis *Coating* (Variasi *coating*)

Nilai signifikan (Sig) pada variabel jenis *coating* memiliki nilai sig sebesar 0,715 dibawah nilai 0,05. Dalam hal ini jika nilai berada dibawah nilai 0,05 artinya variasi jenis *coating* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju korosi secara statistik antara jenis *coating* terhadap laju korosi. Kesimpulan dari hasil anova menunjukkan bahwa variasi jenis *coating epoxy* dan galvanis tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju korosi

b. Pengaruh Variasi Jenis Larutan (Variasi Larutan)

Nilai signifikan (Sig) pada variabel jenis *coating* memiliki nilai sig sebesar 0,000 dibawah nilai 0,05. Dalam hal ini jika nilai berada dibawah nilai 0,05 artinya variasi jenis larutan sangat berpengaruh terhadap laju korosi.

c. Interaksi antara variasi Jenis Larutan dan Jenis *Coating*

Hasil pengujian pada kedua faktor menunjukkan nilai sig sebesar 0,002 karena nilai dibawah 0,05 artinya kedua faktor memiliki interaksi yang signifikan terhadap laju korosi. Pada nilai F memiliki nilai sebesar 11,571 nilai ini diatas nilai tiga yang memiliki arti bahwa pengaruh dari jenis *coating* terhadap nilai laju korosi berbeda tergantung pada jenis larutan.

d. Nilai R Squared

Nilai R Squared pada pengujian Anova memiliki nilai sebesar 0,996, dengan nilai R Squared sebesar 0,984, nilai menunjukkan bahwa model ini dapat menjelaskan 98,4% variasi dalam data. Ini merupakan indikasi yang sangat baik dan menjelaskan bahwa hampir seluruh variasi yang mempengaruhi laju korosi dapat dijabarkan oleh kedua variasi dan interaksi diantara kedua variasi.

Kesimpulan dari hasil pengujian Anova dua arah menunjukkan bahwa penggunaan jenis *coating* galvanis, *epoxy* dan *specimen* tidak memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap laju korosi pada permukaan pipa API %L Gr. B. Akan tetapi pada variasi jenis larutan *treatment* korosi H₂SO₄ (98%), HCl (32%), dan NaCl (10%) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju korosi yang terjadi pada pipa API 5L Gr. B

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil serangkaian pengujian dan analisis hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian mengenai pengaruh penggunaan jenis *coating* dan jenis larutan *treatment* korosi terhadap laju korosi pada pipa API 5L Gr. B diperoleh Kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi *coating* hot dip galvanis dan spray *epoxy* terhadap laju korosi dan ketahanan *coating* pada larutan NaCl (10%)

Berdasarkan hasil pengujian *weight loss* dan *electrochemical impedance spectroscopy specimen* dengan *coating* galvanis dan *epoxy* memberikan pengaruh dalam menekan laju korosi yang terjadi pada permukaan pipa API 5L Gr. B. Untuk jenis *coating* yang memiliki laju korosi paling rendah pada larutan NaCl (10%) merupakan jenis *coating epoxy* dengan kode *specimen* EA1 dengan laju korosi sebesar 2,5250 mpy dan untuk ketahanan *coating* setelah proses *treatment* korosi untuk nilai tahanan tertinggi didapatkan pada jenis *coating* galvanis pada kode *specimen* EA1 dengan nilai tahanan sebesar 7114,9 Ω

2. Pengaruh variasi *coating* hot dip galvanis dan spray *epoxy* terhadap laju korosi dan ketahanan *coating* pada larutan H₂SO₄ (98%)

Berdasarkan hasil pengujian *weight loss* dan *electrochemical impedance spectroscopy specimen* dengan *coating* galvanis dan *epoxy* memberikan pengaruh dalam menekan laju korosi yang terjadi pada permukaan pipa API 5L Gr. B. Untuk jenis *coating* yang memiliki laju korosi paling rendah pada larutan H₂SO₄ (98%) merupakan jenis *coating* galvanis dengan kode *specimen* GS1 dengan laju korosi sebesar 11,3312 mpy dan untuk ketahanan *coating* setelah proses *treatment* korosi, jenis *coating* galvanis pada kode *specimen* GS1 memiliki nilai tahanan sebesar 5803 Ω

3. Pengaruh variasi *coating* hot dip galvanis dan spray *epoxy* terhadap laju korosi dan ketahanan *coating* pada larutan HCl (32%)

Berdasarkan hasil pengujian *weight loss specimen* dengan *coating* galvanis dan *epoxy* memberikan pengaruh dalam menekan laju korosi yang terjadi pada permukaan pipa API 5L Gr. B. Untuk jenis *coating* yang memiliki laju korosi paling rendah pada larutan HCl (32%) merupakan jenis *coating epoxy* dengan kode *specimen* EC2 dengan laju korosi sebesar 380,2520 mpy. Sedangkan *specimen* tanpa *coating* memiliki nilai laju korosi sebesar 1782,6374 mpy. Meskipun kedua jenis *coating* baik *epoxy* dan galvanis memberikan pengaruh terhadap penurunan laju korosi tetapi seluruh *coating* rusak menyisakan lapisan *base material*. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa jenis *coating epoxy* dan galvanis tidak cocok untuk menahan laju korosi pada larutan HCl (32%).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil temuan selama penelitian ini, penulis memberikan beberapa saran untuk pengembangan penelitian lanjutan sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menambahkan variasi jenis *coating* dan larutan yang berbeda.
2. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan metode *electroplating galvanizing*.
3. Diperlukan pengujian visual tambahan untuk melihat lebih detail korosi yang terjadi, seperti pengujian mikro dan SEM.
4. Diperlukan pengujian komposisi kimia seperti *spectro* untuk mengetahui kandungan yang ada setelah proses *treatment* korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi. (2015). Analisa laju korosi. *Analisa Laju Korosi Pada Pelat Baja Karbon Dengan Variasi Ketebalan Coating*, 4(1), 1–5.
- Afandi, Y. K., Arief, I. S., Teknik, J., Perkapalan, S., & Kelautan, F. T. (2015). Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating. *Analisa Laju Korosi Pada Pelat Baja Karbon Dengan Variasi Ketebalan Coating*, 4(1), 1–5.
- Ajeel, S. A., Waadulah, H. M., & Sultan, D. A. (2017). *Effects of H₂SO₄ and HCL Concentration on the Corrosion Resistance of Protected Low Carbon Steel*. 70–76.
- Ali, M. S., Praktikno, H., Dhanistha, W. L., & Baja, A. P. (2019). *Analisis Pengaruh Variasi Sudut Blasting dengan Coating Campuran Epoxy dan*. 8(1).
- Anam, M. A. S., Manik, P., & Rindo, G. (2024). Analisis Pengaruh Material Abrasif Pada Blasting Dengan Variasi Metode Coating Terhadap Prediksi Laju Korosi Dan Daya Rekat Adhesi. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12(2), 11. <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- API 5L. (2004). *API 5L Specification for Line Pipe*. 552.
- Arwati, I. G. A. (2024). *ULASAN : METODE PENGUJIAN LAJU KOROSI PADA MATERIAL BAJA KARBON*. 29–40.
- ASTM A123/A123M. (2013). *ASTM A123/A123M Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products*1. 1–8. <https://doi.org/10.1520/A0123>
- ASTM A53. (2002). *Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless*1.
- ASTM D4541. (2017). *Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion*. <https://doi.org/10.1520/D4541-17.2>
- ASTM D8370. (2022). *Standard Test Method for Field Measurement of Electrochemical Impedance on Coatings and Linings* 1. 1–8. <https://doi.org/10.1520/D8370-22.2>
- ASTM G1. (1999). *ASTM G1 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens*.
- ASTM G31. (1999). *ASTM G31 Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. 72(Reapproved), 4–11.
- Atma, B. D. (2015). *PEMANFAATAN LIMBAH MAHKOTA NENAS SEBAGAI KARBON AKTIF DENGAN MENGGUNAKAN AKTIVATOR H₂SO₄*. 5–26.
- Erna, M., & Alif, A. (2016). *MEDIA MENGGUNAKAN INHIBITOR KOROSI KARBOKSIMETIL* Info Artikel. 5(2).

- Fan, C., Shi, J., & Dilger, K. (2019). Progress in Organic Coatings Water uptake and interfacial delamination of an epoxy-coated galvanized steel : An electrochemical impedance spectroscopic study. *Progress in Organic Coatings*, 137(August), 105333.
<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.105333>
- Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2021). *Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians Asghar*. 10(2), 486–489.
<https://doi.org/10.5812/ijem.3505>
- Hijrahanisa. (2024). *Analisis laju korosi pada seng menggunakan metode weight loss pada media air asin* 1. 6(2), 45–49.
- Imadudin, I. (2021). *Kajian Sisa Umur Pakai dan Proteksi Katodik Sistem Anoda Korban pada Pipa Transportasi Gas Pipeline B di Kecamatan Cilamaya*. 117–122.
- Jihan Alldzi Khoir. (2023). *Analisa Pengaruh Penerapan Coating dan Variasi Ukuran Grit Aluminium Oxide pada Proses Blasting Terhadap Ketahanan Laju Korosi dan Daya Rekat Adhesi*. 11(1), 31–41.
- Lazanas, A. C., & Prodromidis, M. I. (2023). *Electrochemical Impedance Spectroscopy* ♦A Tutorial. <https://doi.org/10.1021/acsmeasuresciau.2c00070>
- Marcell, M. R. R., Supomo, H., & Arif, M. S. (2021). Analisis Teknis dan Ekonomis Perbandingan Laju Korosi Material Baja Galvanis dan Aluminium untuk Memprediksi Umur dan Biaya Reparasi Lambung Kapal. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.80372>
- Naufal Ajhar. (2024). *DENGAN METODE ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY (EIS) LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN PROGRAM STUDI KIMIA 2024 M / 1445 H*.
- R. M. Souto , V. Fox, M. M. L. & S. G. (2021). *Journal of Adhesion Science Electrochemical impedance spectroscopy investigation of the corrosion at metallic substrates covered by organic coatings*. November 2014, 37–41.
<https://doi.org/10.1163/156856100742212>
- Raihan Nuraditya Pratama. (2024). *ANALISIS PERBEDAAN JUMLAH TOTAL BELANJA ANTARA LAKI-LAKI DAN PEREMPUAN MENGGUNAKAN UJI ANOVA Raihan*. 2(6), 800–808.
- Ramadani, R., Pembimbing, D., Pratikno, H., Kelautan, J. T., & Kelautan, F. T. (2016). *Bevel Kombinasi Pengelasan Fcaw Dan Smaw Terhadap Kekuatan Impact Butt Joint Pada Spesimen Pipa Api 5L Grade X42 Analysis the Effect of Bevel Angle Variation in Combination of Fcaw and Smaw Concerning To the Impact Strength of Butt Joint on Pipe Specimen*.
- Riva, M., Prakasa, B., Mulyaningsih, N., Noor, A., & Hadi, S. (2025). Perbandingan kekuatan adhesipelapisan elektroplating dan cat pada baja karbon. *Perbandingan Kekuatan Adhesipelapisan Elektroplating Dan Cat Pada Baja Karbon*, 6(September), 142–149.

- Royani, A., Nuraini, L., Prifiarni, S., Priyotomo, G., Triwardono, J., No, J. A. H., Jawa, B., & Indonesia, B. (2019). *Studi Korosi Pada Baja Galvanis Setelah Ekspos Dilingkungan Perairan Sungai Cidaho - Sukabumi*. 40(2), 1–5.
<https://doi.org/10.14710/teknik.v39n1.xxxxxx>
- Sabet-bokati, K., & Plucknett, K. (2024). Water-induced failure in polymer coatings : Mechanisms , impacts and mitigation strategies — A comprehensive review. *Polymer Degradation and Stability*, 230(November), 111058. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2024.111058>
- Simon, E. M., Rahman, A. A., Fadlil, F., Studi, P., Kimia, T., Teknik, F., Pendidikan, U., Sorong, M., Daya, P. B., Studi, P., Kimia, T., Teknik, F., Pendidikan, U., Sorong, M., & Daya, P. B. (2025). *Penentuan Laju Korosi dan Remaining Service Life (RSL) Pipa Carbon Steel API 5L Grade B*. 5(1), 28–34.
- Sinaga, A. J., Manurung, C. S. P., Prodi, M., Mesin, T., Prodi, D., & Mesin, T. (2020). *Analisa Laju Korosi dan Kekerasan Pada Stainless Steel 316 L Dalam Larutan 10 % NaCl Dengan Variasi Waktu Perendaman*. I(2), 92–99.
- Sinurat, A. (2023). *ANALISA LAJU KOROSI MATERIAL STAINLESS STEEL 316 L MENGGUNAKAN LARUTAN ASAM KLOORIDA (HCL)*. 1–56.
- Suharyadi, H., Handoko, S., Hasan, B., & Pratama, D. H. (2025). *IJIE Corrosion Behaviours of Carbon Steels Coated by Graphene Epoxy in Different Solutions*. 17(4), 70–77.
- TDS BELKOTE. (2024). *SHEET EPOXY 2K PRIMER SURFACER EPOXY 2K PRIMER SURFACER*. 20–21.
- Wahyudi, Y., & Fahrudin, A. (2017). *Analisa Perbandingan Pelapisan Galvanis Elektroplating Dengan Hot Dip Galvanizing Terhadap Ketahanan Korosi Dan Kekerasan Pada Baja*. 1(1).
- Wang, J., & Jiang, B. (2026). *Corrosion behavior and mechanism of DH36 steel under synergistic chloride and hydrogen ion influence*.
- Wibawa, A., Santosa, B., Bungkar, R. B., & Mursid, O. (2022). *Analisa Pengaruh Metode Hot Dip Galvanizing dengan Variasi Temperatur dan Waktu Pencelupan Terhadap Laju Korosi Pipa Air Laut*. 43(2), 202–210.
<https://doi.org/10.14710/teknik.v43i2.45612>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

- a. Pemotongan *Specimen* ukuran 50 X 25 mm



- b. Perataan dan pengurangan tebal 1 mm dengan mesin frais



- c. Penggosokan *Specimen* dengan kertas gosok grade 220



- d. Penyampuran *epoxy* dengan *hardener* dan *AXT Express Reducer*



- e. Kontrol Tekanan angin



- f. Pengecatan *epoxy*



g. Bentuk *spray gun*



h. Spesifikasi *spray gun*

HAJIME Spray Gun F75G merupakan Spray Gun yang di desain dengan kualitas dan kemudahan cara penggunaan. Spray gun ini memiliki mata nozzle berukuran 1.5mm dengan hasil semprotan yang menyebar (Flat), dengan kapasitas tabung 400cc maka spray gun ini cocok untuk di pakai mewarnai bidang yang tidak terlalu besar seperti tangki motor, untuk kerajinan kayu, kerajinan logam dll.

Spesifikasi Produk :

- Nama barang : spray gun tabung atas
- Tipe : F75 tabung atas
- Bentuk nozzle flat diameter 1.5 mm
- Besar Tanki : 400 cc
- Working pressure : 3.0 - 4.0 bar
- Lebar pola : 150-180 mm
- Konsumsi udara : 4.6 - 7.1 cfm

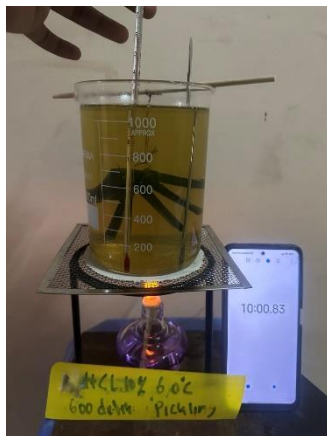
i. Dry Film Thickness *coating Epoxy*



j. Degresing *specimen* galvanis



k. Pickling *specimen* galvanis



l. Rinsing *specimen* galvanis



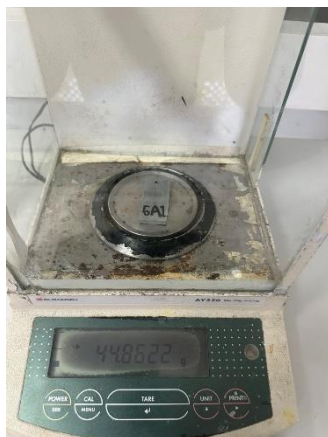
m. Pencelupan *specimen* galvanis



n. Dry Film Thickness *Coating* Galvanis



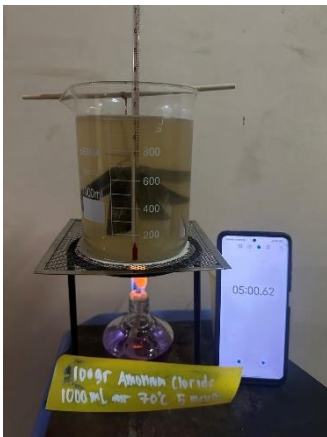
o. Penimbangan Awal



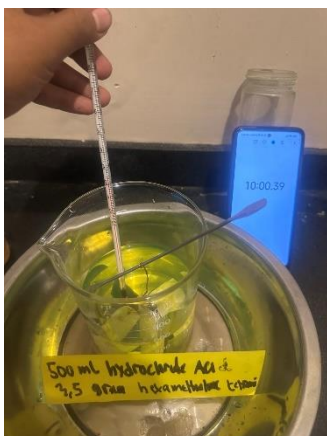
p. Proses *treatment* korosi



q. Pembersihan dengan larutan *ammonium chloride*



r. Pembersihan dengan larutan HCl



s. Penimbangan Akhir



t. Pengujian *Pull Off*



u. Pengujian EIS



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Identitas

Nama	: Muhammad
Tempat, tanggal lahir	: Gresik, 26 November 2003
Jenis kelamin	: Laki-Laki
Kewarganegaraan	: Indonesia
Agama	: Islam
Alamat	: Gresik
No. HP	: 0896-8691-3127
Email	: muhammad26@student.ppns.ac.id

