JME (Jurnal Mekanika dan Energi)
EISSN: 3048-2836 *E-Mail*: jme@sttrcepu.ac.id

Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Sulfat dalam Air terhadap Laju Penipisan Pipa *Stainless Steel 316L* pada Proses Regenerasi Air Demin di PT Pertamina EP Cepu

Dika Candra Kurniawan[a*], Eko Sutarto[a]

[a)]Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu, Jl. Kampus Ronggolawe Blok B No. 1 Mentul Cepu Kab. Blora

*Email: ksutarto@gmail.com

Tentang naskah:
- diterima, 08 Des 2025
- direview, 30 Des 2025
- diterbitkan, 31 Des 2025

Kata kunci:
Asam sulfat, *stainless steel 316L*, korosi, konsentrasi, penipisan pipa

Intisari
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis laju penipisan (*corrosion rate*) pada pipa *stainless steel 316L* akibat paparan larutan asam sulfat yang diencerkan dengan air demin dalam berbagai variasi konsentrasi: 3%, 7%, 11%,dan 15%. Pengujian menggunakan metode *weight loss* dengan durasi perendaman sampel selama 38 hari pada suhu ruangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam sulfat secara signifikan meningkatkan laju korosi pada *stainless steel 316L*. Peningkatan konsentrasi asam menambah jumlah ion hidrogen H^+ yang mempercepat reaksi oksidasi logam dan merusak lapisan pasif kromium oksida Cr_2O_3 pada permukaan. Laju korosi yang terukur berturut-turut untuk konsentrasi 3%, 7%, 11%, dan 15% adalah 0,0238 mm/tahun, 0,0397 mm/tahun, 0,0477 mm/tahun, dan 0,0874 mm/tahun. Berdasarkan temuan ini, material *stainless steel 316L* masih menunjukkan ketahanan korosi yang baik (laju korosi rendah) pada konsentrasi asam sulfat 7%. Namun, pada konsentrasi 11%, terjadi peningkatan laju korosi yang cepat, yang mengindikasikan degradasi lapisan pasif dan meningkatkan risiko penipisan pipa serta kebocoran dalam jangka panjang. Oleh karena itu, kontrol konsentrasi yang ketat sangat direkomendasikan untuk memperpanjang umur pakai pipa di lingkungan operasi regenerasi air demin.

Keyword:
Sulfuric acid, stainless steel 316L, corrosion, concentration, pipe wall thinning

Abstract
This study aims to analyze the corrosion rate (wall thinning) in stainless steel 316L pipes due to exposure to diluted sulfuric acid across various concentrations: 3%, 7%, 11%, and 15%. The testing was conducted using the weight loss method (ASTM G31-72), with samples immersed for 38 days at room temperature. The results indicate that increasing the concentration of sulfuric acid significantly escalates the corrosion rate of SS 316L. This increase in acid concentration raises the amount of hydrogen ions H^+ which accelerates the metal's oxidation reaction and damages the passive chromium oxide Cr_2O_3 layer on the surface. The measured corrosion rates for 3%, 7%, 11%, and 15% concentrations were 0.0238 mm/year, 0.0397 mm/year, 0.0477 mm/year, and 0.0874 mm/year, respectively. Based on these findings, the SS 316L material still demonstrates good corrosion resistance (low corrosion rate) at sulfuric acid concentrations 7%. However, at concentrations 11%, a rapid increase in the corrosion rate occurred, indicating degradation of the passive layer and increasing the long-term risk of pipe thinning and leakage. Therefore, strict concentration control is highly recommended to prolong the service life of pipes in the demin water regeneration operational environment.

1. Pendahuluan

Air demin (*demineralized water*) merupakan komponen vital dalam industri energi, termasuk sebagai air umpan boiler. Proses untuk mempertahankan kualitas air demin adalah melalui regenerasi penukar ion, yang melibatkan penggunaan larutan asam sulfat H_2SO_4 untuk mengembalikan ion H^+ pada resin kation. Pencampuran asam sulfat pekat 98% dengan air demin untuk mencapai konsentrasi yang dibutuhkan, dilakukan melalui sistem perpipaan. berbahaya untuk lingkungan, manusia,dan peralatan proses.

Pipa *stainless steel* 316L sering dipilih dalam aplikasi ini karena ketahanan korosinya yang unggul, terutama berkat kandungan Molibdenum (2–3%) yang membuatnya tahan terhadap serangan ion klorida dan larutan asam Namun, paparan berulang terhadap larutan konsentrasi tertentu berpotensi menyebabkan penipisan dinding pipa *(wall thinning)* akibat korosi merata *(uniform corrosion).* Fenomena ini dapat mengurangi umur pakai, mengganggu

proses regenerasi, dan menimbulkan risiko kebocoran di tempat kerja peneliti. Korosi sendiri adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Kejadian ini menyebabkan berkurangnya sifat mekanik logam, seperti kekuatan, ketangguhan, serta ketebalan material.

Menurut Mars G. Fontana (1987), korosi dapat didefinisikan sebagai proses destruktif logam akibat reaksi oksidasi-reduksi dengan zat di sekitarnya. Faktor penyebab korosi pada pipa antara lain :

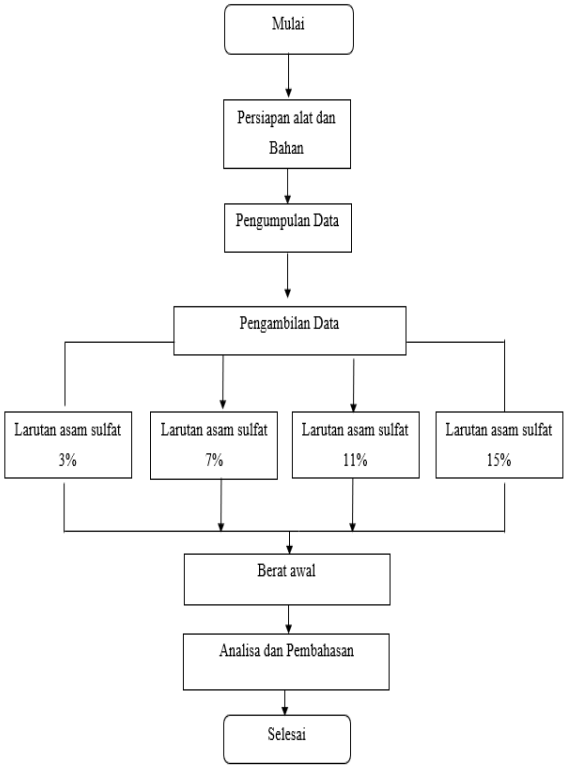
1) Lingkungan kimia: pH rendah (asam), adanya ion klorida, sulfat, atau oksigen terlarut.
2) Suhu dan tekanan: semakin tinggi suhu dan tekanan, laju korosi meningkat.
3) Jenis material pipa: baja karbon lebih rentan dibanding *stainless steel* yang punya lapisan pasif kromium.
4) Kondisi aliran fluida: kecepatan tinggi dapat menyebabkan erosi-korosi, sedangkan daerah stagnan menyebabkan korosi lokal (pitting).
5) Stres mekanik: dapat menimbulkan stress corrosion cracking (SCC).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1) Untuk mengetahui secara kuantitatif pengaruh variasi konsentrasi campuran asam sulfat dan air (3%, 7%, 11%, 15%) terhadap laju penipisan pipa SS 316L. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar untuk penentuan batas aman operasional, pemilihan material, dan strategi mitigasi korosi untuk meningkatkan keandalan sistem perpipaan di industri.
2) Menentukan pengaruh variasi konsentrasi campuran larutan asam sulfat terhadap laju penipisan.
3) Menentukan laju penipisan (*corrosion rate*) pada pipa dengan metode *weight loss*. Hasil ini akan menjadi dasar untuk menentukan batas aman penggunaan material dan merekomendasikan strategi mitigasi korosi di fasilitas industri terkait.

2. Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

a. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1) Gelas Beaker 250 ml
2) Timbangan analitik (ketelitian 0,01 g)
3) Jangka sorong/mikrometer
4) Alat potong logam
5) Kertas amplas halus

b. Bahan

Sedangkan bahan-bahan penelitiannya meliputi :

1) Sampel pipa *stainless steel 316L* (dipotong ukuran 2 cm)
2) Larutan H_2SO_4 asam sulfat pekat dengan konsentrasi 98%
3) Air demin

2.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitiannya meliputi :

a. Variabel Bebas: Konsentrasi larutan asam sulfat 3%, 7%, 11%, dan 15%.
b. Variabel Terikat: Laju penipisan (*corrosion rate*) pipa *stainless steel*.
c. Variabel Kontrol: Material pipa (Stainless steel 316L), waktu perendaman (38 hari), suhu ruangan, dan luas permukaan sampel.

2.4 Prosedure Pengujian

a. Persiapan Sampel
   Pipa Stainless steel 316L dipotong dengan panjang 2 cm, diamplas, dikeringkan, dan ditimbang berat awalnya (W_0). Luas permukaan total sampel dihitung sebesar 15,13 cm^2 .
b. Pembuatan Larutan Uji
   Larutan asam sulfat dibuat dengan konsentrasi 3%, 7%, 11%, dan 15% menggunakan H_2SO_4 pekat 98% dan air demin sebagai pelarut.
   1) Larutan 1: Konsentrasi 3% membutuhkan 7,6 ml H_2SO_4 dan 242,4 ml air demin.
   2) Larutan 2: Konsentrasi 7% membutuhkan 17,8 ml H_2SO_4 dan 232,2 ml air demin.
   3) Larutan 3: Konsentrasi 11% membutuhkan 28 ml H_2SO_4 dan 222 ml air demin.
   4) Larutan 4: Konsentrasi 15% membutuhkan 38,2 ml H_2SO_4 dan 211,8 ml air demin.
c. Perendaman
   Sampel direndam dalam masing-masing larutan uji selama 38 hari (912 jam)
d. Pengukuran
   Setelah perendaman, sampel diangkat, dicuci, dikeringkan, dan ditimbang berat akhirnya (W1)
e. Perhitungan Laju Korosi (CR)
   Laju korosi dihitung menggunakan rumus (1) berikut ini.

$$CR = \frac{K \times (W_0 - W_1)}{\rho \times A \times t} \quad (1)$$

dimana:
CR = laju korosi (mm/tahun)
K = $8{,}76 \times 10^4$
$W_0 - W_1$ = kehilangan massa akibat korosi (gram)
ρ = massa jenis *stainless steel* (7,98 g/cm^3)
A = luas permukaan sampel (15,13cm^2)
t = waktu perendaman (912 jam)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penelitian

Pengujian yang dilakukan selama 38 hari mendapatkan data kehilangan massa W = W_0 - W_1) dan laju korosi (CR) sebagai berikut:

Tabel 1. Data Perhitungan Laju Korosi

Konsentrasi Asam Sulfat (%)	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Kehilangan Massa (g)	Laju Korosi (mm/ tahun)
3	11,06	11,03	0,03	0,0238
7	11,31	11,26	0,05	0,0397
11	11,08	11,01	0,07	0,0477
15	11,96	11,85	0,11	0,0874

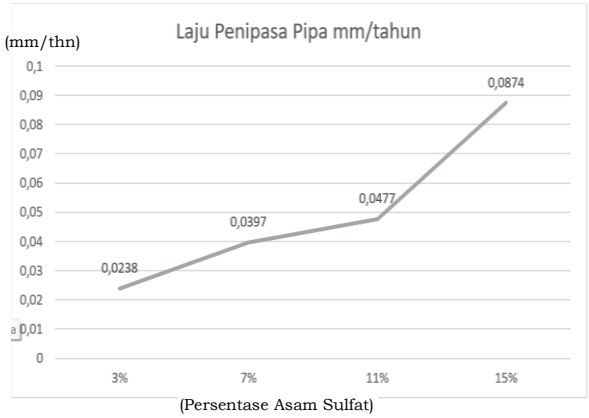
Dari data pada Tabel 1, terlihat bahwa kehilangan massa tertinggi terjadi pada konsentrasi 15% dengan kehilangan massa (0,11 g), dan yang terendah pada konsentrasi 3% dengan kehilangan massa (0,03 g). Hasil penimbangan awal dan akhir pipa *stainless steel* menunjukkan penurunan berat tertinggi di konsentrasi 15%, yang mengindikasikan laju korosi meningkat pesat di atas konsentrasi 11%.

3.2 Pembahasan

Dengan rumus laju korosi (CR) menunjukan peningkatan laju korosi seiring bertambahnya konsentrasi asam sulfat dengan ini menyatakan bahwa asam sulfat dengan konsentrasi tinggi rentan terhadap korosi oleh karena itu perlu pertimbangan khusus ketika akan memilih material yang akan digunakan. Berikut ini hasil analisis dan perhitungan dengan rumus Laju Korosi (CR)

a. Konsentrasi 3% dengan laju korosi (0,0238 mm/tahun)
   Laju korosi ini tergolong sangat rendah. Lapisan pasif pada pipa *stainless steel* masih sangat kuat menahan konsentrasi ini.
b. Konsentrasi 7% dengan laju korosi (0,0397 mm/tahun)
   Laju korosi ini masih tergolong rendah hingga sedang, dan pipa masih mampu bertahan pada konsentrasi ini. SS 316L masih memiliki ketahanan korosi yang baik pada konsentrasi H_2SO_4 7%
c. Konsentrasi 11% dengan laju korosi (0,0477 mm/tahun)
   Laju korosi ini mulai menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya konsentrasi H_2SO_4, material pipa *stainless steel 316* masih memiliki ketahan kuat pada konsentrasi ini dan laju korosi masih tergolong ringan hingga sedang.
d. Konsentrasi 15% (0,0874 mm/tahun) Terjadi kenaikan signifikan pada laju korosi, yang berarti lapisan pasif pada pipa mulai terdegradasi oleh larutan asam sulfat. Pada konsentrasi ini laju korosi pipa tergolong sedang laju korosi mulai

menunjukan peningkatan yang signifikan.



Gambar 2. Laju Penipisan Pipa

e. Peningkatan Keasaman
   Peningkatan konsentrasi dari 3% ke 15% secara langsung meningkatkan konsentrasi ion hidrogen H+ dalam larutan. Ion H+ ini mempercepat reaksi katodik (reduksi).
f. Degradasi Lapisan Pasif (*Depassivation*)
   Dalam larutan asam, ion H+ dan ion sulfat menyerang dan melarutkan lapisan pasif kromium oksida pada permukaan SS 316L.
g. Kenaikan Drastis
   Kenaikan laju korosi yang paling signifikan terjadi saat konsentrasi mencapai 15% (0,0874 mm/tahun), yaitu hampir dua kali lipat dari konsentrasi 7% (0,0397 mm/tahun). Hal ini menegaskan bahwa pada konsentrasi 11% hingga 15%, material telah melampaui batas *passivity* efektifnya dan memasuki fase korosi aktif yang cepat.
h. Peran Molibdenum (Mo)
   Walaupun SS 316L memiliki Mo untuk ketahanan lebih baik terhadap asam dan *pitting* dibandingkan SS 304, ketahanan ini mulai menurun drastis pada konsentrasi yang lebih tinggi. Penelitian ini menunjukkan bahwa ketahanan SS 316L masih baik pada konsentrasi 7%.

Dari grafik hasil penimbangan awal dan akhir pipa *stainless steel* penurunan berat tertinggi terjadi di konsentrasi 15% menunjukkan dikonsentrasi di atas 11% mengalami laju korosi yang meningkat secara pesat.

3.2.1 Ketahanan Material Pipa

Dari hasil penelitian, dapat dilihat bahwa pipa *stainless steel 316L* masih memiliki ketahanan korosi yang baik pada konsentrasi H_2SO_4 ≤ 7%, dengan laju korosi <0.0397mm/tahun. Namun, pada konsentrasi 11–15%, lapisan pelindung mulai rusak dan laju korosi cenderung meningkat lebih cepat dengan nilai 0,0477 mm/tahun. Kondisi ini berpotensi menimbulkan korosi lokal seperti *pitting corrosion*, terutama pada waktu pemakaian jangka panjang. Dan dapat mengakibatkan kebocoran pada pipa.

3.2.2 Rekomendasi Perbaikan

Dari hasil penelitian, dapat dilihat bahwa pipa *stainless steel 316L* masih memiliki ketahanan korosi yang baik pada konsentrasi H_2SO_4 ≤ 7%, dengan laju korosi <0.0397mm/tahun. Namun, pada konsentrasi 11–15%, lapisan pelindung mulai rusak dan laju korosi cenderung meningkat lebih cepat dengan nilai 0,0477 mm/tahun. Kondisi ini berpotensi menimbulkan korosi lokal seperti *pitting corrosion*, terutama pada waktu pemakaian jangka panjang. Dan dapat mengakibatkan kebocoran pada pipa.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan terhadap laju penipisan pipa *stainless steel 316L* akibat reaksi korosi dengan larutan asam sulfat pada berbagai konsentrasi selama 38 hari.

Konsentrasi asam sulfat memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap laju penipisan pipa SS 316L.

Laju korosi tertinggi terjadi pada konsentrasi 15% (0,0874 mm/tahun) sedangkan laju korosi terendah pada konsentrasi 3% (0,0238 mm/tahun)

Material SS 316L masih menunjukkan ketahanan yang baik pada konsentrasi asam sulfat di bawah 7% dalam kondisi uji.

Ucapan Terima Kasih

Dengan hormat, kami menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus kami tujukan kepada STT Ronggolawe atas bantuan pendanaan yang memungkinkan penelitian ini berjalan dengan baik tanpa hambatan. Selain dukungan finansial, motivasi dan penyediaan fasilitas yang diberikan juga sangat membantu kelancaran serta penyelesaian seluruh tahap penelitian.

Daftar Pustaka

Puspito, P. G., Meryanalinda, & Umartono, A. S. 2023. Analisis laju korosi *carbon steel* ASTM A283

Grade A, *stainless steel* AISI 304L dan AISI 316L dalam cairan asam sulfat. *Jurnal Teknologi dan Ilmiah Teknik Mesin (JTITM)*, 1(1).

Zulfika, D. N. 2023. Analisis pengaruh jenis material stainless steel dan waktu perendaman larutan H_2SO_4 terhadap laju korosi. Majamecha

Dirgantara, T. S. P., Zulfika, D. N., & Rijanto, A. 2022. Perbandingan laju korosi material plat stainless steel (SS) 304 dan 316 terhadap larutan H_2SO_4. Seminar Nasional Fakultas Teknik

Noor, Y. 1997. Pengaruh waktu dan konsentrasi H_2SO_4 dan HCl terhadap laju korosi baja SS 316L. Prosiding Seminar Pranata Nuklir BATAN: 237–243.

Kada, J. D. R. B., Syaiful, A. Z., & Tang, M. (tahun tidak disebut). Analisis laju korosi dan lifetime material stainless steel (SS-316). Jurnal Saintis

Arwati, I. G. A., Widodo, S., & Suyitno. 2015. Corrosion study of SS316L in environment sulphuric acid using weight loss method. Jurnal Rekayasa Material, 9(2)

Mars G. Fontana. (1987). Corrosion Engineering

Helmenstine, A. M. (2019). Demineralized Water Definition and Uses. ThoughtCo