MACHINERY JURNAL TEKNOLOGI TERAPAN
VOL.6 NO.3, OKTOBER 2025

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

ANALISIS KEBOCORAN SAMBUNGAN LAS PIPA *SANITARY* SS 316L YANG DIRENDAM DALAM LARUTAN pH 4

Muhammad Oktariady[1)], M. Rasid[2)], dan Ella Sundari[3)*]
[1)2)]Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya.
Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139, Indonesia
[*]email korespondensi: e_sundari@polsri.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Received:
26/03/2025

Received in revised:
05/08/2025

Accepted:
05/08/2025

Online-Published:
08/10/2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kebocoran pada pipa sanitary berbahan SS 316L yang digunakan dalam saluran bahan tambah makanan. Kebocoran pada pipa diduga disebabkan oleh korosi akibat paparan larutan asam tersebut. Pengujian dilakukan dengan metode eksperimen, menggunakan 12 sampel yang mengalami perlakuan berbeda: tanpa pengelasan, pengelasan argon, dan pengelasan listrik dengan elektroda NSN-309L/E 309-16 dan NSN-316/E 309-16. Seluruh sampel direndam selama 24 jam dalam larutan pH 4, kemudian diuji menggunakan metode gravimetri untuk mengukur kehilangan massa akibat pengikisan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa larutan asam pH 4 secara signifikan menyebabkan penurunan berat pada pipa, dengan tingkat pengikisan tertinggi terjadi pada sambungan las listrik. Persentase pengikisan tertinggi sebesar 2,99% terjadi pada pengelasan menggunakan elektroda NSN-309L/E 309-16, sementara sampel tanpa pengelasan hanya mengalami pengikisan sebesar 0,21%. Validitas data diuji dan dinyatakan valid berdasarkan perbandingan nilai r hitung dengan r tabel. Kesimpulan menunjukkan bahwa metode pengelasan memengaruhi tingkat kerentanan pipa terhadap korosi, dan pengelasan listrik lebih berisiko dibandingkan pengelasan argon dalam lingkungan asam.

***Kata Kunci** : pipa sanitary SS 316L, larutan asam, pH 4, pengelasan, korosi*

ABSTRACT

This study aims to analyze the cause of leakage in SS 316L sanitary pipes used for food additive distribution. The leakage is suspected to be caused by corrosion due to exposure to the acidic environment. The research was conducted experimentally using 12 samples subjected to different treatments: no welding, argon welding, and electric welding using NSN-309L/E 309-16 and NSN-316/E 309-16 electrodes. All samples were immersed for 24 hours in a pH 4 solution and tested using the gravimetric method to measure mass loss due to erosion. The results showed that pH 4 acid solution significantly caused mass reduction in the pipes, with the highest erosion occurring in electric welding joints. The highest erosion percentage, 2.99%, was found in samples welded with NSN-309L/E 309-16 electrodes, while unwelded samples experienced only 0.21% erosion. The validity of the data was tested and confirmed based on the comparison between the calculated r-value and the critical r-table value. The conclusion indicates that the welding method influences the pipe's susceptibility to corrosion, with electric welding posing a higher risk than argon welding in acidic environments.

***Keywords** : sanitary pipe SS 316L, acid solution, pH 4, welding, corrosion*

©2025 The Authors. Published by Machinery: Jurnal Teknologi Terapan (Indexed in SINTA)

doi:
http://doi.org/10.36257/machinery.v6i3.10569

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

1. PENDAHULUAN

PT. XXX atau lebih dikenal dengan nama XXX merupakan produsen berbagai jenis makanan dan minuman yang bermarkas di Jakarta, Indonesia. PT. XXX ini memiliki cabangnya yang salah satu cabangnya yaitu PT. XXX di Palembang. Yang di mana pabrik ini memfokuskan untuk memproduksi *supply* bahan tambah makanan. Perusahaan melakukan proses produksi yang kontinu sehingga gangguan pada salah satu proses akan sangat mempengaruhi unit-unit proses selanjutnya [1].

Dalam menunjang kegiatan produksinya PT. XXX memiliki beberapa *line* perpipaan yang berbahankan *stainless steel* 316L yang di mana baik ketahanan maupun kekuatannya terhadap korosi [2]. *Stainless steel* 316L ini termasuk baja tahan karat yang bersifat non magnetik mempunyai ketahanan korosi yang baik [3]. Di dalam pipa tersebut berisikan bahan tambah makanan. Salah satu yang menjadi perhatian yaitu pipa penyaluran bahan tambah makanan yang selalu bocor. Beberapa indikasi penyebab pipa tersebut bocor yaitu kurangnya ketahanan suatu material dalam menahan *pressure fluida*, penipisan ketebalan pipa, proses pengelasan yang kurang baik sehingga menyebabkan *dark bond* pada *weld metal* yang mengakibatkan terjadinya *disbonding* atau lepasnya *weld metal* pada *base metal*, pemilihan bahan yang kurang kuat untuk menahan keasaman dari bahan tambah makanan, benturan partikel dan yang terakhir bisa jadi karena usia/*lifetime* dari pipa tersebut [4][5][6][7]. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi umur teknis pipa yaitu jenis material pipa, penyambungan pipa, proteksi korosi dan perawatan pipa serta lingkungan kerja di sekitar pipa seperti suhu, tekanan, oksigen, kandungan *klor*, *biofouling,* dan lain-lain [8].

Juga penyebab lainnya karena di dalam pipa tersebut terdapat endapan bahan tambah makanan, yang di mana menyebabkan perubahan tekanan, suhu, atau pH yang melepaskan karbon dioksida terlarut (CO_2) yang disebut Scale [9]. Dalam proses pengelasan juga berpengaruh sangat signifikan terhadap kebocoran pipa baik saat proses penyambungan dengan pengelasan maupun saat proses pendinginan. Yang berpengaruh terhadap ketahanan pada pipa tersebut [10].

Kebocoran pipa bahan tambah makanan tidak bisa kita prediksi, kapan pipa tersebut bocor. Sehingga membuat kegiatan produksi menjadi terhambat dan menyebabkan kerugian besar untuk perusahaan baik itu kerugian perbaikan, gagal produksi maupun lambatnya pengiriman produk kepada konsumen.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka akan dibuat beberapa analisa kegagalan dari pengelasan argon dengan teknik infus, pengelasan las listrik dengan menggunakan elektroda NSN-309L/E 309-16 dan NSN-316/E 309-16. Maka dari itu penulis memberi judul jurnal ini dengan “Analisa Pengaruh Sambungan Las terhadap Kebocoran pada Pipa *Sanitary* SS 316L yang direndam dalam Larutan pH 4”.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yang bertujuan untuk menganalisis penyebab kebocoran pipa *sanitary* SS 316L. Eksperimen yang dilakukan dengan menganalisis pengaruh sambungan las terhadap kebocoran pada pipa *sanitary* SS 316L yang direndam dalam larutan asam pH 4. Proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis.

Tahap pertama dimulai dengan kegiatan studi lapangan, yang mencakup observasi sistem aliran pada perpipaan serta identifikasi *fluida* yang terdapat di dalam pipa SS 316L di area produksi. Selanjutnya dilakukan studi pustaka, yaitu pengumpulan informasi melalui jurnal, artikel penelitian, buku ilmiah, dan sumber terpercaya dari internet, guna memperkuat dasar teori dan mendukung proses analisis.

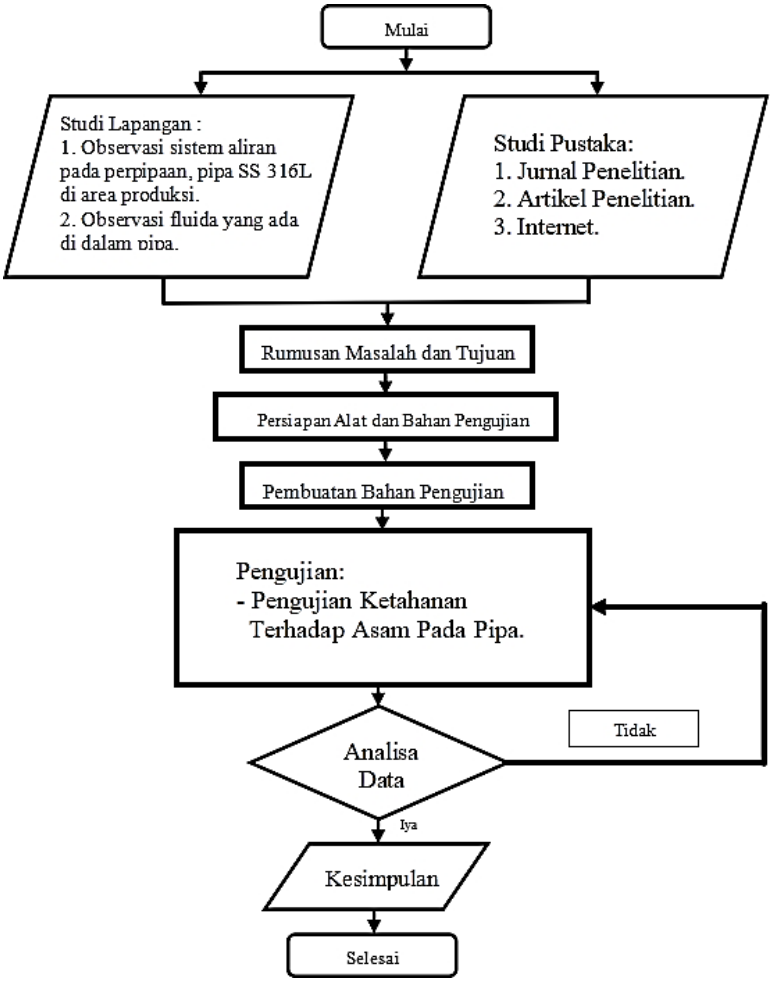
Berdasarkan hasil observasi dan kajian pustaka, perumusan masalah dan penetapan tujuan penelitian. Setelah itu dilakukan persiapan alat dan bahan uji, termasuk pemilihan pipa, elektroda, dan alat pengelasan. Lalu masuk ke tahap pembuatan bahan pengujian, di mana spesimen pipa dipotong, dilas sesuai metode tertentu (tanpa las, las argon, dan las listrik dengan dua jenis elektroda), dan dipersiapkan untuk perendaman.

Proses dilanjutkan dengan pengujian ketahanan terhadap asam, yaitu pencelupan spesimen ke dalam larutan pH 4 selama 24 jam. Yang di mana, dilakukan penimbangan massa awal (sebelum pencelupan) dan akhir (setelah pencelupan) untuk mengetahui selisih berat sebagai indikator korosi menggunakan metode gravimetri.

Seluruh data yang diperoleh dianalisis untuk melihat perbedaan pengikisan akibat korosi pada masing-masing jenis pengelasan dan dilakukan uji validitas data untuk mengecek ke-validan data tersebut. Terakhir, dari hasil analisis data, dilakukan penarikan kesimpulan mengenai pengaruh jenis pengelasan terhadap tingkat kebocoran pipa *sanitary* SS 316L terhadap asam.

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

2.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.3 Peralatan, Bahan, dan APD Saat Pengujian

2.3.1 Peralatan

Peralatan yang dipakai untuk pengujian terdiri dari mesin las, gas argon, setang las argon, penjepit massa las argon, regulator gas argon, selang penyambung regulator ke mesin las, gerinda tangan, dan gerinda duduk.

2.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk pengujian terdiri dari tungsten las argon, elektroda, *filler metal*, batu gerinda potong, batu gerinda duduk, dan pipa *sanitary* SS 316L yang merupakan material yang tahan korosi [11].

2.3.3 Alat Pelindung Diri (APD) saat pengujian

Alat pelindung diri (APD) saat pengujian terdiri dari apron dan pelindung lengan, sepatu *safety*, sarung tangan las, kedok las, kedok gerinda, *ear plug*, sarung tangan, dan masker.

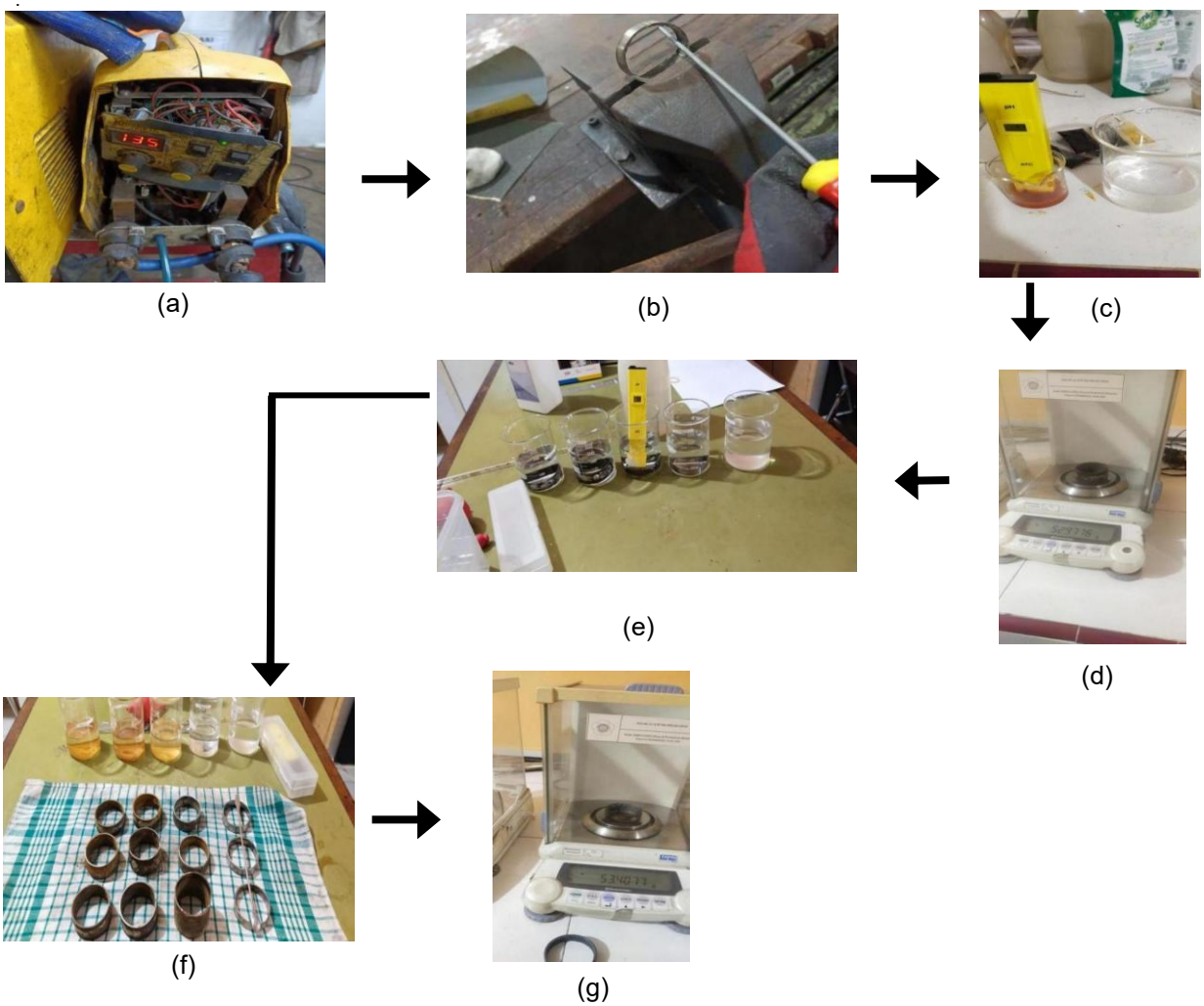
2.4 Langkah-Langkah dalam Pembuatan Sampel Spesimen

Berikut merupakan langkah-langkah dalam pembuatan sampel spesimen untuk pengujian:

1. Persiapan alat dan bahan untuk pengujian. (seperti yang tertera di bagian 2.3.1 dan 2.3.2)
2. Pemotongan bahan pipa *sanitary* SS 316 L menjadi panjang 1 cm.
3. Pengelasan pada bahan.
4. Perapian bahan yang diuji.

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

5. Pengukuran pH asam dari bahan tambah makanan. Didapat pH-nya sebesar 3,4.
6. Pengambilan larutan asam yang pH-nya hampir sama dengan pH 3,4.
7. Menimbang berat awal dari setiap sampel sebelum dicelupkan ke dalam larutan asam.
8. Pencelupan bahan uji ke dalam larutan asam dan di diamkan selama 1 hari / 24 jam.
9. Penimbangan berat sesudah di celupkan ke dalam larutan asam.
10. Setelah melakukan pengujian dilakukan analisis data hasil pengujian.



Gambar 2. Langkah dalam Pembuatan Sampel Spesimen (a) Penyetelan ampere trafo las dan pengelasan sampel, (b) Perapian sampel yang telah dilas, (c) Pengukuran pH asam pada bahan tambah makanan, (d) Penimbangan awal sampel sebelum dicelupkan dalam larutan asam, (e) Perendaman sampel pada larutan asam yang pH-nya sudah disamakan dengan pH bahan tambah makanan, (f) 12 sampel yang sudah dikelompokkan dan dilakukan proses perendaman larutan asam, (g) Penimbangan akhir sampel setelah direndam dalam larutan asam

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Gravimetri

Uji Gravimetri adalah analisis kuantitatif berdasarkan pada pengukuran bobot suatu unsur atau senyawa tertentu. Kelebihan gravimetri antara lain adalah tidak membutuhkan zat pembanding dan alat yang terkalibrasi hanya neraca analitik [12]. Pengujian dilakukan dengan Massa sampel sebelum dan setelah dilakukan uji, ditimbang untuk mengetahui selisih massanya [13]. Pengujian gravimetri ini dilakukan di laboratorium teknik kimia Politeknik Negeri Sriwijaya pada tanggal 6 Januari 2024. Pada uji gravimetri ini terdapat 4 spesimen dengan 1 spesimen terdapat 3 sampel. Jadi total ada 12 sampel yang diujikan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berapa berat benda yang terkikis dalam 24 jam/1440 menit. Berikut spesifikasi bahan uji sebagai berikut:

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

Tabel 1. Spesifikasi Bahan

No	Spesifikasi Bahan	Keterangan
1	Jenis Bahan	Pipa
2	Nama Bahan	Pipa Sanitary SS 316L
3	Diameter Bahan	2 inch
4	Tebal Bahan	2 mm
5	Berat/Batang	14,68 kg

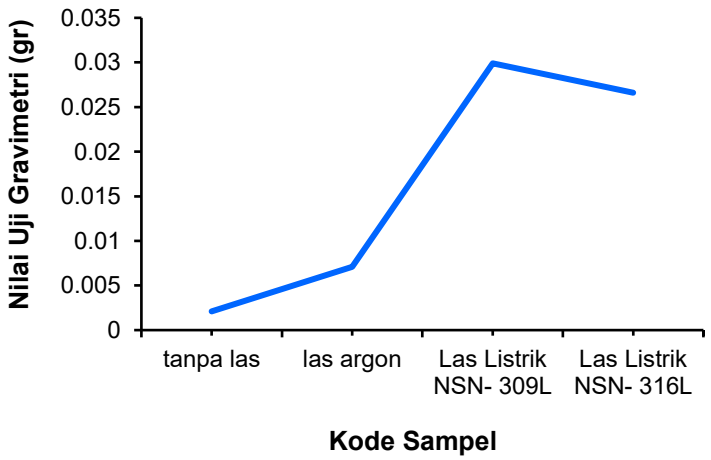
Dalam pengujian ini akan ada 4 perlakuan pada bahan yaitu:
1. Tanpa Pengelasan.
2. Di Las Argon.
3. Di Las Listrik dengan Elektroda NSN-309L/E 309-16.
4. Di Las Listrik dengan Elektroda NSN-316/E 309-16.

Dari 4 perlakuan pada bahan uji maka akan dilakukan pengujian gravimetri dengan hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Gravimetri

No.	Nama / kode Sampel	Parameter Uji	Hasil Analisa		Selisih (gr)	Rata - Rata (gr)
			Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
1	A- Tanpa Pengelasan	Uji Gravimetri	21,7003	21,6963	0,004	0,0021
2	B- Tanpa Pengelasan		21,3419	21,3407	0,0012	
3	C- Tanpa Pengelasan		20,1575	20,1564	0,0011	
4	A- Las Argon	Uji Gravimetri	34,5199	34,5082	0,0117	0,0071
5	B- Las Argon		31,0919	31,0884	0,0035	
6	C- Las Argon		75,1558	75,1495	0,0063	
7	A- Las Listrik NSN-309L/E 309-16	Uji Gravimetri	53,4077	53,3486	0,0591	0,0299
8	B- Las Listrik NSN-309L/E 309-16		52,9912	52,9776	0,0136	
9	C- Las Listrik NSN-309L/E 309-16		64,9433	64,9261	0,0172	
10	A- Las Listrik NSN-316/E 309-16	Uji Gravimetri	40,0720	40,0158	0,0562	0,0226
11	B- Las Listrik NSN-316/E 309-16		44,7658	44,7615	0,0043	
12	C- Las Listrik NSN-316/E 309-16		50,1341	50,1268	0,0073	

Dari data hasil pengujian gravimetri yang telah dilakukan, berikut merupakan grafik yang diperoleh dari hasil pengujian:



Gambar 3. Grafik Rata-Rata Hasil Pengujian

Berdasarkan grafik di atas dapat terlihat bahwa pengelasan dengan metode las listrik proses pengikisan pada pipa lebih besar dibandingkan dengan menggunakan las argon.

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

3.2 Analisa Data Hasil Pengujian Gravimetri

Dari Tabel 2. hasil uji gravimetri dapat dilihat persentase pengaruh dari larutan asam terhadap pengikisan pada permukaan pipa dan permukaan pengelasan pada pipa. Berikut kesimpulan persentase pengaruh larutan asam berdasarkan hasil uji gravimetri di atas:

a. Hasil analisa dari bahan uji tanpa pengelasan didapatkan nilai rata-rata sebesar 0,0021 sehingga dapat disimpulkan bahwa persentase pengaruh larutan asam terhadap permukaan pipa dan permukaan pengelasan pada pipa memberikan pengaruh sebesar 0,21 %.
b. Hasil analisa dari bahan uji yang di las argon didapatkan nilai rata-rata sebesar 0,0071 sehingga dapat disimpulkan bahwa persentase pengaruh larutan asam terhadap permukaan pipa dan permukaan pengelasan pada pipa memberikan pengaruh sebesar 0,71 %.
c. Hasil analisa dari bahan uji yang di las listrik NSN-309L/E 309-16 didapatkan nilai rata-rata sebesar 0,0299 sehingga dapat disimpulkan bahwa persentase pengaruh larutan asam terhadap permukaan pipa dan permukaan pengelasan pada pipa memberikan pengaruh sebesar 2,99 %.
d. Hasil analisa dari bahan uji yang di las listrik NSN-316/E 309-16 didapatkan nilai rata-rata sebesar 0,0226 sehingga dapat disimpulkan bahwa persentase pengaruh larutan asam terhadap permukaan pipa dan permukaan pengelasan pada pipa memberikan pengaruh sebesar 2,26 %.

Berdasarkan hasil pengujian di atas diketahui semakin kompleks proses pengelasan dan semakin banyak campuran material yang digunakan, maka ketahanan permukaan pipa terhadap larutan asam cenderung menurun. Hal-hal yang mempengaruhi laju dari korosi, disebabkan oleh perubahan struktur mikro, ketebalan, dan komposisi logam [14].

Tabel 3. Data Persentase Pengaruh Asam Terhadap Terkikisnya Pipa

No.	Nama/Kode Sampel	Rata-Rata Hasil Analisa	Persentase Pengaruh
1	Tanpa Pengelasan	0.0021	0.21 %
2	Di Las Argon	0.0071	0.71 %
3	Di Las Listrik NSN-309L/E 309-16	0.0299	2.99 %
4	Di Las Listrik NSN-316/E 309-16	0.0226	2.26 %

3.2 Pembahasan Uji Validitas

Uji validitas digunakan untuk mengukur sah, atau valid tidaknya suatu penelitian [15]. Uji validitas bertujuan untuk memvaliditas suatu hasil pengujian yang menggunakan alat ukur, di sini pengujian validitas ini penulis memvaliditas hasil uji gravimetri, data yang digunakan dalam pengujian validitas ini yaitu tabel hasil uji gravimetri berat sebelum dan setelah dari pipa *sanitary* SS 316L 2” sebanyak 12 sampel.

Tabel 4. Data Tabel Untuk Uji Validitas

No.	Nama/Kode Sampel	Parameter Uji	Hasil Analisa		Selisih (gr)	Rata-Rata (gr)
			Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
1	D- Tanpa Pengelasan	Uji Gravimetri	21,7003	21,6963	0,004	0,0021
2	E- Tanpa Pengelasan		21,3419	21,3407	0,0012	
3	F- Tanpa Pengelasan		20,1575	20,1564	0,0011	
4	D- Las Argon	Uji Gravimetri	34,5199	34,5082	0,0117	0,0071
5	E- Las Argon		31,0919	31,0884	0,0035	
6	F- Las Argon		75,1558	75,1495	0,0063	
7	C- Las Listrik NSN-309L/E 309-16	Uji Gravimetri	53,4077	53,3486	0,0591	0,0299
8	B- Las Listrik NSN-309L/E 309-16		52,9912	52,9776	0,0136	
9	C- Las Listrik NSN-309L/E 309-16		64,9433	64,9261	0,0172	
10	B- Las Listrik NSN-316/E 309-16	Uji Gravimetri	40,0720	40,0158	0,0562	0,0226
11	D- Las Listrik NSN-316/E 309-16		44,7658	44,7615	0,0043	
12	C- Las Listrik NSN-316/E 309-16		50,1341	50,1268	0,0073	

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

No.	Nama/Kode Sampel	Parameter Uji	Hasil Analisa		Selisih (gr)	Rata-Rata (gr)
			Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
		∑X	50,1341	50,1268	-	-
		∑Y	-		0,1855	-
		$(\sum X)^2$	2.513,43	2.512,7	-	-
		$(\sum Y)^2$	-		5,026.13	-
		∑X.Y	8,9252	8,9177	0,00741131	-
		$\sum X^2$	25.140,6804	25.122,8372	0,00741131	0,00145959
		$\sum Y^2$	17,8503			

$$r_{xy} = \frac{N\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{N\sum X^2 - (\sum X)^2\}\{N\sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}} \quad (1)$$

Dimana,
r_{XY} = Koefisien korelasi antara variabel X dan Y
$\sum X.Y$ = Jumlah perkalian antara variabel X dan Y
$\sum X^2$ = Jumlah dari kuadrat nilai X
$\sum Y^2$ = Jumlah dari kuadrat nilai Y
$(\sum X)^2$ = Jumlah nilai X kemudian dikuadratkan
$(\sum Y)^2$ = Jumlah nilai Y kemudian dikuadratkan

Dengan nilai,
$\sum X$ = 50,1341
$\sum Y$ = 0,1855
$\sum X.Y$ = 8,9252
$\sum X^2$ = 25.140,6804
$\sum Y^2$ = 17,8503

Sehingga diperoleh r_{xy} = 1,2218

Nilai r hitung untuk pertanyaan di atas adalah 1,2218. Untuk mengetahui suatu data itu valid. Maka harus nilai r hitung > nilai r tabel. Diketahui nilai r tabel yaitu (n-2) = 10 untuk taraf kesalahan 5% yaitu sebesar 0,5760. Nilai ini didapatkan dari r dibawah ini:

Tabel 5. r tabel

df = (N - 2)	Tingkat Signifikansi Untuk Uji Satu Arah				
	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
	Tingkat Signifikansi Untuk Uji Dua Arah				
	0.2	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.9877	0.9969	0.9995	0.9999	1.0000
2	0.9000	0.9500	0.9800	0.9900	0.9990
3	0.8054	0.8783	0.9343	0.9587	0.9911
4	0.7293	0.8114	0.8822	0.9172	0.9741
5	0.6694	0.7545	0.8329	0.8745	0.9509
6	0.6215	0.7067	0.7887	0.8343	0.9249
7	0.5822	0.6664	0.7498	0.7977	0.8983
8	0.5494	0.6319	0.7155	0.7646	0.8721
9	0.5214	0.6021	0.6851	0.7348	0.8470
10	0.4973	0.5760	0.6581	0.7079	0.8233

Karena nilai r hitung > nilai r tabel yaitu 1,2218 > 0,5760 maka pertanyaan tersebut VALID.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa asam pada bahan tambahan makanan berperan dalam mengurangi massa pipa, sehingga menyebabkan pengikisan dan berpotensi menimbulkan kebocoran. Proses pengelasan turut memengaruhi tingkat pengikisan, di mana pengelasan dengan metode las listrik menunjukkan tingkat pengikisan yang lebih tinggi dibandingkan dengan las argon.

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

Selain itu, pipa tanpa pengelasan mengalami pengikisan yang lebih rendah dibandingkan dengan pipa yang mengalami proses pengelasan, karena sambungan pada *stainless steel* akibat pengelasan lebih rentan terhadap korosi akibat rekristalisasi yang menyebabkan perubahan kekuatan dan korosi suatu struktur [16]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pipa *sanitary* SS 316L 2" tanpa pengelasan memiliki tingkat pengikisan sebesar 0,21%, sedangkan pipa yang dilas argon sebesar 0,71%, pipa yang dilas listrik dengan elektroda NSN-309L/E 309-16 sebesar 2,99%, dan dengan elektroda NSN-316/E 309-16 sebesar 2,26%. Seluruh data yang diperoleh telah dinyatakan valid berdasarkan uji validitas, dengan nilai r hitung sebesar 1,2218 yang lebih besar dari r *product* moment sebesar 0,5760.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. A. Arini, "Analisis Risiko Kebocoran Pada Tangki Penyimpanan Asam Sulfat Menggunakan Metode Quantitative Risk Analysis (QRA)," Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia, Final Rep., Feb. 13, 2024.

[2] M. Husaini, M. Ali, and M. M. Nizar, "Analisis Kegagalan Daerah Lasan Pipa Stainless Steel Sebagai Media Reboiler Pabrik Pupuk," Proc. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII), Depok, Indonesia, Oct. 15-16, 2014.

[3] H. Putra, "Pengaruh Media Pendingin Sesudah Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis Stainless Steel 316," Universitas Islam Riau, Pekanbaru, Indonesia, Final Rep., Feb. 13, 2024.

[4] Y. Mariah, "Studi Korosi Plat Baja Material Kapal Terhadap Salinitas Dan Derajat Keasaman (pH) Di Pelabuhan Pengasinan Pertamina Jakarta," Jurnal Indonesia Sosial Sains, vol. 2, no. 3, Mar. 2021. https://doi.org/10.36418/jiss.v2i3.219

[5] S. Nugroho and Rusnaldy, "Analisis Kebocoran Pipa Reformer Di Sebuah Perusahaan Petrokimia," Jurnal Teknik Mesin ROTASI, vol. 16, no. 2, pp. 27-31,Apr.2014.https://doi.org/10.14710/rotasi.16.2.27-31

[6] N. L. Antara, "Pencegahan Akibat Terjadinya Karat Pada Pipa Boiler," Jurnal LOGIC, vol. 13, no. 3, Nov. 2013.

[7] K. M. R. Khadafi, Hendradinata, F. Putri, and U. O. Meita, "Analisis Kegagalan Pipa Embedded Pada PLTU TE 3×10 MW," MACHINERY: Jurnal Teknik Mesin, vol. 5, no. 2, Jun. 2024.

[8] D. Idamayanti, B. Bandanadjaja, and M. Achyarsyah, "Analisis Kegagalan Pipa AISI 316L Pada Lingkungan Lepas Pantai," Proc. STEMAN 2016, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung, ISBN 978-979-17047-6-2.

[9] Y. Andrika, "Pengaruh Asam Organik Hasil Pyrolysis Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pereduksi Scale Pada Pipa Distribusi," Universitas Islam Riau, Pekanbaru, Indonesia, Final Rep., Feb. 13, 2024.

[10] A. Sam, "Analisa Kecepatan Korosi Pipa Galvanis Pada Tanah Dengan Tingkat Kehalusan Yang Berbeda," Jurnal SMARTek, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia.

[11] D. P. Triharto, "Studi Ketahanan Korosi Material SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan HC-276 Dalam Larutan Asam Asetat Yang Mengandung Ion Bromida," M.S. thesis, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 2010.

[12] E. K. Pengestuti and D. Petrus, "Analisis Kadar Abu dalam Tepung Terigu dengan Metode Gravimetri," Jurnal Kimia dan Rekayasa, vol. 2, no. 1, 2020, Universitas Setia Budi, Surakarta.

[13] S. Novita, E. Ginting, and W. Astuti, "Analisis Laju Korosi dan Kekerasan Pada Stainless Steel 304 dan Baja Nikel Laterit Dengan Variasi Kadar Ni (0, 3, dan 10% Ni) Dalam Medium Korosif," Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika, vol. 6, no. 1, Jan. 2018, Universitas Lampung.

[14] D. A. Pangestu, S. Hastuti, C. Pramono, et al., "Pengaruh Waktu Proses Thermal Spray Aluminium Terhadap Laju Korosi dan Struktur Morfologi Baja AISI 1020," MACHINERY: Jurnal Teknik Mesin, vol. 5, no. 3, Oct. 2024.

[15] N. Wahyuni, "Uji Validitas dan Uji Reliabilitas," BINUS QMC, Nov. 2014.

[16] Y. Purwanto and D. L. I. Saputra, "Pengukuran Laju Korosi Pada Kondisi Asam Material Stainless Steel Yang Mengalami Pengelasan," Proc. Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR Tahun 2020, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN, Tangerang Selatan, 2020