



Analisis Laju Korosi Baja Tahan Karat SS304 dan SS316 dalam Larutan Natrium Hidroksida pada Berbagai Kondisi Temperatur dan Kecepatan Pengadukan

Mohammad Iqbal Faza Masyrofi^{1*}, Lisa Puspita Ariyanto², Meryanalinda³

¹⁻³Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gresik, Indonesia

Email: femas9393@gmail.com

*Mohammad Iqbal Faza Masyrofi

Abstract. Corrosion of stainless steel materials in alkaline environments and at elevated temperatures is one of the factors affecting the service life of equipment in palm oil neutralization systems. This study aimed to analyze the effects of temperature and stirring speed on corrosion rate and to compare the corrosion resistance of SS304 and SS316 stainless steels in a 1 M NaOH solution. Corrosion testing was conducted using the weight loss method based on ASTM G31-72 for 49 days under temperature variations of 70°C, 90°C, and 110°C and stirring speeds of 100 rpm, 200 rpm, and 300 rpm. The corrosion rate was calculated based on specimen mass loss and evaluated using corrosion resistance classification. The results showed that increasing temperature and stirring speed led to higher corrosion rates for both materials. The highest corrosion rate was observed in SS304 at 0.0247 mm/year under conditions of 110°C and 300 rpm, while the lowest corrosion rate was obtained in SS316 at 0.0124 mm/year under conditions of 70°C and 100 rpm. Overall, SS316 exhibited better corrosion resistance than SS304 due to its greater ability to maintain passive layer stability. Based on the corrosion resistance classification, most testing conditions were categorized as excellent, indicating that both materials remain suitable for use in palm oil neutralization systems.

Keywords: corrosion rate; NaOH; SS304; SS316; stirring speed

Abstrak. Korosi pada material *stainless steel* dalam lingkungan basa dan temperatur tinggi menjadi salah satu faktor yang memengaruhi umur pakai peralatan pada sistem netralisasi minyak sawit. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh temperatur dan kecepatan pengadukan terhadap laju korosi serta membandingkan ketahanan korosi baja tahan karat SS304 dan SS316 dalam larutan NaOH 1 M. Pengujian dilakukan menggunakan metode *weight loss* berdasarkan standar ASTM G31-72 selama 49 hari dengan variasi temperatur 70°C, 90°C, dan 110°C serta kecepatan pengadukan 100 rpm, 200 rpm, dan 300 rpm. Laju korosi dihitung berdasarkan kehilangan massa spesimen dan dianalisis menggunakan klasifikasi ketahanan korosi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur dan kecepatan pengadukan menyebabkan peningkatan laju korosi pada kedua material. Nilai laju korosi tertinggi diperoleh pada SS304 sebesar 0,0247 mm/tahun pada kondisi 110°C dan 300 rpm, sedangkan nilai terendah diperoleh pada SS316 sebesar 0,0124 mm/tahun pada kondisi 70°C dan 100 rpm. Secara umum, SS316 menunjukkan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan SS304 karena kemampuan mempertahankan lapisan pasif yang lebih tinggi. Berdasarkan klasifikasi ketahanan korosi, sebagian besar kondisi pengujian berada pada kategori sangat baik sehingga kedua material masih layak digunakan pada sistem netralisasi minyak sawit, dengan SS316 lebih direkomendasikan untuk kondisi operasi yang lebih agresif.

Kata kunci: kecepatan pengadukan; laju korosi; NaOH; SS304; SS316

1. LATAR BELAKANG

Industri pengolahan minyak kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis yang menopang perekonomian nasional dan global. Proses pemurnian minyak sawit melibatkan beberapa tahapan kimia, di antaranya *degumming*, netralisasi, *bleaching*, dan *deodorization*. Tahap netralisasi memiliki peran krusial karena bertujuan menurunkan kadar asam lemak bebas melalui reaksi antara minyak mentah dan larutan natrium hidroksida (NaOH) (Saputra et al., 2024). Proses ini umumnya berlangsung pada suhu

tinggi dan disertai pengadukan untuk memastikan homogenitas campuran dan efektivitas reaksi.

Kondisi operasi pada tahap netralisasi tersebut berpotensi menimbulkan permasalahan korosi pada material peralatan proses, khususnya tangki pengaduk. Lingkungan basa kuat, suhu tinggi, serta adanya pengadukan menyebabkan meningkatnya aktivitas elektrokimia pada permukaan logam. Selain mempercepat reaksi korosi secara kimiawi, pengadukan juga menimbulkan turbulensi dan gaya geser fluida yang dapat mengganggu kestabilan lapisan pasif pada permukaan baja tahan karat (Basori et al., 2024, 2023). Apabila lapisan pasif ini mengalami kerusakan secara berulang, maka permukaan logam akan terekspos langsung ke lingkungan korosif sehingga laju korosi meningkat secara signifikan.

Baja tahan karat austenitik, khususnya SS304 dan SS316, banyak digunakan sebagai material konstruksi tangki dan peralatan proses karena memiliki ketahanan korosi yang relatif baik serta kemudahan fabrikasi. SS304 dikenal sebagai material yang ekonomis dan cukup tahan terhadap lingkungan basa, sedangkan SS316 memiliki ketahanan korosi yang lebih tinggi akibat penambahan unsur molibdenum (Mo) yang meningkatkan stabilitas lapisan pasif dan ketahanan terhadap korosi lokal (Baranidharan et al., 2021; Oyaidzu et al., 2016; Reyad et al., 2025). Meskipun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa baja tahan karat tetap dapat mengalami degradasi dalam lingkungan basa kuat, terutama pada temperatur tinggi dan kondisi aliran fluida yang dinamis (Ananda Rao et al., 2018; Horn et al., n.d.).

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji perilaku korosi baja tahan karat dalam larutan NaOH. Horn dkk. (1991) melaporkan bahwa *Stainless steel* menunjukkan laju korosi yang relatif rendah dalam larutan NaOH pada kondisi statis, namun laju korosi meningkat signifikan ketika kecepatan aliran fluida ditingkatkan (Horn et al., 1991). Penelitian Meryanalinda dkk. (2020) menunjukkan bahwa SS304 tetap mengalami kehilangan massa terukur dalam larutan NaOH, meskipun tingkat korosinya lebih rendah dibandingkan lingkungan asam. Temuan ini menegaskan bahwa lingkungan basa tidak sepenuhnya bersifat pasif terhadap *Stainless steel*.

Selain faktor hidrodinamika, temperatur merupakan parameter penting yang memengaruhi perilaku korosi baja tahan karat dalam lingkungan basa. Atashin et al. (2013) menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan aliran menyebabkan penurunan

stabilitas lapisan pasif SS316 akibat meningkatnya turbulensi dan gaya geser fluida (Atashin et al., 2013). Penelitian Saefuloh et al. (2021) juga melaporkan bahwa kenaikan kecepatan pengadukan berbanding lurus dengan peningkatan laju korosi karena semakin intensifnya interaksi antara permukaan logam dan media korosif (Variasi Kecepatan Pengadukan dengan Penambahan Perlakuan Panas Lapisan et al., 2021). Di sisi lain, peningkatan temperatur diketahui dapat mempercepat kinetika reaksi elektrokimia, meningkatkan difusi ion dalam larutan, serta menurunkan kestabilan lapisan pasif yang berperan sebagai pelindung utama stainless steel. Li et al. (2019) menunjukkan bahwa kombinasi temperatur dan kondisi hidrodinamika merupakan faktor penting yang mengendalikan mekanisme degradasi permukaan logam melalui fenomena erosi–korosi (Li et al., 2019). Temuan-temuan tersebut mengindikasikan bahwa temperatur dan kecepatan pengadukan memiliki peran yang saling berkaitan dalam menentukan ketahanan korosi material.

Meskipun berbagai penelitian telah mengevaluasi pengaruh lingkungan NaOH, temperatur, maupun kondisi aliran terhadap korosi stainless steel, kajian yang mengombinasikan variasi temperatur dan kecepatan pengadukan pada material SS304 dan SS316 dalam satu sistem pengujian yang terintegrasi masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada pengaruh salah satu parameter secara terpisah, menggunakan metode elektrokimia, atau menerapkan sistem aliran kontinu yang belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi pengadukan pada tangki proses industri. Padahal, dalam kondisi operasi nyata, material secara simultan mengalami paparan lingkungan basa, temperatur tinggi, dan turbulensi akibat pengadukan yang berpotensi menghasilkan efek sinergistik terhadap peningkatan laju korosi. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mampu mengevaluasi pengaruh kedua parameter tersebut secara bersamaan untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perilaku korosi *stainless steel* dalam lingkungan NaOH.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku korosi baja tahan karat SS304 dan SS316 dalam larutan NaOH 1 M pada variasi temperatur 70, 90, dan 110°C serta kecepatan pengadukan 100, 200, dan 300 rpm menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss method*) sesuai standar ASTM G31. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh temperatur, kecepatan pengadukan, serta interaksi keduanya terhadap laju korosi dan ketahanan

material. Hasil penelitian juga diharapkan menjadi dasar ilmiah dalam pemilihan material dan optimasi parameter operasi pada industri yang menggunakan media berbasis natrium hidroksida, khususnya pada sistem pengadukan yang beroperasi pada temperatur tinggi.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1. Korosi Logam

Korosi merupakan proses degradasi material logam yang terjadi akibat reaksi elektrokimia antara logam dan lingkungannya. Proses ini menyebabkan perubahan sifat fisik, kimia, dan mekanik material sehingga menurunkan umur pakai dan keandalannya. Menurut Shwetha et al. (2024), korosi terjadi karena logam cenderung kembali ke kondisi termodinamik yang lebih stabil melalui pembentukan oksida atau hidroksida. Reaksi ini melibatkan proses oksidasi pada daerah anodik dan reaksi reduksi pada daerah katodik yang berlangsung secara simultan.

Korosi pada baja tahan karat bersifat kompleks karena bergantung pada kestabilan lapisan pasif yang terbentuk secara alami di permukaan material. Lapisan ini dapat melindungi logam dari serangan lingkungan, namun dapat terdegradasi pada kondisi tertentu seperti suhu tinggi, lingkungan basa kuat, dan adanya gaya mekanik dari aliran fluida (Ou et al., 2025; Sun et al., 2024). Dengan demikian, korosi tidak hanya dipengaruhi oleh sifat kimia lingkungan, tetapi juga oleh kondisi hidrodinamika dan karakteristik material.

2.2. Mekanisme Elektrokimia Korosi

Secara elektrokimia, korosi terjadi melalui reaksi oksidasi logam pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Pada lingkungan berair, reaksi oksidasi ditandai dengan pelepasan ion logam dan elektron, sedangkan reaksi reduksi umumnya melibatkan reduksi oksigen terlarut atau ion hidrogen. Betova et al. (2025) menyatakan bahwa keberadaan elektrolit mempercepat perpindahan ion dan elektron, sehingga mempercepat laju korosi.

Pada lingkungan basa seperti larutan natrium hidroksida (NaOH), reaksi reduksi oksigen menjadi dominan. Ion hidroksida (OH^-) yang tinggi dapat melarutkan lapisan oksida pelindung pada baja tahan karat sehingga permukaan logam terekspos secara langsung. Kondisi ini mempercepat pelarutan logam dan meningkatkan laju korosi, terutama pada suhu tinggi dan kondisi aliran turbulen.

2.3. *Stainless steel* sebagai Material Tahan Korosi

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% kromium (Cr) dan memiliki kemampuan membentuk lapisan pasif kromium oksida (Cr_2O_3) yang tipis dan stabil. Lapisan ini berfungsi sebagai penghalang difusi ion agresif sehingga menghambat terjadinya reaksi elektrokimia lanjutan (Choi et al., 2025). Selain kromium, unsur paduan seperti nikel (Ni) dan molibdenum (Mo) berperan dalam meningkatkan kestabilan struktur mikro dan ketahanan terhadap korosi lokal.

Menurut Javidi et al. (2024), *stainless steel* tipe austenitik memiliki ketahanan korosi yang sangat baik dalam berbagai lingkungan berair, termasuk lingkungan basa. Namun, kestabilan lapisan pasif tetap dapat terganggu oleh faktor eksternal seperti suhu tinggi, konsentrasi larutan, dan kecepatan aliran fluida. Oleh karena itu, pemilihan jenis *stainless steel* perlu mempertimbangkan kondisi operasi aktual.

2.4. Karakteristik *Stainless steel* 304

Stainless steel 304 (SS304) merupakan baja tahan karat austenitik yang paling umum digunakan karena memiliki keseimbangan yang baik antara sifat mekanik, ketahanan korosi, dan biaya. Material ini mengandung sekitar 18–20% kromium dan 8–10,5% nikel. Struktur austenitiknya memberikan keuletan tinggi dan kemudahan fabrikasi (Peng et al., 2025).

Meskipun SS304 memiliki ketahanan yang baik terhadap lingkungan netral dan sedikit basa, material ini relatif rentan terhadap korosi sumuran dan erosi-korosi pada lingkungan agresif, terutama pada suhu tinggi dan kondisi aliran turbulen. Ketidakadaan unsur molibdenum menyebabkan lapisan pasif SS304 lebih mudah terdegradasi dibandingkan SS316.

2.5. Karakteristik *Stainless steel* 316

Stainless steel 316 (SS316) merupakan baja tahan karat austenitik yang mengandung molibdenum sekitar 2–3%. Penambahan molibdenum ini meningkatkan ketahanan terhadap *pitting corrosion* dan *crevice corrosion*, khususnya pada lingkungan yang mengandung ion agresif. Selain itu, SS316 memiliki kestabilan lapisan pasif yang lebih baik pada kondisi suhu tinggi dan aliran fluida.

Penelitian (Lamprou et al., 2026) menunjukkan bahwa SS316 memiliki laju korosi yang lebih rendah dibandingkan SS304 dalam berbagai lingkungan korosif, termasuk

larutan basa. Hal ini menjadikan SS316 lebih unggul untuk aplikasi industri kimia dan pengolahan minyak yang melibatkan kondisi ekstrem, meskipun dengan biaya material yang lebih tinggi.

2.6. Lingkungan Basa Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida merupakan basa kuat yang banyak digunakan dalam industri, termasuk pada proses netralisasi minyak kelapa sawit. Lingkungan basa kuat dapat memengaruhi kestabilan lapisan pasif *stainless steel* melalui mekanisme disolusi oksida dan peningkatan aktivitas ion OH^- . Liu et al. (2024), menyatakan bahwa pada konsentrasi tertentu dan suhu tinggi, NaOH mampu melarutkan lapisan Cr_2O_3 sehingga meningkatkan laju korosi material.

Pada suhu tinggi, reaksi elektrokimia berlangsung lebih cepat akibat meningkatnya energi kinetik partikel dan difusivitas ion. Hal ini menjadikan larutan NaOH pada suhu $\pm 90^\circ\text{C}$ sebagai media yang cukup agresif bagi baja tahan karat, terutama jika dikombinasikan dengan kondisi aliran dinamis.

2.7. Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Laju Korosi

Kecepatan pengadukan merupakan parameter hidrodinamik yang berpengaruh signifikan terhadap laju korosi. Peningkatan kecepatan pengadukan meningkatkan turbulensi dan gaya geser fluida pada permukaan logam. Menurut Atashin et al. (2013), gaya geser yang tinggi dapat mengikis lapisan pasif *stainless steel* sehingga permukaan logam terus terekspos terhadap lingkungan korosif.

Selain itu, pengadukan meningkatkan perpindahan massa dan suplai oksigen terlarut ke permukaan logam, yang mempercepat reaksi katodik dan memperbesar laju korosi. Liu et al. (2024), menjelaskan bahwa kondisi turbulen menghilangkan lapisan batas difusi, sehingga ion agresif seperti OH^- lebih mudah berinteraksi dengan permukaan material. Dengan demikian, peningkatan kecepatan pengadukan cenderung meningkatkan laju korosi, terutama pada material dengan lapisan pasif yang kurang stabil.

2.8. Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Laju Korosi

Larutan natrium hidroksida (NaOH) merupakan basa kuat yang dapat melarutkan lapisan pasif Cr_2O_3 pada permukaan *stainless steel*. Peningkatan suhu menyebabkan

energi kinetik ion dalam larutan meningkat sehingga frekuensi tumbukan antara ion OH^- dan permukaan logam menjadi lebih tinggi. Kondisi ini mempercepat pelarutan lapisan pasif dan meningkatkan laju reaksi elektrokimia yang mengendalikan proses korosi. Sesuai dengan persamaan Arrhenius, kenaikan temperatur akan meningkatkan laju reaksi korosi karena energi aktivasi reaksi lebih mudah tercapai pada suhu yang lebih tinggi (Kuznetsov, 2022).

Selain meningkatkan kinetika reaksi, kenaikan suhu juga mempercepat difusi ion dan perpindahan massa dalam larutan sehingga ion OH^- lebih mudah mencapai permukaan logam, sementara produk korosi lebih cepat terdispersi ke dalam larutan. Akibatnya, proses korosi berlangsung lebih kontinu dan intensif. Tian et al. (2024) melaporkan bahwa peningkatan temperatur pada lingkungan basa meningkatkan aktivitas korosif larutan melalui percepatan transport ion dan reaktivitas permukaan logam. Di samping itu, temperatur tinggi menurunkan stabilitas lapisan pasif sehingga kemampuan proteksi *stainless steel* berkurang dan laju korosi cenderung meningkat (Pardo et al., 2008).

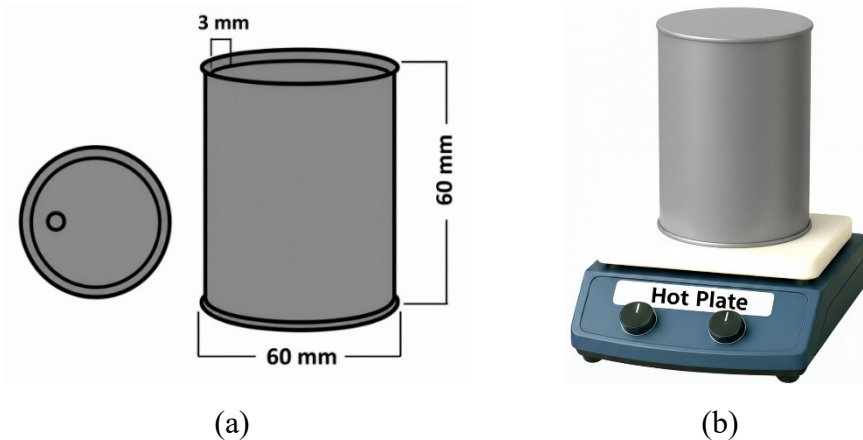
2.9. Hipotesis

Berdasarkan kajian teoritis mengenai korosi baja tahan karat dalam lingkungan basa, penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa laju korosi SS304 dan SS316 dalam larutan NaOH meningkat seiring dengan kenaikan suhu dan kecepatan pengadukan. Selain itu, SS316 diperkirakan memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan SS304 pada seluruh kondisi pengujian karena stabilitas lapisan pasif yang lebih tinggi.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh kecepatan pengadukan terhadap laju korosi baja tahan karat SS304 dan SS316 dalam larutan natrium hidroksida (NaOH). Material uji berupa baja tahan karat austenitik SS304 dan SS316 dibuat dalam bentuk silinder berdiameter 60 mm, tinggi 60 mm, dan tebal 3 mm, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1. Media korosif yang digunakan adalah larutan NaOH 1 M. Variasi kecepatan pengadukan ditetapkan pada 100 rpm, 200 rpm, dan 300 rpm menggunakan *magnetic stirrer* untuk menghasilkan

kondisi aliran fluida yang berbeda, sedangkan untuk variabel suhu dilakukan pada suhu 70°C, 90°C, 100°C yang dipertahankan menggunakan *hot plate* selama proses pengujian.



Gambar 1. Ilustrasi (a) Dimensi Spesimen, dan (b) Pengujian Laju Korosi pada Baja SS304 dan SS316

Pengujian laju korosi dilakukan menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss method*) mengacu pada standar ASTM G31. Sebelum pengujian, spesimen dibersihkan dari kotoran dan produk korosi, kemudian dikeringkan dan ditimbang untuk memperoleh massa awal (W_1). Selanjutnya, spesimen direndam dalam larutan NaOH dengan variasi kecepatan pengadukan sesuai dengan parameter penelitian. Selama proses perendaman, penimbangan ulang dilakukan setiap 7 hari sekali selama 49 hari untuk memperoleh massa akhir (W_2). Kehilangan massa spesimen akibat korosi ditentukan berdasarkan selisih antara massa awal dan massa akhir, sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan 1.

$$\Delta W = W_1 - W_2 \quad (1)$$

dengan:

ΔW = kehilangan massa (g)

W_1 = massa awal sebelum perendaman (g)

W_2 = massa akhir setelah perendaman (g)

Nilai kehilangan massa tersebut kemudian digunakan untuk menghitung laju korosi (CR) dengan mempertimbangkan luas permukaan spesimen (A), waktu paparan (t), dan densitas material (ρ). Perhitungan laju korosi dilakukan menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut.

$$CR = \frac{K \times W}{A \times t \times \rho} \quad (2)$$

dengan:

CR = laju korosi

K = konstanta laju korosi

W = massa logam yang hilang (g atau mg)

A = luas permukaan spesimen (cm²)

t = waktu paparan (jam)

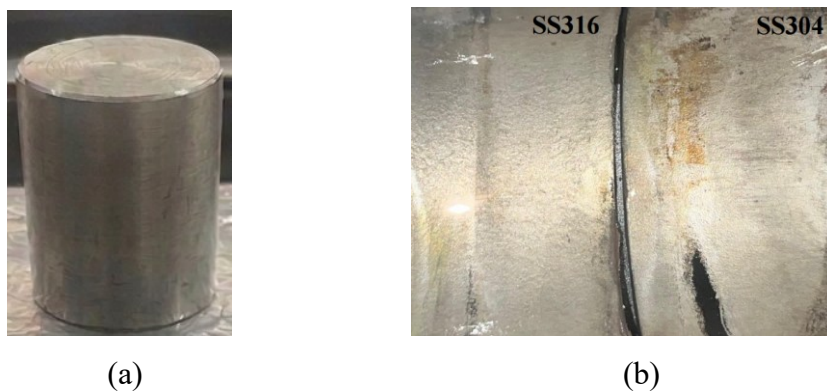
ρ = densitas material (g/cm³)

Data laju korosi dianalisis secara deskriptif dan kuantitatif untuk mengevaluasi pengaruh kecepatan pengadukan serta membandingkan ketahanan korosi antara SS304 dan SS316, dengan pengamatan visual permukaan spesimen sebagai pendukung interpretasi mekanisme korosi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Visual Perubahan Warna Permukaan

Hasil pengamatan visual menunjukkan adanya perubahan karakteristik permukaan spesimen setelah pengujian korosi. Sebelum pengujian, permukaan SS304 dan SS316 tampak berwarna silver metalik dengan kilap khas *stainless steel*, sedangkan setelah perendaman dalam larutan NaOH 1 M permukaan menjadi lebih kusam dan mengalami perubahan warna. Intensitas perubahan tersebut cenderung meningkat pada kondisi temperatur dan kecepatan pengadukan yang lebih tinggi, yang mengindikasikan meningkatnya aktivitas korosi dan pembentukan produk korosi pada permukaan logam (Gambar 2).



Gambar 2. Perubahan Warna Permukaan Spesimen: (a) Sebelum, (b) Setelah Perendaman

Temuan ini sejalan dengan penelitian Hamidah et al. (2018), yang melaporkan terbentuknya lapisan produk korosi berupa oksida kaya Fe, Cr, dan O pada *stainless steel* di lingkungan alkali, sehingga menyebabkan perubahan warna dan penurunan kilap permukaan. Secara kualitatif, perubahan permukaan pada SS304 terlihat lebih jelas dibandingkan SS316. Kondisi tersebut mendukung hasil pengujian laju korosi yang menunjukkan ketahanan korosi SS316 lebih baik, yang dikaitkan dengan keberadaan unsur molibdenum (Mo) yang meningkatkan stabilitas lapisan pasif dan memperlambat degradasi permukaan (Sedriks, 2014; Rokni et al., 2023).

4.2. Data Kehilangan Berat dan Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi pada penelitian ini ditentukan berdasarkan metode *weight loss* sesuai standar ASTM G31–72 dengan menggunakan data kehilangan berat spesimen setelah pengujian selama 49 hari. Perhitungan dilakukan untuk memperoleh nilai penurunan ketebalan material akibat proses korosi dalam satuan mm/tahun, yang dihitung berdasarkan kehilangan massa, luas permukaan terekspos, waktu pengujian, dan densitas material. Rekapitulasi nilai kehilangan berat dan laju korosi untuk SS304 dan SS316 pada berbagai kondisi temperatur dan kecepatan pengadukan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Kehilangan Berat dan Laju Korosi pada Berbagai Kondisi Pengujian

Material	Suhu (°C)	RPM	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Selisih berat (g)	CR (mm/tahun)
SS304	70	100	165,2341	165,0019	0,2322	0,0148
	70	200	167,2298	166,9956	0,2342	0,0149
	70	300	165,2215	164,9860	0,2355	0,0150
	90	100	164,1987	163,9619	0,2368	0,0151
	90	200	167,2298	166,9889	0,2409	0,0153
	90	300	165,2215	164,9756	0,2459	0,0156
	110	100	165,1874	164,8823	0,3051	0,0194
	110	200	168,1921	167,8689	0,3232	0,0206
	110	300	169,1863	168,7985	0,3878	0,0247
SS316	70	100	186,3101	186,1133	0,1968	0,0124
	70	200	180,3088	180,1020	0,2068	0,0130
	70	300	182,3074	182,0906	0,2168	0,0137
	90	100	183,2893	183,0625	0,2268	0,0143
	90	200	182,2914	182,0616	0,2298	0,0145
	90	300	184,2876	184,0525	0,2351	0,0148
	110	100	186,2621	186,0107	0,2514	0,0158
	110	200	183,2588	182,9984	0,2604	0,0164
	110	300	180,2604	179,9907	0,2668	0,01701

Perhitungan laju korosi berdasarkan kehilangan berat aktual dilakukan menggunakan Persamaan 2.

Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a. Luas permukaan terekspos (A) = 147,6514 cm²
- b. Durasi pengujian = 49 hari (1.176 jam)
- c. Densitas SS304 = 7,93 g/cm³
- d. Densitas SS316 = 8,00 g/cm³

Sebagai contoh, dilakukan perhitungan pada spesimen SS304 suhu 70°C dan kecepatan pengadukan 100 rpm berdasarkan data pada Tabel 1. Kehilangan berat aktual dihitung berdasarkan selisih antara massa awal spesimen sebelum pengujian dan massa akhir setelah pengujian korosi, yang dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$W = W_1 - W_2 \quad (1)$$

$$W = 165,2341 - 165,0019$$

$$W = 0,2322 \text{ gram}$$

Nilai kehilangan berat tersebut kemudian disubstitusikan ke dalam Persamaan laju korosi metode kehilangan berat (2) untuk menentukan laju korosi aktual spesimen.

$$CR = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad (2)$$

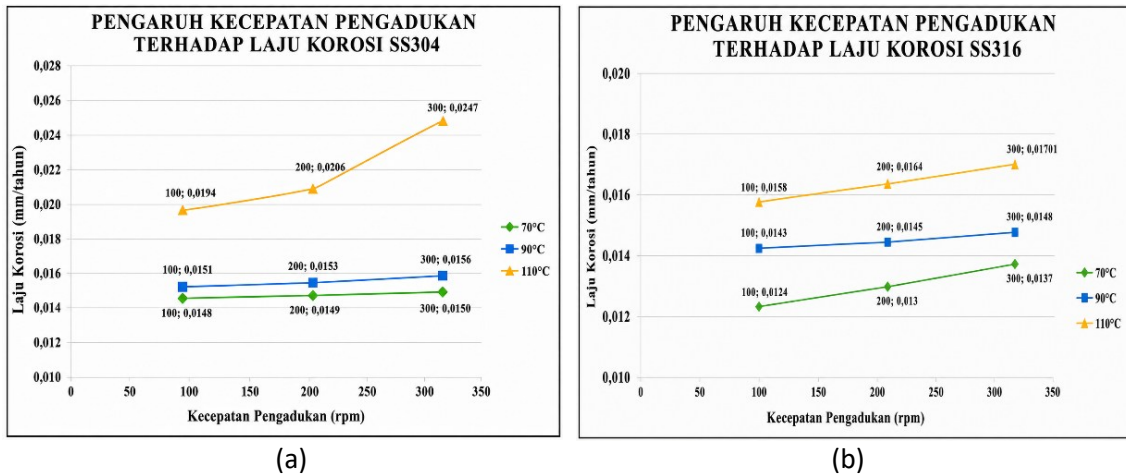
$$CR = \frac{87600 \times 0,2322}{147,651 \times 1176 \times 7,93}$$

$$CR = 0,0148 \text{ mm/tahun}$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa laju korosi aktual material SS304 pada kondisi pengujian yang dilakukan adalah sebesar 0,0148 mm/tahun. Hasil perhitungan laju korosi material untuk seluruh pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

4.3. Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Laju Korosi

Berdasarkan Gambar 3, peningkatan kecepatan pengadukan dari 100 rpm hingga 300 rpm menyebabkan peningkatan laju korosi (CR) pada SS304 maupun SS316 pada seluruh temperatur pengujian. Pada kedua material, kecenderungan kenaikan laju korosi terlihat konsisten pada suhu 70°C, 90°C, dan 110°C, meskipun besarnya peningkatan berbeda pada setiap kondisi. Secara umum, nilai laju korosi SS316 tetap lebih rendah dibandingkan SS304 yang menunjukkan ketahanan korosi yang lebih baik pada lingkungan NaOH.



Gambar 3. Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Laju Korosi pada Berbagai Temperatur: (a) SS304, (b) SS316

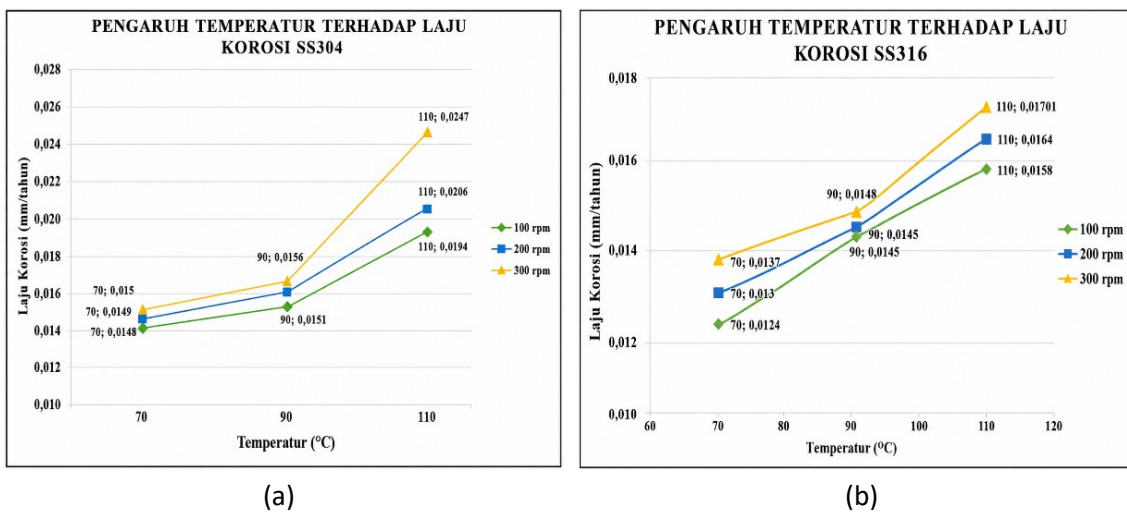
Peningkatan laju korosi akibat bertambahnya kecepatan pengadukan berkaitan dengan meningkatnya perpindahan massa (*mass transfer*) antara larutan korosif dan permukaan logam. Kecepatan pengadukan yang lebih tinggi menyebabkan lapisan difusi di sekitar permukaan menjadi lebih tipis sehingga ion OH^- lebih mudah mencapai permukaan material dan produk korosi lebih cepat terdispersi ke dalam larutan. Kondisi tersebut mempercepat berlangsungnya reaksi korosi dan meningkatkan kehilangan massa material.

Selain itu, peningkatan pengadukan juga dapat menurunkan stabilitas lapisan pasif melalui meningkatnya gaya geser fluida (*flow accelerated corrosion*). Akibatnya, permukaan logam lebih sering terekspos terhadap media korosif sehingga laju korosi meningkat. Temuan ini sejalan dengan Atashin et al. (2013) dan Saefuloh et al. (2021) yang melaporkan bahwa peningkatan kondisi aliran atau pengadukan dapat mempercepat degradasi lapisan pasif dan meningkatkan laju korosi pada baja tahan karat. Pengaruh tersebut cenderung menjadi lebih nyata pada temperatur yang lebih tinggi karena kombinasi efek termal dan hidrodinamika mempercepat interaksi antara media korosif dan permukaan material.

4.4. Pengaruh Suhu terhadap Laju Korosi

Berdasarkan Gambar 4, kenaikan temperatur dari 70°C hingga 110°C diikuti oleh bertambahnya laju korosi (CR) pada SS304 maupun SS316 pada seluruh kondisi kecepatan pengadukan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa temperatur berperan dalam

mempercepat degradasi material selama paparan dalam larutan NaOH 1 M. Meskipun kedua material menunjukkan kecenderungan yang sama, nilai laju korosi SS316 tetap lebih rendah dibandingkan SS304. Pengaruh temperatur terhadap perilaku korosi berkaitan dengan meningkatnya aktivitas reaksi elektrokimia pada permukaan logam. Bertambahnya energi termal menyebabkan proses oksidasi dan pelarutan logam berlangsung lebih cepat sehingga kehilangan massa material menjadi lebih besar. Kuznetsov (2022) menjelaskan bahwa kenaikan temperatur dapat meningkatkan laju reaksi sesuai hubungan Arrhenius, dimana energi aktivasi reaksi lebih mudah tercapai pada kondisi suhu yang lebih tinggi.



Gambar 4. Pengaruh Suhu terhadap Laju Korosi pada Berbagai Kecepatan Pengadukan : (a) SS304, (b) SS316

Kondisi temperatur yang semakin tinggi juga memengaruhi kestabilan lapisan pasif yang berfungsi melindungi permukaan stainless steel. Pada lingkungan basa, lapisan oksida pelindung menjadi lebih rentan mengalami degradasi sehingga permukaan logam lebih mudah berinteraksi dengan media korosif. Temuan ini sejalan dengan Tian et al. (2024) dan Pardo et al. (2008) yang melaporkan bahwa peningkatan temperatur dapat mempercepat penurunan stabilitas lapisan pasif pada baja tahan karat. Ketahanan korosi SS316 yang lebih baik dibandingkan SS304 dikaitkan dengan keberadaan unsur molibdenum (Mo) yang membantu mempertahankan integritas lapisan pasif pada kondisi temperatur tinggi (Sedriks, 2014; Rokni et al., 2023).

4.5. Ketahanan Korosi SS304 dan SS316

Berdasarkan klasifikasi ketahanan korosi menurut Fontana (1987), hasil penelitian menunjukkan bahwa SS304 dan SS316 secara umum memiliki ketahanan korosi yang baik dalam larutan NaOH 1 M. Klasifikasi ketahanan korosi pada berbagai kondisi temperatur dan kecepatan pengadukan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Klasifikasi Ketahanan Korosi pada Berbagai Kondisi Pengujian

Material	Suhu (°C)	RPM	CR Weight Loss (mm/tahun)	Kategori
SS304	70	100	0,0148	Sangat Baik
	70	200	0,0149	Sangat Baik
	70	300	0,0150	Sangat Baik
	90	100	0,0151	Sangat Baik
	90	200	0,0153	Sangat Baik
	90	300	0,0156	Sangat Baik
	110	100	0,0194	Sangat Baik
	110	200	0,0206	Baik
	110	300	0,0247	Baik
SS316	70	100	0,0124	Sangat Baik
	70	200	0,0130	Sangat Baik
	70	300	0,0137	Sangat Baik
	90	100	0,0143	Sangat Baik
	90	200	0,0145	Sangat Baik
	90	300	0,0148	Sangat Baik
	110	100	0,0158	Sangat Baik
	110	200	0,0164	Sangat Baik
	110	300	0,01701	Sangat Baik

Sebagian besar nilai laju korosi berada pada kategori sangat baik dengan nilai kurang dari 0,02 mm/tahun. Nilai laju korosi terendah diperoleh pada SS316 sebesar 0,0124 mm/tahun, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada SS304 sebesar 0,0247 mm/tahun yang masih termasuk kategori baik. Seluruh kondisi pengujian pada SS316 tetap berada pada kategori sangat baik, sedangkan SS304 menunjukkan penurunan kategori pada kondisi temperatur dan kecepatan pengadukan yang lebih tinggi.

Perbedaan ketahanan korosi tersebut menunjukkan bahwa SS316 memiliki kemampuan perlindungan permukaan yang lebih baik dibandingkan SS304. Menurut Lippold dan Kotecki (2015) serta Marcus et al. (2024), keberadaan unsur molibdenum (Mo) pada SS316 berkontribusi dalam meningkatkan stabilitas lapisan pasif dan mempertahankan ketahanan korosi pada kondisi operasi yang lebih agresif. Dengan

demikian, SS316 lebih direkomendasikan untuk kondisi operasi dengan temperatur dan intensitas pengadukan yang lebih tinggi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengujian laju korosi menggunakan metode *weight loss* sesuai ASTM G31–72 menunjukkan bahwa peningkatan temperatur dan kecepatan pengadukan menyebabkan peningkatan laju korosi pada SS304 dan SS316 dalam larutan NaOH 1 M. Meskipun demikian, SS316 secara konsisten menunjukkan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan SS304 karena memiliki kemampuan mempertahankan lapisan pasif yang lebih tinggi.

Berdasarkan klasifikasi ketahanan korosi, sebagian besar kondisi pengujian berada pada kategori sangat baik, sehingga kedua material masih layak digunakan pada sistem netralisasi minyak sawit, dengan SS316 lebih direkomendasikan untuk kondisi operasi yang lebih agresif. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan karakterisasi permukaan dan pengujian elektrokimia untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai mekanisme korosi serta mengevaluasi perilaku lapisan pasif. Selain itu, pengembangan kondisi pengujian yang lebih mendekati sistem operasi aktual industri perlu dilakukan agar hasil penelitian memiliki relevansi aplikasi yang lebih tinggi.

DAFTAR REFERENSI

- Ananda Rao, M., Sekhar Babu, R., & Pavan Kumar, M. V. (2018). Stress corrosion cracking failure of a SS 316L high pressure heater tube. *Engineering Failure Analysis, 90*, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.03.013>
- Atashin, S., Toloei, A. S., & Pakshir, M. (2013). Corrosion rate variation of SS 316 under simultaneous factors considering turbulence effect. *Corrosion Engineering Science and Technology, 48*(5), 327–333. <https://doi.org/10.1179/1743278213Y.0000000077>
- Baranidharan, K., Kumaran, S. T., Uthayakumar, M., & Parameswaran, P. (2021). Comprehensive review of various corrosion behaviours on 316 stainless steel. In *Metallurgical and Materials Engineering* (Vol. 27, Issue 2, pp. 115–135). Association of Metallurgical Engineers of Serbia. <https://doi.org/10.30544/570>
- Basori, B., Mohamad, W. M. F. W., Mansor, M. R., Tamaldin, N., Iswadi, A., Ajiriyanto, M. K., & Susetyo, F. B. (2023). Effect of KOH concentration on corrosion behavior and surface morphology of *stainless steel* 316L for HHO generator application. *Journal of Electrochemical Science and Engineering, 13*(3), 451–467. <https://doi.org/10.5599/jese.1615>
- Basori, Mohamad, W. M. F. W., Tamaldin, N., Mansor, M. R., Ajiriyanto, M. K., Nugroho, A., Kriswarini, R., Sihotang, J. C., Yudanto, S. D., Rosyidan, C., & Susetyo, F. B. (2024). Investigation Of Alkaline Solution Temperature Increment Influence Onto SS316L Surface. *Journal of Applied Science and Engineering, 28*(10), 1977–1986. [https://doi.org/10.6180/jase.202510_28\(10\).0010](https://doi.org/10.6180/jase.202510_28(10).0010)
- Betova, I., Bojinov, M., & Karastoyanov, V. (2025). Corrosion Mechanism of Austenitic *Stainless steel* in Simulated Small Modular Reactor Primary Water Chemistry. *Metals, 15*(8). <https://doi.org/10.3390/met15080875>
- Choi, S. H., Yoo, Y. R., Kim, Y. C., & Kim, Y. S. (2025). Effect of Cr, Mo, and W Contents on the Semiconductive Properties of Passive Film of Ferritic Stainless Steels. *Crystals, 15*(8). <https://doi.org/10.3390/cryst15080723>
- Horn, E., Savakisl, S., & Schrni-, G. (1991). *Korrosionsverhalten nichtrostender ferritisch-austenitischer Stahle in Natronlauge Corrosion performance of duplex steels in caustic solutions.*
- Javidi, M., Karimi Abadeh, H., Yazdanpanah, H. R., Namazi, F., & Shirvani Shiri, N. (2024). Synergistic effect of temperature, concentration and solution flow on corrosion and passive film of austenitic SS 304L and 316L in concentrated sulfuric acid. *Corrosion Science, 237*. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2024.112306>
- Shwetha, K.M., Praveen, B. M., & Devendra, B. K. (2024). A review on corrosion inhibitors: Types, mechanisms, electrochemical analysis, corrosion rate and efficiency of corrosion inhibitors on mild steel in an acidic environment. In *Results in Surfaces and Interfaces* (Vol. 16). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rsufi.2024.100258>
- Lamprou, E., Nessi, E., Stergioudi, F., Michailidis, N., Papadopoulos, A. I., Seferlis, P., & Hall, J. (2026). Performance of 316 L and 304 L stainless steels in the APBS-CDRMax® solvent for CO₂ capture processes: Insights into corrosion resistance and stability. *Materials Today Communications, 50*. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2025.114489>

- Li, P., Zhao, Y., & Wang, L. (2019). Research on erosion-corrosion rate of 304 *stainless steel* in acidic slurry via experimental design method. *Materials*, *12*(14). <https://doi.org/10.3390/ma12142330>
- Liu, Y., Dai, H., Chen, S., He, M., Shi, S., Zhang, Z., & Chen, X. (2024). Study on stress corrosion behavior of 316L austenitic *stainless steel* in hot NaOH solution. *Journal of Materials Research and Technology*, *30*, 8894–8905. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.05.245>
- Ou, G., Liu, X., Huang, X., & Wu, W. (2025). Influence of flow velocity on electrochemical corrosion resistance of carbon steel and 316 L stainless steels in 3.5 % sodium chloride solution. *International Journal of Electrochemical Science*, *20*(10). <https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2025.101130>
- Oyaidzu, M., Isobe, K., & Hayashi, T. (2016). Comparison of passivation behavior of SS316L with that of SS304 in tritiated water solution. *Nuclear Materials and Energy*, *9*, 508–511. <https://doi.org/10.1016/j.nme.2016.08.005>
- Peng, J., Okonkwo, B. O., Lin, H., Li, Z., Chen, Y., Li, L., Fu, C., You, W., Li, J., Zhang, Z., Wang, J., & Han, E.-H. (2025). Study of the impact of phase composition on the mechanical properties and corrosion behavior of 304 stainless steel. *Journal of Materials Research and Technology*, *38*, 4271–4283. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.08.236>
- Reyad, A., Hornus, E., Bhatti, F., Parapurath, S., Sapanathan, T., & Iannuzzi, M. (2025). Impact of Minor Changes in Molybdenum Content on the Localized Corrosion Resistance of Austenitic Stainless Steels. *Materials and Corrosion*, *76*(8), 1169–1182. <https://doi.org/10.1002/maco.202414703>
- Saputra, H., Basyri Rantawi, A., Leksi Siregar, A., Budhi Rahardja, I., & Frananta Simatupang, D. (2024). Red Palm Oil from Crude Palm Oil Refinement Using The Acid Degumming Method. *International Journal of Applied Research and Sustainable Sciences (IJARSS)*, *2*(6), 455. <https://doi.org/10.59890/ijarss.v2i6.1957>
- Meryanalinda, Setiyo Umartono, A., & Setiawan, D. (2020). *Analisa Laju Korosi Material Stainless steel Grade SS304 dan Alloy UNS N08020 Terhadap Asam Sulfat dan Natrium Hidroksida*.
- Sun, Q., Xie, F., Zhang, Y., Wang, D., & Wu, M. (2024). Stability of passive film and pitting susceptibility of 316 L *stainless steel* in the aggressive oilfield environment containing Cl⁻-CO₂-O₂. *Electrochimica Acta*, *499*. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2024.144709>
- Variasi Kecepatan Pengadukan dengan Penambahan Perlakuan Panas Lapisan, P., Saefuloh, I., Rohmat, A., Lusiani, R., Jannah, M., & Setiawan, I. (2021). Electroless Ni-P terhadap Laju Korosi dan Kekerasan Permukaan Baja Karbon Rendah ASTM A36. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 16, Issue 2). <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>