LAJU KOROSI PADA PIPA CARBON STEEL DAN STAINLESS STEEL DALAM LARUTAN CAUSTIC SODA *(NAOH)*

Wahyuni Annisa Fitri[1], Emi Meilani[2], Yulfhin Wahyu Ahmad Dani[3], Aldillah Herlambang[4], Oki Alfernando[5], Rizka Shafira[6]

[1,2,3,4,5,6]*Universitas Jambi*
E-mail : emimeilani858@gmail.com

ABSTRACT

Corrosion is a major problem in industrial piping systems operating in aggressive chemical environments such as caustic soda (NaOH) solutions. This study aims to analyze corrosion rates and evaluate the selection of carbon steel and stainless steel pipe materials in NaOH environments. The method used was a literature review, reviewing several scientific journals discussing the corrosion behavior of materials and the factors that influence it. Qualitative analysis was conducted by comparing research results related to the effects of temperature, solution concentration, pH, and mechanical stress on corrosion rates. The study results indicate that stainless steel has better corrosion resistance than carbon steel due to the presence of a protective passive layer on its surface. However, it remains susceptible to stress corrosion cracking (SCC) at high temperatures and mechanical stress. Meanwhile, carbon steel has a high corrosion rate, although at high pH conditions, a protective layer can form that reduces the corrosion rate. Factors such as temperature, NaOH concentration, pH, material quality, and fabrication process have been shown to significantly influence corrosion rates.

Keywords : *Corrosion, Carbon Steel, Stainless Steel, Naoh, Corrosion Rate, Pipe*

ABSTRAK

Korosi merupakan permasalahan utama dalam sistem perpipaan industri yang beropasi dalam lingkungan kimia agresif seperti larutan Caustic Soda (NaOH). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis laju korosi serta mengevaluasi pemilihan material pipa Carbon Steel dan Stainless Steel dalam lingkungan NaOH. Metode yang digunaakan adalah studi literatur dengan mengkaji beberapa jurnal ilmiah yang membahas perilaku korosi material, serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Analisis dilakukan secara kualitatif melalui perbandimgam hasil penelitian terkait pengaruh temperatur konsentrasi larutan, pH, serta tegangan mekanik terhadap laju korosi. Hasil kajian menunjukkan bahwa Stainless Steel memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan Carbon Steel karena adanya lapisan pasif pelindung pada permukaannya, namun tetap rentan terhaadap fenomena Stress Corrosion Cracking (SCC) pada kondisi temperatur tinggi dan adanya tegangan mekanik. Sementara itu, Carbon Steel memiliki laju korosi yang tinggi, meskipun pada kondisi pH tinggi dapat terbentuk lapisan pelindung yang mampu menurunkan laju korosi. Faktor-faktor seperti temperatu, konsentrasi NaOH, pH, serta kualitas material dan proses fabrikasi terbukti berpengruh signifikan terhadap laju korosi

Kata Kunci : *Korosi, Carbon Steel, Stainless Steel, NaOH, Laju Korosi, Pipa*

PENDAHULUAN

Korosi adalah proses degradasi material logam akibat interaksi elektrokimia dengan lingkungan . Fenomena ini menjadi permasalahan dalam proses industri, terutama pada pada sistem perpipaan yang digunakan untuk mengalirkan fluida kimia. Salah satu bahan bahan kimia yang digunakan adalah larutan *Caustic Soda* (NaOH), yang memiliki sifat basa kuat serta bersifat korosif terhadap berbagai jenis material logam (Gaur, 2024).

Dalam proses industri kimia, NaOH digunakan secara luas pada proses produksi seperti pulp and Paper, pengolahan minyak dan gas, industri teksil, serta pengolahan air. Penggunaan NaOH dalam sistem perpipaan menuntut material yang memiliki ketahanan korosi yang baik agar dapat menjamin keamanan operasi dan umur pakai peralatan. Material yang umum digunakan dalam aplikasi ini adalah carbon steel dan stainless steel, yang masing- masing memiliki keunggulan dan keterbatasan dalam menghadapi lingkungan korosif (Gaur, 2024).

Carbon steel adalah material yang banyak digunakan karena biaya yang relatif rendah dan kemudahan dalam proses fabrikasi. Namun, material ini memiliki korosi yang terbatas, terutama dalam lingkungan. Sebaliknya, stainless steel memiliki ketahanan korosi yang lebih baik karena adanya lapisan pasif berupa oksida kromium pada permukaannya. Meskipun, stainless steel, tetap dalam dapat mengalami degradasi, khususnya dalam kondisi suhu dan adanya tegangan mekanik yang dapat memicu terjadinya *Stress Corrosion Cracking (SCC)* (Liu et al., 2024).

Selain jenis material, laju korosi dalam larutan NaOH juga mempengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH, temperatur, konsentrasi larutan, serta kondisi operasi. Pada jurnal ini menunjukkan bahwa peningkatan pH dapat menurunkan laju korosi karena terbentuknya lapisan pelindung pada permukaan logam. Namun, pada kondisi tertentu seperti temperatur tinggi dan konsentrasi tinggi, efek protektif ini dapat berkurang sehingga korosi tetap berlangsung secara signifikan (Mukhtor Jamolovich & Bakitjan Alkabayevich, 2024).

Di satu sisi, studi kasus di industri menunjukkan bahwa kegagalan sitem perpipaan tidak hanya disebabkan oleh korosi umum, tetapi juga oleh faktor tambahan sperti cacat material, kesalahan proses fabrikasi, serta kondisi operasi yang tidak sesuai. Kegagalan pada pipa stainless steel dalam sistem caustic soda, misalnya , dapat terjadi akibat kombinasi korosi, cacat metalurgi, dan praktik pengelasan yang kurang cepat dari umur desain (Worley).

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan **studi literatur (literatur review)** dengan mengkaji berbagai jurnal ilmiah yang relevan mengenai perilaku korosi material dalam lingkungan *larutan Caustic Soda* (NaOH). Pendekatan ini di pilih untuk memperoleh kepahaman komprehensif terkait laju korosi, mekanisme korosi, serta faktor- faktor yang mempengaruhi ketahanan material, khususnya pada carbon steel dan stainless steel dalam aplikasi sistem perpipaan.

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari jurnal ilmiah internasional dan nasional yang terindeks dan relevansi tinggi terhadap topik penelitian. Jurnal yang dikaji meliputi penelitian tentang perilaku korosi stainless steel 316L dalam larutan NaOH menggunakan metode pengujian seperti *Slow Strain Rate Test (SSRT)*, *Electrochemical Impendance Spectroscopy (EIS)*, serta analisis mikrostruktur menggunakan

Scanning Electron Microscopy (Liu et al., 2024). Selain itu, digunakan pula studi kasus kegagalan pipa stainless steel dalam sistem distribusi NaOH yang dianalisis melalui pendekatan inspeksi visual, pengujian metalurgi, serta karakterisasi material untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan (Gaur, 2024). Penelitian lain yang dikaji membahas pengaruh pH terhadap laju korosi carbon steel dan material berbasis besi lainnya dengan menggunakan metode gravimetri dan analisis elektrokimia (Mukhtor Jamolovich & Bakitjan Alkabayevich, 2024).

Proses pengumpulan data dilakukan dengan mengidentifikasi, menyeleksi, dan mengkaji jurnal yang relevan berdasarkan kesesuain topik, metode penelitian, serta hasil yang diproleh. Selanjutnya, data yang diproleh diklasifikasi berdasarkan jenis material, kondisi lingkungan, serta mekanisme korosi yang terjadi. Analisis dilakukan secara **kualitatif deskriptif**, yaitu dengan membandingkan hasil dari berbagai penelitian untuk mengidentifikasi pola, perbedaan, serta hubungan antar variabel yang mempengaruhi laju korosi.

Dalam tahap analisis, dilakukan perbandingan anatara perilaku korosi carbom steel dan stainless steel dalam larutan NaOH dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti temperatur, konsentrasi larutan, pH, serta pengaruh tegangan mekanik. Selain itu, dilakukan evaluasi terhadap kinerja material berdasarkan ketahanan korosi, potensi kegagalan, serta kesesuaian penggunaannya dalam aplikasi industri, khususnya pada sistem perpipaan yang mengalirkan larutan *Caustic Soda* (NaOH).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHSAN

Mekanisme Korosi dalam Larutan NaOH

Korosi dalam laarutan Caustic Soda (NaOH) terjadi melalui mekanisme elektrokimia yang melibatkan reaksi oksidasi logam pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Dalam kondisi basa, ion hidroksida (OH^-) berperan dalam pembentukan produk korosi yang dapat berupa lapisan pelindung maupun senyawa larut. Pada kondisi tertentu, terutama pada pH tinggi, beberapa material logam dapat membentuk lapisan pasif yang mampu menurunkan laju korosi. Namun demikian, pada kondisi temperatur tinggi dan konsentrasi NaOH yang tinggi, stabilitas lapisan pelindung tersebut dapat menurunkan sehingga korosi tetap berlangsung secara signifikan.

Perilaku Korosi Stainless Steel dalam NaOH

Stainless steel, khususnya tipe 316L, memiliki ketahanan korosi yang relatif baik dalam lingkungan NaOH karena adanya lapisan pasif berupa oksida kromium (Cr_2O_3) pada permukaannya. Lapisan ini berfungsi sebagai penghalang yang menghambat reaksi elektrokimia antara logam dan lingkungan.

Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam kondisi tertentu seperti temperatur tinggi dan adanya tegangan mekanik, stainless steel tetap rentan terhadap fenomena stress corrosion cracking (SCC) (Liu et al., 2024). SCC merupakan bentuk korosi yang menyebabkan retakan pada material akibat kombinasi antara lingkungan korosif dan tegangan tarik.

Selain itu, studi kasus kegagalan pipa stainless steel menunjukkan bahwa korosi tidak hanya terjadi secara lokal, tetapi juga dapat terjadi secara menyeluruh pada permukaan bagian dalam pipa. Berdasarkan hasil investigasi, ditemukan bahwa seluruh permukaan bagian dalam pipa mengalami serangan korosi caustic yang menyebabkan penipisan dinding pipa hingga terjadi kebocoran (Gaur, 2024).

Faktor lain yang mempercepat terjadinya korosi pada stainless steel antara lain:

- Temperatur operasi yang melebihi batas aman
- Adanya cacat metalurgi pada material
- Kesalahan proses fabrikasi seperti pengelasan yang tidak sempurna

Perilaku Korosi Carbon Steel dalam NaOH

Carbon steel merupakan material yang banyak digunakan dalam industri karena biaya yang relatif rendah. Namun, material ini tidak memiliki lapisan pasif alami seperti stainless steel sehingga lebih rentan terhadap korosi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi carbon steel dalam larutan NaOH dipengaruhi secara signifikan oleh nilai pH. Pada pH yang tinggi, terbentuk lapisan pelindung pada permukaan material yang dapat menghambat reaksi korosi sehingga laju korosi menurun (Mukhtor Jamolovich & Bakitjan Alkabayevich, 2024). Namun, pada kondisi tertentu, lapisan ini dapat rusak sehingga korosi kembali meningkat. Korosi pada carbon steel umumnya terjadi dalam bentuk:

- Korosi seragam (uniform corrosion)
- Pelarutan logam secara bertahap

Perbandingan Laju Korosi Carbon Steel dan Stainless Steel

Berdasarkan hasil analisis dari berbagai jurnal, diperoleh perbandingan karaktristik kedua material sebagai berikut:

Tabel 1. Perbandingan Laju Korosi

Parameter	Carbon Steel	Stainless Steel
Ketahanan Korosi	Rendah	Tinggi
Lapisan Pelindung	Tidak Stabil	Stabil (Passive Film)
Ketahanan Terhadap Suhu Tinggi	Rendah	Lebih Baik
Laju Korosi	Relatif Tinggi	Lebih Rendah
Jenis Kerusakan	Uniform Corrosion	SCC dan Lokal

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Temperatur

Peningkatan temperatur mempercepat reaksi elektrokimia sehingga meningkatkan laju korosi.

Konsentrasi NaOH

Konsentrasi tinggi dapat meningkatkan agresivitas lingkungan terhadap material.

pH Larutan

pH tinggi dapat membentuk lapisan pelindung pada carbon steel, namun tidak selalu stabil.

Tegangan Mekanik

Tegangan dapat memicu terjadinya SCC pada stainless steel.

Kualitas Material dan Proses Fabrikasi

Cacat material dan kesalahan pengelasan dapat menjadi titik awal terjadinya korosi lokal (Gaur, 2024).

Evaluasi Pemilihan Material untuk Aplikasi Pipa

Pemilihan material untuk sistem perpipaan dalam lingkungan NaOH harus mempertimbangkan berbagai aspek, seperti ketahanan korosi, kondisi operasi, serta biaya.

Stainless steel lebih direkomendasikan untuk kondisi

- temperatur tinggi
- konsentrasi NaOH tinggi
- aplikasi kritis

Carbon steel masih dapat digunakan pada:

- temperatur rendah hingga sedang
- kondisi operasi yang tidak ekstrem
- kebutuhan biaya rendah

Namun demikian, tidak ada material yang sepenuhnya bebas dari korosi. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian kondisi operasi, pemilihan material yang tepat, serta perawatan yang baik untuk meminimalkan risiko kegagalan.

Identifikasi Kriteria Pemilihan Material

Pemilihan material dalam sistem perpipaan yang mengalirkan larutan NaOH harus mempertimbangkan berbagai aspek secara komprehensif. Berdasarkan literatur yang dikaji, kriteria tersebut meliputi:

1. Kriteria Teknis

Meliputi ketahanan terhadap korosi, kekuatan mekanik, serta ketahanan terhadap temperatur dan tekanan operasi. Stainless steel 316L memiliki ketahanan korosi yang baik, namun tetap rentan terhadap stress corrosion cracking (SCC) dalam kondisi tertentu (Liu et al., 2024).

2. Kriteria Ekonomi

Pemilihan material juga dipengaruhi oleh biaya material, fabrikasi, dan perawatan. Carbon steel memiliki biaya lebih rendah, namun membutuhkan perawatan lebih intensif akibat laju korosi yang lebih tinggi.

3. Kriteria Lingkungan

Larutan NaOH bersifat korosif dan berbahaya bagi lingkungan, sehingga material harus mampu meminimalkan potensi kebocoran. Kebocoran dapat menyebabkan pencemaran lingkungan serta gangguan proses industri (Gaur, 2024).

4. Kriteria Keselamatan

Aspek keselamatan menjadi faktor penting karena kegagalan material dapat menyebabkan kecelakaan kerja. Material yang tidak tahan terhadap kondisi operasi berisiko mengalami kebocoran atau kerusakan mendadak (Gaur, 2024).

Analisis Kritis

Berdasarkan kajian dari jurnal yang digunakan, sebagian besar penelitian berfokus pada aspek teknis seperti laju korosi dan mekanisme korosi. Namun, terdapat beberapa kekurangan:

- Penelitian lebih dominan membahas aspek teknis tanpa mempertimbangkan faktor ekonomi secara detail
- Kurangnya integrasi aspek keselamatan dan lingkungan dalam pemilihan material
- Tidak semua penelitian mempertimbangkan kondisi nyata industri seperti cacat material dan kesalahan fabrikasi

Sebagai contoh, studi kasus menunjukkan bahwa kegagalan pipa stainless steel tidak hanya disebabkan oleh korosi, tetapi juga oleh cacat metalurgi dan kesalahan proses pengelasan (Gaur, 2024). Selain itu, meskipun stainless steel memiliki ketahanan korosi yang baik, sifat mekaniknya

dapat menurun akibat kombinasi korosi dan tegangan dalam lingkungan NaOH (Liu et al., 2024). Oleh karena itu, pendekatan pemilihan material yang hanya berbasis ketahanan korosi belum cukup untuk memenuhi kebutuhan industri modern.

Re-evaluasi Material Alternatif

Selain carbon steel dan stainless steel 316L, material lain yang dapat dipertimbangkan adalah material berbasis nikel (nickel-based alloys).

Material ini diketahui memiliki sensitivitas korosi yang lebih rendah dalam lingkungan basa seperti NaOH, namun penggunaannya terbatas karena biaya yang sangat tinggi (Liu et al., 2024).

Kelebihan

- Ketahanan korosi sangat tinggi
- Stabil pada temperatur dan konsentrasi tinggi

Kekurangan

- Biaya sangat mahal
- Tidak ekonomis untuk penggunaan skala besar

Dengan demikian, pemilihan material harus mempertimbangkan keseimbangan antara performa teknis dan aspek ekonomi.

Risiko dan Implikasi

Kegagalan material dalam sistem perpipaan NaOH dapat menimbulkan berbagai dampak serius, antara lain:

- Kebocoran fluida korosif yang berbahaya bagi pekerja
- Penurunan ketebalan dinding pipa hingga terjadi perforasi
- Gangguan operasional dan penghentian proses produksi
- Kerusakan peralatan industri

Studi kasus menunjukkan bahwa kegagalan pipa dapat terjadi lebih cepat dari umur desain akibat kombinasi korosi, cacat material, dan kesalahan fabrikasi (Gaur, 2024). Selain itu, kondisi operasi seperti temperatur tinggi juga dapat mempercepat laju korosi dan meningkatkan risiko kegagalan material.

KESIMPULAN

Pemilihan material untuk sistem perpipaan dalam lingkungan NaOH harus mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, lingkungan, dan keselamatan secara menyeluruh. Stainless steel 316L memiliki ketahanan korosi yang baik, namun tetap berisiko mengalami stress corrosion cracking dalam kondisi tertentu. Carbon steel memiliki biaya yang lebih rendah, tetapi rentan terhadap korosi meskipun pada kondisi pH tinggi dapat terbentuk lapisan pelindung. Sementara itu, material berbasis nikel menawarkan ketahanan korosi yang sangat baik, namun kurang ekonomis untuk penggunaan luas. Dengan demikian, tidak ada material yang sepenuhnya bebas dari risiko. Oleh karena itu, pemilihan material harus dilakukan secara komprehensifdengan mempertimbangkan kondisi operasi, biaya, serta risiko keselamatan untuk memastikan keandalan sistem dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

Gaur, B. (2024). Corrosion failure of stainless-steel in caustic soda lines. *Koroze a Ochrana Materialu*, *68*(1), 22–27. https://doi.org/10.2478/kom-2024-0003

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

Mukhtor Jamolovich, M., & Bakitjan Alkabayevich, S. (2024). STUDY OF THE PROTECTIVE EFFECT OF NAOH ON THE CORROSION RESISTANCE OF CARBON STEEL AND GRAY CAST IRON IN THE OIL AND GAS INDUSTRY.

Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, 52–55. https://doi.org/10.29013/ajt- 23-11.12-52-55