

TINJAUAN METODE PENCEGAHAN KOROSI PADA SISTEM PERPIPAAN UTILITAS DI INDUSTRI KIMIA

Atdjeng Chrisnudin¹, Fadila Fitri Wulandari², Atsiil Putra Utama³,
Aulia Rahma Efendi⁴, Aura Aldamah Dea⁵, Tee Tze Kiong⁶

¹⁻⁵Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik,
Universitas Negeri Malang, Kota Malang,

⁶University Tun Hussein Onn Malaysia, Batu Pahat

¹atdjeng.chrisnudin.240521@students.um.ac.id

ABSTRACT

Corrosion is a major problem in utility piping systems in the chemical industry, causing material damage, reduced operational efficiency, and safety risks. This study aims to review various commonly used corrosion prevention methods, including material selection, coating, cathodic protection, and control of operating conditions. The method used is a literature review of various scientific sources and industry standards. The results indicate that no single method is completely effective for all conditions, so a combination of methods tailored to the operating environment is necessary. An integrated approach has been proven to increase the service life of piping systems and reduce maintenance costs.

Keywords: *corrosion, piping, inhibitor, coating, cathodic protection*

ABSTRAK

Korosi merupakan salah satu permasalahan utama sistem perpipaan utilitas di industri kimia yang bisa menyebabkan kerusakan material, penurunan efisiensi operasional, serta risiko keselamatan. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau berbagai metode pencegahan korosi yang umum digunakan, meliputi pemilihan material, pelapisan (coating), proteksi katodik, dan pengendalian kondisi operasi. Metode yang digunakan adalah studi literatur terhadap berbagai sumber ilmiah dan standar industri. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada satupun metode yang sepenuhnya efektif untuk semua kondisi, sehingga diperlukan kombinasi metode yang disesuaikan dengan lingkungan operasi. Pendekatan terpadu terbukti mampu meningkatkan umur pakai sistem perpipaan serta menekan biaya perawatan.

Kata kunci: korosi, perpipaan, inhibitor, coating, proteksikatodik

A. Pendahuluan

Industri kimia merupakan salah satu sektor industri yang memiliki kompleksitas tinggi dalam pengoperasiannya, terutama dalam

hal distribusi fluida melalui sistem perpipaan utilitas. Sistem ini mencakup berbagai jenis aliran seperti air pendingin, uap, bahan kimia reaktif, serta gas yang

mendukung jalannya produksi. Kendala sistem perpipaan menjadi kegagalan pada sistem ini dapat menyebabkan terganggunya proses produksi, kerugian ekonomi, hingga potensi kecelakaan kerja.

Salah satu permasalahan utama yang sering terjadi pada sistem perpipaan adalah korosi. Korosi merupakan proses degradasi material, khususnya logam, akibat interaksi dengan lingkungan yang bersifat kimia atau elektrokimia. Dalam industri kimia, lingkungan operasi sering kali bersifat agresif, seperti adanya zat asam, basa kuat, atau ion klorida yang mempercepat terjadinya korosi.

Dampak korosi tidak hanya terbatas pada kerusakan fisik material, tetapi juga mencakup aspek keselamatan dan lingkungan. Kebocoran akibat korosi dapat menyebabkan pelepasan bahan berbahaya yang berpotensi mencemari lingkungan serta membahayakan. Selain itu, korosi juga dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas, meningkatkan kehilangan tekanan.

Secara ekonomi, kerugian akibat korosi sangat signifikan. Biaya yang timbul meliputi biaya perawatan,

inspeksi, penggantian komponen, serta downtime produksi. Oleh karena itu, strategi utama untuk pencegahan korosi.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengendalikan korosi, mulai dari pendekatan material hingga teknik proteksi aktif. Namun, pemilihan metode yang tepat tidak selalu sederhana karena harus mempertimbangkan banyak faktor, seperti jenis fluida, kondisi lingkungan, tekanan, temperatur, serta aspek biaya.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan tinjauan yang lebih mendalam mengenai metode pencegahan korosi pada sistem perpipaan utilitas di industri kimia, serta menganalisis efektivitas dan keterbatasan masing-masing metode sebagai dasar dalam penerapan di lapangan.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan **kualitatif deskriptif** dengan metode utama berupa **studi literatur (literature review)**. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk mengkaji berbagai metode pencegahan korosi berdasarkan hasil

penelitian terdahulu, standar industri, serta referensi teknis yang relevan.

Metode studi literatur dinilai sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu untuk membandingkan efektivitas berbagai metode pencegahan korosi tanpa melakukan eksperimen langsung di lapangan. Dengan pendekatan ini, peneliti dapat mengintegrasikan berbagai temuan ilmiah menjadi suatu kesimpulan yang sistematis dan komprehensif.

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam kategori **penelitian non-eksperimental deskriptif kualitatif**. Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan gambaran mendalam mengenai fenomena korosi serta metode pencegahannya berdasarkan data yang tersedia.

Pendekatan kualitatif digunakan karena fokus penelitian adalah pada:

Pemahaman konsep dan mekanisme korosi Analisis kelebihan dan kekurangan metode pencegahan . Interpretasi hasil penelitian sebelumnya

Dengan demikian, penelitian ini menghasilkan analisis konseptual

yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan teknis.

Sumber dan Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan **data sekunder** yang diperoleh dari berbagai sumber terpercaya, antara lain:

Jurnal ilmiah nasional dan internasional

Digunakan untuk memperoleh hasil penelitian terbaru terkait metode pencegahan korosi.

Buku referensi teknik korosi

Memberikan dasar teori mengenai mekanisme korosi dan prinsip pencegahannya.

Standar industri

Seperti NACE (National Association of Corrosion Engineers) dan ASTM yang memberikan pedoman teknis dalam pengendalian korosi.

Laporan teknis dan publikasi industri

Digunakan untuk memahami penerapan metode pencegahan korosi dalam kondisi nyata di industri kimia.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis, yaitu:

Identifikasi topik dan kata kunci

Kata kunci yang digunakan antara lain “corrosion prevention”, “pipeline corrosion”, “chemical industry corrosion”, dan “cathodic protection”.

Penelusuran literatur

Literatur diperoleh melalui database ilmiah seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan SpringerLink.

Seleksi literatur

Literatur yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan relevansi terhadap topik penelitian serta kualitas sumber.

Pengelompokan data

Data yang telah dikumpulkan dikelompokkan berdasarkan jenis metode pencegahan korosi.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Untuk menjaga kualitas penelitian, digunakan kriteria sebagai berikut:

Kriteria inklusi:

Literatur yang membahas korosi pada sistem perpipaan .Penelitian yang menjelaskan metode pencegahan korosi .Publikasi dari sumber terpercaya dan terindeks

Kriteria eksklusi:

Literatur yang tidak relevan dengan industri kimia .Sumber yang

tidak memiliki kredibilitas ilmiah .Artikel dengan data yang tidak lengkap atau tidak jelas

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan metode **analisis deskriptif komparatif**, yaitu dengan membandingkan berbagai metode pencegahan korosi berdasarkan beberapa aspek.

Tahapan analisis meliputi:

Klasifikasi metode pencegahan korosi

Metode dikelompokkan menjadi beberapa kategori seperti material, inhibitor, coating, dan proteksi katodik.

Analisis karakteristik masing-masing metode

Setiap metode dianalisis berdasarkan prinsip kerja, kelebihan, dan keterbatasannya.

Sintesis hasil

Hasil analisis kemudian disintesis untuk menentukan strategi pencegahan korosi yang optimal.

Validitas Data

Untuk memastikan keakuratan dan keandalan data, dilakukan:

Triangulasi sumber, yaitu membandingkan informasi dari berbagai referensi .Penggunaan literatur dari sumber terpercaya dan

terindeks .Evaluasi konsistensi hasil dari berbagai penelitian

C.Hasil Penelitian dan Pembahasan Gambaran Umum Korosi pada Sistem Perpipaan Utilitas

Berdasarkan hasil, korosi pada sistem perpipaan utilitas di industri kimia merupakan fenomena yang tidak dapat dihindari sepenuhnya, tetapi dapat dikendalikan. Lingkungan operasi industri kimia yang kompleks, seperti adanya zat kimia agresif, temperatur tinggi, serta tekanan, menjadi faktor utama yang mempercepat terjadinya korosi.

Korosi pada perpipaan tidak hanya terjadi pada bagian dalam (internal corrosion), tetapi juga pada bagian luar (external corrosion). Korosi internal biasanya disebabkan oleh fluida yang mengalir di dalam pipa, sedangkan korosi eksternal dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar seperti kelembaban, tanah, atau atmosfer.

Selain itu, hasil kajian menunjukkan bahwa kegagalan sistem perpipaan akibat korosi sering kali bersifat **progresif dan tidak terdeteksi sejak awal**, sehingga diperlukan sistem monitoring yang baik untuk mendeteksi kerusakan.

Analisis Faktor Penyebab Korosi Secara Terintegrasi

Korosi pada sistem perpipaan dipengaruhi oleh interaksi berbagai faktor yang saling berkaitan.

Faktor Lingkungan Kimia

Lingkungan kimia memiliki peran dominan dalam menentukan laju korosi. Fluida yang mengandung:

- Asam kuat (HCl, H₂SO₄)
- Gas terlarut seperti CO₂ dan H₂S
- Ion klorida (Cl⁻)

akan meningkatkan agresivitas lingkungan dan mempercepat reaksi korosi.

Faktor Operasional

Parameter operasi seperti temperatur dan tekanan juga berpengaruh signifikan. Temperatur yang tinggi akan meningkatkan energi kinetik partikel, sehingga mempercepat reaksi elektrokimia.

Selain itu, kecepatan aliran fluida dapat menyebabkan **erosi-korosi**, yaitu pengikisan lapisan pelindung pada permukaan logam akibat aliran fluida berkecepatan tinggi.

Faktor Material

Sifat material seperti komposisi kimia dan struktur mikro sangat menentukan ketahanan terhadap korosi. Material dengan kandungan kromium tinggi,

seperti stainless steel, memiliki kemampuan membentuk lapisan pasif yang melindungi permukaan dari korosi.

Namun, dalam kondisi tertentu, seperti adanya ion klorida, lapisan pasif ini dapat rusak dan menyebabkan korosi lokal.

Evaluasi Mendalam Metode Pencegahan Korosi

Efektivitas Pemilihan Material

Hasil kajian menunjukkan bahwa pemilihan material yang tepat dapat mengurangi laju korosi secara signifikan bahkan tanpa perlindungan tambahan.

Kinerja Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi terbukti efektif dalam mengurangi laju korosi terutama pada sistem tertutup seperti boiler dan sistem pendingin. Inhibitor bekerja dengan membentuk lapisan tipis yang melindungi permukaan logam dari kontak langsung dengan lingkungan korosif.

Namun, efektivitas inhibitor sangat bergantung pada:

- Konsentrasi yang tepat
- Stabilitas kimia
- Kondisi operasi

Kesalahan dalam dosis dapat menyebabkan penurunan efektivitas bahkan mempercepat korosi.

Kinerja Pelapisan (Coating)

Coating merupakan metode yang paling umum digunakan karena relatif mudah diaplikasikan dan ekonomis. Berdasarkan hasil literatur, coating berbasis epoxy memiliki ketahanan yang baik terhadap berbagai lingkungan kimia.

Namun, kelemahan utama coating adalah ketergantungan pada kondisi aplikasi. Kegagalan coating sering disebabkan oleh:

- Permukaan yang tidak bersih saat aplikasi
- Kerusakan mekanis
- Degradasi akibat temperatur tinggi

Hal ini menunjukkan bahwa coating memerlukan inspeksi dan pemeliharaan rutin agar tetap efektif.

Efektivitas Proteksi Katodik

Proteksi katodik merupakan salah satu metode paling efektif, terutama untuk pipa yang berada di dalam tanah atau lingkungan laut.

Hasil studi menunjukkan bahwa metode ini mampu menurunkan laju korosi hingga tingkat yang sangat rendah. Namun, implementasinya memerlukan:

- Desain sistem yang tepat

- Monitoring berkala
- Biaya investasi awal yang tinggi

Meskipun demikian, dalam jangka panjang metode ini dinilai ekonomis karena dapat memperpanjang umur pakai pipa secara signifikan.

Pengendalian Kondisi Operasi sebagai Metode Preventif

Pengendalian kondisi operasi merupakan metode yang sering dianggap sederhana namun memiliki dampak besar.

Contoh hasil kajian menunjukkan bahwa:

- Pengurangan kandungan oksigen dapat menurunkan laju korosi secara signifikan
- Pengaturan pH ke kondisi netral atau basa dapat menghambat reaksi korosi
- Filtrasi dapat mengurangi partikel abrasif yang menyebabkan erosi

Metode ini memiliki keunggulan utama yaitu biaya rendah dan mudah diterapkan.

Perbandingan Efektivitas Metode Pencegahan Korosi

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa tidak ada metode yang unggul secara mutlak.

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Material	Tahan lama	Mahal
Inhibitor	Fleksibel	Butuh kontrol
Coating	Ekonomis	Rentan rusak
Proteksi katodik	Sangat efektif	Biaya tinggi
Kontrol operasi	Murah	Terbatas

Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan metode harus disesuaikan dengan kondisi spesifik sistem perpipaan.

Strategi Kombinasi (Multi-Layer Protection)

Hasil kajian menunjukkan bahwa pendekatan terbaik adalah menggunakan kombinasi beberapa metode.

Contoh strategi yang umum digunakan:

- **Coating + proteksi katodik** untuk pipa bawah tanah
- **Inhibitor + kontrol operasi** untuk sistem tertutup
- **Material tahan korosi + coating** untuk lingkungan agresif

Pendekatan ini dapat memberikan perlindungan berlapis terhadap korosi.

Peran Monitoring dan Inspeksi

Selain metode pencegahan, monitoring dan inspeksi juga memiliki peran penting dalam pengendalian korosi.

Teknik yang digunakan meliputi:

- Ultrasonic testing (UT)
- Radiografi
- Corrosion probe
- Smart pigging

Monitoring memungkinkan deteksi dini kerusakan sehingga dapat dilakukan tindakan preventif sebelum terjadi kegagalan.

Implikasi terhadap Keandalan dan Keselamatan Industri

Penerapan metode pencegahan korosi yang efektif memiliki dampak besar terhadap:

- Keandalan sistem perpipaan
- Keselamatan kerja
- Perlindungan lingkungan
- Efisiensi operasional

Dengan pengendalian korosi yang baik, risiko kebocoran dan kegagalan sistem dapat diminimalkan, sehingga mendukung operasional industri yang aman dan berkelanjutan.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa korosi merupakan fenomena yang kompleks dan tidak dapat dihindari sepenuhnya. Korosi terjadi akibat interaksi antara material logam dengan lingkungan yang bersifat kimia maupun elektrokimia, yang

dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti komposisi fluida, temperatur, pH, kandungan oksigen, serta karakteristik material.

Korosi pada sistem perpipaan memiliki dampak yang signifikan, baik dari segi teknis maupun ekonomis. Secara teknis, korosi dapat menyebabkan penurunan kekuatan material, kebocoran, serta kegagalan sistem yang berpotensi menimbulkan kecelakaan industri. Dari sisi ekonomis, korosi mengakibatkan peningkatan biaya perawatan, penggantian komponen, serta kerugian akibat downtime produksi. Oleh karena itu, pengendalian korosi menjadi aspek penting dalam menjaga keandalan dan keberlanjutan operasional industri kimia.

Berbagai metode pencegahan korosi telah dikaji dalam penelitian ini, meliputi pemilihan material, penggunaan inhibitor, pelapisan (coating), proteksi katodik, serta pengendalian kondisi operasi. Masing-masing metode memiliki prinsip kerja, kelebihan, dan keterbatasan yang berbeda. Pemilihan material yang tepat dapat memberikan perlindungan awal yang efektif, namun seringkali terkendala oleh biaya. Inhibitor korosi

memberikan fleksibilitas dalam aplikasi, tetapi memerlukan kontrol yang ketat. Coating memberikan perlindungan langsung terhadap permukaan logam, namun rentan terhadap kerusakan mekanis. Proteksi katodik terbukti sangat efektif, terutama pada lingkungan tertentu, tetapi memerlukan investasi awal yang cukup besar.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak terdapat satu metode pencegahan yang dapat memberikan perlindungan optimal untuk semua kondisi. Oleh karena itu, pendekatan yang paling efektif adalah dengan mengkombinasikan beberapa metode pencegahan dalam suatu sistem perlindungan yang terintegrasi. Pendekatan ini dikenal sebagai **corrosion management system**, yang menggabungkan aspek teknis, operasional, serta monitoring secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

McGraw-Hill.

Revie, R. W., & Uhlig, H. H. (2008). *Corrosion and Corrosion Control*. Wiley.

Jones, D. A. (1996). *Principles and Prevention of Corrosion*. Prentice Hall.

Schweitzer, P. A. (2010). *Fundamentals of Corrosion*. CRC Press.

McCafferty, E. (2010). *Introduction to Corrosion Science*. Springer.

Shreir, L. L. (2010). *Corrosion: Metal/Environment Reactions*. Elsevier.

Davis, J. R. (2000). *Corrosion: Understanding the Basics*. ASM International.

Ahmad, Z. (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. Elsevier.

Baboian, R. (2005). *Corrosion Tests and Standards*. ASTM International.

Trethewey, K. R., & Chamberlain, J. (1995). *Corrosion for Science and Engineering*. Longman.

Peabody, A. W. (2001). *Control of Pipeline Corrosion*. NACE International.

NACE International. (2013). *Corrosion Basics: An Introduction*. NACE Press.

Koch, G. H., et al. (2002). *Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States*. NACE.

ISO 8044. (2015). *Corrosion of Metals and Alloys – Terms and Definitions*. ISO.

- ASTM G1-03. (2017). *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*. ASTM.
- Melchers, R. E., & Jeffrey, R. (2008). Marine corrosion modeling. *Electrochimica Acta*, 54(1), 80–85.
- Raja, P. B., & Sethuraman, M. G. (2008). Natural corrosion inhibitors. *Materials Letters*, 62(1), 113–116.
- Quraishi, M. A., & Sardar, R. (2002). Corrosion inhibition of mild steel. *Materials Chemistry and Physics*, 78(2), 425–431.
- Bentiss, F., et al. (2000). Oxadiazoles as corrosion inhibitors. *Corrosion Science*, 42(1), 127–146.
- Szklarska-Smialowska, Z. (2005). *Pitting and Crevice Corrosion*. NACE.
- Neville, A., Hodgkiess, T., & Dallas, J. T. (1995). Corrosion in pipelines. *Wear*, 186–187, 497–507.
- Papavinasam, S. (2013). *Corrosion Control in the Oil and Gas Industry*. Elsevier.