



Terbit *online* pada laman web jurnal :  
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

# SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



## Efektivitas Metode Perlindungan Korosi pada Baja Struktural: *Scoping Review*

Intan Monica MG<sup>a,b\*</sup>, M. Rizqullah Adnan Fa'iqah<sup>a</sup>, Grace Desrika Deni<sup>a</sup>, Aby Mayu Anggara<sup>a</sup>, Muthia Luthfunnisa Adrila<sup>a</sup>, Zara Amanda<sup>a</sup>, M. Zulkifli Alamsyah<sup>a</sup>, Syafiqul Hafidz<sup>a</sup>, Bochari<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Prodi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Jl. HR Soebrantas KM 12,5, Pekanbaru 28293, Indonesia

<sup>b</sup> Pusat Unggulan Iptek Gambut dan Kebencanaan, LPPM Universitas Riau, Jl. HR Soebrantas KM 12,5, Pekanbaru 28293, Indonesia

<sup>c</sup> Prodi D3 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Jl. HR Soebrantas KM 12,5, Pekanbaru 28293, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

*Sejarah Artikel:*

Diterima Redaksi: 11 Juni 2026

Revisi Akhir: 25 Juni 2026

Diterbitkan *Online*: 27 Juni 2026

### KATA KUNCI

Baja  
 Korosi  
 Coating  
 Polimer  
 Proteksi

### KORESPONDENSI

Telepon: -

E-mail: [intan.monicamg@lecturer.unri.ac.id](mailto:intan.monicamg@lecturer.unri.ac.id)

### ABSTRAK

Korosi pada baja struktural menimbulkan kerugian ekonomi yang besar dan menjadi tantangan teknis yang signifikan, terutama di wilayah tropis dengan tingkat kelembapan tinggi seperti Indonesia. Berbagai metode perlindungan korosi telah dikembangkan, namun kajian komprehensif yang membandingkan efektivitas masing-masing metode masih terbatas. Penelitian ini menggunakan pendekatan *scoping review* dengan mengacu pada kerangka Arksey dan O'Malley. Sebanyak 70 artikel diidentifikasi dari enam basis data elektronik untuk periode publikasi 2015–2026. Setelah penghapusan artikel duplikat serta proses penyaringan judul, abstrak, dan teks lengkap berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, diperoleh 26 artikel yang digunakan dalam sintesis akhir. Data dianalisis secara naratif dan dikelompokkan ke dalam empat metode utama, yaitu lapisan polimer, perlindungan katodik, inhibitor korosi, dan perlakuan permukaan. Hasil kajian menunjukkan bahwa setiap metode memiliki keunggulan dan keterbatasan yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, karakteristik struktur, kebutuhan pemeliharaan, serta aspek ekonomi dan keberlanjutan. Tidak terdapat satu metode yang unggul secara mutlak untuk seluruh kondisi. Oleh karena itu, pemilihan sistem perlindungan korosi perlu dilakukan secara komprehensif dan disesuaikan dengan kondisi paparan, karakteristik material, umur layan, serta kebutuhan spesifik struktur yang dilindungi.

## 1. PENDAHULUAN

Baja struktural merupakan bahan bangunan yang paling banyak digunakan di seluruh dunia, dengan aplikasi yang mencakup jembatan, gedung pencakar langit, infrastruktur pelabuhan, hingga fasilitas industri, berkat keunggulannya berupa kekuatan tarik yang tinggi, kelenturan, dan kemudahan fabrikasi. Namun, terlepas dari keunggulan tersebut, baja struktural memiliki kelemahan mendasar yang tidak boleh diabaikan karena kerentanan yang tinggi terhadap korosi. Korosi yang menyerang baja diperkirakan menyebabkan kerugian ekonomi global sebesar triliunan dolar setiap tahun, mengancam keamanan struktural,

<https://doi.org/10.35583/js.v14i1.453>

memperpendek masa pakai, dan secara signifikan meningkatkan biaya pemeliharaan [1]. Di lingkungan yang agresif seperti daerah pesisir, kawasan industri, dan iklim tropis yang lembap seperti di Indonesia, laju korosi jauh lebih cepat dibandingkan dengan iklim sedang, menjadikan perlindungan terhadap korosi sebagai masalah teknis yang mendesak dan strategis

Berbagai strategi perlindungan korosi untuk baja struktural telah dikembangkan dan diteliti secara mendalam dalam studi-studi sebelumnya. Sistem pelapis berbasis polimer seperti epoksi, alkid, dan poliuretan telah terbukti memberikan kinerja yang efektif sebagai penghalang fisik

yang menghambat penetrasi ion-ion agresif, dengan poliuretan secara konsisten menunjukkan kinerja mekanis terbaik [2], [3]. Inovasi terbaru mencakup penggunaan bahan pengisi nano seperti nanoplatelet graphene dan nanosilika, yang telah terbukti meningkatkan ketahanan terhadap abrasi dan menghambat penetrasi ion korosif [4]. Selain sistem pelapis, perlindungan katodik melalui galvanisasi dan anoda seng pengorbanan telah terbukti memberikan perlindungan berkelanjutan bahkan saat terjadi kerusakan permukaan dalam kondisi lapangan [5]. Inhibitor korosi yang berasal dari ekstrak tumbuhan, seperti tanin, flavonoid, dan polifenol, juga telah mengalami perkembangan pesat sebagai alternatif ramah lingkungan untuk inhibitor sintetis, dengan tingkat efisiensi penghambatan mencapai hingga 75,64% pada konsentrasi optimal [6].

Meskipun penelitian mengenai perlindungan korosi pada baja struktural telah mengalami kemajuan yang signifikan, penelitian lintas disiplin yang secara komprehensif membandingkan berbagai metode perlindungan masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian yang tersedia hingga saat ini cenderung berfokus pada metode perlindungan tertentu baik itu pelapisan, katodik, inhibitor, maupun perlakuan permukaan tanpa mengevaluasi keefektifannya secara sistematis dalam kerangka analitis yang terpadu [1], [3]. Situasi ini menyulitkan para praktisi dan perencana di bidang teknik sipil untuk menentukan metode perlindungan yang paling optimal, dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan dan persyaratan struktural tertentu. Kesenjangan inilah yang menjadi alasan utama mengapa tinjauan lingkup ini dianggap perlu.

Berdasarkan kesenjangan yang teridentifikasi, artikel ini bertujuan mensintesis dan membandingkan efektivitas berbagai metode perlindungan korosi pada baja struktural berdasarkan studi eksperimental yang diterbitkan antara tahun 2015 hingga 2026, mencakup coating polimer, proteksi katodik, inhibitor korosi, dan surface treatment. Secara spesifik, review ini diarahkan untuk mengidentifikasi metode perlindungan korosi yang telah dikaji pada baja struktural beserta efektivitasnya, sehingga dapat memberikan panduan berbasis bukti bagi peneliti, perencana, dan praktisi teknik sipil dalam memilih sistem proteksi korosi yang paling sesuai dengan kondisi lingkungan dan kebutuhan struktural.

## 2. METODE

### 2.1. Jenis Review

Penelitian ini menggunakan pendekatan scoping review dengan mengadopsi kerangka kerja (*framework*) yang dikembangkan oleh Arksey dan O'Malley [7] sebagaimana telah diperbarui dan disempurnakan oleh Levac dkk [8].

### 2.2. Strategi Pencarian

Tinjauan pustaka dilakukan secara sistematis dengan menggunakan enam basis data elektronik dari Google Scholar, Garuda Kemdikbud, ScienceDirect, Semantic Scholar, ResearchGate, dan Academia.edu. Pencarian dibatasi pada artikel yang diterbitkan antara tahun 2015 dan 2026 dalam bahasa Indonesia dan Inggris. Istilah pencarian yang digunakan meliputi: "Korosi Baja," "Metode Perlindungan Baja Struktur," dan "Efektivitas Metode Perlindungan Korosi pada Baja Struktur," yang diterapkan pada judul, abstrak, dan kata kunci setiap artikel.

### 2.3. Tabel

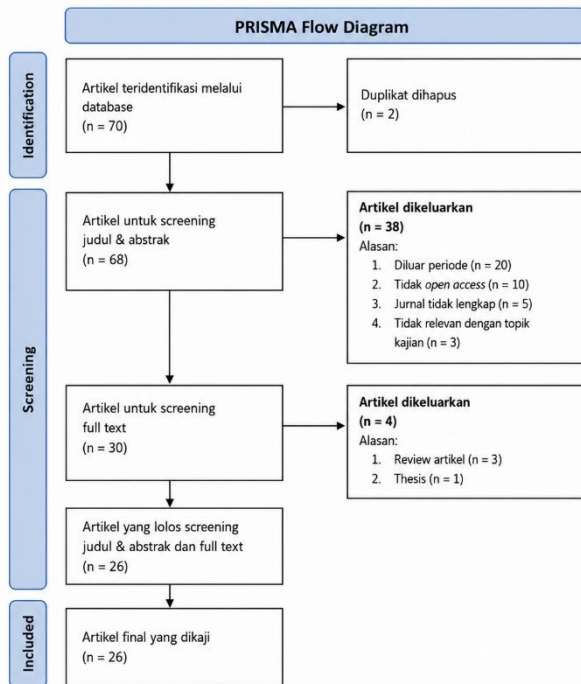
Tabel 1. Kriteria, Inklusi, dan Eksklusi

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Topik	Metode proteksi korosi pada baja struktural	Korosi pada material non-baja
Jenis publikasi	Artikel jurnal ilmiah dan artikel review	Tesis, disertasi, <i>prosiding</i> , laporan teknis
Tahun terbit	2015-2026	Di luar rentang tahun tersebut
Bahasa	Indonesia dan Inggris	Bahasa selain Indonesia dan Inggris
Aksesibilitas	Artikel tersedia <i>full text</i>	Artikel hanya tersedia abstrak

### 2.4. Proses Screening

Proses seleksi artikel dilakukan dalam dua tahap mengacu pada PRISMA *Flow Diagram* (Gambar 1). Berdasarkan diagram alir PRISMA, sebanyak 70 artikel berhasil diidentifikasi dari basis data yang digunakan. Setelah 2 artikel duplikat dihapus, sebanyak 68 artikel diseleksi melalui tahap screening judul dan abstrak. Pada tahap ini, 38 artikel dikeluarkan karena berada di luar periode publikasi, tidak tersedia dalam akses terbuka, memiliki informasi yang tidak lengkap, atau tidak relevan dengan topik kajian. Selanjutnya, 30 artikel menjalani penilaian teks lengkap, dan 4 artikel kembali dikeluarkan karena berupa artikel review sebanyak 3 artikel dan tesis sebanyak 1 dokumen. Dengan demikian, sebanyak 26 artikel memenuhi seluruh kriteria inklusi dan digunakan dalam proses sintesis serta pembahasan penelitian.

## 2.5. Gambar



Gambar 1. PRISMA Flow Diagram

## 2.6. Ekstraksi dan Sintesis

Data diekstraksi secara sistematis menggunakan lembar sintesis yang mencakup informasi mengenai penulis, tahun publikasi, negara asal penelitian, basis data sumber, jenis penelitian, topik spesifik yang dikaji, serta variabel utama yang dianalisis pada setiap artikel. Selanjutnya, data yang telah diekstraksi disintesis secara naratif melalui pengelompokan berdasarkan tema penelitian, yaitu pelapisan (*coating*), proteksi katodik, inhibitor korosi, *surface treatment*, serta proteksi menggunakan gas inert, integritas material, dan proses manufaktur. Proses sintesis naratif dilakukan dengan membandingkan dan mengintegrasikan temuan antarstudi untuk mengidentifikasi pola kesamaan (konsensus), perbedaan hasil (kontradiksi), serta kesenjangan penelitian (*research gap*) yang masih memerlukan kajian lebih lanjut pada masing-masing tema.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Karakteristik Studi

Tinjauan ini mengkaji 30 artikel ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2015 dan 2026, setelah menghilangkan dua artikel duplikat dari total 32 artikel yang memenuhi kriteria seleksi. Artikel-artikel tersebut berasal dari berbagai negara, dengan kontribusi terbesar dari Indonesia (n=17), diikuti oleh Tiongkok (n=4), Kanada (n=2), Amerika Serikat (n=1), Australia (n=1), Brasil (n=1), Korea Selatan (n=1), Swiss (n=1), Mesir (n=1), dan Republik Ceko (n=1). Berdasarkan sumber basis data, sebagian besar artikel ditemukan melalui Google Scholar dan ScienceDirect.

Jenis penelitian yang paling dominan adalah eksperimen laboratorium (n=18), diikuti oleh tinjauan literatur (n=9), dan kombinasi eksperimen dengan pemodelan (n=3). Berdasarkan kategori, artikel-artikel tersebut dibagi menjadi 5 kelompok utama: lapisan polimer (n=13), perlindungan katodik (n=1), inhibitor korosi (n=9), proteksi dengan gas inert (n=5) dan perlakuan permukaan (n=2), dengan beberapa artikel masuk ke lebih dari satu kelompok karena cakupan yang tumpang tindih.

### 3.2. Pelapisan coating

Dalam tinjauan literatur ini, teknik pelapisan permukaan diakui sebagai pendekatan yang paling umum diterapkan dan efektif dalam melindungi baja struktural dari korosi. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengungkapkan bahwa lapisan yang terbuat dari bahan polimer termasuk epoksi, alkid, dan poliuretan bertindak sebagai penghalang fisik yang meminimalkan masuknya ion agresif seperti klorida, oksigen, dan kelembapan ke permukaan baja, sehingga secara substansial memperlambat proses korosi [9], [10], [11]. Keberhasilan sistem pelapisan ini juga telah didokumentasikan dalam berbagai implementasi di sektor konstruksi dan kelautan, di mana penggunaannya dapat memperpanjang masa pakai baja sekaligus mengurangi biaya perawatan yang disebabkan oleh korosi [12], [13]. Namun, tingkat perlindungan yang dicapai sangat dipengaruhi oleh ketebalan lapisan dan tingkat kesempurnaan aplikasinya; Lapisan yang terlalu tipis atau memiliki cacat dapat mengganggu kinerja perlindungan dan menyebabkan kegagalan sistem pelapisan [14], [15].

Dibandingkan dengan berbagai jenis pelapis polimer, poliuretan sering menunjukkan kinerja yang lebih unggul dalam hal ketahanan korosi dan karakteristik mekanik. Penggunaan pelapis poliuretan pada baja ASTM A36 menghasilkan laju ksub rosi terendah, kekuatan adhesi tertinggi, dan ketahanan benturan yang lebih unggul dibandingkan dengan pelapis epoksi dan alkid [2]. Temuan ini turut diperkuat oleh studi yang menyatakan bahwa poliuretan memiliki karakteristik penghalang yang sangat andal dalam lingkungan korosif, meskipun pelapis epoksi dan alkid tetap menjadi pilihan alternatif yang layak tergantung pada kebutuhan aplikasi dan kondisi lingkungan [10].

Inovasi terkini dalam teknologi pelapisan bergerak menuju penggunaan nanomaterial dan sistem pelapisan multifungsi untuk meningkatkan efektivitas perlindungan korosi. Penggabungan nanoplatelet graphene dan nanosilika ke dalam matriks epoksi dapat meningkatkan kekuatan tarik, ketahanan abrasi, dan kemampuan untuk menghalangi masuknya ion korosif dengan membentuk struktur polimer yang lebih padat dan seragam [16]. Lapisan komposit nanopolimer merupakan generasi

lapisan yang sangat menjanjikan karena menggabungkan sifat mekanik dan ketahanan korosi yang unggul dibandingkan lapisan konvensional [9]. Dalam konteks struktur beton bertulang, aplikasi inhibitor Ferrogard 901, abu silika, serta berbagai sistem primer dan lapisan atas terbukti secara signifikan meningkatkan ketahanan korosi tulangan [17]. Selain itu, lapisan antikoroisi berbasis bitumen dapat mengurangi potensi korosi tulangan selama periode pengeringan beton [18].

Selain lapisan organik, metode pelapisan lain juga telah terbukti efektif dalam melindungi baja dari korosi. Pelapisan seng menggunakan teknik galvanisasi celup panas menawarkan perlindungan ganda: ia bertindak sebagai lapisan penghalang dan anoda korban, menjadikannya metode perlindungan korosi yang sangat efektif untuk baja struktural [13]. Di lingkungan laut yang sangat korosif, kombinasi pelapis organik dengan lapisan logam seng, atau sistem perlindungan katodik, menawarkan perlindungan optimal terhadap serangan klorida dan kelembaban tinggi [19], [20]. Pengembangan pelapis berbasis isolat protein kedelai (SPI) yang dimodifikasi secara abrasif dapat meningkatkan ketahanan korosi sekaligus memperkuat ikatan dengan beton, sehingga berpotensi menjadi alternatif pelapis berkelanjutan di masa depan [21].

Dari perspektif keberlanjutan jangka panjang, evaluasi terhadap empat sistem pelapis pada jembatan baja selama periode layanan 75 tahun menunjukkan bahwa tidak satu pun sistem tersebut secara bersamaan berkinerja unggul dalam semua aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan [22]. Sistem seng/epoksi/poliuretan organik (OZ/Epoxy/PU) memberikan perlindungan korosi yang optimal, tetapi menghasilkan emisi VOC yang lebih tinggi dibandingkan sistem berbasis air [22]. Oleh karena itu, pemilihan sistem pelapis memerlukan pertimbangan yang cermat untuk mencapai keseimbangan antara ketahanan korosi, biaya siklus hidup, intensitas perawatan, dan dampak lingkungan [12], [22]. Selain itu, bahkan cacat lokal terkecil pada lapisan pelindung dapat menjadi titik awal terjadinya korosi lokal (*pitting corrosion*) [15].

### 3.3. Proteksi Katodik (Cathodic Protection)

Penelitian mengenai perlindungan katodik dilakukan melalui studi berskala besar yang membandingkan kinerja tulangan baja berlapis epoksi dan tulangan baja galvanis pada permukaan yang utuh maupun yang rusak di lingkungan yang kaya klorida. Batang tulangan berlapis epoksi menunjukkan kinerja yang jauh lebih unggul pada permukaan yang utuh dengan arus korosi di bawah  $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , tetapi kinerjanya menurun secara signifikan sebesar 4,6 hingga 8,4 kali lipat ketika permukaannya rusak [5]. Di sisi lain, tulangan baja galvanis

mempertahankan stabilitas protektifnya melalui mekanisme anoda pengorbanan seng, dengan laju arus korosi yang hanya sepersepuluh dari tulangan berlapis epoksi pada permukaan yang rusak [5].

Temuan ini memiliki implikasi praktis yang signifikan: dalam kondisi lapangan di mana kerusakan permukaan selama pemasangan hampir tidak terhindarkan, sistem perlindungan katodik berbasis seng terbukti lebih andal daripada sistem pelapisan epoksi saja. Tingkat oksigen terlarut dalam larutan klorida juga ditemukan sebagai faktor yang secara signifikan mempercepat proses korosi pada kedua jenis tulangan. Dalam memilih metode perlindungan korosi, kondisi lingkungan merupakan faktor kunci yang harus dipertimbangkan dengan cermat. Di sisi lain, penelitian ini memiliki keterbatasan karena pengujian hanya dilakukan dalam larutan klorida, sehingga belum dapat sepenuhnya mewakili kondisi beton yang sebenarnya. Selain itu, masih diperlukan penelitian yang lebih mendalam mengenai efektivitas perlindungan korosi di lingkungan beton yang sesungguhnya, mengingat pengaruh pH, porositas, dan interaksi ion kalsium, yang memainkan peran penting dalam proses degradasi.

### 3.4. Inhibitor Korosi

Bagian mengenai penghambat korosi mencakup berbagai penelitian yang mengeksplorasi penggunaan senyawa kimia baik sintetis maupun yang berasal dari alam untuk mengurangi laju korosi pada bahan baja dengan membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam. Secara umum, terdapat kesepakatan bahwa penghambat korosi bekerja melalui mekanisme adsorpsi molekuler pada permukaan logam, yang berfungsi untuk menghambat reaksi anodik dan katodik yang memicu korosi. Inhibitor korosi berbasis alam (inhibitor ramah lingkungan) semakin banyak dikembangkan karena sifatnya yang ramah lingkungan, dapat terurai secara hayati, ketersediaannya yang melimpah, dan efisiensi penghambatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan inhibitor sintetis konvensional [23], [24]. Senyawa aktif seperti tanin, flavonoid, alkaloid, lignin, dan polifenol telah diidentifikasi sebagai donor elektron yang dapat membentuk lapisan pasif pelindung pada permukaan baja melalui mekanisme adsorpsi fisik dan kimia [23], [25].

Ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*) dapat digunakan secara efektif sebagai penghambat korosi pada baja karbon di air laut, dengan mencapai efisiensi penghambatan maksimum sebesar 75,64% pada konsentrasi 6% setelah enam hari perendaman. Efektivitas ini disebabkan oleh adanya tanin dan senyawa antioksidan yang membentuk lapisan pelindung pada permukaan baja [6], [26]. Namun, efisiensi penghambatan menurun seiring bertambahnya waktu perendaman karena senyawa aktif terurai dan

kapasitas adsorpsi penghambat berkurang [6]. Pola serupa juga teridentifikasi pada berbagai inhibitor alami lainnya. Ekstrak kafein yang berasal dari kopi, cokelat, dan teh hitam mampu mengurangi laju korosi baja baik dalam media asam sulfat maupun biodiesel yang mengandung asam, dengan tingkat efisiensi penghambatan mencapai 80–100% pada kondisi optimal [27]. Selain itu, ekstrak kulit jeruk madu dalam larutan HCl 1 M menghasilkan efisiensi penghambatan hingga 83,39% melalui pembentukan lapisan adsorpsi yang mencegah reaksi korosi pada permukaan baja karbon [25].

Berbagai penelitian tambahan semakin memperkuat potensi inhibitor alami sebagai alternatif yang berkelanjutan. Ekstrak eceng gondok, yang mengandung tanin dan lignin, mampu mengurangi laju korosi baja di lingkungan air laut, dengan konsentrasi optimal sebesar 12% [28]. Selain itu, ekstrak biji alpukat memberikan efisiensi penghambatan lebih dari 90% pada baja tahan karat dalam larutan HCl 1 M. Keberhasilan ini disebabkan oleh adanya senyawa antioksidan dan gugus fungsi aktif yang berinteraksi dengan permukaan logam, sehingga membentuk lapisan pelindung yang stabil [29]. Temuan ini menunjukkan bahwa sumber daya hayati lokal memiliki potensi besar sebagai bahan baku penghambat korosi yang ramah lingkungan [28], [29].

Dari sudut pandang inhibitor anorganik, inhibitor seng fosfat yang diaplikasikan pada baja karbon rendah dalam larutan NaCl 0,1% telah terbukti secara efektif mengurangi laju korosi melalui pembentukan lapisan pasif yang dihasilkan dari pengendapan senyawa fosfat pada permukaan logam. Konsentrasi optimal dicapai pada 35 ppm, yang menghasilkan laju korosi yang lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi lainnya [30]. Temuan ini mengungkapkan bahwa inhibitor anorganik masih memainkan peran penting, terutama dalam aplikasi industri yang membutuhkan stabilitas perlindungan jangka panjang [30].

Namun, berbagai tantangan masih memerlukan perhatian dalam pengembangan inhibitor korosi. Salah satu kesenjangan utama adalah kurangnya metode standar untuk ekstraksi, karakterisasi, dan pengujian inhibitor alami, sehingga membandingkan hasil antarstudi menjadi sulit [23], [24]. Selain itu, sebagian besar studi masih dilakukan pada skala laboratorium menggunakan media korosif yang terkontrol, sehingga diperlukan studi lapangan yang lebih luas untuk mengevaluasi kinerja inhibitor dalam kondisi operasional yang sebenarnya. Oleh karena itu, penelitian di masa depan harus berfokus pada standarisasi metode, mengeksplorasi mekanisme adsorpsi pada tingkat molekuler, dan melakukan pengujian jangka panjang di lingkungan industri yang lebih kompleks

sehingga inhibitor korosi berbasis alam dapat diterapkan secara luas sebagai solusi perlindungan baja yang efektif dan berkelanjutan.

### 3.5. Surface Treatment

Pengembangan sistem pelapisan untuk baja galvanis celup panas (*hot-dip galvanized steel*, HDGS) telah dikaji dengan fokus pada empat jenis perlakuan awal (*pretreatment*), yaitu lapisan silan, lapisan konversi logam tanah jarang, lapisan polimer konduktif, dan lapisan *self-assembled* [31]. Para peneliti sepakat bahwa sistem pelapisan dupleks yang menggabungkan lapisan pretreatment dengan pelapisan organik memberikan perlindungan yang jauh lebih unggul dibandingkan dengan sistem pelapisan satu lapis, dengan rumus evaluasi masa pakai baru yang diusulkan melalui hubungan  $L_c = k(L_f + L_z)$ , di mana  $k = 1,5-2,3$ . Pelapisan silan dan pelapisan konversi logam tanah jarang diakui sebagai alternatif yang menjanjikan untuk menggantikan pasivasi kromat yang berbahaya dan karsinogenik, meskipun ketahanan korosinya di lingkungan yang sangat agresif masih lebih rendah daripada pelapisan konversi kromat. EIS diakui sebagai alat yang paling efektif dan non-destruktif untuk mengevaluasi kinerja pelapisan guna menganalisis degradasi pelapisan seiring waktu.

### 3.6. Proteksi dengan Gas Inert, Integritas Material dan Proses Manufaktur

Ketahanan korosi baja struktural tidak hanya ditentukan oleh jenis lapisan pelindung yang digunakan, tetapi juga oleh kualitas proses manufaktur dan integritas mikrostruktur materialnya. Korosi internal pada pipa saluran aliran baja karbon sangat dipengaruhi oleh komposisi fluida, tekanan operasi, dan karakteristik aliran yang tidak dapat dikendalikan semata-mata melalui penerapan lapisan pelindung eksternal. Oleh karena itu, strategi perlindungan korosi yang efektif harus diterapkan sejak tahap desain, melalui pemilihan material, hingga proses manufaktur. [32].

Penggunaan atmosfer gas inert selama tahap pelapisan dan pengelasan telah terbukti berhasil mengurangi oksidasi pada permukaan material sekaligus meningkatkan daya rekat lapisan pelindung. Perubahan pada media pendingin setelah proses pengelasan MIG juga telah diidentifikasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap mikrostruktur zona las, yang berpotensi menciptakan area yang lebih rentan terhadap serangan korosi jika tidak disertai dengan perlindungan yang memadai [33]. Selain itu, penerapan lapisan epoksi yang diperkuat dengan pengisi nanopartikel dapat menghasilkan lapisan penghalang yang lebih padat dan kokoh, yang menunjukkan bahwa rekayasa material dan teknologi pelapisan harus dipertimbangkan sebagai sistem perlindungan terintegrasi [4].

Meski demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait evaluasi terpadu antara penggunaan gas inert, perubahan mikrostruktur akibat fabrikasi, dan performa korosi jangka panjang pada kondisi operasional nyata, khususnya di lingkungan tropis seperti Indonesia..

### 3.7. *Temuan Umum, Kesenjangan, dan Implikasi*

Berdasarkan tinjauan terhadap 30 artikel ilmiah, review ini menjawab *Research Question* mengenai metode perlindungan korosi pada baja struktural dan efektivitasnya berdasarkan kajian literatur. Temuan menunjukkan bahwa terdapat empat metode perlindungan korosi utama yang telah dikaji secara ilmiah, yaitu coating polimer, proteksi katodik, inhibitor korosi, dan *surface treatment*. Di antara keempat metode tersebut, tidak ada satu pun yang terbukti unggul pada semua aspek secara bersamaan. *Coating polyurethane* unggul secara teknis namun menghasilkan emisi VOC tinggi; proteksi katodik berbasis zinc andal saat terjadi kerusakan permukaan namun terbatas pada aplikasi tertentu; inhibitor alami ramah lingkungan namun efektivitasnya menurun setelah melewati batas konsentrasi dan waktu optimal; dan *surface treatment duplex coating* memberikan perlindungan superior namun belum memiliki standar evaluasi umur layan yang diterima secara universal. Pemilihan metode proteksi yang tepat karenanya harus mempertimbangkan kondisi lingkungan, jenis struktur, biaya siklus hidup, dan aspek keberlanjutan secara terintegrasi.

Temuan tinjauan ini sejalan dengan beberapa standar internasional yang berlaku di industri konstruksi. ISO 12944 mengklasifikasikan tingkat korosivitas lingkungan dari C1 hingga CX dan merekomendasikan sistem pelapisan yang berbeda untuk setiap kategori sesuai dengan temuan [17], yang menunjukkan bahwa pemilihan sistem pelapisan harus disesuaikan dengan tingkat agresivitas lingkungan setempat. ASTM A123 menetapkan standar ketebalan lapisan galvanis pada baja struktural, di mana ketebalan dan keutuhan lapisan seng memainkan peran penting dalam menentukan efektivitas perlindungan katodik ketika terjadi kerusakan pada permukaan material [5]. Di Indonesia, SNI 03-1729-2015 mengatur penggunaan baja struktural dalam konstruksi tetapi belum secara khusus membahas sistem perlindungan korosi untuk iklim tropis yang lembab, yang merupakan celah regulasi yang perlu diatasi mengingat sebagian besar infrastruktur Indonesia terletak di lingkungan dengan tingkat korosivitas yang tinggi

Meskipun tinjauan ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai metode perlindungan korosi pada baja struktural, beberapa celah penelitian yang signifikan telah teridentifikasi. Pertama, hampir tidak ada penelitian yang mengevaluasi kinerja sistem perlindungan secara

terintegrasi mencakup aspek teknis, biaya siklus hidup, dan dampak lingkungan dalam satu kerangka kerja analitis. Kedua, data yang tersedia mengenai masa pakai sistem perlindungan masih didominasi oleh kondisi iklim Eropa dan Amerika Utara, sehingga validitasnya untuk kondisi tropis lembab seperti di Indonesia masih memerlukan verifikasi empiris. Ketiga, inhibitor alami yang berasal dari ekstrak tumbuhan belum diuji pada skala industri dunia nyata dan dalam kondisi operasional yang sebenarnya semua penelitian yang ada masih terbatas pada studi skala laboratorium dengan durasi pengujian yang singkat. Keempat, tidak ada studi yang secara bersamaan mengaitkan efek perlindungan korosi dengan integritas mekanis bahan pasca-pengelasan sebagai pendekatan perlindungan holistik.

Tinjauan ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pencarian hanya dilakukan di enam basis data (Google Scholar, Garuda Kemdikbud, ScienceDirect, Semantic Scholar, ResearchGate, dan Academia.edu), sehingga ada kemungkinan artikel yang tidak terindeks di basis data tersebut tidak teridentifikasi. Pembatasan bahasa pada bahasa Indonesia dan Inggris juga dapat menimbulkan bias terhadap studi yang diterbitkan dalam bahasa lain seperti Mandarin, Jerman, atau Portugis mengingat sejumlah studi inovatif di bidang korosi sebenarnya berasal dari negara-negara yang menggunakan bahasa tersebut. Selain itu, meskipun rentang waktu 2015-2026 tampak cukup luas, rentang waktu tersebut tidak mencakup studi-studi dasar sebelum tahun 2015 yang mungkin relevan sebagai dasar teoretis. Terakhir, sintesis ini dilakukan secara naratif tanpa meta-analisis kuantitatif, sehingga perbandingan efektivitas antar metode tidak dapat dinyatakan dalam bentuk ukuran efek terstandarisasi. Temuan *review* ini memiliki implikasi praktis yang langsung berlaku bagi dua kelompok pemangku kepentingan. Bagi praktisi dan perencana teknik sipil, *review* ini merekomendasikan agar pemilihan sistem proteksi korosi tidak hanya didasarkan pada performa teknis di laboratorium, tetapi juga mempertimbangkan kondisi lingkungan spesifik, potensi kerusakan permukaan saat konstruksi, dan biaya perawatan jangka panjang, dengan proteksi katodik berbasis zinc sebagai pilihan lebih andal untuk lingkungan agresif dan kondisi lapangan yang rentan kerusakan. Bagi peneliti berikutnya, *review* ini merekomendasikan tiga prioritas penelitian: pengujian komparatif sistem proteksi dalam kondisi iklim tropis lembab Indonesia secara empiris; pengembangan standar evaluasi terintegrasi yang mencakup aspek teknis, lingkungan, dan ekonomi secara bersamaan; serta uji lapangan inhibitor alami berbasis ekstrak tumbuhan lokal Indonesia sebagai solusi proteksi korosi yang berkelanjutan dan berbiaya rendah.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Tinjauan terhadap 30 artikel ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2015 dan 2026 mengidentifikasi empat metode utama perlindungan korosi untuk baja struktural meliputi lapisan polimer, perlindungan katodik, penghambat korosi, dan perlakuan permukaan. Hasil studi menunjukkan bahwa lapisan poliuretan memberikan kinerja perlindungan yang paling konsisten, sementara perlindungan katodik berbasis seng lebih andal dalam kondisi yang rentan terhadap kerusakan permukaan karena mekanisme anoda pengorbanan tetap aktif. Inhibitor korosi berbasis ekstrak tumbuhan menunjukkan potensi yang menjanjikan dengan efisiensi hingga 75,64%, meskipun efektivitasnya menurun setelah mencapai konsentrasi optimal. Secara keseluruhan, tidak ada satu metode pun yang unggul dalam semua aspek teknis, ekonomi, dan keberlanjutan. Oleh karena itu, pemilihan metode perlindungan harus mempertimbangkan kondisi lingkungan, biaya siklus hidup, dan aspek keberlanjutan secara terintegrasi.

#### 1. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyatakan tidak ada sumber pendanaan khusus dalam penulisan artikel ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Ebrahimi *et al.*, "Toward sustainable steel bridge maintenance: anti-corrosion coating systems," *J. Coat. Technol. Res.*, vol. 22, no. 6, pp. 2293–2312, 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s11998-025-01126-3>.
- [2] U. Budiarto, P. Manik, and G. A. Kusuma, "Analisis Penerapan Coating Pada Baja Astm A36 Dengan Variasi Cat Terhadap Laju Korosi, Kekuatan Adhesi Dan Ketahanan Impact Coating" *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 3, pp. 1253–1269, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.21776/jrm.v15i3.1500>.
- [3] A. R. Arrosyid, S. Siswosukarto, and A. F. Setiawan, "Mekanisme Korosi dan Perlindungannya dengan Lapisan Berbasis Polimer: Review.", *Symposium Nasional Teknologi Infrastruktur*, pp. 1–9, 2025.
- [4] X. Wang, Q. Cao, F. Tang, H. Pan, X. Chen, and Z. Lin, "Mechanical Properties and Corrosion Behavior of Dual-Filler-Epoxy-Coated Steel Rebar under a Corrosive Environment," *Coatings*, vol. 13, no. 3, Mar. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/coatings13030604>.
- [5] I. S. Yoon and J. H. Nam, "Evaluation of Corrosion Resistance Performance of Anti-Corrosion Reinforcements with Surface Damage," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 28, no. 11, pp. 5189–5202, Nov. 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s12205-024-2337-0>
- [6] K. Ahmad Roni, E. Yuliwati, and B. Marselia, "Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Pepaya (Carica Papaya L.) Terhadap Pengaruh Laju Korosi Pada Baja Karbon Dalam Larutan Air Laut." Jan, 2022, doi: <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i1.7005>
- [7] H. Arksey and L. O'Malley, "Scoping studies: Towards a methodological framework," *International Journal of Social Research Methodology: Theory and Practice*, vol. 8, no. 1, pp. 19–32, Feb. 2005, doi: <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>.
- [8] D. Levac, H. Colquhoun, and K. K. O'Brien, "Scoping studies: Advancing the methodology," *Implementation Science*, vol. 5, no. 1, Sep. 2010, doi: <https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69>.
- [9] H. Xu and Y. Zhang, "A review on conducting polymers and nanopolymer composite coatings for steel corrosion protection," *Coatings*, vol. 9, no. 12, pp. 1–22, 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/coatings9120807>.
- [10] A. R. Arrosyid, S. Siswosukarto, and A. F. Setiawan, "Mekanisme Korosi dan Perlindungannya dengan Lapisan Berbasis Polimer: Review," *Symposium Nasional Teknologi Infrastruktur*, pp. 1–9, 2025.
- [11] G. P. V. Dalmora, E. P. Borges Filho, A. A. Maraschin Conterato, W. S. Roso, C. E. Pereira, and A. Dettmer, "Methods of corrosion prevention for steel in marine environments: A review," Jan. 01, 2025, *Elsevier B.V.* doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsufi.2025.100430>.
- [12] J. R. Adsetts, N. Ebrahimi, J. Zhang, F. Jalaei, and J. J. Noël, "Steel Bridge-Coating Systems and Their Environmental Impacts: Current Practices and Future Trends," *Coatings*, vol. 13, no. 5, May 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/coatings13050850>.
- [13] J. Vontorová, P. Mohyla, and K. Kreislová, "Quality of Zinc Coating Formed on Structural Steel by Hot-Dip Galvanizing after Surface Contamination," *Coatings*, vol. 14, no. 4, Apr. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/coatings14040493>.
- [14] Eka Febriyanti, Amin Suhadi, Dedi Priadi, and Rini Riasuti, "Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating," *jurnal teknik ITS*, vol. 9, no. 3, pp.

- 175–178, 2023.  
Doi: [10.12962/j23373539.v4i1.8931](https://doi.org/10.12962/j23373539.v4i1.8931).
- [15] A. Mostafa, H. Sokairge, M. Galal, and I. Abdel-Latif, “Effect of coating defects and initial rust on corrosion and strength of reinforcing steel in concrete,” *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, vol. 59, no. 3, Apr. 2026, doi: <https://doi.org/10.1617/s11527-026-03033-4>.
- [16] Q. Wang *et al.*, “Research Progress in Corrosion Behavior and Anti-Corrosion Methods of Steel Rebar in Concrete,” Aug. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: <https://doi.org/10.3390/met14080862>.
- [17] A. Afshar, S. Jahandari, H. Rasekh, A. Rahmani, and M. Saberian, “Effects of Different Coatings, Primers, and Additives on Corrosion of Steel Rebars,” *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 6, Mar. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/polym15061422>.
- [18] P. Astuti *et al.*, “Astuti, P., & Fahma, R. K. (2022). Pencegahan Korosi pada Beton dalam Masa Perawatan dengan Cat Anti-korosi berbasis Bituminous. SIKLUS : Jurnal Teknik Sipil, 8(2), 197–205.,” *SIKLUS: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 8, no. 2, pp. 197–205, 2022, [Online]. Available: <https://journal.unilak.ac.id/index.php/SIKLUS>
- [19] G. P. V. Dalmora, E. P. Borges Filho, A. A. Maraschin Conterato, W. S. Roso, C. E. Pereira, and A. Dettmer, “Methods of corrosion prevention for steel in marine environments: A review,” *Results in Surfaces and Interfaces*, vol. 18, no. January, p. 100430, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsufi.2025.100430>.
- [20] T. Ihza Mahendra and D. Dwisetiono, “Proteksi Katodik Menggunakan Zinc Anode Untuk Menghambat Korosi Pada Lambung Kapal Port Link Vii Jakarta,” *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, pp. 7–12, Jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.62012/zl.v3i2.19694>.
- [21] S. Afgan, R. Kiran, X. Qi, and D. S. Bajwa, “Enhancement of Corrosion Resistance and Bond Strength in Rebars Employing Abrasives-Infused Soy-Protein Isolate Coatings 2,” 2023. [Online]. Available: <https://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>
- [22] N. Ebrahimi, M. Khanlarian, M. Momeni, L. Ahmadi, and D. Gallant, “Toward sustainable steel bridge maintenance: anti-corrosion coating systems,” *J. Coat. Technol. Res.*, vol. 22, no. 6, pp. 2293–2312, Nov. 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s11998-025-01126-3>.
- [23] M. Akrom, “Investigasi Ekstrak Bahan Alam Sebagai Inhibitor Korosi Hijau Pada Baja Menggunakan Teori Fungsional Kerapatan,” *Sebatik*, vol. 26, no. 1, pp. 147–155, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.46984/sebatik.v26i1.1686>.
- [24] Y. Stiadi, S. Arief, H. Aziz, M. Efdi, and E. Emriadi, “Inhibisi Korosi Baja Ringan Menggunakan Bahan Alami Dalam Medium Asam Klorida: Review,” *Jurnal Riset Kimia*, vol. 10, no. 1, pp. 51–65, Mar. 2019, doi: <https://doi.org/10.25077/jrk.v12i2.321>.
- [25] S. Hidayatullah and S. Suteja, “Inhibitor Korosi Dari Daun Pohon Kapuk Dengan Efektifitas Perlindungan Yang Baik Pada Lingkungan Asam,” *Jtam Rotary*, vol. 7, no. 2, p. 219, Sep. 2025, doi: [https://doi.org/10.20527/jtam\\_rotary.v7i2.16569](https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v7i2.16569).
- [26] K. A. Roni, E. Elfidiah, E. Yuliwati, and B. Marselia, “Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Pepaya (Carica Papaya L.) Terhadap Pengaruh Laju Korosi Pada Baja Karbon Dalam Larutan Air Laut,” *Jurnal Redoks*, vol. 7, no. 1, pp. 28–35, 2022, doi: <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i1.7005>.
- [27] Y. Maryanty, A. D. Iffournamasari, K. Widjajanti, D. R. Wulan, and N. I. Azkiya, “Pengaruh Ekstrak Kafein sebagai Inhibitor Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi pada Baja dalam Larutan Asam Sulfat dan Biosolar,” *Jurnal Rekayasa Proses*, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.22146/jrekpros.71831>.
- [28] N. Mulyaningsih, C. Pramono, and R. T. Prasetyo, “Pengaruh Penambahan Inhibitor Organik Ekstrak Eceng Gondok Terhadap Laju Korosi,” *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 2, no. 2, 2018, doi: <https://doi.org/10.31002/jom.v2i2.1438>.
- [29] Rusman Yunarson Peramah Dachi, “Pengembangan Inhibitor Korosi dari Ekstrak Biji Alpukat (Persea americana) untuk Aplikasi pada Baja Tahan Karat,” *Jurnal Kolaborasi Sains dan Ilmu Terapan*, vol. 2, no. 2, pp. 28–37, 2024. Doi: <https://doi.org/10.69688/juksit.v2i2.29>.
- [30] B. jurnal *et al.*, “Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Perilaku Korosi Baja Karbon Rendah Pipa Pendingin Sekunder

Reaktor Dalam Inhibitor Zink Fosfat,” *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, vol. 30, no. 1, pp. 1–10, 2024, doi: <https://doi.org/10.55981/Urania.2024.7059>.

- [31] Z. Yu, J. Hu, and H. Meng, “A Review of Recent Developments in Coating Systems for Hot-Dip Galvanized Steel,” Apr. 15, 2020, *Frontiers Media S.A.* doi: <https://doi.org/10.3389/fmats.2020.00074>.
- [32] A. Setyani, Moch. A. Jheno Sheva Hermawan, I. Prabowo, and N. Amin, “Investigasi Korosi Pipa Flowline Carbon Steel Pada Sistem Produksi Migas Dan Penerapan Solusi Protektif,” *J-ENSITEC*, vol. 11, no. 02, pp. 10207–102015, Jun. 2025, doi: <https://doi.org/10.31949/j-nsitec.v11i02.13508>.
- [33] A. A. Firjatulloh, “Pengaruh Media Pendingin Pada Pengelasan Metal Inert Gas (MIG) Baja Ss400 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro.” *Jurnal Teknik Mesin*, pp.103-108, 2025. Doi: <https://doi.org/10.26740/jtm.v14n01.p103-108>