



KAJIAN LITERATUR KOMPARATIF EFEKTIVITAS INHIBITOR HIJAU BERBASIS EKSTRAK TANAMAN DALAM PENGENDALIAN KOROSI BAJA KARBON

Endah Murtiana Sari¹ Rahmat^{2*} Rifo Nur Laksana³ Probokusumo⁴

^{1,2,3,4}Department of Industrial Engineering Universitas Sains Indonesia, Bekasi, West Java 17530, Indonesia

email korespondensi: rahmat.r@lecturer.sains.ac.id

SUBMITTED 8 JANUARI 2026 REVISED 25 FEBRUARI 2026 ACCEPTED 25 FEBRUARI 2026

ABSTRACT

*Corrosion is a metal degradation process caused by chemical or electrochemical reactions between metals and their surrounding environment. This phenomenon leads to significant technical, economic, and environmental losses in various industrial sectors. The use of synthetic corrosion inhibitors that may cause environmental hazards has encouraged the development of environmentally friendly corrosion inhibitors known as green inhibitors derived from natural materials. This study aims to analyze the effectiveness of plant-based extracts as corrosion inhibitors for steel through a comparative literature review approach. The research was conducted using a systematic literature review by analyzing 30 scientific articles published between 2015 and 2024 obtained from databases such as Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar. The analysis focused on several parameters including types of natural materials, active compounds, adsorption mechanisms, inhibition efficiency, and optimum concentration. The results show that mangosteen peel (*Garcinia mangostana*), papaya peel (*Carica papaya*), and banana peel (*Musa paradisiaca*) have significant potential as green corrosion inhibitors with inhibition efficiencies reaching 93–95%, 78–83%, and 65–72% respectively. Active compounds such as tannins, flavonoids, pectin, and alkaloids contribute to the formation of a protective adsorption layer on the steel surface that reduces corrosion rate. These findings indicate that natural materials have strong potential as environmentally friendly and sustainable corrosion inhibitors for future industrial applications.*

Keywords: carbon steel, corrosion, green inhibitor, plant extract, literature review

ABSTRAK

Korosi merupakan proses degradasi logam yang menimbulkan kerugian ekonomi, teknis, dan lingkungan dalam berbagai sektor industri. Penggunaan inhibitor korosi sintetis yang bersifat toksik mendorong berkembangnya penelitian mengenai inhibitor ramah lingkungan atau green inhibitor yang berasal dari bahan alami. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas berbagai ekstrak tanaman sebagai inhibitor korosi pada baja melalui pendekatan kajian literatur komparatif. Metode penelitian menggunakan pendekatan systematic literature review dengan menelaah artikel ilmiah yang diperoleh dari basis data jurnal internasional seperti Scopus, ScienceDirect, dan Google Scholar. Sebanyak 30 artikel yang dipublikasikan pada periode 2015–2024 dianalisis berdasarkan kriteria relevansi terhadap penggunaan bahan alami sebagai inhibitor korosi pada baja. Parameter yang dibandingkan meliputi jenis bahan alami, kandungan senyawa aktif, mekanisme adsorpsi, efisiensi inhibisi, konsentrasi optimum, serta stabilitas termal. Hasil analisis menunjukkan bahwa ekstrak kulit manggis (*Garcinia mangostana*), kulit pepaya (*Carica papaya*), dan kulit pisang (*Musa paradisiaca*) memiliki potensi sebagai inhibitor korosi yang efektif dengan efisiensi inhibisi berturut-turut mencapai 93–95%, 78–83%, dan 65–72% pada media asam. Senyawa aktif seperti tanin, flavonoid, pektin, dan alkaloid berperan dalam proses adsorpsi pada permukaan baja sehingga membentuk lapisan pelindung yang mampu menurunkan laju korosi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bahan alami memiliki potensi besar sebagai alternatif inhibitor korosi yang

ramah lingkungan dan berkelanjutan. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan penelitian lanjutan mengenai pemanfaatan biomaterial sebagai inhibitor korosi pada sistem industri.

Kata Kunci: baja karbon, green inhibitor, ekstrak tanaman, korosi, *literature review*.

1. PENDAHULUAN

Korosi merupakan proses degradasi logam yang terjadi akibat reaksi kimia maupun elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya, terutama pada kondisi yang mengandung air atau elektrolit. Fenomena ini menjadi permasalahan serius dalam berbagai sektor industri seperti konstruksi, otomotif, kimia, energi, dan manufaktur karena dapat menyebabkan penurunan kekuatan material, kerusakan struktur, serta kegagalan fungsi komponen logam (Peter et al., 2015; Patni et al., 2013). Dampak korosi tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis, tetapi juga menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan akibat meningkatnya biaya perawatan, perbaikan, maupun penggantian komponen yang mengalami kerusakan.

Selain kerugian ekonomi, korosi juga berpotensi menimbulkan risiko keselamatan dan pencemaran lingkungan, terutama pada sistem perpipaan, tangki penyimpanan, dan struktur logam yang beroperasi pada lingkungan korosif. Oleh karena itu, berbagai metode pengendalian korosi telah dikembangkan, seperti pelapisan permukaan, proteksi katodik, modifikasi material, serta penggunaan inhibitor korosi (Rani & Basu, 2012; Abdel-Karim & El-Shamy, 2022). Di antara berbagai metode tersebut, penggunaan inhibitor korosi merupakan salah satu pendekatan yang paling praktis dan ekonomis karena dapat secara langsung menurunkan laju reaksi korosi melalui mekanisme adsorpsi pada permukaan logam.

Namun demikian, sebagian besar inhibitor korosi yang digunakan secara komersial merupakan senyawa sintesis yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia karena bersifat toksik serta sulit terdegradasi secara alami. Kondisi ini mendorong berkembangnya penelitian mengenai inhibitor korosi berbasis bahan alami atau green inhibitor yang lebih ramah lingkungan. Inhibitor jenis ini umumnya berasal dari ekstrak tanaman yang mengandung senyawa bioaktif seperti tanin, flavonoid, alkaloid, lignin, dan polifenol yang mampu berinteraksi dengan permukaan logam dan membentuk lapisan pelindung yang menghambat proses korosi (Odidika et al., 2020; Singh, 2022; Pandey et al., 2023).

Berbagai penelitian telah melaporkan bahwa ekstrak tanaman memiliki potensi yang signifikan sebagai inhibitor korosi pada berbagai jenis logam dan media korosif. Beberapa bahan alami yang sering digunakan antara lain ekstrak daun, kulit buah, biji, maupun rimpang tanaman yang memiliki kandungan senyawa organik aktif. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengujian eksperimental terhadap satu jenis bahan alami tertentu, sehingga kajian komparatif mengenai efektivitas berbagai bahan alami sebagai inhibitor korosi masih relatif terbatas. Selain itu, perbedaan metode pengujian, konsentrasi inhibitor, serta kondisi lingkungan menyebabkan variasi hasil penelitian yang perlu dianalisis secara komprehensif.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu kajian literatur yang sistematis untuk mengidentifikasi serta membandingkan efektivitas berbagai bahan alami sebagai inhibitor korosi pada baja. Kajian ini diharapkan dapat memberikan

pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme inhibisi, efisiensi penghambatan, serta potensi pengembangan bahan alami sebagai inhibitor ramah lingkungan. Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana efektivitas berbagai bahan alami sebagai green inhibitor dalam menghambat korosi pada baja serta faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja inhibitor tersebut.

Adapun tujuan penelitian ini adalah menganalisis dan membandingkan efektivitas beberapa bahan alami sebagai inhibitor hijau terhadap korosi baja melalui pendekatan kajian literatur komparatif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai potensi pemanfaatan biomaterial sebagai inhibitor korosi yang ramah lingkungan serta menjadi dasar bagi pengembangan penelitian lanjutan di bidang material berkelanjutan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

1. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi merupakan senyawa yang ditambahkan dalam jumlah kecil ke dalam lingkungan korosif untuk menurunkan laju reaksi korosi pada permukaan logam. Mekanisme kerja inhibitor umumnya berkaitan dengan kemampuannya untuk membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam sehingga dapat menghambat reaksi elektrokimia yang terjadi pada proses korosi (Quraishi, 2021). Inhibitor korosi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan mekanisme kerjanya, yaitu inhibitor anodik, inhibitor katodik, dan inhibitor campuran yang mempengaruhi kedua reaksi elektrokimia secara bersamaan.

Pada lingkungan asam, berbagai senyawa organik yang mengandung atom hetero seperti nitrogen, sulfur, dan oksigen banyak digunakan sebagai inhibitor korosi. Senyawa-senyawa tersebut mampu berinteraksi dengan permukaan logam melalui pembentukan ikatan koordinasi maupun adsorpsi fisik yang menghasilkan lapisan pelindung pada permukaan logam (Dutta et al., 2015). Sementara itu, pada lingkungan netral maupun basa, senyawa seperti benzoat, nitrit, kromat, dan fosfat diketahui memiliki kemampuan inhibisi yang baik karena dapat menghambat reaksi anodik maupun katodik pada permukaan logam.

Meskipun inhibitor sintetis menunjukkan efektivitas yang tinggi dalam mengendalikan korosi, penggunaannya sering menimbulkan permasalahan lingkungan karena sebagian senyawa tersebut bersifat toksik, tidak mudah terurai, dan berpotensi mencemari lingkungan. Oleh karena itu, penelitian mengenai inhibitor korosi berbasis bahan alami atau green inhibitor semakin berkembang sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan. Inhibitor jenis ini umumnya berasal dari ekstrak tanaman yang mengandung berbagai senyawa organik aktif seperti tanin, flavonoid, alkaloid, polifenol, dan asam amino yang mampu berinteraksi dengan permukaan logam dan membentuk lapisan pelindung (Odidika et al., 2020; Singh, 2022).

2. Mekanisme Adsorpsi Inhibitor Korosi

Efektivitas inhibitor korosi sangat dipengaruhi oleh mekanisme adsorpsi molekul inhibitor pada permukaan logam. Secara umum, proses adsorpsi dapat terjadi melalui dua mekanisme utama, yaitu physisorption (adsorpsi fisik) dan chemisorption (adsorpsi kimia). Adsorpsi fisik terjadi akibat interaksi elektrostatik antara molekul inhibitor dengan permukaan logam yang bermuatan, sedangkan adsorpsi kimia terjadi melalui pembentukan ikatan kimia antara atom aktif pada molekul inhibitor dengan atom logam (El Ibrahim, 2016).

Pada proses physisorption, interaksi yang terjadi umumnya bersifat lemah dan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu, konsentrasi inhibitor, serta kondisi lingkungan korosif. Sebaliknya, pada proses chemisorption, interaksi yang terbentuk lebih kuat karena melibatkan pembentukan ikatan koordinasi antara atom hetero seperti nitrogen, oksigen, atau sulfur pada molekul inhibitor dengan permukaan logam. Oleh karena itu, inhibitor yang bekerja melalui mekanisme chemisorption umumnya memiliki stabilitas yang lebih baik dalam berbagai kondisi lingkungan.

Selain itu, proses adsorpsi inhibitor sering dianalisis menggunakan model isoterm adsorpsi seperti isoterm Langmuir, Temkin, dan Freundlich. Model isoterm ini digunakan untuk menggambarkan hubungan antara konsentrasi inhibitor dengan tingkat penutupan permukaan logam (surface coverage) oleh molekul inhibitor. Nilai energi bebas adsorpsi (ΔG°_{ads}) juga sering digunakan untuk mengidentifikasi jenis mekanisme adsorpsi yang terjadi, dimana nilai yang lebih negatif umumnya menunjukkan interaksi adsorpsi yang lebih kuat (Pandey et al., 2023).

3. Bahan Alam sebagai Inhibitor Hijau

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan bahan alami sebagai inhibitor korosi semakin banyak diteliti karena sifatnya yang ramah lingkungan, mudah diperoleh, serta memiliki potensi sebagai sumber bahan kimia terbarukan. Berbagai penelitian telah melaporkan bahwa ekstrak tanaman dapat digunakan sebagai inhibitor korosi yang efektif pada berbagai jenis logam, terutama baja karbon yang banyak digunakan dalam industri (Sangeetha et al., 2020).

Efektivitas ekstrak tanaman sebagai inhibitor korosi umumnya berkaitan dengan kandungan senyawa bioaktif yang terdapat di dalamnya. Senyawa seperti tanin, flavonoid, lignin, alkaloid, dan polifenol memiliki gugus fungsi yang dapat berinteraksi dengan permukaan logam sehingga membentuk lapisan adsorpsi yang menghambat proses oksidasi logam. Selain itu, keberadaan gugus fungsi seperti $-OH$, $-COOH$, dan ikatan aromatik juga berperan penting dalam meningkatkan kemampuan adsorpsi molekul inhibitor pada permukaan logam (Nnaji & Charles, 2021).

Beberapa penelitian sebelumnya melaporkan berbagai jenis tanaman yang memiliki potensi sebagai inhibitor korosi, seperti ekstrak daun rosemary, ekstrak

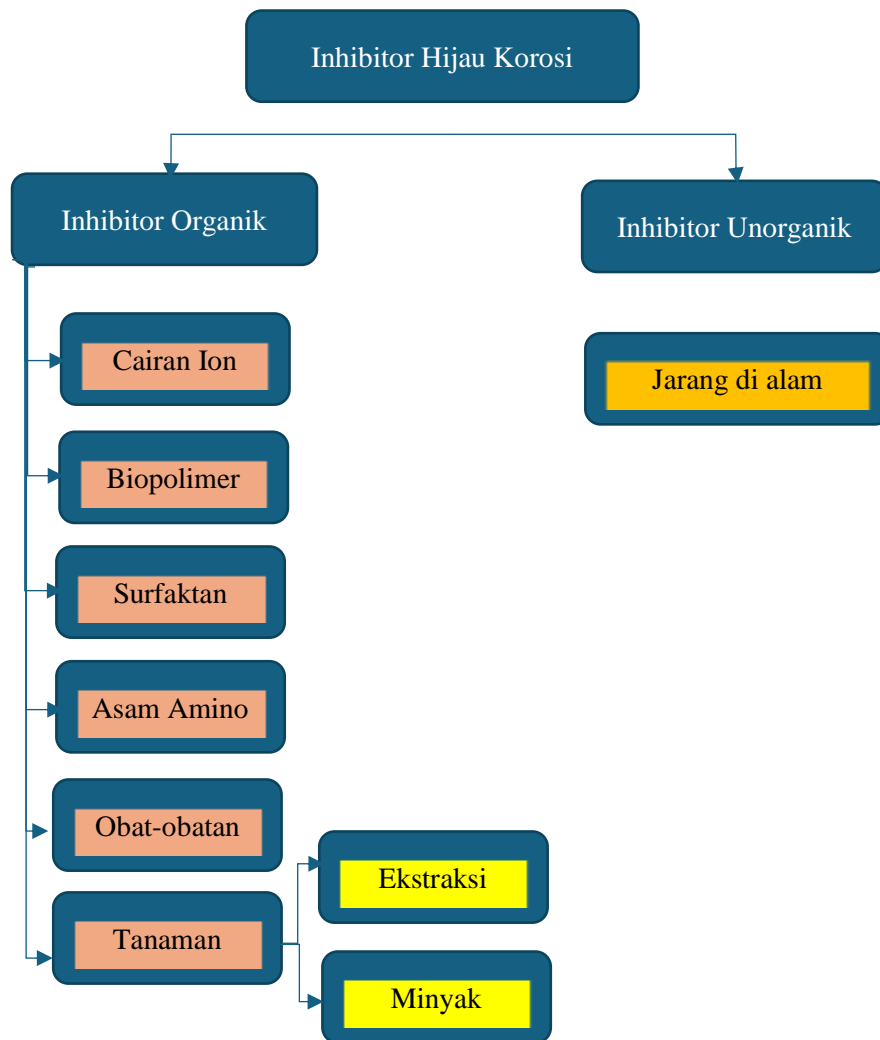
tanaman *Delonix regia*, madu alami, serta ekstrak *Opuntia* yang menunjukkan kemampuan inhibisi terhadap berbagai jenis logam dalam media korosif tertentu (El Ibrahim, 2016). Selain itu, ekstrak biji *Ammi visnaga* juga dilaporkan mampu menghambat korosi baja dalam larutan asam melalui pembentukan lapisan adsorpsi pada permukaan logam (Elewou et al., 2022).

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan potensi ekstrak tanaman sebagai inhibitor korosi, sebagian besar penelitian masih berfokus pada satu jenis bahan alami tertentu dengan kondisi pengujian yang berbeda-beda. Hal ini menyebabkan sulitnya melakukan perbandingan langsung mengenai efektivitas berbagai bahan alami sebagai inhibitor korosi. Oleh karena itu, diperlukan analisis komparatif terhadap beberapa bahan alami untuk mengidentifikasi karakteristik, keunggulan, serta keterbatasan masing-masing bahan sebagai inhibitor korosi yang ramah lingkungan. Beberapa bahan alami yang sering digunakan sebagai inhibitor hijau antara lain:

Kulit manggis (*Garcinia mangostana*), Daun sirih (*Piper betle*), Kulit pepaya (*Carica papaya*), Kulit pisang (*Musa paradisiaca*), Lidah buaya (*Aloe vera*), Daun nimba (*Azadirachta indica*), Kunyit (*Curcuma longa*).

Daftar ini menggambarkan potensi besar tanaman lokal sebagai sumber inhibitor hijau karena kandungan bioaktifnya yang dapat membentuk lapisan pelindung pada permukaan baja (Okeniyi et al., 2018; Awad et al., 2019; Prabakaran, 2021).

Gambar 2.1 menunjukkan klasifikasi umum inhibitor hijau yang berasal dari material organik maupun anorganik. Pada kelompok inhibitor organik, ekstrak tanaman menjadi sumber yang paling banyak diteliti karena sifatnya yang biodegradable, tidak beracun, mudah diperoleh, dan terbarukan (Sangeetha et al., 2020). Sementara itu, inhibitor anorganik alami relatif jarang ditemukan di alam.



Gambar 2.1 Klasifikasi inhibitor hijau untuk pencegahan korosi pada baja dan paduan

Sumber: Elewou et al. (2022)

Gambar 2.1 diatas menggambarkan pembagian inhibitor hijau untuk pencegahan korosi pada baja maupun material panduan. Terlihat bahwa dalam green inhibitor untuk korosi berasal dari material organik dan unorganik, dimana material unorganik masih jarang ditemukan di alam. Senyawa ramah lingkungan, teru-tama ekstrak tumbuhan, saat ini berperan penting sebagai inhibitor korosi karena sifatnya yang bio-degradabel, tidak beracun, dan relatif lebih murah. Biodegradabel membatasi pengawetan dan penggunaan jangka panjang ekstrak tumbuhan, sehingga diusulkan penggunaan mikroorganisme untuk dapat mencegah dekomposisi ekstrak tumbuhan dengan menambahkan biosida. Peningkatan kapasitas inhib-itor ekstrak tumbuhan dalam berbagai kondisi telah diuji untuk berbagai logam. Sifat minyak yang diekstrak dari

beberapa tumbuhan sebagai inhibitor korosi besi diselidiki dalam larutan hujan asam.

Pengukuran potensial sirkuit terbuka (*Open Circuit Potential*), polarisasi, dan spektroskopi impedansi telah digunakan. Inhibitor hijau memiliki sifat yang sama dengan inhibitor 'non-hijau'. Sebagian besar inhibitor hijau di-adsorpsi melalui adsorpsi fisik dan/atau kimia ke permukaan logam. Efisiensi inhibitor menurun atau meningkat dalam lingkungan korosif dengan paparan yang lama. Efisiensi berkurang seiring bertambahnya waktu dalam sebagian besar situasi, yang berarti molekul inhibitor diadsorpsi oleh interaksi fisik. Dosis harus diberikan pada konsentrasi rendah. Efisiensi inhibisi menurun seiring meningkatnya konsentrasi hingga konsentrasi maksimum. Peningkatan tersebut disebabkan oleh stabilitas lapisan inhibitor yang diadsorpsi. Untuk mengetahui struktur dan sumber inhibitor sintesis atau alami, dengan membandingkan aktivitas berbagai inhibitor.

Meskipun memiliki keunggulan lingkungan, inhibitor berbasis tanaman memiliki tantangan terkait degradasi biologis sehingga beberapa penelitian menyarankan penambahan biosida untuk meningkatkan stabilitasnya (Nnaji & Charles, 2021). Efektivitas inhibitor hijau sangat dipengaruhi oleh mekanisme adsorpsi yang terjadi pada permukaan logam, baik melalui physisorption maupun chemisorption, tergantung struktur senyawa aktifnya (Pandey et al., 2023). Untuk memberikan gambaran mengenai jenis-jenis bahan alami yang digunakan sebagai inhibitor hijau, Tabel 2.1 menyajikan daftar tujuh tanaman beserta metode ekstraksi dan jenis material logam sasaran berdasarkan berbagai hasil penelitian terdahulu (Okeniyi et al., 2018; Awad et al., 2019; Prabakaran, 2021).

Tabel 2.1 Macam-Macam Green Inhibitor Sangeetha Et Al. (2020); Nnaji & Charles (2021)

| No | Nama Bahan Green Inhibitor | Ekstraksi | Material Sasaran |
|----|---------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 1 | Kulit Manggis (<i>Garcinia mangostana</i>) | Kulit buah | Baja karbon, material paduan |
| 2 | Daun Sirih (<i>Piper betle</i>) | Etanol daun | Baja karbon |
| 3 | Kulit Pepaya (<i>Carica papaya</i>) | Ekstrak air dan kulit | Baja ringan |
| 4 | Kulit Pisang (<i>Musa paradisiaca</i>) | Kulit buah | Baja karbon |
| 5 | Lidah Buaya (<i>Aloe vera</i>) | Gel / ekstrak daun | Baja karbon |
| 6 | Daun Nimba (<i>Azadirachta indica</i> / neem) | Etanol daun | Baja karbon, tembaga |
| 7 | Kunyit (<i>Curcuma longa</i>) | Rimpang | Baja karbon |

Tabel 2.1 diatas menggambarkan setidaknya tujuh tanaman yang dapat dijadikan untuk menjadi inhibitor hijau pencegah korosi. Beberapa tanaman di ekstraksi dari daun, kulit buah dan air yang dapat digunakan untuk sebagai inhibitor hijau pada material baja dan paduan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) untuk menganalisis efektivitas bahan alami sebagai inhibitor korosi pada baja dan material paduan. Pendekatan ini dilakukan dengan mengidentifikasi, mengevaluasi, serta membandingkan hasil penelitian terdahulu yang relevan sehingga diperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik dan kinerja inhibitor hijau berbasis ekstrak tanaman.

Proses pengumpulan literatur dilakukan melalui beberapa basis data jurnal ilmiah internasional, yaitu Scopus, ScienceDirect, dan Google Scholar. Pencarian literatur menggunakan beberapa kata kunci utama seperti green corrosion inhibitor, plant extract corrosion inhibitor, natural corrosion inhibitor for steel, dan bio-based corrosion inhibitor. Artikel yang dipilih merupakan publikasi ilmiah yang diterbitkan pada rentang tahun 2015–2024 sehingga dapat menggambarkan perkembangan penelitian terbaru mengenai inhibitor korosi berbasis bahan alami.

Tahap seleksi literatur dilakukan melalui beberapa kriteria inklusi, yaitu:

- (1) artikel yang membahas penggunaan bahan alami atau ekstrak tanaman sebagai inhibitor korosi,
- (2) penelitian yang menguji efektivitas inhibitor pada baja atau logam paduan, dan
- (3) artikel yang menyediakan data kuantitatif terkait efisiensi inhibisi, mekanisme adsorpsi, atau parameter elektrokimia lainnya.

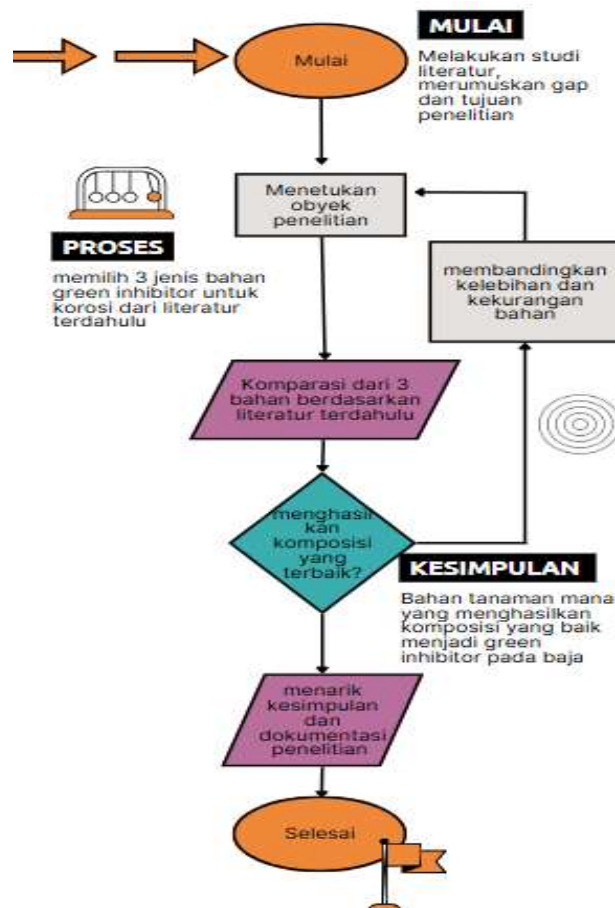
Sebaliknya, artikel yang tidak memenuhi kriteria tersebut, seperti publikasi yang tidak melalui proses peer review atau tidak menyajikan data eksperimen yang jelas, tidak dimasukkan dalam proses analisis.

Berdasarkan proses seleksi tersebut, diperoleh 30 artikel ilmiah yang dianalisis lebih lanjut. Tahapan seleksi literatur mengikuti prinsip umum systematic literature review yang meliputi identifikasi artikel, penyaringan awal berdasarkan judul dan abstrak, evaluasi kelayakan artikel secara penuh (full text review), serta pemilihan artikel yang relevan untuk dianalisis lebih lanjut.

Selanjutnya dilakukan analisis komparatif terhadap beberapa parameter utama yang sering digunakan dalam penelitian inhibitor korosi, yaitu jenis bahan alami, kandungan senyawa aktif, mekanisme adsorpsi, konsentrasi optimum inhibitor, efisiensi inhibisi, serta kestabilan inhibitor pada berbagai kondisi lingkungan

korosif. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik masing-masing bahan alami serta membandingkan tingkat efektivitasnya sebagai inhibitor korosi pada baja.

Tahap akhir penelitian adalah analisis sintesis, yaitu mengintegrasikan hasil komparasi dari berbagai penelitian terdahulu untuk menentukan bahan alami yang memiliki potensi paling tinggi sebagai green inhibitor serta mengidentifikasi peluang pengembangan penelitian di masa mendatang. Adapun langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Langkah Penelitian.

Gambar 3.1 menggambarkan tahapan penelitian yang diadaptasi dari pendekatan systematic literature review yang meliputi proses identifikasi literatur, seleksi artikel, analisis komparatif, serta sintesis hasil penelitian.

Penelitian ini menggunakan pendekatan literature review dengan melakukan komparasi terhadap berbagai penelitian terdahulu yang membahas efektivitas bahan alami sebagai inhibitor hijau pada baja dan material paduan. Tahapan penelitian dirancang untuk mengidentifikasi karakteristik senyawa alami, mekanisme kerja,

efisiensi penghambatan, serta keunggulan dan keterbatasan tiap jenis bahan berdasarkan data sekunder dari jurnal ilmiah. Sesuai diagram alur yang ditunjukkan pada Gambar 2, penelitian dilakukan melalui beberapa langkah utama. Pertama, pengumpulan referensi dilakukan dengan memilih penelitian yang relevan mengenai inhibitor hijau, terutama yang berfokus pada ekstrak tanaman. Kedua, dilakukan identifikasi senyawa aktif dari masing-masing tanaman seperti tanin, lignin, flavonoid, dan alkaloid, yang berperan dalam mekanisme penghambatan korosi (Pandey et al., 2023).

Langkah berikutnya adalah melakukan komparasi efektivitas inhibitor berdasarkan parameter seperti efisiensi inhibisi, konsentrasi optimum, kestabilan suhu, laju korosi, dan sifat biodegradabilitas sebagaimana dilaporkan oleh penelitian terdahulu (Awad et al., 2019; Prabakaran, 2021). Tahap terakhir adalah analisis sintesis, yaitu menyimpulkan keunggulan relatif tiap bahan serta potensi pengembangannya sebagai inhibitor berkelanjutan.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, tiga bahan utama dipilih dalam penelitian ini, yaitu kulit manggis (*Garcinia mangostana*), kulit pepaya (*Carica papaya*), dan kulit pisang (*Musa paradisiaca*). Pemilihan ketiga bahan ini didasarkan pada ketersediaannya yang melimpah di Indonesia serta kandungan senyawa aktif seperti tanin, flavonoid, lignin, dan pektin yang berpotensi membentuk film pelindung pada permukaan baja (Okeniyi et al., 2018; Awad et al., 2019).

Perbandingan karakteristik masing-masing bahan ditunjukkan pada Tabel 4.1 Secara umum, kulit manggis menunjukkan kandungan senyawa aktif yang lebih kompleks, seperti xanton, tanin, dan flavonoid yang mampu berinteraksi kuat dengan ion Fe^{2+} dan membentuk film kompleks yang stabil. Sementara itu, kulit pepaya dan kulit pisang memiliki senyawa polar seperti alkaloid, saponin, dan lignin yang berperan dalam proses adsorpsi pada permukaan baja, meskipun kestabilan filmnya lebih rendah pada suhu tinggi (Pandey et al., 2023).

Tabel 4.1 Komparasi Efektivitas Beberapa Bahan Alami sebagai *Green Corrosion* Inhibitor pada Baja Karbon (Sintesis Literatur)

| Parameter | Kulit Manggis (<i>Garcinia mangostana</i>) | Kulit Pepaya (<i>Carica papaya</i>) | Kulit Pisang (<i>Musa paradisiaca</i>) |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Senyawa aktif utama | Xanton, tanin, flavonoid, polifenol | Alkaloid, saponin, tanin | Pektin, lignin, flavonoid, tanin |
| Efektifitas pada baja karbon (HCl IM) | 80–95% inhibisi (500 ppm – 1000 ppm) | 70–85% inhibisi (1000 ppm) | 60–75% inhibisi (1000 ppm) |
| Mekanisme kerja | Pembentukan film | Adsorpsi senyawa | Adsorpsi senyawa |

| | | | |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| | kompleks Fe– xanton/tanin stabil | polar (alkaloid, tanin) membentuk lapisan pelindung | pektin/lignin → film lemah tapi seragam |
| Parameter | Kulit Manggis (Garcinia mangostana) | Kulit Pepaya (Carica papaya) | Kulit Pisang (Musa paradisiaca) |
| Stabilitas suhu | Tinggi – film tetap stabil | Sedang – efektivitas menurun >50°C | Rendah – film mudah rusak pada suhu tinggi |
| Biodegradabilitas | Tinggi | Sangat tinggi | Sangat tinggi |
| Ketersediaan bahan baku | Moderat (musiman) | Tinggi | Sangat tinggi |
| Kesimpulan umum | Paling efektif dan stabil sebagai inhibitor alami untuk baja | Efektif, ekonomis, tapi kurang stabil pada suhu tinggi | Cukup efektif, murah, cocok untuk aplikasi ringan jangka pendek |

Berdasarkan perbandingan pada Tabel 4.1 terlihat bahwa ketiga bahan alami memiliki karakteristik inhibisi yang berbeda. Kulit manggis menunjukkan performa paling tinggi karena kandungan senyawa aktif seperti xanton, flavonoid, dan tanin yang mampu membentuk kompleks stabil dengan ion logam pada permukaan baja. Senyawa-senyawa tersebut berperan dalam proses adsorpsi kimia (chemisorption) sehingga menghasilkan lapisan pelindung yang lebih stabil dibandingkan bahan alami lainnya. Sementara itu, kulit pepaya dan kulit pisang menunjukkan mekanisme inhibisi yang cenderung didominasi oleh adsorpsi fisik (physisorption) melalui interaksi senyawa polar seperti alkaloid, saponin, pektin, dan lignin dengan permukaan logam. Meskipun efektivitas inhibisinya relatif lebih rendah dibandingkan kulit manggis, kedua bahan tersebut memiliki keunggulan dalam hal ketersediaan bahan baku serta biaya produksi yang lebih rendah.

Efisiensi Inhibisi Tiga Jenis Bahan Alami

Nilai efisiensi inhibisi pada berbagai tingkat konsentrasi inhibitor yang disajikan pada Tabel 4.2 merupakan hasil kompilasi dari beberapa penelitian eksperimental yang melaporkan performa ekstrak tanaman sebagai inhibitor korosi pada baja karbon dalam media asam.

Tabel 4.2 Efisiensi Dan Inhibisi Bahan

| Konsentrasi (ppm) | Kulit Manggis (%) | Kulit Pepaya (%) | Kulit Pisang (%) |
|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 100 | 70 | 55 | 45 |
| 250 | 84 | 65 | 55 |
| 500 | 94 | 75 | 65 |

| | | | |
|------|-------------|----|----|
| 1000 | 93 (stabil) | 82 | 72 |
|------|-------------|----|----|

Sumber: Awad et al. (2019); Pandey et al. (2023); Prabakaran (2021).

Sebaliknya, kulit pepaya dan kulit pisang memiliki efisiensi optimal pada konsentrasi yang lebih tinggi, yaitu 1000 ppm, yang mengindikasikan mekanisme adsorpsi fisik (*physisorption*) lebih dominan, sehingga film pelindungnya kurang stabil terhadap perubahan kondisi lingkungan (prabakaran, 2021; pandey et al., 2023). Dengan demikian, kulit manggis dapat dikategorikan sebagai inhibitor tipe campuran dengan dominasi adsorpsi kimia, sedangkan dua lainnya lebih bersifat inhibitor fisik dengan ketahanan film yang lemah.

Parameter Termodinamika Dan Kinetika

Tabel 4.3 menyajikan parameter seperti energi bebas adsorpsi (ΔG°_{ads}), laju korosi, dan nilai kesesuaian model isoterma Langmuir. Nilai ΔG°_{ads} negatif pada ketiga bahan menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara spontan. Kulit manggis memiliki nilai ΔG°_{ads} paling negatif ($-38,5$ kJ/mol), yang mengindikasikan interaksi kimia kuat dan pembentukan lapisan pelindung yang lebih stabil dibanding dua bahan lainnya. Sementara itu, nilai R^2 isoterma Langmuir yang mendekati 1 pada kulit manggis (0.996) memperkuat bahwa adsorpsi berlangsung secara teratur membentuk monolayer (Awad et al., 2019). Sebaliknya, kulit pepaya dan kulit pisang menunjukkan interaksi lebih lemah dan penurunan efisiensi inhibisi lebih besar pada kenaikan suhu, sehingga kurang sesuai untuk aplikasi di lingkungan dengan fluktuasi temperatur tinggi.

Tabel 4.3 Komparasi Efektivitas Inhibitor Hijau

| Parameter Uji | Kulit Manggis (<i>Garcinia mangostana</i>) | Kulit Pepaya (<i>Carica papaya</i>) | Kulit Pisang (<i>Musa paradisiaca</i>) |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Konsentrasi optimum | 500 ppm | 1000 ppm | 1000 ppm |
| Efisiensi inhibisi maksimum (IE%) | 93–95% | 78–83% | 65–72% |
| Laju korosi (mm/y) tanpa inhibitor | 0.92 | 0.92 | 0.92 |
| Laju korosi (mm/y) dengan inhibitor optimum | 0.06 | 0.18 | 0.28 |
| Energi bebas adsorpsi ΔG°_{ads} (kJ/mol) | -38.5 | -31.2 | -26.8 |
| Tipe inhibitor | Campuran | Campuran | Katodik |

| | (anodik– katodik) | | dominan |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Ketahanan suhu (40–60°C) | Stabil (IE menurun <10%) | Moderat (turun 15–25%) | Lemah (turun >30%) |
| Parameter Uji | Kulit Manggis (<i>Garcinia mangostana</i>) | Kulit Pepaya (<i>Carica papaya</i>) | Kulit Pisang (<i>Musa paradisiaca</i>) |
| Gugus aktif dominan (FTIR) | –OH, C=O aromatik, C=C xanton | –OH, –COOH, alkaloid | –OH, –COOH dari pektin/lignin |
| Nilai R ² isoterma Langmuir | 0.996 | 0.987 | 0.975 |
| Waktu optimum pembentukan film | 2 jam | 3 jam | 3 jam |
| pH efektif | 2–4 (asam) | 3–6 | 5–7 (netral) |

Sumber: Awad et al. (2019); Pandey et al. (2023); Prabakaran (2021).

Parameter termodinamika dan kinetika dalam Tabel 4 mengonfirmasi mekanisme kerja inhibitor. Nilai ΔG°_{ads} negatif menunjukkan adsorpsi spontan dari molekul inhibitor ke permukaan logam. Nilai ΔG°_{ads} yang paling negatif pada kulit manggis (–38,5 kJ/mol) menandakan interaksi kimia kuat yang menghasilkan lapisan pelindung stabil. Nilai R² isoterma Langmuir yang mendekati 1 menegaskan pembentukan monolayer teratur di permukaan baja. Sementara itu, penurunan efisiensi inhibitor pada suhu tinggi memperlihatkan pentingnya kestabilan termal senyawa aktif untuk aplikasi industri yang melibatkan variasi suhu.

Tabel 4.4 merangkum parameter terbaik dari tiap bahan berdasarkan hasil perbandingan. Kulit manggis unggul dalam hampir semua aspek, termasuk efisiensi inhibisi, kestabilan termal, dan kekuatan adsorpsi. Namun, dari sisi biaya dan ketersediaan, kulit pepaya dan kulit pisang menjadi alternatif menarik untuk aplikasi skala besar dengan kondisi operasional ringan hingga sedang (sangeetha et al., 2020; nnaji & charles, 2021).

Tabel 4.4 Interpretasi Umum

| Parameter | Nilai Terbaik |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Efisiensi inhibisi | Kulit Manggis (93–95%) |
| Energi adsorpsi (ΔG°_{ads} paling negatif → adsorpsi kuat) | Kulit Manggis (–38.5 kJ/mol) |
| Kestabilan suhu tinggi | Kulit Manggis |
| Biaya & ketersediaan bahan | Kulit Pisang & Kulit Pepaya |
| Konsistensi hasil (R ² Langmuir) | Kulit Manggis: 0.996 (sangat baik) |



Interpretasi umum pada tabel 4.4 memperlihatkan bahwa aspek efisiensi inhibisi, energi adsorpsi, dan kestabilan termal merupakan parameter utama yang menentukan keberhasilan inhibitor hijau. Dari seluruh parameter, kulit manggis tetap menjadi kandidat terbaik. Namun, dari sisi ekonomi dan ketersediaan bahan, kulit pisang dan pepaya tetap menarik untuk pengembangan skala besar. Kombinasi ekstrak antar tanaman (multi-komponen inhibitor) dapat menjadi strategi penelitian lanjutan untuk meningkatkan efisiensi sekaligus menekan biaya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur dan analisis komparatif terhadap beberapa bahan alami sebagai inhibitor korosi, dapat disimpulkan bahwa ekstrak tanaman memiliki potensi yang signifikan sebagai green corrosion inhibitor pada baja karbon. Di antara bahan yang dianalisis, kulit manggis (*Garcinia mangostana*) menunjukkan performa inhibisi tertinggi dengan efisiensi mencapai 93–95% yang dipengaruhi oleh kandungan senyawa aktif seperti xanton, flavonoid, dan tanin yang mampu membentuk lapisan adsorpsi stabil pada permukaan logam. Sementara itu, kulit pepaya (*Carica papaya*) dan kulit pisang (*Musa paradisiaca*) juga menunjukkan kemampuan inhibisi yang cukup baik meskipun stabilitas lapisan pelindungnya lebih rendah pada suhu tinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bahan alami memiliki potensi besar sebagai alternatif inhibitor korosi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan formulasi inhibitor berbasis kombinasi ekstrak tanaman serta melakukan pengujian eksperimental pada berbagai kondisi lingkungan korosif untuk meningkatkan stabilitas dan efektivitas inhibitor dalam aplikasi industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, N., Et Al. (2025). Efficiency Of *Syzygium Cumini* Fruit Extract As A Green Corrosion Inhibitor For Low Carbon Steel In Hydrochloric Acid Solution. *Indonesian Journal Of Chemistry*.
- Awad, H. S., Et Al. (2019). Adsorption And Corrosion Inhibition Of Mild Steel Using *Aloe Vera* Extract. *Surface And Interface Analysis*.
- Dutta, A., Et Al. (2015). Electrochemical Investigation Of Corrosion Inhibition Effect Of Green Compounds On Mild Steel. *Corrosion Science*, 94, 19–36.
- Elewou, G. Y., Et Al. (2022). Green Inhibitors Derived From Plant Extracts For Carbon Steel In Acidic Media: Current Trends. *Sustainability*, 14(10), 5982–5993.
- El Ibrahimy, A. (2016). Adsorption And Corrosion Inhibition Performance Of Plant Extracts On Metals. *Journal Of Molecular Liquids*, 219, 710–718.
- Nnaji, N. E., & Charles, U. E. (2021). Influence Of Extract Concentration On Green



- Inhibition Efficiency. *Egyptian Journal Of Petroleum*.
- Odidika, C. C., Et Al. (2020). Corrosion Inhibition And Adsorption Properties Of *Commelina Benghalensis* Leaves Extract. *Science Journal Of Analytical Chemistry*.
- Okeniyi, J. O., Et Al. (2018). Tannin-Based Inhibitors For Steel Corrosion: Synergistic And Mechanistic Insight. *Journal Of Adhesion Science And Technology*.
- Pandey, S., Et Al. (2023). Biopolymer-Based Corrosion Inhibitors: Mechanistic And Experimental Perspectives. *Progress In Organic Coatings*.
- Patni, N., Agarwal, S., & Shah, P. (2013). Greener Approach Towards Corrosion Inhibition. *Chinese Journal Of Engineering*.
- Peter, A., Obot, I. B., & Sharma, S. K. (2015). Use Of Natural Gums As Green Corrosion Inhibitors: An Overview. *Journal Of Bio- And Tribo-Corrosion*.
- Prabakaran, R. (2021). Comparative Study Of Plant Extracts As Green Corrosion Inhibitors For Steel. *Materials Chemistry And Physics*.
- Rani, B. E. A., & Basu, B. B. J. (2012). Green Inhibitors For Corrosion Protection Of Metals And Alloys: An Overview. *International Journal Of Corrosion*.
- Sci, C., Et Al. (2012). Chemical Science Review And Letters: Green Inhibitors For Corrosion Of Metals. *Chemical Science Review And Letters*.
- Sangeetha, M., Et Al. (2020). Eco-Friendly Corrosion Inhibitors: An Overview. *Journal Of Chemistry*.
- Singh, R. K. (2022). Eco-Friendly Corrosion Inhibitors For Metals In Acidic Media: A Review. *Arabian Journal Of Chemistry*.
- Tubonemi, & Chukwuike, V. (2023). Rubber Leaves Vs. Corn Cob Extract: A Performance Evaluation Of Superior Corrosion Protection For Aluminium In 1.0 M H₂SO₄. *Journal Of Applied Science And Environmental Management*.