UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Efektifitas Inhibitor Organik dari Ekstrak Tumbuhan gambir untuk Pengendalian Korosi pada Pipa
Baja API 5L-X65 dan Efek Sinergisitas dengan Potasium Iodida, Imidazol dan Sodium Tungstat**
Ahmad Fauzan Suryono, Prof. Ir. M. Noer Ilman, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM; ASEAN Eng.; Ir. Priyo Tri Iswanto., S.T., M
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Korosi pada material perpipaan di industri minyak dan gas masih menjadi tantangan utama karena dapat menurunkan kinerja operasional dan menimbulkan kerugian ekonomi yang besar. Salah satu jenis korosi yang umum terjadi adalah akibat adanya asam karbonat (H_2CO_3) yang terlarut dalam media produksi. Penelitian ini didasari karena penggunaan inhibitor tradisonal menimbulkan banyak dampak negatif terhadap lingkungan dan keselamatan manusia sehingga perlu dikembangkan inhibitor yang ramah lingkungan. Pemilihan ekstrak gambir sebagai objek penelitian karena mengandung beberapa senyawa fitokimia seperti tanin, katekin, kuersetin, saponin dan flavonoid yang mempuyai pengaruh terhadap penghambatan korosi. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengkaji kemampuan dan mekanisme inhibisi ekstrak gambir sebagai inhibitor tunggal dan mekanisme sinergistik antara ekstrak gambir dengan potasium iodida (KI), imidazol (IM), serta sodium tungstat (Na_2WO_4) yang menghasilkan peningkatan kinerja perlindungan korosi.

Penelitian ini dilakukan pada temperatur kamar 25 °C, tekanan atmosfir menggunakan objek material baja API 5L X65. Larutan yang digunakan adalah 3,5% NaCl berdasarkan ASTM G44 dan $NaHCO_3$ dengan konsentrasi 100 ppm yang merupakan kadar $NaHCO_3$ dalam larutan garam (*brine*) yang menghasilkan asam karbonat pada aliran fluida di sistem perpipaan. Penelitian diawali dengan tahapan ekstraksi daun gambir untuk memperoleh senyawa aktif yang digunakan sebagai inhibitor korosi. Karakterisasi ekstrak gambir menggunakan FT-IR dan UV-Vis untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan kandungan fitokimia yang berperan dalam proses adsorpsi pada permukaan baja. Pengujian kinerja inhibitor dilakukan secara elektrokimia menggunakan metode polarisasi potensiodinamik dan *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS) dengan variasi konsentrasi ekstrak gambir (GE) yaitu 50 ppm, 100 ppm, 300 ppm, 500 ppm, 700 ppm dan 1000 ppm. Pengaruh sinergistik antara ekstrak gambir dengan inhibitor sintetik dilakukan melalui pencampuran 300 ppm KI, IM, dan Na_2WO_4 dengan variasi konsentrasi GE. Selanjutnya, kondisi permukaan baja setelah terkorosi dianalisis menggunakan FESEM-EDX, XRD, dan AFM untuk mengevaluasi morfologi permukaan, komposisi produk korosi, serta mekanisme pembentukan lapisan pelindung.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak gambir mampu menurunkan laju korosi baja API 5L X65 secara signifikan dari 0,949 mmpy dalam kondisi tanpa inhibitor menjadi 0,098 mmpy ketika ditambahkan 700 ppm GE atau turun sebesar 89,7%. Hasil pengujian dengan EIS juga memperlihatkan kecenderungan yang sama di mana efisiensi inhibisi (IE) tertinggi diperoleh pada konsentrasi 700 ppm dengan nilai 90,5%. Peningkatan efisiensi ini berhubungan dengan terjadinya proses adsorpsi molekul-molekul yang berasal dari ekstrak gambir pada permukaan baja baik secara fisisorpsi maupun kemisorpsi. Molekul-molekul tersebut akan membentuk lapisan pelindung yang menghalangi permukaan baja berkontak langsung dengan agen korosi seperti ion Cl^- dan molekul air sehingga laju korosi menjadi lebih lambat. Mekanisme adsorpsi yang terjadi mengikuti isoterm adsorpsi

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Efektifitas Inhibitor Organik dari Ekstrak Tumbuhan gambir untuk Pengendalian Korosi pada Pipa
Baja API 5L-X65 dan Efek Sinergisitas dengan Potasium Iodida, Imidazol dan Sodium Tungstat**
Ahmad Fauzan Suryono, Prof. Ir. M. Noer Ilman, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM; ASEAN Eng.; Ir. Priyo Tri Iswanto., S.T., M
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tipe Langmuir yang menghasilkan energi bebas Gibbs adsorpsi ($\Delta G°_{ads}$) sebesar 27,54 kJ/mol. Berdasarkan hasil pengujian EIS, memperlihatkan bahwa peningkatan konsentrasi GE mengakibatkan kenaikan harga resistansi perpindahan muatan (R_{ct}) yang berkorelasi langsung dengan nilai resistansi polarisasi (R_p). Nilai R_{ct} dan R_p pada konsentrasi 700 ppm GE adalah 463,90 $\Omega.cm^2$ dan 531,11 $\Omega.cm^2$. Mekanisme penghambatan korosi akibat adanya proses adsorpsi molekul GE pada permukaan baj didukung oleh hasil karakterisasi FT-IR, FESEM, XRD dan AFM. Karakterisasi FT-IR menunjukkan bahwa molekul GE dapat teradsorpsi pada permukaan baja yang terlihat dari kemiripan puncak pada spektrum antara ekstrak gambir dengan permukaan baja yang telah direndam. Demikian juga halnya dengan hasil pengamatan FESEM dan AFM, di mana baja API 5L X65 yang direndam dalam larutan klorida-karbonat dengan penambahan GE, memiliki permukaan yang lebih halus, lebih rata dan mengalami korosi yang lebih ringan dibandingkan dengan direndam tanpa inhibitor. Peningkatan kualitas permukaan baja tersebut disebabkan karena lapisan pelindung yang terbentuk dari molekul GE berhasil menghambat dan memperlambat laju pergerakan elektron yang terlihat dari kenaikan nilai R_{ct}. Analisis kurva polarisasi menunjukkan bahwa ekstrak gambir bekerja sebagai inhibitor tipe campuran (*mixed-type inhibitor*), yang mempengaruhi reaksi anodik dan katodik secara simultan. Penggunaan ekstrak gambir dalam kombinasi dengan inhibitor lain menunjukkan adanya efek sinergistik pada kondisi tertentu. Kombinasi 100 ppm GE dengan 300 ppm KI menghasilkan efisiensi inhibisi sebesar 96,63%, dengan parameter sinergisitas (s) sebesar 1,83. Campuran 300 ppm GE dan 300 ppm IM menghasilkan efisiensi inhibisi maksimum sebesar 97,72% dengan nilai s sebesar 1,35. Efek sinergis juga ditemukan pada kombinasi 300 ppm GE dengan 300 ppm Na_2WO_4 yang menghasilkan efisiensi inhibisi sebesar 97,28% dan nilai s sebesar 1,13. Nilai parameter sinergisitas (s) yang besar dari satu menunjukkan adanya interaksi positif antar inhibitor yang memperkuat perlindungan permukaan baja. Efek sinergis tersebut diduga terjadi karena senyawa polifenol dalam ekstrak gambir membentuk lapisan adsorpsi melalui gugus hidroksil dan aromatik pada permukaan baja, sedangkan KI dan Na_2WO_4 meningkatkan stabilitas serta kerapatan lapisan protektif melalui adsorpsi ionik dan pembentukan film pasif. Pada kombinasi dengan inhibitor anorganik IM, terjadi pembentukan lapisan pelindung yang lebih kompak sehingga hambatan perpindahan muatan meningkat dan laju korosi menurun secara signifikan. Efek sinergis yang terjadi pada ke tiga kombinasi inhibitor tersebut, secara kualitatif terlihat dari pengamatan FESEM dan AFM di mana permukaan baja menjadi lebih halus, lebih rata dengan jumlah produk korosi yang lebih sedikit yang mengindikasikan peningkatan nilai hambatan perpindahan muatan (R_{ct}). Secara keseluruhan, ekstrak gambir secara tunggal maupun disinergiskan dengan KI, IM dan Na_2WO_4 memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan pada industri minyak dan gas dengan melakukan validasi lanjut pada kondisi operasi lapangan.

Kata kunci: Korosi, inhibitor, ekstrak gambir, baja API 5L X65, efisiensi, sinergis

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Efektifitas Inhibitor Organik dari Ekstrak Tumbuhan gambir untuk Pengendalian Korosi pada Pipa
Baja API 5L-X65 dan Efek Sinergisitas dengan Potasium Iodida, Imidazol dan Sodium Tungstat**
Ahmad Fauzan Suryono, Prof. Ir. M. Noer Ilman, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM; ASEAN Eng.; Ir. Priyo Tri Iswanto., S.T., M
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Corrosion of pipeline steels remains one of the most critical challenges in the oil and gas industry because it degrades operational reliability and results in substantial economic losses. One of the most common forms of corrosion encountered in the oil and gas industry is corrosion, which caused from the carbonic acid (H_2CO_3) dissolved in the production fluid.. The widespread use of conventional corrosion inhibitors has raised increasing environmental and occupational safety concerns, highlighting the need for sustainable and environmentally benign alternatives. Gambier (Uncaria gambir) extract was selected in this study because it is rich in phytochemical constituents, including tannins, catechins, quercetin, saponins, and flavonoids, which are known to exhibit corrosion-inhibiting properties. The primary objective of this research was to investigate the inhibition performance and adsorption mechanism of gambier extract as a standalone green inhibitor and to elucidate its synergistic interactions with potassium iodide (KI), imidazole (IM), and sodium tungstate (Na_2WO_4) for enhanced corrosion protection.

The experiments were conducted at 25 °C under atmospheric pressure using API 5L X65 carbon steel as the test material. The corrosive medium consisted of 3.5 wt.% NaCl solution prepared in accordance with ASTM G44 and supplemented with 100 ppm $NaHCO_3$ to simulate bicarbonate-containing brine capable of generating carbonic acid under pipeline service conditions. Gambier leaves were initially extracted to obtain the bioactive compounds employed as corrosion inhibitors. The chemical characteristics of the extract were examined using Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR) and ultraviolet-visible (UV-Vis) spectroscopy to identify the functional groups and phytochemical constituents responsible for adsorption onto the steel surface. Corrosion inhibition performance was evaluated electrochemically using potentiodynamic polarization and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) with gambier extract (GE) concentrations of 50, 100, 300, 500, 700, and 1000 ppm. The synergistic effects were investigated by combining 300 ppm KI, IM, or Na_2WO_4 with different GE concentrations. After exposure, the corroded steel surfaces were characterized using field-emission scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive X-ray spectroscopy (FESEM-EDX), X-ray diffraction (XRD), and atomic force microscopy (AFM) to assess surface morphology, corrosion products, and protective film formation.

The results demonstrate that gambier extract substantially reduced the corrosion rate of API 5L X65 steel from 0.949 mmpy in the uninhibited solution to 0.098 mmpy at an optimum concentration of 700 ppm GE, corresponding to a 89.7% reduction. EIS measurements exhibited a consistent trend, with the highest inhibition efficiency of 90.5% obtained at the same concentration. The enhanced corrosion resistance was attributed to the adsorption of phytochemical molecules onto the steel surface through a combination of physisorption and chemisorption, resulting in the formation of a protective barrier that restricted direct contact between the steel substrate and aggressive species, including chloride ions and

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Efektifitas Inhibitor Organik dari Ekstrak Tumbuhan gambir untuk Pengendalian Korosi pada Pipa
Baja API 5L-X65 dan Efek Sinergisitas dengan Potasium Iodida, Imidazol dan Sodium Tungstat**
Ahmad Fauzan Suryono, Prof. Ir. M. Noer Ilman, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM; ASEAN Eng.; Ir. Priyo Tri Iswanto., S.T., M
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

water molecules. Adsorption behavior followed the Langmuir adsorption isotherm with a standard Gibbs free energy of adsorption ($\Delta G°_{ads}$) of -27.54 kJ mol^{-1}, indicating spontaneous adsorption involving both physical and chemical interactions. Increasing GE concentration also increased the charge-transfer resistance (Rct), which was directly correlated with polarization resistance (R_p). At 700 ppm GE, the Rct and Rp values reached 463.90 and 531.11 $\Omega \cdot cm^2$, respectively. The adsorption mechanism was further confirmed through FT-IR, FESEM, XRD, and AFM analyses. FT-IR spectra revealed characteristic absorption bands on the immersed steel surface corresponding to those of the gambier extract, confirming molecular adsorption. FESEM and AFM observations showed that steel specimens exposed to the chloride-carbonate solution containing GE exhibited smoother and more homogeneous surfaces with considerably less corrosion damage than specimens immersed without inhibitor. The improved surface integrity was attributed to the formation of an adsorbed protective film that effectively suppressed electron transfer, consistent with the increased Rct values. Potentiodynamic polarization analysis further indicated that gambier extract acted as a mixed-type inhibitor by simultaneously suppressing both anodic metal dissolution and cathodic reduction reactions.

The incorporation of gambier extract with synthetic inhibitors produced pronounced synergistic effects under appropriate conditions. The combination of 100 ppm GE and 300 ppm KI achieved an inhibition efficiency of 96.63% with a synergism parameter (S) of 1.83. The mixture containing 300 ppm GE and 300 ppm IM provided the highest inhibition efficiency of 97.72% with an S value of 1.35, whereas the combination of 300 ppm GE and 300 ppm Na_2WO_4 yielded an inhibition efficiency of 97.28% with an S value of 1.13. Synergism parameters greater than unity confirmed positive interactions among the inhibitor components, leading to superior surface protection compared with their individual performance. This synergistic behavior is attributed to the cooperative action of gambier polyphenols, which adsorb onto the steel surface through hydroxyl and aromatic functional groups, while KI and Na_2WO_4 enhance the compactness and stability of the protective layer through ionic adsorption and passive film formation. In the presence of imidazole, a denser and more coherent protective film was formed, resulting in higher charge-transfer resistance and a substantial reduction in corrosion rate. Qualitative evidence from FESEM and AFM analyses supported these findings, revealing smoother surfaces with fewer corrosion products for all synergistic formulations, consistent with the increased Rct values. Overall, gambier extract, either as an individual inhibitor or in synergistic combination with KI, IM, or Na_2WO_4, exhibits considerable potential as a sustainable corrosion inhibitor for oil and gas pipeline applications. Nevertheless, further validation under representative field operating conditions is required prior to industrial implementation.

Keywords: sweet corrosion; gambier extract; green corrosion inhibitor; API 5L X65 steel; electrochemical impedance spectroscopy; synergistic inhibition.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Efektifitas Inhibitor Organik dari Ekstrak Tumbuhan gambir untuk Pengendalian Korosi pada Pipa
Baja API 5L-X65 dan Efek Sinergisitas dengan Potasium Iodida, Imidazol dan Sodium Tungstat**
Ahmad Fauzan Suryono, Prof. Ir. M. Noer Ilman, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM; ASEAN Eng.; Ir. Priyo Tri Iswanto., S.T., M
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/