

ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI TEKNOLOGI MITIGASI KOROSI RAMAH LINGKUNGAN UNTUK KONSERVASI STRUKTUR RAWAN KOROSI

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU TEKNIK
BIDANG TEKNIK PENCEGAHAN KOROSI
KEPAKARAN TEKNIK MATERIAL**



**OLEH:
GADANG PRIYTOOMO**

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

ISSN 3090-8485

**TEKNOLOGI MITIGASI KOROSI RAMAH
LINGKUNGAN UNTUK KONSERVASI
STRUKTUR RAWAN KOROSI**

Diterbitkan pertama pada 2025 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



ISSN 3090-8485

ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

**TEKNOLOGI MITIGASI KOROSI RAMAH
LINGKUNGAN UNTUK KONSERVASI
STRUKTUR RAWAN KOROSI**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU TEKNIK
BIDANG TEKNIK PENCEGAHAN KOROSI
KEPAKARAN TEKNIK MATERIAL**

**OLEH:
GADANG PRIYOTOMO**

Penerbit BRIN

© 2025 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Teknologi Mitigasi Korosi Ramah Lingkungan Untuk Konservasi Struktur Rawan Korosi/
Gadang Priyotomo–Jakarta: Penerbit BRIN, 2025.

x + 108 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

1. Kerusakan korosi
3. Inhibitor korosi

2. Korosi maritim
4. Cat *antifouling*

XXXX

Copy editor : Hilda Yunita
Proofreader : Martinus Helmiawan
Penata Isi : Hilda Yunita
Desainer Sampul : Hilda Yunita

Edisi pertama : Agustus 2025



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: +62 811-1064-6770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id
 PenerbitBRIN
 @Penerbit_BRIN
 @penerbit.brin

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR.....	vii
PROFIL SINGKAT	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
I. PENDAHULUAN.....	7
II. PERKEMBANGAN IPTEK MITIGASI KOROSI PADA STRUKTUR MARITIM DAN DARATAN	13
A. Perkembangan mitigasi <i>biofouling</i> dan korosi pada struktur logam di lingkungan maritim Indonesia	13
B. Perkembangan sumber hayati khas Indonesia sebagai kandidat zat anti korosi alami	18
III. PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MITIGASI KOROSI STRUKTUR MARITIM DAN DARATAN	21
A. Riset mitigasi kerusakan struktur akibat biofouling dan korosi ..	21
B. Riset variasi zat aktif anti korosi berbahan alami dari sumber wilayah darat dan lautan Indonesia.....	35
IV. IMPLEMENTASI MITIGASI KOROSI MARITIM DAN PEMANFAATAN ZAT ANTIKOROSI ALAMI INDONESIA.....	43
V. KESIMPULAN.....	51
VI. PENUTUP.....	53
UCAPAN TERIMA KASIH	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	71
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Perkembangan umum ilmu korosi khususnya mitigasi <i>coating</i> dan inhibitor korosi.....	14
Gambar 3.1	Lokasi penempatan rak uji cat <i>antifouling</i>	22
Gambar 3.2	Lokasi penempatan rak uji cat <i>antifouling</i>	23
Gambar 3.3	Lokasi penempatan rak uji cat <i>antifouling</i>	23
Gambar 3.4	Rak uji cat <i>antifouling</i> di daerah mandara Bali	24
Gambar 3.5	Perbandingan visual tanpa dan dengan perlindungan cat SPC-AF.....	25
Gambar 3.6	Pemasangan sampel cat SPC-AF di pilar-pilar Jembatan Suramadu, Jawa Timur	26
Gambar 3.7	Pemasangan sampel cat SPC-AF di pelabuhan Muara Baru, Jakarta.....	26
Gambar 3.8	Mekanisme perlindungan cat <i>antifouling</i>	28
Gambar 3.9	Lokasi riset korosi atmosfer BRIN	30
Gambar 3.10	Lokasi-lokasi paparan.....	31
Gambar 3.11	Fenomena retakan lapisan oksida struktur baja akibat intrusi klorida	32
Gambar 3.12	Hubungan variasi kelembaban relatif (RH) harian sebagai fungsi waktu paparan	33
Gambar 3.13	Hubungan suhu udara sekitar dan suhu embun sebagai fungsi waktu paparan	34
Gambar 3.14	Laju korosi struktur baja karbon sebagai fungsi waktu pemaparan.....	34
Gambar 3.15	Ajuan mekanisme perlindungan korosi baja	38
Gambar 3.16	Foto mikro kerusakan material baja.....	39

PROFIL SINGKAT



Gadang Priyotomo, lahir di Yogyakarta, pada tanggal 26 April 1979 adalah anak pertama dari Bapak Alm. Prof. Drs. Daliyo, M.A dan Ibu Sri Pujiastuti, Sm.Hk. Ia menikah dengan Aan Royani dan dikaruniai dua orang anak, yaitu Salwaa Salsabila Utami dan Helmi Prasetyo Utomo.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 42 Tahun 2001 tanggal 15 Juli 2016 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama dan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 3/ M Tahun 2022, tanggal 19 Januari 2022 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama di Badan Riset Inovasi Nasional.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional 143/I/HK/2025 tanggal 10 Juni 2025 yang bersangkutan melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri 01 Pejaten Timur DKI Jakarta, tahun 1991, Sekolah Menengah Pertama Negeri 46 DKI Jakarta, tahun 1994, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 28 DKI Jakarta, tahun 1997. Memperoleh gelar Sarjana Teknik Metalurgi dari Fakultas Teknik Universitas Indonesia, tahun 2001, gelar Magister Material Sains dari Program Studi Ilmu Bahan Bahan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia tahun 2008, dan gelar Doktor bidang Teknik dari *Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University*, Jepang tahun 2013.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: Technical Support for SME II (Inorganic

Materials & Metals) JICA Training di Osaka City, JAPAN (2005) dan CORROSION ENGINEER di Ap-Greid Oil & Gas Design Course, DKI Jakarta (2015) Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Bidang Sarana Penelitian, Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI (2014). Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama golongan III/b Tahun 2005, Peneliti Ahli Muda golongan III/c tahun 2007, Peneliti Ahli Madya golongan IV/a tahun 2008, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan IV/d bidang Ilmu Material tahun 2016.

Menghasilkan 50 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 34 KTI ditulis dalam bahasa Inggris, dan 16 KTI dalam bahasa Indonesia. Selain itu, yang bersangkutan menghasilkan 7 kekayaan intelektual berupa paten.

Sebagai Ketua kelompok Riset Korosi dan Teknologi Mitigasi Pusat Riset Metalurgi-BRIN. Ia ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, sebagai, pembimbing skripsi (S1) di Universitas Indonesia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Universitas Teknologi Sumbawa, dan lainnya. Pembimbing tesis (S2) pada Universitas Indonesia, dan; pembimbing disertasi (S3) pada Universitas Heriot-Watt University; serta penguji disertasi (S3) pada Universitas Indonesia.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu anggota *Indonesian Corrosion Association* (INDOCOR) (2008-sekarang) dan anggota Perhimpunan Periset Indonesia (PPI) (2019-sekarang). Menerima tanda penghargaan Satyalancana Karya Satya X Tahun (tahun 2014) dari Presiden RI dan Satyalancana Karya Satya XX Tahun (tahun 2022).

Sebagai Narasumber kegiatan Riset Pusat Penelitian dan Pengembangan Polisi Republik Indonesia (Puslitbang Polri) setiap tahun. Sebagai Staf Pengajar (Dosen) di Program Studi Teknik Mesin

Universitas Pamulang sejak tahun 2016. Sebagai periset tamu di *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences* (IOCAS) di Shandong, Tiongkok tahun 2019.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya, sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“TEKNOLOGI MITIGASI KOROSI RAMAH LINGKUNGAN UNTUK KONSERVASI STRUKTUR RAWAN KOROSI”

Pada orasi ini, akan disampaikan *state of the art* tentang perkembangan, peluang dan tantangan riset korosi melalui pendekatan mitigasi ramah lingkungan melalui pemanfaatan sumber daya alam Indonesia. Penemuan-penemuan kunci tersebut dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme perlindungan korosi berbahan alami melalui metode mitigasi inhibitor dan *coating* di lingkungan industri dan maritim sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan sebagai nilai tambah bahan – bahan alternatif berbasis kearifan lokal Indonesia.

Orasi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman lebih jauh tentang potensi respons bahan bahan ramah lingkungan yang

ditambahkan dalam sistem metode mitigasi khususnya inhibitor korosi dan coating (pelapisan) di bidang industri dan maritim Indonesia. Dengan demikian, langkah dan strategi mitigasi yang akurat berbasis bahan ramah lingkungan dapat dihasilkan, sehingga membantu kebijakan pemerintahan untuk mendorong praktek “*Go Green*” mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas manusia, mengurangi jejak karbon, dan mempromosikan penggunaan sumber daya yang lebih berkelanjutan.

I. PENDAHULUAN

Pemerintahan negara Indonesia saat ini mempertimbangkan aspek pembangunan struktur yang masif dan merata dalam mendorong pertumbuhan ekonomi nasional. Pembangunan struktur statis dan bergerak berkelanjutan dapat diwujudkan melalui penerapan teknologi ramah lingkungan. Di era kepemimpinan presiden yang baru, melalui kebijakan-kebijakan yang berfokus pada kedaulatan nasional, kemandirian ekonomi, dan pembangunan berkelanjutan menuju era Indonesia emas 2045. Salah satu program prioritas pemerintah adalah memantapkan sistem pertahanan keamanan negara dan mendorong kemandirian bangsa melalui swasembada pangan, energi, air, ekonomi kreatif, ekonomi hijau, dan ekonomi biru. Program kemandirian yang telah dijabarkan oleh pemerintah saat ini diimplementasikan melalui hasil-hasil riset dan inovasi komprehensif yang telah dilakukan oleh penulis.

Kesinergisan antara industri material, peralatan, dan teknologi konstruksi yang secara keseluruhan akan menjadi *mindset* pembangunan struktur berkelanjutan. Keberlanjutan struktur dari kaca mata ilmu korosi merupakan suatu upaya bagaimana meningkatkan umur pakai suatu fungsi struktur sehingga nilai ekonomis meningkat. Korosi adalah reaksi penurunan kualitas material logam yang terjadi oleh reaksi sinergi antara logam dan lingkungan sekitarnya.

Saat ini, seiring dengan peningkatan permintaan struktur berkekuatan tinggi dan ringan, paduan logam menjadi salah satu pilihan yang paling disukai untuk struktur tersebut. Saat ini, struktur modern menggunakan variasi paduan logam, sehingga meningkatkan tantangan pencegahan korosi. Komposisi, struktur, dan sifat kimia, fisik, dan mekanis logam yang beragam memudahkan pemanfaatan logam untuk struktur modern, sehingga mitigasi korosi menjadi

tantangan. Kombinasi material yang tidak kompatibel di lingkungan yang menyebabkan penurunan ketahanan terhadap korosi dan ketahanan terhadap pelapukan struktur akan mengurangi masa pakai struktur.

Lebih jauh lagi, jenis kerusakan ini merupakan masalah yang umumnya sebagai pertimbangan biaya pemeliharaan proses produksi di industri antara lain minyak dan gas bumi, kimia, minuman dan makanan, manufaktur, geothermal dan sektor lainnya (Priyotomo, 2020a). Kerusakan akibat proses korosi juga menyebabkan dampak buruk aspek ekonomi, dan keamanan manusia (Priyotomo, Sumada Sitepu, et al., 2020b). Kerusakan korosi telah menelan biaya 3,4% dari *gross domestic product* (GDP) dunia dimana biaya korosi global sekitar 3,5 triliun dolar di tahun 2013 (Jafar Mazumder, 2020). Rincian prosentase biaya korosi global dari GDP dunia adalah bidang pertanian (0,2%), bidang industri (1,9%) dan bidang jasa (1,3%) (Jafar Mazumder, 2020), namun belum ada data komprehensif dari Indonesia. Umumnya, daerah pesisir pantai dan industri menjadi daerah yang rentan terjadinya korosi, dimana terpetakan secara baik di beberapa negara antara lain Inggris, Arab Saudi, Singapura, Amerika Serikat (Valdez et al., 2016). Di Indonesia, Database lokasi berdampak korosi tidak terpublikasi secara baik. Disisi lain, aspek kerusakan akibat korosi tergantung dari lingkungan dan faktor geografis Indonesia yang berpotensi merusak struktur. Wilayah pesisir dan lepas pantai merupakan salah satu daerah yang mudah terdampak korosi karena lingkungan bersalinitas tinggi (Nuraini et al., 2018; Prifiharni et al., 2018; Priyotomo, Prifiharni, et al., 2020; Priyotomo et al., 2018, 2019; Priyotomo, Prifiharni, et al., 2021; Royani et al., 2019, 2020).

Di Indonesia, sebagian besar rakyat memandang proses korosi atau karat sebagai hal yang biasa karena memandang satu aspek struktur saja. Disisi lain, korosi pada struktur logam dapat menyebabkan bencana lokal maupun regional yang menyebabkan potensi kehilangan

jiwa manusia. Salah satu kasus gedung ambruk akibat korosi baja tulang beton di daerah Slipi Jakarta dilaporkan oleh media online Detik tanggal 8 Januari 2020 yang mengindikasikan masifnya dampak keselamatan terhadap rakyat. Contoh temuan lainnya sebagai dampak negatif adanya korosi melalui kontaminasi ion logam ke dalam makanan dan minuman di kemasan dari logam (Priyotomo, 2020b, 2022). Secara umum, pengendalian proses korosi diperlukan untuk meminimal kerusakan antara lain melalui seleksi material, proteksi katodik, pelapisan, dan inhibitor (Priyotomo, 2020a)

Oleh karena itu teknologi mitigasi terhadap bahaya korosi menjadi hal yang penting untuk dilakukan dalam mengurangi resiko bencana lebih lanjut. Dalam proses mitigasi bencana diperlukan teknologi-teknologi yang disesuaikan dengan struktur dan lingkungannya dimana desain struktur, jenis logam dan parameter lingkungan (suhu, kelembaban, salinitas, pH, dan lainnya) dipertimbangkan. Teknologi mitigasi korosi yang berstandar digunakan untuk mengurangi resiko kerusakan struktur terpasang antara lain teknologi pelapisan (Priyotomo, 2020a), inhibitor korosi (Kaban et al., 2021), proteksi katodik (Ono et al., 2017), dan seleksi material logam dan paduannya (Nikitasari, et al., 2021) khususnya di Indonesia.

Secara spesifik, teknologi mitigasi korosi bisa diaplikasikan untuk meminimalkan resiko kerusakan struktur antara lain teknologi inhibitor korosi dan pelapisan. Inhibitor korosi merupakan zat aktif anti korosi dengan keunggulan penambahan sedikit konsentrasi dalam ukuran *part per million* (ppm) ke lingkungan korosif (Nuraini et al., 2016). Keunggulan lain dari inhibitor korosi memperpanjang umur peralatan dan struktur hingga 250%, mengurangi biaya perbaikan struktur dan mengurangi resiko lingkungan sekitar. Lebih jauh lagi, teknologi pelapisan merupakan pelapis bahan kimia yang diaplikasikan pada permukaan komponen dan struktur untuk melindunginya dari korosi seiring berjalannya waktu (Priyotomo, 2020a).

Lapisan pelindung ini membantu mengurangi kerusakan akibat kontaminasi udara, kelembaban, gas-gas polutan di lingkungan. Keunggulan teknologi pelapisan anti-korosi ini meningkatkan umur pakai dan ketahanan struktur sehingga biaya pemeliharaan minimal. Khususnya daerah perairan laut tropis Indonesia, peran biota laut dapat menyebabkan efek negatif kerusakan struktur yang berhubungan dengan korosi (Nuraini *et al.*, 2017). Namun, teknologi mitigasi korosi melalui penambahan zat anti korosi inhibitor menjadikan potensi zat yang tidak ramah lingkungan dan cenderung toksik ke lingkungan (Priyotomo *et al.*, 2017). Potensi toksik logam berat tembaga oksida (Cu_2O) juga menjadi ancaman terhadap lingkungan melalui pengaplikasian pelapisan khususnya cat anti fouling (AF) di kapal-kapal laut saat pengoperasian rutin (Nuraini *et al.*, 2017).

Penelitian yang berkaitan dengan mitigasi korosi yang berbasis hayati laut dan terestrial merupakan suatu *the bridge of science field* antara *life science* dan *engineering* menjadi *multidispinary science*. Sebagai contoh *multidispinary science* riset inhibitor korosi dimana fungsi antioksidan dan kulit buah naga menjadi zat anti korosi sebagai penahan serangan korosi (Simanjuntak *et al.*, 2020). Disisi lain, riset-riset terkini pelapisan yang teraplikasi di struktur laut juga dilakukan untuk memitigasi potensi kerusakan korosi struktur terendam bergerak antara lain kapal laut dan struktur statis melalui investigasi dan evaluasi berbagai daerah-daerah strategis antara lain perairan Bali (Priyotomo, Nuraini, *et al.*, 2021), perairan selat Madura (Nuraini, Prifiarni, Priyotomo, Sundjono, *et al.*, 2017) dan perairan Pantai Utara Jakarta (Nuraini, Prifiarni, Priyotomo, & Sundjono, 2017). Lebih jauh lagi, parameter fisik dan kimia air laut tropis juga mempengaruhi pertumbuhan *biofouling* penyebab korosi struktur maritim Indonesia (Prifiarni *et al.*, 2021).

Untuk menjawab tantangan tersebut di atas, maka telah dilakukan pengembangan teknologi mitigasi melalui identifikasi, evaluasi dan teknologi mitigasi terhadap korosi melalui inhibitor dan pelapisan cat

antifouling dimana Indonesia sangat kaya dengan sumber daya alam dan kelautan maritim. Pengembangan teknologi ini berfokus pada pemanfaatan sumber daya alam hayati khas Indonesia sebagai zat aktif anti korosi (Ayende et al., 2014b, 2014a; Nikitasari, Sundjono, et al., 2021). Kekayaan keanekaragaman hayati Indonesia baik di terestrial dan lautan luar berpotensi dieksplor lebih lanjut untuk dijadikan zat aktif korosi. Fokus berikutnya adalah pelapisan cat *antifouling* untuk mengurangi penempelan *biofouling* struktur dimana potensi ancaman biosida tembaga oksida (Cu_2O) terjadi di lingkungan maritim Indonesia. Eksplorasi sumber daya hayati sebagai awalan proses substitusi bahan ramah lingkungan sebagai zat aktif alami inhibitor korosi kedepan dimana pengembangan biosida alami baik organik dan anorganik juga terus dikembangkan untuk menggantikan biosida generik Cu_2O di sistem cat *antifouling*. Lebih jauh lagi, keberlanjutan pembangunan struktur bisa diperoleh melalui teknologi mitigasi korosi berbasis ramah lingkungan baik yang telah dilaksanakan sebelumnya ataupun yang akan direncanakan di masa depan.

Naskah orasi ini memaparkan perkembangan mitigasi *biofouling* dan korosi pada struktur logam di lingkungan maritim Indonesia, perkembangan sumber hayati khas Indonesia sebagai kandidat zat anti korosi alami, riset riset terkait mitigasi korosi dan kontribusi dan implementasinya untuk proyeksi keberlanjutan pembangunan struktur nasional di Indonesia yang akan disampaikan pada Bab II–IV.

II. PERKEMBANGAN IPTEK MITIGASI KOROSI PADA STRUKTUR MARITIM DAN DARATAN

Hingga Tahun 2025, program pemerintah Indonesia di bidang maritim dan pemanfaatan hayati masih terus dilanjutkan, dimana memfokuskan kemandirian bangsa khususnya struktur dan prasarana untuk mendukung perekonomian rakyat (Maddinsyah et al., 2018; Putra Perdana Ahmad Saifulloh & Charles Simabura, 2023). Disisi lain, isu keberlanjutan juga harus melihat masalah teknis dari sisi keteknikan perlu dipertimbangkan pada struktur pantai dan lepas pantai khususnya kegagalan korosi. Korosi dapat menyebabkan penurunan performa dan umur pakai struktur statis dan dinamis (Liu, 2015; Priyotomo, 2020a; Priyotomo et al., 2015).

A. Perkembangan mitigasi *biofouling* dan korosi pada struktur logam di lingkungan maritim Indonesia

Didunia, penemu fenomena korosi merupakan ilmuwan Robert Boyle melalui makalah ilmiah berjudul *Of the Mechanical Origin of Corrosiveness and Of the Mechanical Origin of Corrosibility* pada Tahun 1675 (Habashi, 2003) yang terlihat pada Gambar 4.1. Namun, meskipun Boyle memperkenalkan korosi sebagai bidang ilmu, dampak ekonomi dari korosi terlihat jelas pada tahun 1830-an di era revolusi industri. Pemikiran metode mitigasi korosi telah dimulai di era revolusi industri yang bertujuan untuk memperpanjang umur pakai komponen dan peralatan industri.

Biaya pemeliharaan untuk memperpanjang umur pakai komponen menciptakan metode mitigasi di era 1800-an hingga awal 1900-an melalui teknologi *coating* (galvanisasi, *electroplating* dan *phospating*). Pengembangan paduan logam tahan korosi juga telah berkembang di era tahun 1900-an dimana teknik unsur padu dimasukkan ke dalam

logam induk. Pengembangan berbagai jenis paduan logam tahan korosi akan memberikan opsi bagi pengguna untuk pengaplikasian logam berdasarkan tingkat kerusakan korosi. Perkembangan korosi dan mitigasi logam telah ada di tahun 1940-an, dimana revolusi industri kedua telah mengubah wajah dunia menuju kemajuan semua sektor kehidupan (Habashi, 2003). Metode mitigasi korosi berupa inhibitor korosi mulai diperkenalkan di tahun 1950-an hingga saat ini sebagai metode murah dan mudah dilakukan.



Keterangan: mitigasi *coating* dan inhibitor korosi.

Gambar 1.1 Perkembangan umum ilmu korosi khususnya mitigasi *coating* dan inhibitor korosi.

Sejak tahun 1950-an, secara intensif, metode mitigasi umumnya digunakan untuk mengatasi potensi bahaya *biofouling* adalah penggunaan cat *antifouling* (Almeida et al., 2007; Ytreberg et al., 2016) dimana sama halnya di Indonesia. Salah satu komponen cat selain resin dan pelarut (solvent) adalah zat aditif pada aplikasi pengecatan. Zat aditif yang umumnya digunakan sebagai bahan aktif penghambat pertumbuhan *biofouling* adalah biosida. Konvensi Internasional Organisasi Maritim Internasional (IMO) menyatakan bahwa pemakaian biosida *organotin tributyltin* (TBT) yang bebas timah sebagai salah satu komponen penting cat *antifouling* kapal laut dilarang penggunaannya sejak tahun 2008 di dunia hingga (de Oliveira et al., 2019) dan juga berlaku di Indonesia.

Pemerintah Indonesia telah merespons aturan IMO dengan berbagai regulasi-regulasi yang berlaku hingga saat ini. Peraturan Menteri Perhubungan No.29 PM Tahun 2014, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.21 tahun 2010 dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.6 tahun 2020 menyebutkan pelarangan penggunaan cat berbasis biosida TBT di Indonesia, dimana saat ini industri cat tidak menggunakan TBT. Pengganti biosida TBT adalah biosida berbasis tembaga oksida yang murah dan mudah didapatkan. Penggunaan logam tembaga oksida di atas 0.5% sebagai biosida cat *antifouling* telah dilarang oleh negara bagian Washington amerika serikat pada tahun 2020 dimana banyak negara masih menggunakannya.

Potensi pencemaran lingkungan khususnya logam berat tembaga telah diatur melalui Keputusan Menteri negara lingkungan hidup No.51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut. Pencemaran. Batas ambang kandungan tembaga maksimum perairan yang dihuni biota laut sekitar struktur adalah 0,008 ppm (mg/l). Potensi bahaya logam berat tembaga dimana biota laut bukan penempel terpapar oleh logam berat tersebut. Lebih jauh lagi, logam tembaga (Cu) menjadi senyawa biosida utama selain senyawa ZnO sebagai campuran cat *antifouling* dipakai disemua struktur dinamis dan statis perairan laut dimana untuk mencegah penempelan mikro dan makro organisme laut (Almeida et al., 2007; Azemar et al., 2015; Jaramillo Isaza et al., 2011; Liu, 2015; Priyotomo, Nuraini, et al., 2021; Yebra et al., 2004; Ytreberg et al., 2016).

Lebih jauh lagi, salah satu komponen biologis sebagai bagian utama lingkungan air laut adalah biota laut atau *biofouling* laut. *Biofouling* laut merupakan proses pelekatan dan pertumbuhan spesies-spesies makhluk hidup pada permukaan benda atau material yang terendam di laut yang mempunyai kadar salinitas cukup tinggi (Iswadi et al., 2022; Priyotomo, Nuraini, et al., 2021). Peran *biofouling* laut sebagai dua mata pisau, dimana dampak positif *biofouling* laut sebagai bagian keanekaragaman hayati ekosistem. Di sisi lain, dampak negatif *biofouling* sebagai akumulasi organisme yang tidak diinginkan pada

struktur buatan manusia terendam dalam daerah pasang surut dan terendam penuh (Yebra et al., 2004). Proses metabolisme *biofouling* ini menyebabkan dampak negatif pada transportasi laut bergerak seperti kapal penangkap ikan, penumpang dan kargo dengan peningkatan resistensi gesekan, meningkatkan frekuensi operasional saat proses dok kering, dan penurunan kualitas sistem perlindungan korosi (Jaramillo Isaza et al., 2011).

Metabolisme biologis *biofouling* laut terutama dipengaruhi oleh parameter-parameter fisik dan kimia air laut antara lain nilai pH, oksigen terlarut, salinitas, aliran air, suhu air dan suhu permukaan (Azemar et al., 2015; Priyotomo, 2023). Selain itu, laju pertumbuhan organisme *biofouling* yang lebih tinggi umumnya terjadi secara intensif karena suhu air laut yang hangat dan salinitas yang tinggi di zona tropis dibandingkan di wilayah beriklim sedang dan dingin (Abidin et al., 2021). Lebih jauh lagi, negara Indonesia adalah salah satu dari banyak negara tropis dengan iklim panas dan lembab, di mana perubahan musim relatif stabil setiap tahun untuk suhu air permukaan yang hangat dan salinitas yang tinggi di lingkungan laut dibandingkan negara-negara iklim sedang (Ytreberg et al., 2016). Di Dunia, era tahun 1950-an hingga 2000-an, perkembangan cat *antifouling* dimulai dengan cat *antifouling* konvensional, cat *antifouling* ablatif dan cat *antifouling self-copolymer* (Yebra et al., 2004). Pada tahun 2020, perkembangan lebih lanjut dan intensif cat *antifouling* saat ini menggunakan teknologi resin silikon karena mempunyai energi bebas yang rendah dan permukaan halus sehingga mudah organisme penempel terlepas (Hu et al., 2020; Priyotomo, 2023). Selanjutnya teknologi cat *antifouling* menggunakan *hydrogel* dengan sifat *hydrophilic* dan elastis sehingga organisme tidak mudah menempel (Zhu et al., 2020). Di tahun 2020-an, dua teknologi terbaru tersebut belum bisa diaplikasikan di Indonesia karena harga produk mahal.

Khususnya di Indonesia, perkembangan riset tentang perlindungan struktur terendam terhadap biota laut dilakukan dengan teknologi ramah

lingkungan. Dari tahun 2014 sampai dengan 2022, produk zat *antifouling* ramah lingkungan telah diinvestigasi di Indonesia (Fitri et al., 2022; Priyotomo, Nuraini, et al., 2021; Santi et al., 2014). Namun belum ada riset semua ekstrak hayati atau bahan anorganik ramah lingkungan tersebut teraplikasikan dan terintegrasi ke dalam cat *antifouling* komersial yang umumnya dipakai oleh pemakai di Indonesia. Di Indonesia pemakaian cat *antifouling* berbasis tembaga oksida telah dipakai lebih dari 30 tahun hingga saat ini. Lebih jauh lagi, di Indonesia, hampir semua industri menggunakan senyawa biosida berbasis tembaga sebagai aditif utama dengan prosentase 40%–50%, dimana umumnya mempunyai *solid content* tinggi (Prifiarni et al., 2021; Priyotomo, Nuraini, et al., 2021). Disisi lain, hampir semua cat *antifouling* yang teraplikasi berbasis *solvent* tidak ramah bagi lingkungan dan juga tidak ramah bagi kesehatan manusia di Indonesia. Ini merupakan salah satu masalah yang jarang diinvestigasi oleh periset Indonesia hingga saat ini.

Lebih jauh lagi, hingga 2 dekade terakhir, sangat banyak riset-riset dan pengembangan yang secara intensif melaporkan kinerja cat *antifouling* SPC-AF yang berkaitan dengan pengaruh parameter fisik dan kimiawi air laut, formulasi cat dan mekanisme penghambatan *biofouling* di dunia (Lagerström et al., 2020), namun tidak atau sangat sedikit di Indonesia (Priyotomo, 2023). Disisi lain, banyak riset pengembangan cat *antifouling* domestik di berbagai universitas dan instansi riset hanya mengedepankan karakterisasi biosida dari sisi cat *antifouling* terhadap lingkungan tanpa melihat efek performa sistem kerja cat *antifouling*. Riset-riset di Indonesia khususnya cat *antifouling* hanya berkisar fundamental namun tidak aplikatif di lapangan. Disisi lain, perkembangan cat *antifouling* saat ini masih stagnan karena pemahaman pengaruh dinamika parameter fisik (salinitas) yang berbeda tidak dipertimbangkan. Biosida tembaga lebih cepat terlarut seiring peningkatan salinitas (Lee et al., 2010; Priyotomo, Nuraini, et al., 2021) dimana kadar salinitas wilayah timur Indonesia lebih tinggi dibandingkan wilayah barat.

B. Perkembangan sumber hayati khas Indonesia sebagai kandidat zat anti korosi alami

Wilayah tropis negara Indonesia yang luas dari Sabang hingga Marauke dengan keanekaragaman kondisi alam mulai dari dataran rendah sampai pegunungan tinggi mendukung adanya kekayaan berlimpah flora dan fauna. Setiap daerah lokal memiliki potensi sumberdaya hayati yang berbeda-beda karena perbedaan kondisi lingkungan alam unik. Secara umum, biodiversitas regional, di mana masing-masing wilayah berdasarkan batasan geografi dari komunitas masyarakat dan sistem ekologi akan memiliki kekayaan hayati yang spesifik (Sugandhy, 2001). Lebih jauh lagi, salah satu potensi kekayaan hayati ditemukan sebagai zat antioksidan alami antara lain daun belimbing wuluh dimana berfungsi melindungi radikal bebas didalam tubuh manusia (Hasim et al., 2019). Potensi antikorosi berbahan antioksidan telah dilakukan di Indonesia yang akan dibahas selanjutnya (Priyotomo, 2018b).

Di Indonesia, pengembangan metode mitigasi kerusakan korosi struktur berbasis bahan alami dimulai 10 tahun yang lalu. Di dunia, eksplorasi sumber hayati khususnya di bidang mitigasi korosi telah berkembang pesat selama 15 tahun terakhir di dunia (Kesavan et al., 2012) dimana secara masif 5 tahun terakhir di Indonesia. Para periset korosi memberikan konsep pemikiran dasar terminologi radikal bebas dapat dilakukan dalam ilmu keteknikan (*engineering*). Konsep radikal bebas dibidang medis disamakan dengan proses elektrokimia korosi melalui pelepasan ion bebas ke lingkungan. Salah satu pemikiran dimana metode mitigasi kerusakan logam dan paduan akibat proses korosi dapat dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan alam dengan konsep antioksidan (Priyotomo, S.T., M.Si., Sumada Sitepu, et al., 2020a).

Lebih jauh lagi, di Indonesia, pengembangan zat aktif anti korosi dibagi 2 wilayah lingkungan antara lain wilayah daratan dan lautan. Di area daratan, zat antioksidan alami khususnya turunan fenol telah

diaplikasikan sebagai zat penghambat proses korosi (inhibitor korosi) sebagai contoh substansi ekstrak daun belimbing wuluh (Priyotomo & Nuraini, 2016a) dimana merupakan ide dasar dari riset pangan yang dikembangkan oleh universitas di bidang pangan (Hasim et al., 2019). Di area lautan, zat potensi jenis rumput laut *Sargassum* sp di perairan Indonesia sebagai zat penghambat korosi logam dan paduan (Nikitasari, Sundjono, et al., 2021). Keanekaragaman hayati Indonesia yang berlimpah menjadi jadi salah satu aspek penting dalam kemajuan ilmu dan teknologi di bidang mitigasi korosi saat ini khususnya di bidang kelautan hayati dan juga merupakan tantangan bagi periset untuk mengeksplorasi lebih lanjut sumber hayati yang belum tersentuh sama sekali. Disisi lain, sebagai negara pembanding untuk perkembangan riset mitigasi korosi berbahan alami tropis adalah negara Malaysia. Negara tersebut telah lama melakukan eksplorasi sumber hayati tropis khususnya di bidang korosi hayati dibandingkan negara kita. Salah satunya adalah sumber hayati kelapa sawit yang telah diteliti oleh periset Malaysia (Salleh & Abdullah, 2019), dimana periset Indonesia masih belum mengarah ke komoditi ini. Oleh karena itu, pengembangan riset zat anti korosi alami berbahan tanaman tropis akan semakin menantang dan kompetitif secara global.

III. PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MITIGASI KOROSI STRUKTUR MARITIM DAN DARATAN

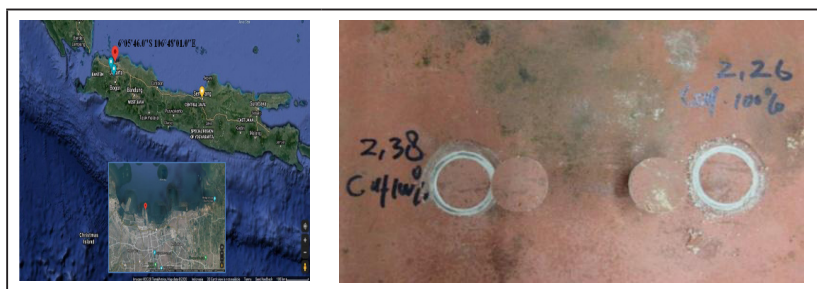
Dua hal yang diangkat dalam riset terdahulu adalah (1) riset mitigasi kerusakan infrastruktur akibat biofouling (Prifiharni et al., 2021; Priyotomo, Prifiharni, et al., 2022), dan korosi (Royani et al., 2020) dan (2) riset tentang variasi zat aktif anti korosi berbahan alami dari sumber wilayah darat dan lautan Indonesia (Lestari & Priyotomo, 2018; Priyotomo & Nuraini, 2016a)

A. Riset mitigasi kerusakan struktur akibat biofouling dan korosi

Di Indonesia, investigasi kerusakan dan mitigasi kerusakan *biofouling* laut telah dilakukan oleh Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia yang fokus struktur-struktur jembatan berbahan beton. Permasalahan penempelan *biofouling* laut terjadi di tol Bali Mandara yang diinvestigasi oleh tim periset Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2021. Disisi lain, mitigasi kerusakan *biofouling* laut struktur statis dan dinamis perairan laut belum di investigasi lebih lanjut hingga saat ini. Selama 8 tahun terakhir, investigasi dan evaluasi kinerja cat *antifouling* jenis SPC telah dilakukan di beberapa wilayah yang mewakili daerah tropis yaitu Pulau Jawa dan Bali (Nuraini, Prifiharni, Priyotomo, & Sundjono, 2017; Nuraini, Prifiharni, Priyotomo, Sundjono, et al., 2017; Prifiharni et al., 2021; Priyotomo, 2018a; Priyotomo et al., 2019, 2024; Priyotomo, Nuraini, et al., 2021).

Secara umum, kegiatan riset kinerja cat *antifouling* di Pulau Jawa dibagi dua daerah (Muara Baru, Jakarta Utara dan daerah Suramadu, Jawa Timur) dan Pulau Bali yang terlihat pada Gambar 3.1, Gambar 3.2 dan Gambar 3.3. Pemasangan menggunakan rak uji cat *antifouling*

umumnya berbentuk silinder yang disesuaikan bentuk dimensi struktur sebagai contoh wilayah tol Bali Mandara yang terlihat pada Gambar 3.4 (Priyotomo, Nuraini, et al., 2021). Secara umum, pengaplikasian cat antifouling jenis SPC-AF berbasis biosida tembaga cukup efektif menghambat aktivitas pertumbuhan dan penempelan variasi spesies biofouling di daerah perairan pulau Jawa dan Bali dalam kondisi terendam penuh hingga satu tahun ekspos yang terlihat pada Gambar 3.5 (Nuraini, et al., 2017; Prifiarni et al., 2021; Priyotomo, Nuraini, et al., 2021).

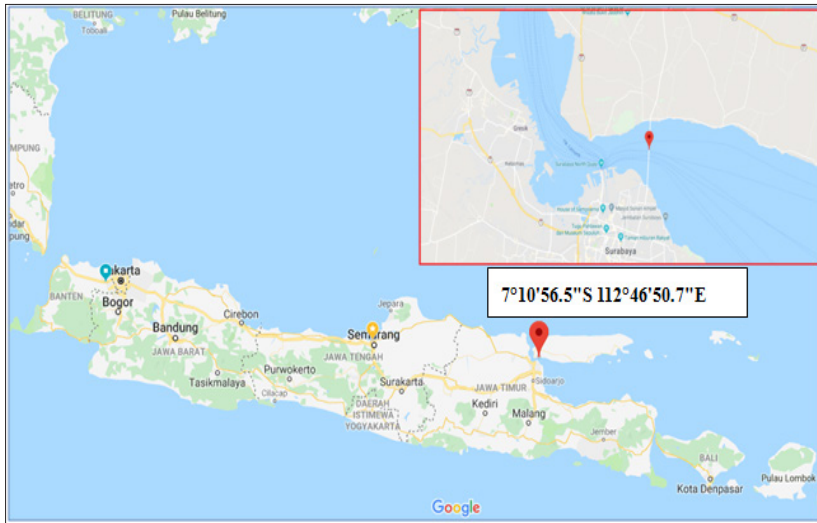


Sumber: (Priyotomo et al., 2024)

Keterangan: daerah Muara Baru, Jakarta Utara dan penampakan visual cat antifouling

Gambar 3.1 Lokasi penempatan rak uji cat antifouling

Sebagai gambaran umum, pada aplikasi kapal laut, lambung kapal laut dibagi tiga daerah antara lain *top side* (daerah lambung kapal di atas garis air laut), *bottup* (daerah lambung kapal pada kondisi diatas atau dibawah garis air karena perubahan beban muatan kapal) dan *bottom* (daerah ketinggian nol sampai sarat muatan kapal kosong) (Priyotomo et al., 2019), dimana daerah risiko *biofouling* adalah *bottom*. Daerah *bottom* kapal laut tersebut dikategorikan sebagai zona eufotik/fotik. Daerah fotik merupakan lingkungan perairan kaya cahaya matahari dimana ekosistem biota laut lebih beraneka ragam (Danarto, 2022).



Sumber: (Sundjono et al., 2017)

Keterangan: daerah Suramadu, Jawa Timur

Gambar 3.2 Lokasi penempatan rak uji cat *antifouling*



Sumber: (Priyotomo, Nuraini, et al., 2021)

Keterangan: daerah Tanjung Benoa, Bali

Gambar 3.3 Lokasi penempatan rak uji cat *antifouling*



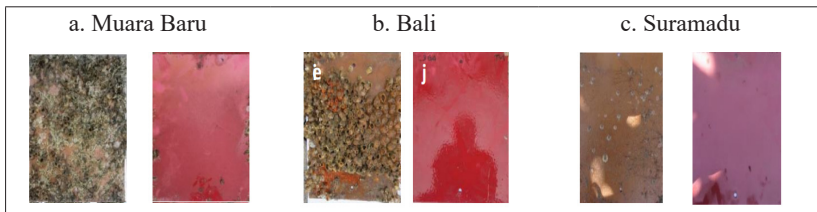
Sumber: (Priyotomo, Nuraini, *et al.*, 2021)

Gambar 3.4 Rak uji cat antifouling di daerah mandara Bali

Tidak ada perubahan aktifitas dan jenis biota penempel seperti teritip dan alga di struktur terendam hingga kedalaman 3 meter saat pemasangan sampel riset cat *antifouling* di perairan Selat Madura (Priyotomo, Nuraini, *et al.*, 2021) terlihat pada Gambar 3.6, Muara Baru (Nuraini, Prifiharni, Priyotomo, & Sundjono, 2017) terlihat pada Gambar 3.7 dan Tanjung Benoa Bali (Prifiharni *et al.*, 2021). Bersama periset lainnya, pelaksanaan identifikasi awal spesies bakteri yang berbeda dari genus *Vibrio* yang diidentifikasi sebagai *V. alginolyticus* dan *V. natriegens* bertanggung jawab atas aktivitas *biofouling* di perairan Teluk Jakarta dan Selat Madura dimana berpotensi bertanggung jawab atas kerusakan struktur sebagai nutrisi makroorganisme penempel (Julistiono *et al.*, 2018). Persentasi *solid content* dalam sistem cat *antifouling* jenis SPC minimal 40% berat yang mengandung prosentasi tinggi tembaga oksida (Cu_2O) sebagai biosida utama di Indonesia (Priyotomo, Nuraini, *et al.*, 2021).

Verifikasi unjuk kinerja aditif tembaga oksida (Cu_2O) sebagai bahan komponen cat *antifouling* terhadap aktivitas bakteri telah dilakukan dimana telah terjadi penurunan aktivitas bakteri setelah terpapar oleh tembaga oksida (Amal et al., 2019).

Di Indonesia, penggunaan aplikasi cat *antifouling* jenis SPC bersistem *silyl acrylate* (SA) *polymers* sebagai *paint binder*, dimana tembaga oksida sebagai aditif biosida dipakai sebagai pelindung utama biota pada jenis kapal berlambung logam baja (Priyotomo, Nuraini, et al., 2021) kecuali logam aluminium. Perbedaan potensial reduksi baku antara logam tembaga dan aluminium yang cukup jauh dibandingkan tembaga dan besi memberikan efek galvanis (Priyotomo & Gede Putrayasa Astawa, 2014). Efek galvanis tersebut mengakibatkan logam dengan nilai potensial reduksi baku lebih negatif (aluminium) akan terkorosi dibandingkan logam bernilai potensial reduksi baku lebih positif (tembaga) (Jorcin et al., 2008). Oleh karena itu, para pengguna dan aplikator harus memahami bahwa pemilihan cat *antifouling* tergantung pada jenis substrat logam lambung kapal kecuali substrat non logam seperti bahan *fiberglass* dan kayu.



Sumber: (Priyotomo, Nuraini, et al., 2021)

Keterangan: perendaman di tiga perairan daerah a. Muara Baru; b. Bali dan c. Suramadu

Gambar 3.5 Perbandingan visual tanpa dan dengan perlindungan cat SPC-AF



Sumber: (Priyotomo, Prifiarni, et al., 2022)

Gambar 3.6 Pemasangan sampel cat SPC-AF di pilar-pilar Jembatan Suramadu, Jawa Timur

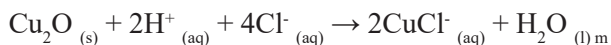


Sumber: (Priyotomo et al., 2024)

Gambar 3.7 Pemasangan sampel cat SPC-AF di pelabuhan Muara Baru, Jakarta

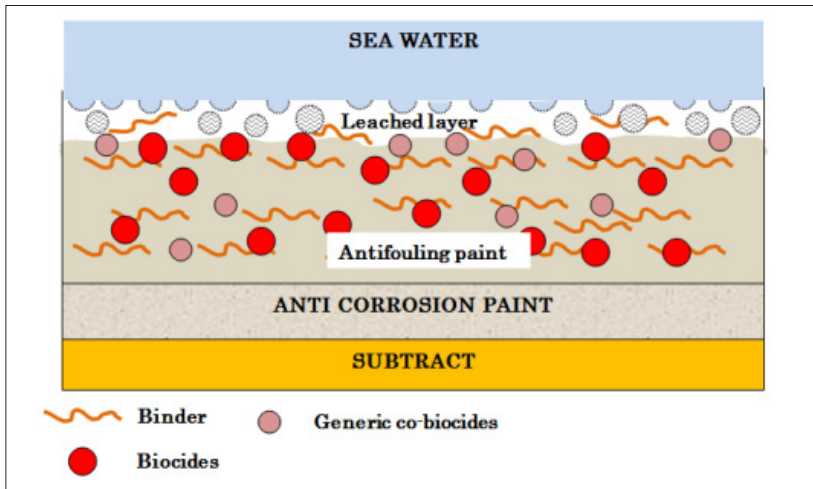
Mekanisme perlindungan penempelan biota pada struktur bersubstrak logam baja melalui cat *antifouling self polishing co-polymer* berbasis SA melalui masuknya air laut ke dalam matriks cat, pelarutan biosida dan *co-biocide* dan aditif lainnya ke luar matriks cat melalui reaksi yang terkontrol di Indonesia (Priyotomo, Nuraini, et al., 2021). Mekanisme perlindungan substrat struktur terhadap biota penempel tersebut diistilahkan sebagai proses *leaching out* cat *antifouling* (Ytreberg et al., 2016). Lapisan tipis atas hasil proses *leaching out* matriks cat *antifouling* telah kehilangan aditif biosida (Cu_2O) dan *co-biocide* ZnO yang terlarut dalam air laut (Ytreberg et al., 2016) terlihat pada Gambar 3.8 (Priyotomo, Nuraini, et al., 2021). Penambahan senyawa *booster biocide* (copper pyrithione (CuPT)) juga dilakukan untuk meningkatkan kinerja *primary biocide* (Cu_2O), dimana *co-biocide* ZnO berfungsi meningkatkan kecepatan *leaching out* (Ytreberg et al., 2016).

Parameter fisik-kimia perairan laut antara lain arus, kedalaman, suhu, pH, oksigen terlarut, dan salinitas dapat mempengaruhi aktivitas biota laut sama halnya dengan kinerja cat *antifouling Self Polishing Co-polymer (SPC)* saat operasional. Salah satu parameter yang sangat berperan mempengaruhi kinerja cat *antifouling* adalah salinitas, dimana salinitas tinggi meningkatkan proses *leaching out* tembaga matriks cat terkontrol. Mekanisme pelarutan biosida berbasis tembaga oksida cat *antifouling* khususnya tipikal air laut tropis Indonesia mengikuti formula dibawah ini (Prifiharni et al., 2021; Priyotomo, Nuraini, et al., 2021)



Ketika tembaga oksida terekspos di dalam air laut, perubahan terjadi menjadi tembaga satu klorida kompleks yang mudah terlarut. Jenis *binder* atau resin cat *antifouling* berjenis *acrylic copolymers* sangat mudah terhidrolisi di dalam air laut sehingga ikatan atom tembaga semakin mudah terlepas (Prifiharni et al., 2021). Lapisan

tanpa biosida tercipta dan akan terlepas atau terkikis seiring dengan pergerakan kapal atau pergerakan arus laut sehingga membentuk lapisan baru (*fresh layer*) yang kaya dengan biosida tembaga (Priyotomo, Nuraini, et al., 2021). Lapisan baru ini akan melindungi struktur secara terus menerus hingga lapisan cat *antifouling* habis seiring waktu ekspos. Pengaplikasian cat *antifouling* pada struktur bergerak lebih cocok di daerah perairan air laut dibandingkan perairan darat mempertimbangkan kinerja cat tersebut. Di Indonesia, parameter arus laut atau intensitas *trip* kapal laut bertendensi meningkatkan kinerja cat *antifouling* SPC (Priyotomo, Nuraini, et al., 2021).



Sumber: (Priyotomo, Nuraini, et al., 2021)

Keterangan: Pada daerah tropis Indonesia terhadap biota yang diajukan oleh penulis

Gambar 3.8 Mekanisme perlindungan cat *antifouling*

Peran nilai ketebalan cat *antifouling* SPC dipertimbangkan sebagai rekomendasi masa pakai cat teraplikasi di struktur perairan laut tropis karena mekanisme *leaching out* matriks cat terkontrol khususnya daerah tropis Indonesia (Nuraini, Prifiharni, Priyotomo, Sundjono, et al., 2017; Prifiharni et al., 2021; Priyotomo, 2018a; Priyotomo,

Nuraini, et al., 2021). Konsekuensi dari peningkatan ketebalan cat *antifouling* sebagai kompensasi waktu operasional cat *antifouling* adalah harga produksi cat yang mahal. Estimasi nilai ketebalan cat *antifouling* yang diaplikasikan di substrak logam tergantung dari parameter fisik-kimia perairan air laut, dimana setiap daerah berbeda beda dan dinamis (Nuraini, Prifiarni, Priyotomo, & Sundjono, 2017; Prifiarni et al., 2021; Priyotomo, 2018a, 2023; Priyotomo, Nuraini, et al., 2021).

Di Indonesia, selain perlindungan struktur laut terhadap biota laut di bidang moda transportasi laut dan struktur mendukung moda tersebut, potensi riset perlindungan struktur di bidang energi laut juga dapat dilakukan riset dan pembangunan awal pembangkit tenaga listrik energi terbarukan di daerah *coastal* dan lepas pantai antara lain instalasi energi arus laut, energi pasang surut, energi matahari dan lain –lain mulai berkembang (Iswadi et al., 2022; Iswadi & Priyotomo, 2020; Science, 2024).

Korosi struktur maritim juga tidak terlepas dari wilayah udara. Sebanyak dua pertiga wilayah Negara Indonesia merupakan wilayah perairan laut sehingga dinamakan sebagai negara maritim. Pembangunan struktur lepas pantai dan sepanjang pantai kepulauan tidak lepas memperhatikan umur pakai struktur sehingga dapat memprediksi kapan operator dan pengguna menjadwalkan waktu pemeliharaan dan biayanya. Pembiayaan pemeliharaan tersebut tidak lepas dari agresivitas lingkungan laut terhadap struktur terpasang yang mengakibatkan proses korosi. Dalam karir risetnya, klasifikasi suatu keagresifitas proses korosi *outdoor* dapat dilihat dari dua aspek yaitu sisi perairan dan sisi atmosfer udara (Priyotomo et al., 2020). Hubungan keagresifitas tersebut terhadap tingkat korosifitas struktur tertuang dalam standar ISO 9223(ISO, 2012) dan ISO 12944-2(EN ISO 12944-2:2017, 2017) sebagai landasan rencana disain dan pemeliharaan struktur di Indonesia.

Investigasi komprehensif korosi struktur logam di lingkungan udara pantai utara dan selatan pulau jawa terlihat pada Gambar 3.9

dan Gambar 3.10. Salah satu wilayah riset adalah Jawa Barat bagian pantai utara dan selatan dimana wilayah dibatasi oleh laut yang mudah menyebabkan lingkungan korosif secara intensif (Priyotomo, Prifiharni, et al., 2021; Royani et al., 2020). Ada tiga faktor utama yang mempengaruhi korosi atmosfer antara lain kelembaban, suhu udara dan polutan atmosfer (sulfur dan klorida) (Priyotomo et al., 2020; Priyotomo, Prifiharni, et al., 2021). Daerah pesisir, konsentrasi kandungan klorida paling signifikan yang berperan besar dalam proses korosi baja struktural.

Peran ion klorida dari uap garam di laut sangat penting untuk sebagai inisiasi serangan korosi melalui reaksi elektrokimia pada baja (Priyotomo, Prifiharni, et al., 2021). Ion klorida bersaing dengan ion hidroksil (OH^-) untuk bergabung dengan kation besi (Fe^{n+}) yang dihasilkan dalam reaksi anodik. Dalam reaksi katodik, keberadaan ion hidroksil cenderung menghasilkan produk karat yang stabil, yang berfungsi sebagai lapisan pelindung untuk serangan korosi lebih lanjut (Nuraini et al., 2018). Namun, kombinasi konsentrasi klorida dalam lapisan air pada permukaan logam dan retensi kelembaban tinggi di area karat menyebabkan pembentukan besi klorida (FeCl_2) (Priyotomo et al., 2020).

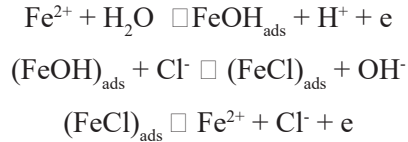


Sumber: (Nuraini *et al.*, 2018)

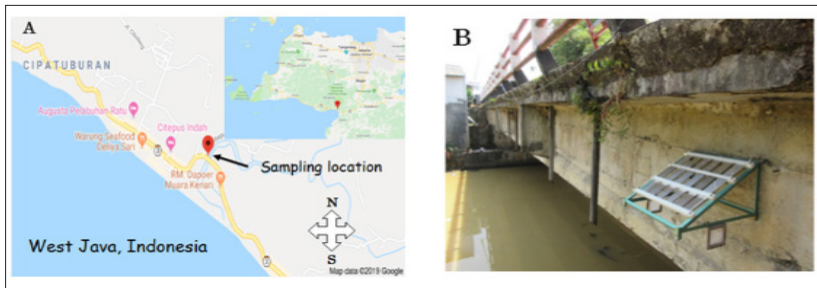
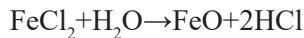
Keterangan: a. Daerah pantai utara Jawa Barat dan b. rak uji korosi atmosfer

Gambar 3.9 Lokasi riset korosi atmosfer BRIN

Besi klorida tersebut mudah larut dan menghidrolisis air. Mekanisme reaksi proses korosi terjadi di lingkungan pantai utara Jawa (Priyotomo, Prifiharni, *et al.*, 2021) sebagai berikut



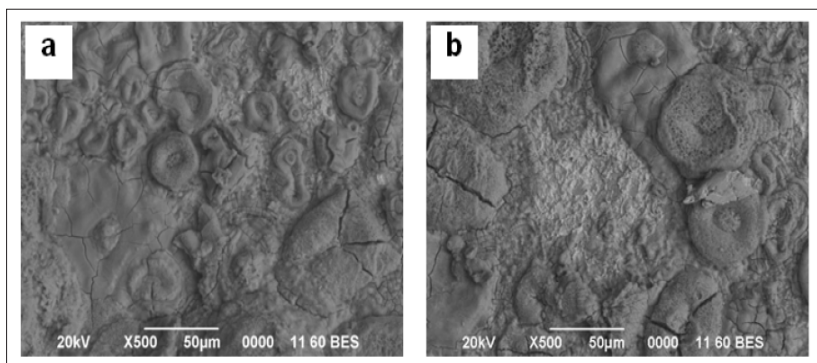
Selanjutnya, pembentukan retakan pada produk karat cenderung menyebabkan serangan *pitting* di bawah produk karat yang terlihat pada Gambar 3.11. Berdasarkan hasil riset (Priyotomo *et al.*, 2020), distribusi ion klorida yang seragam dapat meningkatkan produksi *ferrous chloride* (FeCl_2) pada kondisi kelembaban tinggi dan lapisan air yang mengendap pada logam. Proses hidrolisis FeCl_2 menyebabkan peningkatan keasaman elektrolit sesuai reaksi (Priyotomo, Prifiharni, *et al.*, 2021) sebagai berikut



Sumber: (Priyotomo, Prifiharni, *et al.*, 2021)

Keterangan: (A) Pelabuhan Ratu, Jawa Barat bagian Utara, Indonesia, (B) Rak uji korosi atmosferik

Gambar 3.10 Lokasi-lokasi paparan



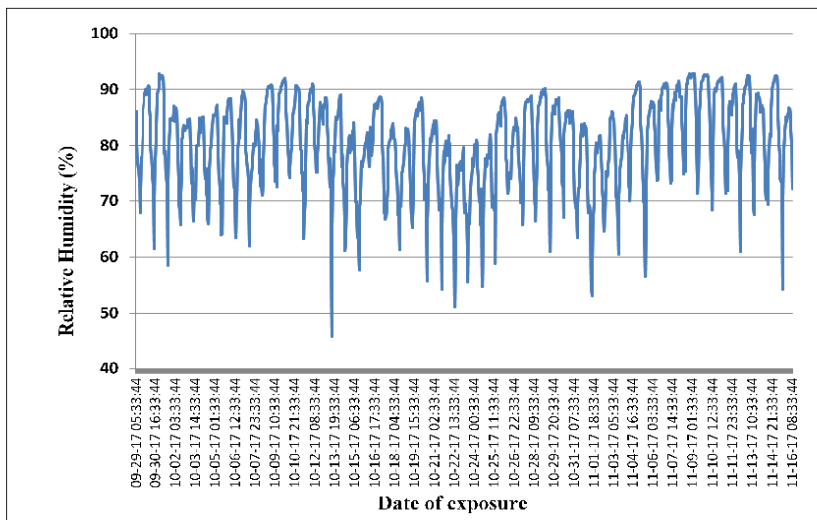
Sumber: (Priyotomo, Prifiharni, *et al.*, 2021)

Keterangan: Di daerah maritim dengan waktu ekspos a). 1 bulan dan b). 3 bulan.

Gambar 3.11 Fenomena retakan lapisan oksida struktur baja akibat intrusi klorida

Pertimbangan parameter lingkungan luar juga diperhatikan untuk menginvestigasi tingkat keparahan korosi struktur dimana tergantung dari antara lain kelembaban relatif (RH), suhu (T), kandungan sulfur, dan salinitas (klorida) (Priyotomo *et al.*, 2020). Kehadiran lapisan tipis elektrolit dapat terbentuk pada permukaan logam ketika terpapar pada tingkat kelembaban kritis (RH_{crit}). Proses elektrokimia mulai terkorosi secara perlahan di lingkungan laut-pantai pada nilai RH_{crit} 60% (Priyotomo, Prifiharni, *et al.*, 2020), tetapi laju korosi meningkat tajam pada RH 75–80% (Nuraini *et al.*, 2018). Gambar 3.12 menunjukkan hubungan variasi kelembaban relatif (RH) harian sebagai fungsi waktu paparan di wilayah Pelabuhan Ratu, Jawa Barat.

Gambar 3.9 memperlihatkan lokasi lokasi paparan di Pelabuhan Ratu, Jawa Barat bagian Utara, Indonesia dan rak uji korosi atmosferik dimana pengujian korosi atmosfer wilayah pantai selatan jawa dilakukan. Gambar 3.13 menunjukkan hubungan suhu sekitar dan suhu embun sebagai fungsi waktu paparan di Pelabuhan Ratu, Jawa Barat. Berdasarkan hasil, suhu udara sekitar rendah pada tengah



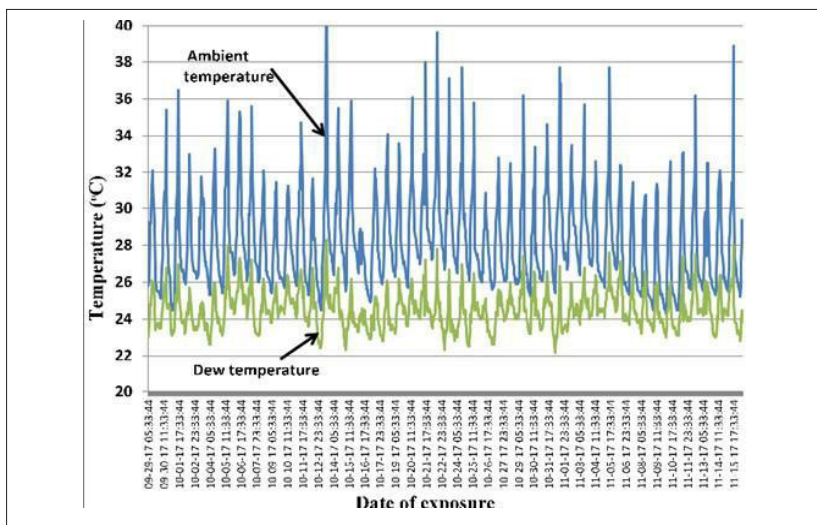
Sumber: (Priyotomo, Prifiarni, *et al.*, 2021)

Ketengan: di daerah Pelabuhan Ratu, Jawa Barat.

Gambar 3.12 Hubungan variasi kelembaban relatif (RH) harian sebagai fungsi waktu paparan

malam, menurun pada dini hari, dan kemudian meningkat dengan cepat hingga setelah tengah hari untuk setiap hari paparan. Titik embun berkorelasi dengan suhu di mana kondensasi terjadi pada permukaan baja karbon. Besarnya RH dikaitkan dengan titik embun yang dekat dengan suhu udara sekitar. Tidak ada korosi pada suhu udara di atas 10–15 °C dari titik embun (Priyotomo, Prifiarni, *et al.*, 2021).

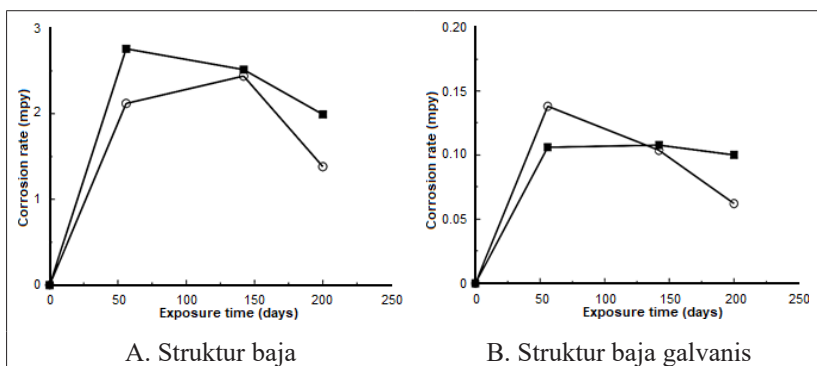
Namun, selama semua waktu paparan untuk pengujian, perbedaan antara suhu udara dan titik embun di bawah 10°C. Perbedaan ini terjadi dari tengah malam hingga pagi, yang cenderung mengembun di permukaan spesimen. Setiap riset yang berhubungan dengan korosi atmosferik di Indonesia, proses kondensasi menyebabkan peningkatan reaksi elektrokimia pada permukaan sehingga proses korosi terjadi cepat (Nuraini *et al.*, 2018; Priyotomo *et al.*, 2020; Priyotomo, Prifiarni, *et al.*, 2021).



Sumber: Priyotomo, Prifiharni, *et al.*, 2021

Keterangan: Di kawasan Pelabuhan Ratu, Jawa Barat

Gambar 3.13 Hubungan suhu udara sekitar dan suhu embun sebagai fungsi waktu paparan



Sumber: (Priyotomo *et al.*, 2020)

Keterangan: Di wilayah ■ Eretan dan ○ Ciwaringin, Provinsi Jawa Barat

Gambar 3.14 Laju korosi struktur baja karbon sebagai fungsi waktu pemaparan

Pengaruh parameter lingkungan terhadap korosi struktur logam di pantai utara Jawa juga sama pentingnya di pantai selatan Jawa. Penjelasan hasil riset bahwa besarnya laju korosi struktur baja jauh lebih tinggi dibandingkan dengan baja galvanis baik di Daerah Eretan maupun Ciwaringin, Jawa Barat yang terlihat Gambar 3,14 (Priyotomo *et al.*, 2020). Parameter jarak juga sebagai pertimbangan riset korosi atmosfer dimana Jarak dari garis pantai sangat mempengaruhi besarnya laju korosi karena adanya ion klorida (Nuraini *et al.*, 2018).

B. Riset variasi zat aktif anti korosi berbahan alami dari sumber wilayah darat dan lautan Indonesia

Selama 20 tahun berkarir di BRIN, banyak riset telah dilakukan melalui kolaborasi bersama universitas melalui eksplorasi zat aktif anti korosi ramah lingkungan. Salah satu sumber hayati khas Indonesia adalah tanaman ubi ungu dimana bahan nabati ini mempunyai nilai fungsi fisiologis positif sebagai zat antioksidan, anti kanker dan anti bakteri. Melalui kolaborasi riset, potensi ubi ungu tersebut dapat diaplikasikan sebagai zat aktif anti korosi di bidang industri melalui adaptasi fungsi mekanisme zat antiradikal bebas (Priyotomo & Nuraini, 2016d) dimana zat antosianin membentuk senyawa kompleks logam melalui proses *chelating* (Ayende et al., 2014a).

Penggunaan zat aktif dari ubi ungu mempunyai potensi digunakan sebagai zat inhibitor alami di aplikasi industri minyak dan gas bumi (Ayende et al., 2014b). Potensi sumber hayati limbah organik khas tanah air mempunyai nilai manfaat di bidang pupuk organik atau kompos. Penemuan potensi limbah kulit buah kelengkeng dilakukan sebagai zat anti korosi dengan efisiensi inhibisi hingga 93% berkonsentrasi 500 ppm dimana zat ini digunakan sebagai bahan tambahan dari zat pembersihan karat di pipa-pipa Migas (Priyotomo & Nuraini, 2016d).

Proses injeksi inhibitor korosi merupakan standar operasional pada sistem produksi minyak dan gas bumi untuk mengontrol korosi internal struktur baja karbon. Inhibitor korosi organik berbasis nitrogen seperti

imidazoline salt banyak digunakan di berbagai aplikasi migas (Lestari & Priyotomo, 2018). Zat *Imidazoline salt* sebagai bahan aktif inhibitor korosi organik sintetik komersial memiliki efisiensi inhibisi hingga 95% dengan hanya 3-20 ppm dalam media air produksi sistem minyak dan gas bumi (Nuraini et al., 2016). Walaupun relevan digunakan sebagai zat inhibitor korosi yang baik, zat tersebut merupakan bahan impor dengan harga mahal. Oleh karena itu, investigasi substitusi dari bahan alam layak dipertimbangkan.

Pada aplikasi industri minyak dan gas bumi, inhibitor korosi merupakan zat aktif yang dapat menurunkan nilai laju korosi pada permukaan logam sebagai bagian dalam sistem *upstream*. Keberadaan zat aktif anti korosi ini merupakan salah satu metode mitigasi penting dalam pengendalian korosi di industri minyak dan gas bumi (Lestari & Priyotomo, 2018). Kehadiran gas hidrogen sulfida (H_2S), karbon dioksida (CO_2) dan pengotor lainnya antara lain klorida, sianida dan sebagainya meningkatkan potensi kerusakan korosi pada perpipaan minyak mentah (Nuraini et al., 2016). Kehadiran gas H_2S yang berlebih pada minyak mentah dinamakan *sour crude oil*, sedangkan sebaliknya kehadiran gas H_2S dan CO_2 berkadar kecil dinamakan *sweet crude oil*. Disisi lain, zat aktif nikotin dalam daun tembakau mempunyai sifat antioksidan (Alegantina, 2018) dimana mekanisme radikal bebas berpotensi dapat diterapkan dalam dunia keteknikan khususnya di bidang teknologi mitigasi korosi di Indonesia.

Melalui kegiatan kolaborasi riset, penambahan ekstrak tembakau dalam media larutan simulasi *production water flowline crude oil* dapat menurunkan potensi kerusakan korosi hingga 80% dengan injeksi ekstrak optimal 60 ppm (Ahmadi et al., 2017). Di Indonesia, permasalahan sampah menjadi kendala besar terutama di kota-kota besar. Khususnya, kulit dan biji buah buahan merupakan salah satu kelompok sampah organik karena bahan-bahan tersebut umumnya hanya dibuang begitu saja oleh para konsumen buah (Priyotomo & Nuraini, 2016d). Nilai tambah dari jenis limbah organik hanya dalam bentuk kompos atau pupuk organik semata. Inovasi terbaru telah

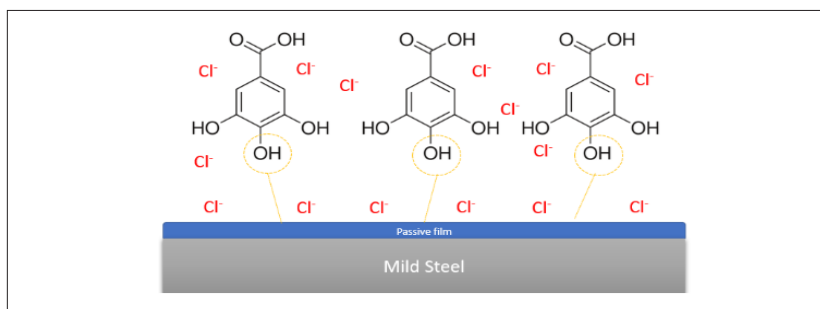
berhasil menginvestigasi lebih lanjut potensi tambahan dari limbah organik sebagai contoh limbah kulit buah naga dimana zat aktif korosi yang terkandung terutama senyawa turunan fenol telah menghambat hingga 87,73% kerusakan akibat korosi dalam aplikasi pembersihan pipa penyalur *crude oil* di industri minyak dan gas bumi (Simanjuntak *et al.*, 2020).

Limbah daun talas umumnya digunakan sebagai pakan ternak setelah dimanfaatkan umbinya. Inovasi telah dilakukan untuk mengeksplorasi potensi daun talas sebagai zat anti korosi. Ekstrak daun talas mempunyai senyawa polifenol sebagai agen adsorpsi yang mendapat mengikat secara adsorpsi dengan kation logam baja akibat proses oksidasi logam (Lestari & Priyotomo, 2018). Ekstrak daun talas dengan konsentrasi 4000 ppm secara optimum dapat menekan laju korosi hingga 72% kerusakan pada proses simulasi pembersihan paduan logam pipa di bidang industri (Lestari & Priyotomo, 2018).

Disisi lain, pada penelitian lainnya, pemanfaatan ekstrak daun talas sebagai zat anti korosi alami juga dilakukan untuk meminimalkan agresivitas larutan asam oksidatif seperti asam sulfat hingga hampir 80% dimana berpotensi bisa dipakai dalam aplikasi penyimpanan larutan asam sulfat berbahan dasar baja karbon rendah (Priyotomo, Sumada Sitepu, *et al.*, 2020a). Umumnya ekstrak bahan tumbuhan mengandung berbagai senyawa organik seperti polifenol, terpen, asam karboksilat dan alkaloid. Senyawa-senyawa organik tersebut mengandung heteroatom antara lain unsur P, N, S, O dan ikatan rangkap dalam molekulnya yang dapat teradsorpsi, terkoordinasi atau membentuk kompleks dengan atom logam atau ionnya (Priyotomo, Nurarista, *et al.*, 2022). Ion logam dihasilkan melalui reaksi oksidasi dari proses elektrokimia yang hadir di proses korosi logam. Ikatan adsorpsi antara molekul senyawa-senyawa antioksidan tersebut dengan ion atom logam menghasilkan lapisan pelindung logam yang dapat menghambat serangan korosi lebih lanjut (Kassim & Wei, 2012; Priyotomo & Nuraini, 2016d).

Salah satu mekanisme adsorpsi molekul di permukaan baja melalui penambahan ekstrak daun bawang memberikan perlindungan korosi baja hingga diatas 90% yang terlihat pada Gambar 3.15. Salah satu sumber hayati lainnya berupa tanaman yang saat ini dikembangkan di Indonesia karena kadar antioksidan yang tinggi khususnya senyawa polifenol adalah daun teh putih. Manfaat lainnya dari teh putih diantaranya sebagai antibakteri, antikanker, antiobesitas dan *anti-aging* (Widyasanti et al., 2016). Di Indonesia, nilai tambah lain dari budidaya daun teh putih yaitu potensi sebagai zat penghambat proses korosi logam. Ekstrak tanaman yang memiliki zat antioksidan berpotensi memiliki zat antikorosi (Priyotomo, Sumada Sitepu, et al., 2020a; Priyotomo & Nuraini, 2016b)

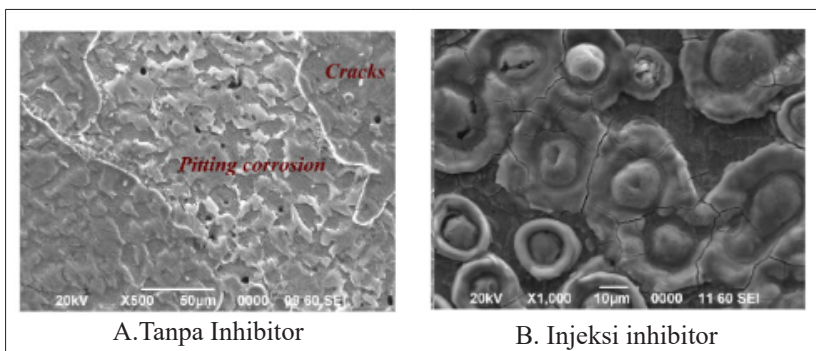
Kolaborasi riset berlanjut, investigasi daun teh putih digunakan sebagai zat anti korosi dimana sangat efektif mengurangi kerusakan korosi hingga 96% di konsentrasi 80 ppm ekstrak daun teh putih dalam media asam klorida (Kaban et al., 2021) sama efektifnya dengan limbah kulit buah kelengkeng (Priyotomo & Nuraini, 2016d). Fakta riset menjelaskan bahwa penambahan zat aktif korosi berbahan dasar hayati dapat melindungi serangan korosi secara visual terlihat pada Gambar 3.16.



Sumber: (Prifiarni et al., 2024)

Keterangan: menggunakan sumber daya hayati ekstrak daun bawang

Gambar 3.15 Ajuan mekanisme perlindungan korosi baja



Sumber: (Kaban et al., 2021)

Keterangan: (A) tanpa inhibitor dibandingkan dengan (B) inhibitor dari zat aktif ekstrak hayati.

Gambar 3.16 Foto mikro kerusakan material baja

Di Industri, pembersihan pipa-pipa penyalur fluida berbahan baja menggunakan metode kimia yaitu asam klorida dengan menggunakan inhibitor korosi organik komersial *hexamethylenetetramine* (HMTA) sesuai standar ASTM G-1 (Lestari & Priyotomo, 2018) (Priyotomo, 2018b). Potensi kedepan bahan alami ekstrak daun teh putih bisa dilakukan sebagai kandidat substitusi inhibitor komersial HMTA. Perkembangan eksplorasi bahan-bahan aktif zat anti korosi logam ramah lingkungan terus berlanjut di tahun 2023 dan tahun 2024 di Indonesia.

Kayu sarampa atau nyirih batu digunakan bermanfaat sebagai anti bakteri, anti diabetes, antioksidan, anti diare dan anti depresi (Budiarso et al., 2020). Ekstrak kayu sarampa ternyata bisa berpotensi sebagai zat anti korosi alami pada aplikasi pembersihan secara kimia pipa-pipa baja dengan larutan asam klorida di industri, dimana peran senyawa turunan fenol antara lain tanin dan flavonoid untuk mengadsorpsi kation logam hasil reaksi korosi (Prifiarni et al., 2022). Ekstrak daun jambu mete telah diteliti sebagai inhibitor korosi hijau untuk

menghambat proses korosi API 5L X52 pada media asam di aplikasi industri minyak dan gas bumi dimana Ekstrak ini mengandung bahan aktif penghambat korosi seperti polifenol, tanin, flavonoid dan alkaloid (Nikitasari et al., 2023) sama halnya dengan ekstrak kulit buah kelengkeng (Priyotomo & Nuraini, 2016d).

Efek penghambatan ekstrak daun Meniran pada baja pipa API 5L dalam larutan asam klorida (HCl) diselidiki. Selain itu, FTIR dan fitokimia menegaskan bahwa ekstrak daun *Phyllanthus niruri* mengandung senyawa gugus hidroksil, fenolik, dan kandungan flavonoid yang dapat meningkatkan sifat antioksidan dan teradsorpsi ekstrak tersebut pada permukaan baja. Umumnya tanaman meniran hijau (*Phyllanthus niruri* L) mempunyai kandungan fitokimia dimana sebagai bahan obat herbal dan anti inflamasi (Ervina & Mulyono, 2019). Efek penghambatan ekstrak daun Meniran pada baja pipa API 5L dalam larutan asam klorida diinvestigasi mengandung senyawa gugus hidroksil, fenolik, dan kandungan flavonoid yang dapat meningkatkan sifat antioksidan dan meningkatkan teradsorpsi pada permukaan baja sehingga struktur terlindung dari serangan korosi (Nikitasari et al., 2024) sama efektifnya dengan ekstrak daun buah belimbing wuluh (Priyotomo & Nuraini, 2016b).

Riset dan pengembangan berlanjut melalui investigasi melalui tanaman lidah buaya (*aloe vera*) khas Indonesia dimana mempunyai kemampuan inhibisi korosi melalui zat aktif turunan fenol di media air laut (Royani et al., 2024). Indonesia mempunyai sumber daya hayati berpotensi zat antikorosi (Priyotomo, 2018b) dimana salah satu adalah tanaman bawang merah yang melimpah. Tanaman bawang merah umumnya digunakan sebagai bahan masakan dan herbal medis, namun berpotensi sebagai zat anti korosi (Prifiharni et al., 2024).

Dalam rangka meningkatkan efektivitas penghambatan korosi beberapa aditif melalui penambahan ke dalam ekstrak. Aditif ini meningkatkan efisiensi penghambatan ekstrak. Proses peningkatan efektivitas perlindungan ekstrak atau inhibitor organik

ini menggunakan aditif eksternal disebut sinergisme (Ayende et al., 2014b). Senyawa polifenol dan turunannya diakui sebagai senyawa dalam satu kelas tumbuhan terbesar dan terluas konstituen yang terjadi di seluruh kerajaan tumbuhan, dan juga ditemukan di kadarnya pada buah-buahan, sayur-sayuran dan minuman yang biasa dikonsumsi (Priyotomo, S.T., M.Si., Sumada Sitepu, et al., 2020b; Priyotomo & Nuraini, 2016d, 2016b; Simanjuntak et al., 2020). Polifenol baru-baru ini membangkitkan minat yang cukup besar karena potensi biokimia yang menguntungkan dan efek antioksidan pada kesehatan manusia.

IV. IMPLEMENTASI MITIGASI KOROSI MARITIM DAN PEMANFAATAN ZAT ANTIKOROSI ALAMI INDONESIA

Disisi lain, secara alami, korosi atmosfer dan perairan laut dikendalikan oleh proses elektrokimia dan fisika kompleks yang berlangsung dalam lapisan tipis pada permukaan logam dengan komposisi dan sifat yang berubah secara dinamis (Priyotomo et al., 2020). Sejumlah teknik analisis in situ membantu meningkatkan pemahaman tentang proses ini secara sistematis. Namun, dalam lingkungan tropis, masalah kompleksitas sistem yang terpapar dalam berbagai kondisi faktor eksternal antara lain kelembaban relatif, suhu, dan konsentrasi polutan udara dan faktor intrinsik logam (komposisi dan sifat fisikokimia produk korosi yang diendapkan dan interaksi dengan mikrostruktur logam) menciptakan tantangan lebih dalam pencegahan korosi (Priyotomo, Prifiarni, et al., 2021). Salah satu solusi tantangan keilmuan korosi perairan laut dan atmosfer laut melalui pengetahuan dasar yang mendalam dan kemampuan pemodelan serta, alat pemodelan yang mudah digunakan, dan model prediktif jangka panjang untuk mengembangkan solusi yang membantu mengurangi biaya perlindungan korosi pada struktur dan objek yang terpapar atmosfer dan perairan laut.

Selama beberapa tahun kebelakang, bidang pemodelan korosi telah berkembang pesat, meningkatkan pemahaman kita tentang prinsip-prinsip dasar korosi atmosfer. Perkembangan pesat tersebut menghasilkan alat pemodelan yang lebih baik, yang mulai menemukan jalannya dalam praktik. Namun, bidang tersebut mengalami fragmentasi dan pertukaran yang tidak memadai antara para pelaku yang terlibat. Tantangan berikutnya dalam pemodelan korosi agar lebih valid dalam memprediksi kerusakan korosi lebih lanjut adalah tidak semua parameter-parameter lingkungan sesuai dengan data data uji riil yang telah dilakukan karena setiap formula berbeda. Riset-riset

modeling korosi atmosfer sangat jarang di Indonesia dimana banyak riset korosi atmosfer berbasis data riil dengan waktu terbatas (Nuraini et al., 2018; Prifiharni et al., 2018; Priyotomo, S.T., M.Si., Prifiharni, et al., 2020; Priyotomo et al., 2020)

Di Indonesia, beberapa tantangan terbesar dalam pengembangan teknologi mitigasi korosi sebagai salah satu aspek keberlanjutan integritas struktur terpasang di lingkungan tropis baik perairan laut dan darat. Khususnya tantangan ketahanan struktur perairan laut dengan menggunakan metode mitigasi korosi terhadap *biofouling* melalui cat *antifouling* terhadap lingkungan yaitu (1). penggunaan biosida utama berbasis tembaga sebagai logam berat masih digunakan dalam cat *antifouling* di Indonesia. (2) Usaha substitusi biosida utama tembaga oksida dengan zat ramah lingkungan dalam cat antifouling belum sebagai fokus dalam lembaga penelitian dan pengembangan di berbagai universitas dan lembaga riset. (3). Pemilik dan operator kapal khususnya domestik atau lokal masih menggunakan cat *antifouling* berbasis biosida tembaga dikarenakan biaya pengecatan reasonable. (4). Kurang sinerginya antara lembaga riset dan produsen cat nasional pengembangan cat antifouling berbasis zat ramah lingkungan yang murah dan ekonomis dibandingkan cat *antifouling* berbasis silikon.

Tantangan diatas saat ini dapat dijawab melalui tindakan konkret dalam kerangka kemandirian nasional. Tindakan konkret harus sesuai visi besar (asta cita) yang diusung oleh Pemerintah tentang kedaulatan, energi, maritim, industri, serta pengembangan ilmu dan pengetahuan. Para periset tidak dapat berusaha sendiri dalam menjawab tantangan diatas. Oleh karena itu, diperlukan kerja sama intensif riset-riset mengenai salah satu metode pencegahan *biofouling* yang juga sebagai pencegah korosi biofouling berbahan ramah lingkungan dapat dilakukan oleh litbang-litbang nasional dan akademis. Hasil riset-riset tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal oleh para stakeholder khususnya produsen cat lokal atau nasional. Nilai manfaat dari hasil riset juga dirasakan oleh pengguna dan operator kapal laut dan struktur

maritim lainnya karena biaya produk cat lokal murah. Itulah esensi sebenarnya dari kemandirian nasional di bidang maritim.

Lebih jauh lagi, di bidang kemaritiman, pengembangan cat *antifouling* domestik mengalami stagnasi inovasi dari para akademisi dan periset lokal. Umumnya, pengembangan dan inovasi cat *antifouling* melalui *internal research and development* di masing-masing produsen cat nasional dan internasional di Indonesia. Fakta mengatakan bahwa tenaga ahli dari luar negeri dipekerjakan oleh perusahaan skala besar nasional. Perusahaan cat skala internasional justru mengembangkan inovasi cat *antifouling* di luar negeri dan negara kita hanya sebagai pemakai atau user saja. Melalui fakta –fakta diatas, solusi tepat dalam di bidang kemaritiman untuk membuat teknologi ramah lingkungan cat *antifouling* berbasis nanoteknologi yaitu melalui penambahan nano *zinc oxide* (ZnO), *graphene oxide* (GO) dan cerium oksida (CeO₂) dimana mengurangi penggunaan tembaga oksida sebagai biosida utama cat *antifouling* di Indonesia (Iswadi & Priyotomo, 2020; Priyotomo, 2018a, 2023; Priyotomo, Prifiarni, et al., 2022).

Teknologi nano saat ini sangat berkembang pesat diimbangi dengan riset logam tanah jarang di Indonesia. Kandidat biosida logam tanah jarang dapat dipertimbangkan diimbuhkan ke dalam cat *antifouling*. Saat ini, Indonesia juga mulai beranjak menuju teknologi bersih dengan program energi terbarukan melalui pemanfaatan energi arus laut atau *Marine renewable energy* (MRE) lainnya (Iswadi & Priyotomo, 2020). Pengembangan pembangkit tenaga listrik arus laut juga harus memperhatikan faktor *biofouling* penempel yang berpotensi mengurangi integritas struktur. Salah satu solusi mengurangi kerusakan struktur terendam MRE tropis melalui teknologi cat *antifouling* berbasis nano teknologi domestik (Iswadi et al., 2022).

Konvensi International Maritime Organization (IMO) melarang penggunaan organotin tributyltin (TBT) yang berbahaya pada 2008 (Yebra et al., 2004) sehingga produsen cat *antifouling* beralih ke

biosida berbasis tembaga (Lagerström et al., 2020; Priyotomo, 2023) . Di sisi lain, perusahaan-perusahaan cat skala menengah dan kecil masih menggunakan cat-cat *antifouling* berbasis tembaga oksida hingga saat ini tanpa ada inovasi terbaru. Perusahaan cat skala besar mampu berinovasi mandiri karena padat modal berlisensi luar. Oleh karena itu, inovasi-inovasi terbaru dengan kemandirian nasional berteknologi nanomaterial cat maritim sangat dibutuhkan untuk men-*scale up* daya saing industri menengah dan kecil.

Ketergantungan dengan teknologi terkini luar negeri sangat dirasakan di bidang mitigasi maritim khususnya cat *antifouling* dimana teknologi berasal dari Amerika Serikat, Jepang, Belanda dan negara lainnya. Alih teknologi dibidang cat *antifouling* dirasakan kurang maksimal dan terkesan tertutup oleh perusahaan luar pemberi lisensi. Oleh karena itu, riset kelautan khususnya di bidang *engineering* harus terus dipercepat untuk menjawab kelemahan kita selama ini. Inovasi-inovasi yang ditawarkan dalam orasi ini adalah salah satu solusi terbaik saat ini dengan nilai implikasi positif antara lain peningkatan produk cat antifouling nasional berbasis logam tanah jarang dengan TKDN (Tingkat Komponen Dalam Negeri) lebih dibandingkan produk cat antifouling komersial saat ini. Implikasi lainnya peningkatan nilai manfaat logam tanah jarang sumber daya alam Indonesia khususnya cerium oksida dan Pengurangan biaya instalasi dan perawatan struktur statis dan dinamis.

Inovasi-inovasi yang dijelaskan dalam orasi ini dapat memberikan cara pandang pemerintah Indonesia khususnya Kementerian Lingkungan Hidup dan Kementerian Perhubungan tentang potensi bahaya terpendam tentang pemakaian biosida tembaga sebagai bahan utama biosida cat *antifouling* saat ini. Potensi bahaya pemakaian tembaga oksida selama puluhan tahun melalui media cat *antifouling* di perairan dapat diatur melalui regulasi yang jelas dan komprehensif melalui peraturan Direktur Jenderal Kementerian, Peraturan Menteri dan Peraturan Presiden sehingga produsen cat dan aplikator dapat

mengikuti regulasi yang dibuat pemerintah. Rekomendasi berikutnya dari hasil riset khususnya cat *antifouling* adalah diperlukan optimalisasi pemanfaatan logam tanah jarang melalui Peraturan Menteri dan Peraturan Pemerintah sebagai turunan undang undang Minerba.

Selain penjelasan diatas, inovasi-inovasi cat *antifouling* ramah lingkungan yang dilakukan akan semakin termanfaatkan secara komprehensif jika ada regulasi yang jelas dari pemerintah Indonesia tentang batas maksimum bahan logam berat terlepas ke lautan lepas dari aplikasi cat AF baik di kapal laut dan struktur statis lainnya. Regulasi saat ini masih menggunakan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tentang limbah tembaga di perairan laut, namun secara spesifik mengatur penggunaan cat *antifouling* berbasis tembaga (Lindgren et al., 2018; Priyotomo, 2023). Sehingga diperlukan perangkat hukum yang jelas ke depan.

Di Indonesia, jenis cat *antifouling* yang diaplikasikan masih berjenis SPC biosida tembaga yang murah (Priyotomo, 2023; Priyotomo et al., 2024; Priyotomo, Prifiarni, et al., 2022; Ytreberg et al., 2016). Jenis ini tidak bisa diganti karena kendala biaya mahal jika diganti teknologi terbaru dari luar negeri. Proses hilirisasi modifikasi cat *antifouling* jenis SPC berbasis ramah lingkungan berteknologi nano sangat dibutuhkan oleh para operator kapal dan nelayan-nelayan. Pendayagunaan teknologi nano aditif logam tanah jarang (LTJ) juga bisa sebagai sarana hilirisasi cat *antifouling* jenis SPC domestik. Di Indonesia, Logam tanah jarang (LTJ) merupakan salah satu dari mineral strategis dan termasuk “critical mineral” terdiri dari kumpulan dari unsur-unsur scandium (Sc), lanthanum (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodymium (Nd), promethium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy) dan lainnya. Potensi LTJ Indonesia untuk diproses menjadi oksida logam sebagai bahan baku aditif biosida ramah lingkungan dalam sistem cat *antifouling* SPC juga menjadi salah satu produk cat yang unggul dan murah.

Selama 10 tahun terakhir, salah satu tantangan terbesar menggunakan ekstrak organik sebagai korosi inhibitor adalah kelarutannya yang terbatas dalam elektrolit polar terutama pada konsentrasi yang lebih tinggi. Ekstrak organik mengalami pengendapan dalam larutan elektrolit polar khususnya pada konsentrasi ekstrak yang tinggi. Proses preparasi ekstrak organik sebagai zat anti korosi umumnya menggunakan pelarut-pelarut yang cukup toksik antara lain heksan, methanol, ethyl alkohol, dan lainnya yang dapat mempengaruhi lingkungan sekitar dan manusia itu sendiri (Alegantina, 2018; Nikitasari, Sundjono, et al., 2021; Priyotomo & Nuraini, 2016d). Tantangan berikutnya secara proses preparasi adalah sebagian besar dari ini pelarut yang cukup mahal sehingga perlu mempertimbangkan persiapan ekstrak. Di Sisi ekonomis, kegiatan riset di lembaga riset dan akademisi tidak terlalu mempermasalahkan harga pelarut-pelarut pro analisis karena jumlah ekstrak yang sedikit. Harga-harga pelarut tersebut berpotensi akan dipertimbangkan secara signifikan saat masuk dalam skala industri.

Lebih jauh lagi, di Indonesia, banyak riset dan pengembangan yang dilakukan oleh semua lembaga riset dan pengembangan di lembaga riset nasional dan universitas mengenai potensi bahan alam tumbuhan sebagai zat aktif anti korosi logam namun ada gap-gap yang masih terus dicari solusinya hingga sekarang. Gap pertama adalah molekul molekul bioaktif yang ada pada ekstrak bahan alam tidak semua memiliki sifat kemampuan inhibisi korosi sehingga belum diketahui kemampuan bioaktif secara parsial atau penuh terhadap inhibisi korosi. Sebagai tambahan, hampir 90% lebih riset di Indonesia mengenai pengembangan zat korosi alami ini masih menginvestigasi ekstrak dengan banyak turunan molekul bioaktif korosi berion dengan elektronegatif tinggi (O, N, S, dan P) tanpa tahu senyawa bioaktif mana yang berperan lebih dibandingkan senyawa lainnya (Ahmadi et al., 2017; Priyotomo, S.T., M.Si., Sumada Sitepu, et al., 2020b; Priyotomo & Nuraini, 2016d). Salah satu cara terbaik

untuk menyelesaikan masalah ini adalah melakukan isolasi senyawa di antara banyak senyawa di ekstrak tersebut.

Selanjutnya, gap eksplorasi dan pengembangan zat anti korosi berbahan alami di Indonesia adalah investigasi secara komprehensif kadar toksisitas ekstrak dimana di berbagai literatur global pun tidak didiskusikan lebih lanjut. Komisi Oslo dan Paris menerangkan bahwa salah satu syarat utama dari inhibitor korosi alami yang ideal adalah tidak ada unsur toksik bagi lingkungan sekitar dan manusia (Fazal et al., 2022). Disisi lain, hampir semua publikasi ilmiah mengenai inhibitor korosi alami khususnya di tanah air hanya menggeneralisasikan bahwa bahan-bahan alami terlapor tidak toksik dan tidak mengandung bahan logam berat tanpa investigasi setiap bahan tersebut (Priyotomo, S.T., M.Si., Sumada Sitepu, et al., 2020b)

Terlepas dari gap-gap riset khususnya eksplorasi zat inhibitor korosi tanaman tropis yang telah disebutkan diatas, hasil-hasil ekstrak zat anti korosi mempunyai potensi kedepan untuk digunakan di berbagai macam aplikasi industri di Indonesia. Potensi-potensi ekstrak anti korosi tersebut jelas harus disinergikan dengan zat-zat yang serupa sehingga meningkatkan nilai efisiensi hambatan korosi (Nikitasari et al., 2023; Priyotomo & Nuraini, 2016d; Simanjuntak et al., 2020).

Di Indonesia, potensi hilirisasi dan implementasi hasil riset inhibitor korosi berbasis sumber daya alam hayati darat dan lautan terbuka bagi para produsen inhibitor nasional dimana sumber mentah zat aktif korosi sangat berlimpah di negara Indonesia khususnya zat antioksidan turunan fenol (Nikitasari et al., 2023; Priyotomo, Prayoga, et al., 2021; Priyotomo & Nuraini, 2016b). Salah satu contoh konkret hilirisasi adalah proses sintesis produk asam karboksilat dari tanaman dimungkinkan diimbuhkan ke dalam sistem inhibitor berbasis ramah lingkungan. Disisi lain, proses hilirisasi produk inhibitor korosi alami dengan teknologi murah juga bisa dilakukan melalui

kerjasama produsen atau pengelola lahan tanaman dan industri kecil dan menengah untuk mendapatkan ekstrak segar zat aktif anti korosi. Pembuatan sistem inhibitor komersial melalui metode campuran komponen zat aktif ekstrak tanaman dan zat-zat generik lainnya juga dapat dilakukan dalam rangka diversifikasi produk turunan sumber daya alam hayati darat dan lautan.

Oleh karena itu, implikasi riset inhibitor korosi alami adalah optimalisasi pemanfaatan sumber daya alam Indonesia berlimpah khususnya vegetasi alami terestrial dan kelautan. Selanjutnya, peningkatan nilai tambah dan diversifikasi produk tanaman. Peningkatan hasil produk tanaman tidak hanya di bidang medis, pangan dan kosmetik, namun bermanfaat di bidang keteknikan. Implikasi lainnya juga adalah meminimalisasi potensi kerusakan lingkungan akibat inhibitor korosi komersial yang kurang ramah lingkungan di bidang bidang industri dan lainnya.

V. KESIMPULAN

Saat ini, di dunia, tren riset-riset korosi terbaru berfokus kepada teknologi material ramah lingkungan bidang korosi logam sebagai bagian ilmu Metalurgi dimana sebagai faktor pendukung keberlanjutan pembangunan struktur nasional baik di bidang energi, maritim dan lainnya. Di Indonesia, teknologi mitigasi korosi difokuskan pada inhibitor korosi berbahan zat alami dari sumber daya hayati di wilayah daratan dan lautan. Eksplorasi sumber daya hayati sebagai awalan proses substitusi bahan ramah lingkungan sebagai zat aktif alami inhibitor korosi kedepan dimana pengembangan biosida alami baik organik dan anorganik juga terus dikembangkan untuk menggantikan biosida generic Cu_2O di sistem cat *antifouling*. Kedua kegiatan riset tersebut merupakan *highlight* untuk memberikan umpan kegiatan riset dan pengembangan selanjutnya dalam rangka program pembangunan berkelanjutan melalui aspek perpanjangan umur pakai dan efisiensi biaya pemeliharaan disemua struktur terpasang.

Hasil riset cat *antifouling* yang dilakukan di pulau Jawa dan Bali mencerminkan bahwa pengembangan cat *antifouling* tidak bisa disamakan setiap daerah perairan walaupun dalam lingkup iklim yang sama. Parameter fisik dan kimia perairan laut masing masing daerah tersebut yang berbeda-beda dan dinamis menciptakan pertumbuhan *biofouling* yang berbeda. Perbedaan parameter air laut disetiap wilayah dapat mengubah kemampuan inhibisi cat *antifouling* terpasang di struktur yang menyebabkan umur pakai struktur akan menurun. Umur pakai struktur maritim juga mempertimbangkan kondisi atmosfer dimana parameter cuaca dan iklim dapat menurunkan umur pakai struktur. Implementasi dan hilirisasi produk cat AF sebagai hasil inovasi anak bangsa ini sangat besar dapat dilakukan karena pembuatan cat yang mudah, ekonomis dan ramah lingkungan.

Keberlanjutan menjaga integritas struktur juga dilakukan melalui teknologi mitigasi dengan highlight *green technology* dimana eksplorasi bahan-bahan alami secara masif terus dilakukan oleh para ahli korosi di Indonesia di masa depan. Para ahli korosi telah menemukan teknologi kunci dalam memproses senyawa – senyawa potensial sebagai zat aktif penghambat proses korosi logam dan paduan baik logam berjenis besi dan non besi di semua lingkungan korosif. Di masa depan, teknologi hijau melalui mitigasi inhibitor korosi berbasis ekstrak hayati terus mengalami perkembangan yang pesat di semua lembaga riset dan akademisi dikarenakan berlimpahnya sumber daya alam tanah air.

VI. PENUTUP

Perkembangan riset khususnya teknologi mitigasi dengan mengedepankan teknologi hijau (*green technology*) ramah lingkungan dimana eksplorasi bahan-bahan alami secara masif terus dikembangkan oleh para periset dan akademis di Indonesia hingga diproyeksikan 5–10 tahun kedepan dikarenakan sumber daya alam hayati berlimpah di darat dan perairan laut. Disamping kelebihan dari zat aktif anti korosi yang terkandung ekstrak sumber hayati di Indonesia, ternyata banyak tantangan- tantangan yang dihadapi oleh para periset dan akademis agar ekstrak lebih mudah diaplikasikan. Salah satu tantangan terbesar yang masih dihadapi oleh kita adalah keterbatasan kelarutan dalam larutan elektrolit polar terutama pada konsentrasi yang lebih tinggi. Tantangan berikutnya adalah preparasi ekstrak yang cukup panjang prosesnya. Disisi lain, pembuatan ekstrak organik umumnya menggunakan pelarut beracun yang dapat memberikan potensi buruk terhadap lingkungan antara lain tanah dan perairan setelah limbah sisa proses tersebut dibuang misalnya pelarut ethanol, methanol, iso-propanol dan lainnya. Terlebih lagi, jika produk inhibitor korosi alami dibuat secara skala produksi, ini menjadi potensi isu lingkungan yang baru di Indonesia. Tantangan berikutnya adalah sebagian besar harga pelarut-pelarut ini mahal sehingga harus diperhatikan dalam persediaan ekstrak.

Lebih jauh lagi, berbagai tantangan dalam riset dan pengembangan inhibitor korosi berbahan hayati juga nampak melalui keterbatasan proses dan karakter bahan-bahan alami di Indonesia. Keterbatasan bahan-bahan alami adalah keberlanjutan kinerja inhibisi korosi setelah waktu hingga 1 bulan. Keterbatasan selanjutnya adalah umur pakai inhibitor korosi alami. Umumnya bahan-bahan tersebut sangat mudah terurai secara hayati, maka sulit untuk menyimpannya dalam waktu

lama. Namun, terlepas dari semua tantangan yang ada yang disebutkan di atas, inhibitor korosi ramah lingkungan masih merupakan alternatif yang paling menjanjikan karena umumnya disintesis dari produk alami yang pada gilirannya meningkatkan ketersediaan dan efektivitas biaya di Indonesia. Di tanah air, salah satu kemudahan para periset dan akademis nantinya dalam pengembangan inhibitor korosi alami adalah sumber daya alam hayati yang berlimpah dan beraneka ragam dimana hampir semua zat aktif bersifat antioksidan bisa digunakan sebagai zat anti korosi. Di Indonesia, pengembangan cat *antifouling* ramah lingkungan dapat diperkuat melalui riset di berbagai disiplin keilmuan antara lain material, kimia dan lingkungan dimana sama halnya dengan pengembangan inhibitor korosi ramah lingkungan.

Lebih jauh lagi, Salah satu solusi menjawab tantangan keilmuan korosi perairan laut, atmosfer laut dan mitigasi korosi melalui inhibitor korosi ramah lingkungan melalui pengetahuan dasar yang mendalam dan kemampuan pemodelan serta, alat pemodelan yang mudah digunakan, dan model prediktif jangka panjang untuk mengembangkan solusi yang membantu mengurangi biaya perlindungan korosi pada struktur dan objek yang terpapar atmosfer, perairan laut dan daratan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT. yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga naskah orasi ilmiah ini dapat diselesaikan dengan baik. Semoga dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang korosi dan teknologi mitigasi.

Dalam kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia, Bapak Jenderal TNI (Purn) Prabowo Subianto dan Presiden Republik Indonesia ke-7 Ir. H. Joko Widodo atas amanat dan penugasan saya sebagai peneliti ahli utama di BRIN; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc. ; Wakil Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., DESD., IPU., ASEAN. Eng. ; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Dr. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D.; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc.; Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah, Prof. Dr. Ratno Nuryadi, M. Eng.; Prof. Dr. Efendi ; Prof. Dr. Rike Yudianti; Dr. Ika Kartika, S.T., M.T.; Prof. Dr. Nurul Taufiqu Rochman, M. Eng; dan Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi Mudaryoto, DEA ; Sekretaris Utama BRIN, Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.IP., M.A.; Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia, Ratih Retno Wulandari, S.Sos., M.Si. atas dukungannya dalam penyelesaian naskah orasi ilmiah ini. Ucapan Terima kasih juga kepada panitia pelaksana Pengukuhan Profesor Riset; serta pihak-pihak lain yang berkenaan dengan penyelesaian naskah orasi ilmiah ini.

Dalam menjalani pendidikan, tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada guru-guru SD, SMP, dan SMA yang telah membimbing dalam menempuh pendidikan dasar. Ucapan terima kasih kepada Dr.

Ir. Andi Rustandi, M.T (alm); Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi M. Soedarsono, DEA yang telah membimbing penulis sampai jenjang S1 dan S2 di Fakultas Teknik, Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Prof. Rokuro Nishimura; Prof. Takayuki Takasugi; Dr. Kenji Okitsu, Dr. Akihiro Iwase, Dr. Yasuyuki Kaneno merupakan para pembimbing dalam menyelesaikan studi S3 di *The Division of Engineering, the Graduate School of Osaka Prefecture University*. Rekan-rekan seperjuangan di lab penulisium rekayasa permukaan yang berasal dari negara Tiongkok, Nepal dan Jepang saat studi S3. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para pembimbing senior di Pusat Riset Metalurgi-BRIN antara lain Drs. Sundjono (alm); Prof. Rudi Subagja; Prof. Dr. Ing. Andika Widya Pramono; Prof. Dr. Efendi; Prof. Dr. Ir. Florentinus Firdiyono; Drs. Iing Musalam; Ronald Nasoetion, MT ; Dr. Ika Kartika atas dukungan dan bimbingan selama ini dalam meniti karir sebagai Peneliti. Ucapan terima kasih disampaikan kepada rekan-rekan tim Kelompok Riset Korosi dan Teknologi Mitigasi, Pusat Riset Metalurgi-BRIN

Penulis menghaturkan sungkem dan terima kasih kepada kedua orang tua, Bapak Prof. Drs. Daliyo, M.Sc. (alm) dan Ibu Sri Pujiastuti, Sm. Hk yang telah membimbing, mendidik, dan memberikan doa atas pencapaian penulis selama ini. Untuk istriku, Aan Royani, dan anakku, Salwaa Salsabila Utami dan Helmi Prasetyo Utomo, terima kasih atas kesabaran, dukungan, dan doanya untuk Bapak dalam meniti karir sebagai Periset. Untuk adik-adikku, Dadyo Satriyotomo dan Muhammad Pandutomo terima kasih atas dukungan dan doanya. Terakhir diucapkan terima kasih kepada semua teman lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, M. Z. Z., Rodhi, M. N. M., Hamzah, F., & Ghazali, N. A. (2021). Assessing biofouling in Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) power plant – A review. *Journal of Physics: Conference Series*, 2053(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2053/1/012011>
- Ahmadi, R. N., Oediyani, S., & **Priyotomo, G.** (2017). Pengaruh Penambahan Inhibitor Ekstrak Tembakau Terhadap Laju Korosi Internal Pipa API 5L X-52 Pada Artificial Brine Water Dengan Injeksi Gas CO₂ [Effect of Addition of Extracted Tobacco Inhibitor to The Corrosion Rate of Internal Steel Pipe API 5L X-52 in Artificial Brine Water With CO₂ Gas Injection]. *Metalurgi*, 31(3). <https://doi.org/10.14203/metalurgi.v31i3.164>
- Alegantina, S. (2018). Penetapan Kadar Nikotin dan Karakteristik Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana tabacum* L.). *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pelayanan Kesehatan*. <https://doi.org/10.22435/jpppk.v1i2.509>
- Almeida, E., Diamantino, T. C., & de Sousa, O. (2007). Marine paints: The particular case of antifouling paints. In *Progress in Organic Coatings* (Vol. 59, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2007.01.017>
- Amal, M. I., Wibowo, J. T., Nuraini, L., Senopati, G., Hasbi, M. Y., & **Priyotomo, G.** (2019). Antibacterial activity of copper oxide nanoparticles prepared by mechanical milling. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 578(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/578/1/012039>
- Ayende, A., Rustandi, A., Soedarsono, J. W., Priadi, D., Sulistijono, Suprpta, D. N., **Priyotomo, G.**, & Bakri, R. (2014a). Interaction of purple sweet potato extract with ascorbic acid in FeCl₃ solution.

Applied Mechanics and Materials, 680. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.680.32>

- Ayende, Rustandi, A., Soedarsono, J. W., Priadi, D., Sulistijono, Suprpta, D. N., **Priyotomo, G.**, & Bakri, R. (2014b). Effects of Purple Sweet Potato Extract Addition in Ascorbic Acid Inhibitor to Corrosion Rate of API 5L Steel in 3.5%NaCl Environment. *Applied Mechanics and Materials*, 709. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.709.384>
- Azemar, F., Faÿ, F., Réhel, K., & Linossier, I. (2015). Development of hybrid antifouling paints. *Progress in Organic Coatings*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.04.007>
- Budiarso, F. S., Elya, B., Hanafi, M., & Forestrania, R. C. (2020). The potential of stem bark of kayu sarampa (*Xylocarpus moluccensis* (Lam.) M. Roen)) as α -glucosidase inhibitor. *Pharmacognosy Journal*, 12(6). <https://doi.org/10.5530/PJ.2020.12.189>
- Danarto, W. P. (2022). Adaptasi perubahan iklim melalui pemetaan ekosistem mangrove partisipatif berbasis komunitas di kota semarang. *Jurnal Wilayah, Kota Dan Lingkungan Berkelanjutan (Jiwikal)*, 1(2).
- de Oliveira, D. D., Silva, E. de S., Pereira, S. S., Lopes, A. P., Swan, L., Costa, B. S., Ventura, M., & Fernandez, M. A. dos S. (2019). Monitoring vessel traffic in Rio de Janeiro port area: Control of marine antifouling regulations. *Ocean and Coastal Management*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104997>
- EN ISO 12944-2:2017. (2017). Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems —Part 2: Classification of environments. *European Committee for Standardization, CEN*.
- Ervina, M. N., & Mulyono, Y. (2019). Etnobotani Meniran Hijau (*Phyllanthus ninuri* L) Sebagai Potensi Obat Kayap Ular (Herpes Zoster) dalam Tradisi Suku Dayak Ngaju. *Jurnal Jejaring*

Matematika Dan Sains, 1(1). <https://doi.org/10.36873/jjms.v1i1.134>

- Fazal, B. R., Becker, T., Kinsella, B., & Lepkova, K. (2022). A review of plant extracts as green corrosion inhibitors for CO₂ corrosion of carbon steel. In *npj Materials Degradation* (Vol. 6, Issue 1). <https://doi.org/10.1038/s41529-021-00201-5>
- Fitri, K., Astuti, S. P., Jupri, A., & Faturrahman, F. (2022). In Vitro Evaluation of Seagrass Extracts as a Prevention of Microfouling Formation. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(4), 1098–1107. <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i4.4097>
- Habashi, F. (2003). History of corrosion research. *CIM Bulletin*, 96(1067), 88–94.
- Hasim, H., Arifin, Y. Y., Andrianto, D., & Faridah, D. N. (2019). Ekstrak Etanol Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi*) sebagai Antioksidan dan Antiinflamasi. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 8(3). <https://doi.org/10.17728/jatp.4201>
- Hu, P., Xie, Q., Ma, C., & Zhang, G. (2020). Silicone-Based Fouling-Release Coatings for Marine Antifouling. *Langmuir*, 36(9), 2170–2183. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.9b03926>
- ISO. (2012). Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification, determination and estimation. *ISO FDIS*, 13B.
- Iswadi, A., Porter, J. S., Bell, M. C., Garniati, L., Harris, R. E., & **Priyotomo, G.** (2022). Establishing an Agenda for Biofouling Research for the Development of the Marine Renewable Energy Industry in Indonesia. In *Journal of Marine Science and Engineering* (Vol. 10, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/jmse10030384>
- Iswadi, A., & **Priyotomo, G.** (2020). Biofouling dan Korosi pada Infrastruktur Energi Laut di Indonesia: Analisis Bibliometrik. *Jurnal Ilmiah Giga*, 23(2). <https://doi.org/10.47313/jig.v23i2.924>

- Jafar Mazumder, M. A. (2020). Global Impact of Corrosion: Occurrence, Cost and Mitigation. *Global Journal of Engineering Sciences*, 5(4), 0–4. <https://doi.org/10.33552/gjes.2020.05.000618>
- Jaramillo Isaza, F., Castaño, J. G., & Echeverría Echeverría, F. (2011). Field study of experimental antifouling paint formulations. *DYNA (Colombia)*, 78(170).
- Jorcin, J.-B., Blanc, C., Pébère, N., Tribollet, B., & Vivier, V. (2008). Galvanic Coupling Between Pure Copper and Pure Aluminum. *Journal of The Electrochemical Society*, 155(1). <https://doi.org/10.1149/1.2803506>
- Julistiono, H., Hidayati, Y., Yulsaini, N., Nditasari, A., Dinoto, A., Sundjono, Nuraini, L., **Priyotomo, G.**, & Gunawan, H. (2018). Identification of biofilm-forming bacteria from steel panels exposed in sea waters of Jakarta Bay and Madura Strait. *AIP Conference Proceedings*, 2002. <https://doi.org/10.1063/1.5050125>
- Kaban, A. P. S., Ridhova, A., **Priyotomo, G.**, Elya, B., Maksum, A., Sadeli, Y., Sutopo, Aditiyawarman, T., Riastuti, R., & Soedarsono, J. W. (2021). DEVELOPMENT OF WHITE TEA EXTRACT AS GREEN CORROSION INHIBITOR IN MILD STEEL UNDER 1 M HYDROCHLORIC ACID SOLUTION. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(6–110). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224435>
- Kassim, M. J., & Wei, T. K. (2012). Plants Polyphenols: An Alternative Source for Green Corrosion Inhibitor. *The Proceedings of 2nd Annual International Conference Syiah Kuala University 2012 & 8th IMT-GT Uninet Biosciences Conference*, 2(2), 22–24.
- Kesavan, D., Gopiraman, M., & Sulochana, N. (2012). Green Inhibitors for Corrosion of Metals : A Review Correspondence : *Chemical Science Review and Letters*, 1(1).
- Lagerström, M., Ytreberg, E., Wiklund, A. K. E., & Granhag, L. (2020). Antifouling paints leach copper in excess – study of metal release

- rates and efficacy along a salinity gradient. *Water Research*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116383>
- Lee, J. A., Marsden, I. D., & Glover, C. N. (2010). The influence of salinity on copper accumulation and its toxic effects in estuarine animals with differing osmoregulatory strategies. *Aquatic Toxicology*, 99(1). <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.04.006>
- Lestari, Y., & **Priyotomo, G.** (2018). Corrosion resistance of API 5L grade B steel with taro leaf (*Colocasia esculenta*) addition as corrosion inhibitor in HCl 0.1 M. *AIP Conference Proceedings*, 1964. <https://doi.org/10.1063/1.5038313>
- Lindgren, J. F., Ytreberg, E., Holmqvist, A., Dahlström, M., Dahl, P., Berglin, M., Wrangé, A. L., & Dahlström, M. (2018). Copper release rate needed to inhibit fouling on the west coast of Sweden and control of copper release using zinc oxide. *Biofouling*, 34(4), 453–463. <https://doi.org/10.1080/08927014.2018.1463523>
- Liu, C. (2015). Development of Anti-fouling Coating Using in Marine Environment. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(5). <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150305.30>
- Maddinsyah, A., Kustini, E., & Syakhrial, S. (2018). Penyuluhan Manajemen Pemanfaatan Sumber Daya Alam Untuk Meningkatkan Perekonomian Keluarga Kampung Ciboleger Lebak - Banten. *Jurnal Pengabdian Dharma Laksana*, 1(1), 71–80.
- Nikitasari, A., Astuti, I. M., Musabikha, S., Kusumastuti, R., Prifiharni, S., & **Priyotomo, G.** (2023). Chasew (*Anacardium Occidentale*) Leaves Extract as Green Corrosion Inhibitor of API 5L X52 in Acidic Media. *Trends in Sciences*, 20(7). <https://doi.org/10.48048/tis.2023.4733>
- Nikitasari, A., **Priyotomo, G.**, Prifiharni, S., Musabikha, S., Kusumastuti, R., Triwardono, J., Lotulung, P. D. N., Bahtiar, S., Yanuar, E., Suhaimi, L., Desiasni, R., & Widyawati, F. (2024). *Anti-corrosion inhibition of API 5L in hydrochloric acid solution*

by ethanol extract of *Phyllanthus niruri* leaf. 1, 1–20. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2024-13-1-1>

- Nikitasari, A., **Priyotomo, G.**, Royani, A., & Sundjono. (2021). Corrosion resistance comparison of various carbon steel in inlet water of heat exchanger's Kujang ammonia plant. *AIP Conference Proceedings*, 2382. <https://doi.org/10.1063/5.0060004>
- Nikitasari, A., Sundjono, **Priyotomo, G.**, & Royani, A. (2021). Sargassum seaweed extract as a novel green corrosion inhibitor for API-5L carbon steel. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 10(4). <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2021-10-4-20>
- Nuraini, L., Prifiharni, S., **Priyotomo, G.**, & Sundjono. (2017). The corrosivity and performance evaluation of antifouling paint exposed in seawater Muara Baru Port, Jakarta. *Journal of Physics: Conference Series*, 817. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/817/1/012068>
- Nuraini, L., Prifiharni, S., **Priyotomo, G.**, Sundjono, & Gunawan, H. (2017). Evaluation of anticorrosion and antifouling paint performance after exposure under seawater Surabaya-Madura (Suramadu) bridge. *AIP Conference Proceedings*, 1823. <https://doi.org/10.1063/1.4978174>
- Nuraini, L., Prifiharni, S., **Priyotomo, G.**, Sundjono, Gunawan, H., & Purawardi, I. (2018). Atmospheric corrosion performance of different steels in early exposure in the coastal area region West Java, Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 1964. <https://doi.org/10.1063/1.5038322>
- Nuraini, L., **Priyotomo, G.**, & Nasoetion, R. (2016). Studi Inhibitor Korosi Berbasis Imidazoline Salt Pada Brine Water Di Pipa Penyalur Minyak Mentah. *Metalurgi*, 2.
- ono, S., **Priyotomo, G.**, & Nuraini, L. (2017). The Selection of Magnesium alloys as Sacrificial Anode for the Cathodic Protection of Underground Steel Structure. *International Journal*

of Engineering Trends and Technology, 51(2), 78–82. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v51p214>

- Prifiharni, S., Mashanafie, G., **Priyotomo, G.**, Royani, A., Ridhova, A., Elya, B., & Soedarsono, J. W. (2022). Extract sarampa wood (*Xylocarpus Moluccensis*) as an eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in HCl 1M. *Journal of the Indian Chemical Society*, 99(7). <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100520>
- Prifiharni, S., Nuraini, L., **Priyotomo, G.**, Sundjono, Gunawan, H., & Purawiardi, I. (2018). Corrosion performance of steel and galvanized steel in Karangsang and Limbangan sea water environment. *AIP Conference Proceedings*, 1964. <https://doi.org/10.1063/1.5038320>
- Prifiharni, S., Nuraini, L., **Priyotomo, G.**, Triwardono, J., Sundjono, Gunawan, H., & Mudaryoto, J. W. (2021). The investigation of antifouling paint efficacy after long exposure in the Gulf of Benoa, Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 2382. <https://doi.org/10.1063/5.0061202>
- Prifiharni, S., Sabilla, A. R., **Priyotomo, G.**, Nikitasari, A., Kusumastuti, R., Musabikha, S., Hakim, R. N., Dwiyantri, Y., & Kambuna, B. (2024). Electrochemical analysis of corrosion inhibition shallot leaf (*Allium cepa*) extract on mild steel in acidic medium at different immersion times. *Zastita Materijala*, 65(1), 35–44. <https://doi.org/10.62638/zasmat1006>
- Priyotomo, S.T., M.Si., G.**, Prifiharni, S., Nuraini, L., Royani, A., Sunjono, S., & Gunawan, H. (2020). PERILAKU KOROSI ATMOSFER BAJA GALVANIS SETELAH EKSPOS SINGKAT DI PELABUHAN RATU, JAWA BARAT. *Widyariset*, 5(1). <https://doi.org/10.14203/widyariset.5.1.2019.37-46>
- Priyotomo, S.T., M.Si., G.**, Sumada Sitepu, H., & Dwiyantri, Y. (2020a). Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Talas Terhadap Laju Korosi Pada Baja Api 5L X-52 Dengan Media Korosif H₂SO₄ 0,5 M. *Widyariset*, 5(1), 30. <https://doi.org/10.14203/widyariset.5.1.2019.30-36>

- Priyotomo, S.T., M.Si., G.,** Sumada Sitepu, H., & Dwiyaniti, Y. (2020b). Pengaruh penambahan konsentrasi inhibitor ekstrak daun talas terhadap laju korosi pada baja API 5L X-52 dengan media korosif H_2SO_4 0.5 M. *Widyariset*, 5(1). <https://doi.org/10.14203/widyariset.5.1.2019.30-36>
- Priyotomo, G.** (2018a). A Short Review of Antifouling Paint Performance in Tropical Seawater of Indonesia. *Research & Development in Material Science*, 8(4). <https://doi.org/10.31031/rdms.2018.08.000695>
- Priyotomo, G.** (2018b). A Study on Dimocarpus longan Peel as Corrosion Inhibitor on Steel in Artificial Brine Solutions. *Research & Development in Material Science*, 6(2). <https://doi.org/10.31031/rdms.2018.06.000631>
- Priyotomo, G.** (2020a). Deteksi Proses Korosi Pada Baja Dengan Menggunakan Lapisan Akrilik Termodifikasi Phenolphthalein. *Jurnal Teknik Mesin Cakram*, 3(2), 55. <https://doi.org/10.32493/jtc.v3i2.7518>
- Priyotomo, G.** (2020b). Pelepasan Logam Peralatan Masak Stainless Steel dalam Larutan Simulasi Asam dan Garam. *Jurnal Agroindustri Halal*, 6(2), 217–227. <https://doi.org/10.30997/jah.v6i2.2680>
- Priyotomo, G.** (2022). The behavior of metal release on 430 stainless steel cookware in citric acid solution by cyclic method. *AIP Conference Proceedings*, 2561. <https://doi.org/10.1063/5.0113749>
- Priyotomo, G.** (2023). *Ulasan : Performa Cat Antibiotika Terhadap Pertumbuhan Biofouling Penempel Struktur di Perairan Laut Indonesia*. 7(3), 345–354.
- Priyotomo, G., & Gede Putrayasa Astawa, I. N.** (2014). The effect of Fe-enrich phase on the pitting corrosion resistance of Al alloy in various neutral sodium chloride solutions. *International Journal of Science and Engineering*, 7(2). <https://doi.org/10.12777/ijse.7.2.143-149>

- Priyotomo, G., & Nuraini, L.** (2016a). Studi awal potensi daun belimbing wuluh sebagai inhibitor korosi pada baja karbon di larutan asam klorida. *Prosiding Semnastek, November*.
- Priyotomo, G., & Nuraini, L.** (2016b). Studi awal potensi daun belimbing wuluh sebagai inhibitor korosi pada baja karbon di larutan asam klorida. *Prosiding Semnastek, 236*(November), 1–8. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/811>
- Priyotomo, G., & Nuraini, L.** (2016c). Studi awal potensi daun belimbing wuluh sebagai inhibitor korosi pada baja karbon di larutan asam klorida. *Prosiding Semnastek, November*, 1–8. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/811>
- Priyotomo, G., & Nuraini, L.** (2016d). Studi Awal Potensi Limbah Organik Kulit Buah Kelengkeng Sebagai Inhibitor Korosi Alami pada Baja karbon di Media Larutan Asam Klorida. *Prosiding Semnastek, November*, 1–8. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/811>
- Priyotomo, G., Nuraini, L., Gunawan, H., Triwardono, J., Sundjono, S., & Prifiarni, S.** (2021). A Preliminary field study of antifouling paint performance after short exposure in Mandara Bali, Indonesia. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 34(4). <https://doi.org/10.5829/ije.2021.34.04a.24>
- Priyotomo, G., Nuraini, L., & Kaneno, Y.** (2015). The effect of pH on the corrosion behavior of intermetallic compounds Ni₃(Si,Ti) and Ni₃(Si,Ti) + 2Mo in sodium chloride solutions. *AIP Conference Proceedings*, 1699. <https://doi.org/10.1063/1.4938332>
- Priyotomo, G., Nuraini, L., Prifiarni, S., Royani, A., Sundjono, Gunawan, H., & Zheng, M.** (2020). Atmospheric corrosion behavior of carbon steel and galvanized steel after exposure in eretan and ciwaringin, West Java Province, Indonesia. *Indonesian Journal of Chemistry*, 20(5). <https://doi.org/10.22146/ijc.46755>
- Priyotomo, G., Nuraini, L., Prifiarni, S., & Sundjono, S.** (2018). Corrosion Behavior of Mild Steel in Seawater from Karangsong

& Eretan of West Java Region, Indonesia. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 11(2). <https://doi.org/10.21107/jk.v11i2.4335>

Priyotomo, G., Nurarista, T. E. S., Dwiyantri, Y., Kambuna, B. N. H., Nikitasari, A., Prifiarni, S., & Sundjono. (2022). Corrosion Inhibition of Carbon Steel in Sulfuric Acid Using Cymbopogon citratus as a Green Corrosion Inhibitor. *Corrosion Science and Technology*, 21(6). <https://doi.org/10.14773/CST.2022.21.6.423>

Priyotomo, G., Prayoga, O. M., Dwiyantri, Y., & Oediyani, S. (2021). The Potency Of Grass Jelly Extract As Corrosion Inhibitor On Steel In Hydrochloric Acid Solution. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 28(5).

Priyotomo, G., Prifiarni, S., Nikitasari, A., Musabikha, S., Kusumastuti, R., Nuraini, L., Triwardono, J., Nugraha, H., Prasetyo, A. B., & Julistiono, H. (2024). Investigation of Antifouling Paints for Vessel in Tropical Seawater of North Jakarta in Indonesia. *International Journal of Engineering Transactions C: Aspects*, 37(1), 167–177. <https://doi.org/10.5829/IJE.2024.37.01A.15>

Priyotomo, G., Prifiarni, S., Nuraini, L., Royani, A., Sundjono, & Gunawan, H. (2022). The Performance of Antifouling Paint for Prolonged Exposure in Madura Strait, East Java Province, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 12(2). <https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.2.10253>

Priyotomo, G., Prifiarni, S., Nuraini, L., Sundjono, S., & Purawardi, I. (2019). Korosi baja di Muara Baru Jakarta dengan simulasi pasang surut uji wet-dry. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 12(1). <https://doi.org/10.21107/jk.v12i1.4800>

Priyotomo, G., Prifiarni, S., Nuraini, L., Triwardono, J., Royani, A., Sundjono, Purawardi, I., & Gunawan, H. (2021). A field study of atmospheric corrosion of carbon steel after short exposure in

pelabuhan ratu, west java province, indonesia. *Walailak Journal of Science and Technology*, 18(17). <https://doi.org/10.48048/wjst.2021.9667>

Priyotomo, G., Putrayasa, I. N. G., & Nuraini, L. (2017). Preliminary Study on Dimocarpus Longan Peel as Inhibitors for the Pitting Corrosion of 5052-O and 6061-O Aluminium Alloys in Artificial Brine Solution. *International Journal of Engineering Research*, 6(10). <https://doi.org/10.5958/2319-6890.2017.00057.5>

Putra Perdana Ahmad Saifulloh, & Charles Simabura. (2023). Penataan Lembaga Pengamanan dan Penegakan Hukum Berdasarkan Cita Hukum Pancasila (Organization Of Marine Safeguarding and Law Enforcement Institutions Based on The Pancasila Legal Image). *Jurnal Rechts Vinding Media Pembinaan Hukum Nasional*, 12(3), 395.

Royani, A., Hanafi, M., Mubarak, N. M., **Priyotomo, G.**, Aigbodion, V. S., Musabikha, S., & Manaf, A. (2024). Unveiling green corrosion inhibitor of Aloe vera extracts for API 5L steel in seawater environment. *Scientific Reports*, 1–20. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64715-z>

Royani, A., Prifiharni, S., Nuraini, L., **Priyotomo, G.**, Sundjono, Purawiardi, I., & Gunawan, H. (2019). Corrosion of carbon steel after exposure in the river of Sukabumi, West Java. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 541(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/541/1/012031>

Royani, A., **Priyotomo, G.**, Gunawan, H., Triwardono, J., Nuraini, L., Prifiharni, S., Nugraha, H., Sugiarti, S., & Sundjono, S. (2020). Studi Korosi Baja Galvanis Melalui Perlakuan Ekspos Di Lingkungan Perairan Sungai Cidaho - Sukabumi. *TEKNIK*, 41(1). <https://doi.org/10.14710/teknik.v41i1.24709>

Salleh, N. I. H., & Abdullah, A. (2019). Corrosion inhibition of carbon steel using palm oil leaves extract. *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(3), 747–752. <https://doi.org/10.22146/ijc.39707>

- Santi, I. W., Radjasa, O. K., & Widowati, I. (2014). Potensi Rumput Laut *Sargassum duplicatum* Sebagai Sumber Senyawa Antifouling. *Journal of Marine Research*, 3(3), 274–284. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jmr%0APOTENSI>
- Science, E. (2024). *The Advantages and Challenges of Carbon Fiber Reinforced Polymers for Tidal Current Turbine Systems - An Overview*. *The Advantages and Challenges of Carbon Fiber Reinforced Polymers for Tidal Current Turbine Systems – An Overview*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1298/1/012029>
- Shehata, O. S., Korshed, L. A., & Attia, A. (2018). Green Corrosion Inhibitors, Past, Present, and Future. In *Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72753>
- Simanjuntak, A. R., Antara, I. N. G., Budiarsa, I. N., **Priyotomo, G.**, Royani, A., Nikitasari, A., Studi, P., Mesin, T., Udayana, U., & Bukit, K. (2020). *Inhibitor Alami Ekstrak Kulit Buah Naga Pada Material Baja Api 5l Setelah Perlakuan Panas*. 9(4).
- Sugandhy, A. (2001). Potensisumber Daya Hayati Sebagai Penunjang. *Berita Biologi*, 5, 461–467.
- Sundjono, S., **Priyotomo, G.**, Nuraini, L., & Prifiharni, S. (2017). Corrosion behavior of mild steel in seawater from northern coast of java and southern coast of Bali, Indonesia. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 49(6). <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.6.5>
- Valdez, B., Ramirez, J., Eliezer, A., Schorr, M., Ramos, R., & Salinas, R. (2016). Corrosion assessment of infrastructure assets in coastal seas. *Journal of Marine Engineering and Technology*, 15(3), 124–134. <https://doi.org/10.1080/20464177.2016.1247635>
- Widyasanti, A., Rohdiana, D., & Ekatama, N. (2016). Aktivitas antioksidan ekstrak teh putih (*Camellia sinensis*) dengan metode DPPH (2,2 Difenil-1-Pikrilhidrazil). *Fortech*, 1(1).

- Yebra, D. M., Kiil, S., & Dam-Johansen, K. (2004). Antifouling technology - Past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. In *Progress in Organic Coatings* (Vol. 50, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2003.06.001>
- Ytreberg, E., Bighiu, M. A., Lundgren, L., & Eklund, B. (2016). XRF measurements of tin, copper and zinc in antifouling paints coated on leisure boats. *Environmental Pollution*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.029>
- Zhu, H. W., Zhang, J. N., Su, P., Liu, T., He, C., Feng, D., & Wang, H. (2020). Strong adhesion of poly(vinyl alcohol)-glycerol hydrogels onto metal substrates for marine antifouling applications. *Soft Matter*, 16(3), 709–717. <https://doi.org/10.1039/c9sm01413f>

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Bagian dari Buku Internasional

1. Prifiharni S, Nikitasari A, Musabikha S, Kusumastuti R, **Priyotomo G**. Phytochemicals/Plant Extract as Corrosion Inhibitor for Aluminum in H_2SO_4 Solutions. In: *Phytochemistry in Corrosion Science: Plant Extracts and Phytochemicals as Corrosion Inhibitors*. 2024. ISBN: 978-10033-9463-1
2. Siti Musabikha, Rahayu Kusumastuti, Arini Nikitasari, Siska Prifiharni, **Gadang Priyotomo**. Challenges and Advantages. In: *Biopolymers in Sustainable Corrosion Inhibition*. 2024. CRC Press. ISBN: 978-10034-0005-9

Jurnal Internasional

3. **Priyotomo G**, Prifiharni S, Nikitasari A, Musabikha S, Kusumastuti R, Nuraini L, *et al.* Investigation of Antifouling Paints for Vessel in Tropical Seawater of North Jakarta in Indonesia. *Int J Eng Trans C Asp*. 2024;37(1):167–77.
4. Nikitasari A, **Priyotomo G**, Prifiharni S, Musabikha S, Kusumastuti R, Triwardono J, *et al.* Anti-corrosion inhibition of API 5L in hydrochloric acid solution by ethanol extract of *Phyllanthus niruri* leaf. 2024;(1):1–20.
5. Royani A, Hanafi M, Mubarak NM, **Priyotomo G**, Aigbodion VS, Musabikha S, *et al.* Unveiling green corrosion inhibitor of Aloe vera extracts for API 5L steel in seawater environment. *Sci Rep* [Internet]. 2024;1–20. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64715-z>
6. Prifiharni S, Sabilla AR, **Priyotomo G**, Nikitasari A, Kusumastuti R, Musabikha S, *et al.* Electrochemical analysis of corrosion inhibition shallot leaf (*Allium cepa*) extract on mild steel in acidic

medium at different immersion times. *Zast Mater.* 2024;65(1):35–44.

7. Nikitasari A, Astuti IM, Musabikha S, Kusumastuti R, Prifiharni S, **Priyotomo G.** Chasew (*Anacardium Occidentale*) Leaves Extract as Green Corrosion Inhibitor of API 5L X52 in Acidic Media. *Trends Sci.* 2023;20(7).
8. Iswadi A, Porter JS, Bell MC, Garniati L, Harris RE, **Priyotomo G.** Establishing an Agenda for Biofouling Research for the Development of the Marine Renewable Energy Industry in Indonesia. Vol. 10, *Journal of Marine Science and Engineering.* 2022.
9. Nikitasari A, **Priyotomo G**, Royani A, Sundjono S. Exploration of Eucheuma Seaweed Algae Extract as a Novel Green Corrosion Inhibitor for API 5L Carbon Steel in Hydrochlorid Acid Medium. *Int J Eng Trans B Appl.* 2022;35(3).
10. Prifiharni S, Mashanafie G, **Priyotomo G**, Royani A, Ridhova A, Elya B, *et al.* Extract sarampa wood (*Xylocarpus Moluccensis*) as an eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in HCl 1M. *J Indian Chem Soc.* 2022;99(7).
11. **Priyotomo G**, Prifiharni S, Nuraini L, Triwardono J, Royani A, Sundjono, *et al.* A field study of atmospheric corrosion of carbon steel after short exposure in pelabuhan ratu, west java province, indonesia. *Walailak J Sci Technol.* 2021;18(17).
12. Kaban APS, Ridhova A, **Priyotomo G**, Elya B, Maksum A, Sadeli Y, *et al.* Development of white tea extract as green corrosion inhibitor in mild steel under 1 M hydrochloric acid solution. *Eastern-European J Enterp Technol.* 2021;2(6–110).
13. Nikitasari A, Sundjono, **Priyotomo G**, Royani A. Sargassum seaweed extract as a novel green corrosion inhibitor for API-5L carbon steel. *Int J Corros Scale Inhib.* 2021;10(4).
14. **Priyotomo G**, Nuraini L, Gunawan H, Triwardono J, Sundjono S, Prifiharni S. A Preliminary field study of antifouling paint

performance after short exposure in Mandara Bali, Indonesia. *Int J Eng Trans A Basics*. 2021;34(4).

15. **Priyotomo G**, Nuraini L, Prifiharni S, Royani A, Sundjono, Gunawan H, *et al*. Atmospheric corrosion behavior of carbon steel and galvanized steel after exposure in eretan and ciwaringin, West Java Province, Indonesia. *Indones J Chem*. 2020;20(5).
16. **Priyotomo G**. A Study on Dimocarpus longan Peel as Corrosion Inhibitor on Steel in Artificial Brine Solutions. *Res Dev Mater Sci*. 2018;6(2).
17. **Priyotomo G**. A Short Review of Antifouling Paint Performance in Tropical Seawater of Indonesia. *Res Dev Mater Sci*. 2018;8(4).
18. **Priyotomo G**, Nuraini L, Prifiharni S, Sundjono S. Corrosion Behavior of Mild Steel in Seawater from Karangsong & Eretan of West Java Region, Indonesia. *J Kelaut Indones J Mar Sci Technol*. 2018;11(2).
19. Sundjono S, **Priyotomo G**, Nuraini L. The Selection of Magnesium alloys as Sacrificial Anode for the Cathodic Protection of Underground Steel Structure. *Int J Eng Trends Technol*. 2017;51(2):78–82.
20. Sundjono S, **Priyotomo G**, Nuraini L, Prifiharni S. Corrosion behavior of mild steel in seawater from northern coast of java and southern coast of Bali, Indonesia. *J Eng Technol Sci*. 2017;49(6).
21. **Priyotomo G**, Putrayasa ING, Nuraini L. Preliminary Study on Dimocarpus Longan Peel as Inhibitors for the Pitting Corrosion of 5052-O and 6061-O Aluminium Alloys in Artificial Brine Solution. *Int J Eng Res*. 2017;6(10).
22. Ayende, Rustandi A, Soedarsono JW, Priadi D, Sulistijono, Suprpta DN, **Priyotomo, G**. Effects of Purple Sweet Potato Extract Addition in Ascorbic Acid Inhibitor to Corrosion Rate of API 5L Steel in 3.5%NaCl Environment. *Appl Mech Mater*. 2014;709.
23. Ayende A, Rustandi A, Soedarsono JW, Priadi D, Sulistijono, Suprpta DN, **Priyotomo, G**. Interaction of purple sweet potato

extract with ascorbic acid in FeCl_3 solution. In: Applied Mechanics and Materials. 2014.

24. **Priyotomo G**, Gede Putrayasa Astawa IN. THE EFFECT OF Fe-ENRICH PHASE ON THE PITTING CORROSION RESISTANCE OF AL ALLOY IN VARIOUS NEUTRAL SODIUM CHLORIDE SOLUTIONS. Int J Sci Eng. 2014;7(2).

Jurnal Nasional

25. **Priyotomo G**. Ulasan : Performa Cat Antibiotika Terhadap Pertumbuhan Biofouling Penempel Struktur di Perairan Laut Indonesia. 2023;7(3):345–54.
26. **Priyotomo G**. Deteksi Proses Korosi Pada Baja Dengan Menggunakan Lapisan Akrilik Termodifikasi Phenolphthalein. J Tek Mesin Cakram. 2020;3(2):55.
27. **Priyotomo, S.T.**, M.Si. G, Sumada Sitepu H, Dwiyantri Y. PENGARUH PENAMBAHAN KONSENTRASI INHIBITOR EKSTRAK DAUN TALAS TERHADAP LAJU KOROSI PADA BAJA API 5L X-52 DENGAN MEDIA KOROSIF H_2SO_4 0,5 M. Widyariset. 2020;5(1).
28. **Priyotomo, G**, Prifiarni S, Nuraini L, Royani A, Sunjono S, Gunawan H. PERILAKU KOROSI ATMOSFER BAJA GALVANIS SETELAH EKSPOS SINGKAT DI PELABUHAN RATU, JAWA BARAT. Widyariset. 2020;5(1).
29. Royani A, **Priyotomo G**, Gunawan H, Triwardono J, Nuraini L, Prifiarni S, *et al.* Studi Korosi Baja Galvanis Melalui Perlakuan Ekspos Di Lingkungan Perairan Sungai Cidaho - Sukabumi. TEKNIK. 2020;41(1).
30. Simanjuntak AR, Antara ING, Budiarsa IN, **Priyotomo G**, Royani A, Nikitasari A. Inhibitor Alami Ekstrak Kulit Buah Naga Pada Material Baja Api 5l Setelah Perlakuan Panas. TEKNIK DESAIN MEKANIKA , 2020;9(4).

31. **Priyotomo G.** Pelepasan Logam Peralatan Masak Stainless Steel dalam Larutan Simulasi Asam dan Garam. *J Agroindustri Halal*. 2020;6(2):217–27.
32. Iswadi A, **Priyotomo G.** Biofouling dan Korosi pada Infrastruktur Energi Laut di Indonesia: Analisis Bibliometrik. *J Ilm Giga*. 2020;23(2).
33. **Priyotomo, G,** Sumada Sitepu H, Dwiyaniti Y. Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Talas Terhadap Laju Korosi Pada Baja Api 5L X-52 Dengan Media Korosif H_2SO_4 0,5 M. *Widyariset*. 2020;5(1):30.
34. **Priyotomo G,** Prifiharni S, Nuraini L, Sundjono S, Purawiardi I. KOROSI BAJA DI MUARA BARU JAKARTA DAN INDRAMAYU DENGAN SIMULASI PASANG SURUT UJI WET-DRY. *J Kelaut Indones J Mar Sci Technol*. 2019;12(1).
35. Ahmadi RN, Oediyani S, **Priyotomo G.** Pengaruh Penambahan Inhibitor Ekstrak Tembakau Terhadap Laju Korosi Internal Pipa API 5L X-52 Pada Artificial Brine Water Dengan Injeksi Gas CO_2 [Effect of Addition of Extracted Tobacco Inhibitor to The Corrosion Rate of Internal Steel Pipe API 5L X-52 in Artificial Brine Water With CO_2 Gas Injection]. *Metalurgi*. 2017;31(3).
36. Nuraini L, **Priyotomo G,** Nasoetion R. Studi Inhibitor Korosi Berbasis Imidazoline Salt Pada Brine Water Di Pipa Penyalur Minyak Mentah. *Metalurgi*. 2016;2.
37. **Priyotomo G,** Nuraini L. Studi awal potensi daun belimbing wuluh sebagai inhibitor korosi pada baja karbon di larutan asam klorida. *Pros Semnastek*. 2016;(November).
38. **Priyotomo G,** Nuraini L. Studi Awal Potensi Limbah Organik Kulit Buah Kelengkeng Sebagai Inhibitor Korosi Alami pada Baja karbon di Media Larutan Asam Klorida. *Pros Semnastek* [Internet]. 2016;(November):1–8. Available from: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/811>

Prosiding Internasional

39. Prifiharni S, Nuraini L, **Priyotomo G**, Sundjono, Gunawan H, Purawiardi I. Corrosion performance of steel and galvanized steel in Karangsong and Limbangan sea water environment. In: AIP Conference Proceedings. 2018.
40. Nuraini L, Prifiharni S, **Priyotomo G**, Sundjono, Gunawan H, Purawiardi I. Atmospheric corrosion performance of different steels in early exposure in the coastal area region West Java, Indonesia. In: AIP Conference Proceedings. 2018.
41. Royani A, Prifiharni S, Nuraini L, **Priyotomo G**, Sundjono, Purawiardi I, *et al.* Corrosion of carbon steel after exposure in the river of Sukabumi, West Java. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019.
42. **Priyotomo G**. The behavior of metal release on 430 stainless steel cookware in citric acid solution by cyclic method. In: AIP Conference Proceedings. 2022.
43. Nikitasari A, **Priyotomo G**, Royani A, Sundjono. Corrosion resistance comparison of various carbon steel in inlet water of heat exchanger's Kujang ammonia plant. In: AIP Conference Proceedings. 2021.
44. Nuraini L, Prifiharni S, **Priyotomo G**, Sundjono, Gunawan H. Evaluation of anticorrosion and antifouling paint performance after exposure under seawater Surabaya-Madura (Suramadu) bridge. In: AIP Conference Proceedings. 2017.
45. Nuraini L, Prifiharni S, **Priyotomo G**, Sundjono. The corrosivity and performance evaluation of antifouling paint exposed in seawater Muara Baru Port, Jakarta. J Phys Conf Ser. 2017;817.
46. Julistiono H, Hidayati Y, Yusraini N, Nditasari A, Dinoto A, Sundjono, **Priyotomo G**, *et al.* Identification of biofilm-forming bacteria from steel panels exposed in sea waters of Jakarta Bay and Madura Strait. In: AIP Conference Proceedings. 2018.
47. Amal MI, Wibowo JT, Nuraini L, Senopati G, Hasbi MY, **Priyotomo G**. Antibacterial activity of copper oxide nanoparticles

prepared by mechanical milling. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019.

48. Lestari Y, **Priyotomo G**. Corrosion resistance of API 5L grade B steel with taro leaf (*Colocasia esculenta*) addition as corrosion inhibitor in HCl 0.1 M. In: AIP Conference Proceedings. 2018.

Prosiding Nasional

49. **Priyotomo G**, Nuraini L. Studi awal potensi daun belimbing wuluh sebagai inhibitor korosi pada baja karbon di larutan asam klorida. Pros Semnastek. 2016;(November).
50. **Priyotomo G**, Nuraini L. Studi Awal Potensi Limbah Organik Kulit Buah Kelengkeng Sebagai Inhibitor Korosi Alami pada Baja karbon di Media Larutan Asam Klorida. Pros Semnastek [Internet]. 2016;(November):1–8

Paten

51. Alat Portabel Untuk Sterilisasi Masker Kain Menggunakan Sinar Ultraviolet (Granted) S00202211075
52. Komposisi Cat Antifouling Dengan Zat Aditif Graphene Oxide Beserta Karakteristik Yang Dihasilkan (Terdaftar) P00202405706
53. Peralatan Pengukur Korosi Retak Tegang Pada Material Dalam Lingkungan Korosif Dan Beban Statis (Terdaftar) S00202314703
54. Komposisi Cat Antifouling Dengan Aditif Cerium Oksida Nanopartikel (Terdaftar) S00202405924
55. Komposisi Cat Antifouling Dengan Aditif Ekstrak Tanaman Tuba (Terdaftar) S00202408713
56. Komposisi Pelapis Material Baja Karbon Berbasis Ni-P Ramah Lingkungan Dan Metode Pelapisannya Serta Produk Yang Dihasilkannya (Terdaftar) P00202410232
57. Alat Uji Cat Antifouling Jenis Self-Polishing Copolimer Pada Kondisi Air Laut Terkendali (Terdaftar) S00202412061

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data pribadi

Nama	: Dr. Gadang Priyotomo, S.T., M.Si.
Tempat, Tanggal Lahir	: Yogyakarta, 26 April 1979
Anak ke	: 1 dari 3 Bersaudara
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Nama Ayah Kandung	: Prof. Drs. Daliyo, M.Sc.(alm)
Nama Ibu Kandung	: Sri Pujiastuti, Sm.Hk.
Nama Istri	: Aan Royani
Jumlah Anak	: 2
Nama Anak	: 1. Salwaa Salsabila Utami 2. Helmi Prasetyo Utomo
Nama Instansi	: Pusat Riset Metalurgi- Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material- BRIN
Judul Orasi	: Teknologi Mitigasi Korosi Ramah Lingkungan Untuk Konservasi Struktur Rawan Korosi
Ilmu	: Keteknikan
Bidang	: Teknik Pencegahan Korosi
Kepakaran	: Teknik Bahan
No. SK Pangkat Terakhir	: Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 23 / K Tahun 2023 tanggal 29 September 2023
SK Peneliti Ahli Utama	: Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor.42/ M Tahun 2016, 15 Juli 2016, TMT 1 Juli 2016 Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 3/ M Tahun 2022, tanggal 19 Januari 2022

B. Pendidikan Formal

No	Jenjang	Nama Sekolah/PT/ Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun lulus
1.	SD	SDN 01 Pejaten Timur	DKI Jakarta	1991
2.	SMP	SMPN 46 Pejaten Timur	DKI Jakarta	1994
3.	SMA	SMAN 28 Pasar Minggu	DKI Jakarta	1997
4.	S1	Universita Indonesia	Jawa Barat	2001
5.	S2	Universitas Indonesia	Jawa Barat	2008
6.	S3	Osaka Prefecture University	Jepang	2013

C. Pendidikan Nonformal

No	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Diklat-Pra Jabatan PNS	Bandung	2002
2.	Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Pertama	Jawa Barat	2003
3.	Pendidikan dan Pelatihan Metodologi Riset Tingkat Asisten Peneliti	Jawa Barat	2004
4.	Pelatihan Japan International Cooperation Agency	Jepang	2005
5.	Leadership Development Program (LDP)	Jawa Barat	2015
6.	Training Material Engineer	Jakarta	2015
7.	Training Corosion Engineer	Jakarta	2015
8.	INAMARINE (Indonesia Maritim)	Jakarta	2017
9.	INAMRINE (Indonesia Maritim)	Jakarta	2017
10.	Diklat Program Peningkatan Dasar Teknik Instruksional	Jakarta	2023

No	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
11.	8 th International Corrosion Prevention for Research Scholar Enhancing Material & Corrosion Engineering	Jawa Barat	2023
12.	Workshop on effectiveness of Anti fouling (Denmark embassy)	Jakarta	2024
13.	APEC Workshop on AI in Atmospheric Corrosion Assessment to Address Climate Change Impact	Thailand	2024

D. Jabatan Struktural

No	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1.	Kepala Bidang Sarana dan Pra-sarana	Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI	2014

E. Jabatan Fungsional

No	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Ahli Pertama	1 Juni 2006
2	Peneliti Ahli Muda	1 Maret 2007
2.	Peneliti Ahli Madya	4 Juli 2014
3.	Peneliti Ahli Utama	1 Juli 2016

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No	Jabatan /Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1	Visiting researcher (VR) di Center for Marine Corrosion & Protection, Chinese Academy of Sciences, Institute of Oceanology.	Pusat Penelitian Metalurgi -LIPI	2019

No	Jabatan /Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
2	Tenaga ahli kegiatan Evaluasi Peralatan Dalmas Polri Dalam Rangka Persiapan Pengamanan Pemilu 2024, Markas Besar Kepolisian Republik Indonesia	Pusat Metalurgi-BRIN	2022
3	Tenaga ahli kegiatan Evaluasi Mutu Sarana dan Prasarana Polri untuk Pengamanan Objek Vital dalam rangka pengamanan PEMILU 2024, Markas Besar Kepolisian Republik Indonesia	Pusat Metalurgi-BRIN	2023
4	Delegasi Republik Indonesia dalam APEC Workshop on AI in Atmospheric Corrosion Assessment to Address Climate Change Impact di thailand	Pusat Riset Metalurgi-BRIN	2024
5	Narasumber kegiatan FGD Pengembangan cat antifouling ramah lingkungan antara instansi pemerintah dan negara Denmark	Pusat Riset Metalurgi-BRIN	2024

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1	Pelatihan Pemahaman Dasar Sistem IT dan SIG Tahap III, Sistem Teknologi Informasi dan Pengenalan Pemetaan Dijital SIG	Peserta	Bandung	2003

No	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
2	Pelatihan ASP.Net. Fundamental	Peserta	Bandung	2004
3	Pelatihan Web design fundamental	Peserta	Bandung	2004
4	Pelatihan Microsoft Visual Basic.Net Programming	Peserta	Bandung	2004
5	Workshop”Teknik Penulisan Ilmiah Populer Hasil Penelitian Iptek di Media Massa	Peserta	Bandung	2005
6	Seminar Material Metalurgi 2005	Pembicara	Tangerang Selatan	2005
7	Seminar Material Metalurgi 2006	Pembicara	Tangerang Selatan	2006
8	Workshop analisa kerusakan & pengkajian sisa umur yang beroperasi pada suhu tinggi	Peserta	Tangerang Selatan	2006
9	Pelatihan TOEFL	Peserta	Bogor	2007
10	Seminar Indonesia Toray Science Foundation (ITSF) 2007	Peserta	Jakarta	2007
11	Seminar Kalimantan Timur dan Bangka Belitung	Peserrta	Jakarta	2007
12	National seminar on Metallurgy and Material	Pembicara	Depok	2007

No	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
13	Seminar ilmiah Forum Fungsional B2TKS-BPPT	Peserta	Tangerang Selatan	2007
14	The One-day In-house Training of ISO 17025-2005	Peserta	Tangerang Selatan	2008
15	The in-house training of infra-red thermography	Peserta	Tangerang Selatan	2008
16	Seminar Nanomaterial and Nanotechnology	Peserta	Tangerang Selatan	2008
17	Temu ilmiah Peneliti Muda Indonesia “Toward Bright and Brilliant Indonesian Young Scientist”	Peserta	Tangerang Selatan	2008
18	Forum ilmiah “”Sosialisasi Penerbitan Ilmiah”	Peserta	Jakarta	2008
19	Seminar Material Metalurgi “Penguatan riset material metalurgi menuju kemandirian teknologi”	Pemakalah	Tangerang Selatan	2008
20	Seminar Material Metalurgi “Peran Penelitian Material Metalurgi untuk Peningkatan Nilai tambah sumber daya mineral Indonesia”	Pemakalah	Tangerang Selatan	2010

No	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
21	Seminar & Workshop Korosi Nasional 2013 “Pengendalian Korosi untuk Integritas Industri & Lingkungan”	Pembicara	Surabaya	2013
22	Leadership Development Program 2015	Peserta	Bogor	2015
23	Training workshop Science Diplomacy “menembus Batas Politik untuk kerjasama Iptek”	Peserta	Jakarta	2016
24	Orientasi Pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi	Peserta	Tangerang Selatan	2016
25	Marine Corrosion Seminar INDOCOR (Indonesian Corrosion Association) 2016	Pembicara	Jakarta	2016
26	Seminar Nasional Metalurgi dan Material IX (SENAMM IX) 2016	Pembicara	Cilegon	2016
27	Seminar Nasional Sains dan Teknologi (Semnastek) 2016	Pembicara	Jakarta	2016
28	International Conference on chemical process and product engineering 2016 (ICCPPE 2016)	Pembicara	Semarang	2016

No	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
29	Workshop “Crytallographic Texture on Metallic Materials”	Peserta	Tangerang Selatan	2017
30	Seminar Korosi Nasional 2017 “Upaya penanggulangan kerugian korosi dalam rangka meningkatkan efisiensi di berbagai industry (INDOCOR)	Pembicara	Tangerang Selatan	2017
31	Workshop “Steel, Corrosion and Biocompatible Materials”, Research Center for Metallurgy and Materials , 2017	Pembicara	Tangerang Selatan	2017
32	Workshop “The future of Indonesia’s Maritime Industri: Strategies, Innovation and Challenges National Ship Industry in Encouraging Indonesia as Global Maritim Axis”, Indonesia Maritime Forum (INAMRINE)	Pembicara	Jakarta	2017
33	International Seminar on Metallurgy and Materials, Indonesia Science Expo 2017	Pembicara	Jakarta	2017

No	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
34	Forum pertemuan ilmiah riset dan inovasi ORNAMAT seri #8.	Narasumber	Serpong	2022
35	CorrSym 2023 (Enhancing Materials & Corrosion Engineering for better life), Universitas Indonesia	Pembicara	Depok	2023
36	APEC Workshop on AI in Atmospheric Corrosion Assessment to Address Climate Change Impact, ational Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency (NSTDA)	Pembicara	Thailand	2024

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	Asian Journal of Applied Chemistry Research	Asia pacific publishers	Editorial board member	2020 – sekarang

I. Karya Tulis Ilmiah dan Kekayaan Intelektual

Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	6
2.	Bersama Penulis Lainnya	44
	Total	50

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	16
2.	Bahasa Inggris	34
3	Bahasa Lainnya	0
	Total	50

Kekayaan Intelektual

No.	Kekayaan Intelektual	Jumlah
1.	Paten Terdaftar	6
2.	Paten <i>Granted</i>	1
	Total	7

J. Pembinaan Kader Ilmiah

Pejabat Fungsional Peneliti

No	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1	Lutviasari	BRIN	Pembimbing	2015
2	Muhamad Ikhlasul Amal	BRIN	Pembimbing	2019
3	Arini Nikitasari	BRIN	Pembimbing	2020
4	Arini Nikitasari	BRIN	Pembimbing	2021

Mahasiswa

No	Nama	PT/Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1	Rapli Nur Ahmadi	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Pembimbing S1	2016
2	Ari Sucipto	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Pembimbing S1	2016
3	Herdy Sumada Sitepu	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Pembimbing S1	2016
4	Olta Medy Prayoga	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Pembimbing S1	2017
5	Rabin Ardiansyah	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Pembimbing S1	2017
6	Akhmad Faizal	Universitas Indonesia	Pembimbing S1	2018
7	Agung Iswadi	Heriot-Watt University, UK	Pembimbing S3	2020
8	ABRAHAM SANTO C. SIMANJUNTAK	Universitas Udayana	Pembimbing S1	2020
9	ANDREAS RONALDO SIMANJUNTAK	Universitas Udayana	Pembimbing S1	2020
10	Amalia Rizky Sabila	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Pembimbing S1	2021
11	Ika Melya Astuti	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Pembimbing S1	2021

No	Nama	PT/Universitas	Peran/Tugas	Tahun
12	Tamara Emylia Suci Nurarista	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Pembimbing S1	2021
13	Muhammad Azhar Ariefkha Dani	Institute Teknologi Bandung	Pembimbing S2	2021
14	Giannisa Mashanafie	Universitas Indonesia	Pembimbing S2	2021
15	Silvi Ananda Aulia	Universitas Teknologi Sumbawa	Pembimbing S1	2021
16	Raden Muhammad Admiral Ibrahim	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Pembimbing S1	2022
16	Maqfirah Marisa	Universitas Teknologi Sumbawa	Pembimbing S1	2024
17	Aditya Rahman	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Pembimbing S1	2024
18	Arini Nikitasari	Universitas Indonesia	Pembimbing S3	2025
19	Rahayu Kusumastuti	Universitas Indonesia	Pembimbing S3	2025

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1	Anggota	Perhimpunan Periset Indonesia (PPI)	2019 hingga sekarang

No	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
2	Anggota	Indonesian Corrosion Association (INDOCOR)	2017 hingga sekarang

M. Tanda Penghargaan

No	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1	SLKS 10 Tahun	Presiden RI	2014
2	Peneliti Muda Terbaik	LIPI	2016
3	SLKS 20 Tahun	Presiden RI	2022

Di Indonesia, pengembangan teknologi mitigasi korosi adalah salah satu faktor keberlanjutan pembangunan struktur terpasang di lingkungan tropis wilayah darat dan perairan laut melalui metode mitigasi cat *antifouling* (AF) dan inhibitor korosi. Tantangan terbesar di bidang maritim khususnya metode mitigasi penggunaan biosida utama berbasis logam berat tembaga masih digunakan di berbagai aplikasi kelautan dan isu kemandirian nasional di bidang maritim khususnya inovasi cat *antifouling* (AF) berbasis lokal. Sebagai jawaban dari tantangan diatas hasil-hasil riset selama lebih dari 8 tahun memberikan solusi melalui teknologi nano biosida berbasis cerium oksida, graphene oksida, dan lainnya. Teknologi cat AF tersebut mengurangi ketergantungan kebutuhan biosida logam berat. Lebih jauh lagi, tantangan terbesar metode mitigasi kerusakan karat dengan inhibitor korosi yaitu isu limbah buangan tidak ramah lingkungan. Di Indonesia, potensi zat aktif pelindung terhadap kerusakan akibat korosi sangat berlimbah dengan senyawa aktioksidan namun belum optimal dilakukan riset dan inovasi dibandingkan negara-negara tetangga. Inovasi-inovasi hasil riset berfokus kepada pengembangan zat aktif korosi berbasis kearifan lokal dari sumber daya alam hayati darat dan lautan. Hasil-hasil inovasi yang telah dilakukan juga dapat dimanfaatkan oleh produsen inhibitor nasional dan para Usaha Menengah dan Kecil (UMK) karena alasan ekonomis, ramah lingkungan dan sumber hayati berlimpah.

