

Dampak Aerosol Korosif Pesisir terhadap Keandalan Peralatan Distribusi Listrik PLN: Studi Kasus di Pangandaran

Wildan Arya Putra¹, Farah Rizki Octavia², Shamsul Hadi³, Nurjanna Joko Trilaksono⁴, and Muhammad Rais Abdillah⁵

¹⁻⁵Sains Kebumian, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia
¹⁻³PT PLN (Persero) Kantor Pusat
Jl. Trunojoyo Blok M-1/135, Jakarta, Indonesia
aryaid28@gmail.com

Abstrak

Korosi akibat paparan aerosol korosif di wilayah pesisir merupakan tantangan utama dalam menjaga keandalan sistem distribusi listrik. Penelitian ini menganalisis dampak korosi pada peralatan distribusi listrik PLN, termasuk konduktor A3C, bracket, dan suspension, yang mengalami kerusakan signifikan akibat lingkungan korosif di Pangandaran. Faktor-faktor seperti tingginya kadar garam di udara, kelembapan tinggi, dan paparan angin laut mempercepat laju korosi, yang berujung pada kerusakan infrastruktur dan gangguan listrik pada 62.505 pelanggan selama tahun 2024. Studi ini juga mengevaluasi langkah-langkah mitigasi, seperti penggunaan material tahan korosi, aplikasi pelapisan protektif, serta inspeksi dan pemeliharaan berkala. Hasil penelitian ini menjadi dasar bagi strategi peningkatan keandalan distribusi listrik di kawasan pesisir.

Kata kunci: Korosi, Aerosol, Distribusi Listrik, Wilayah Pesisir, Mitigasi

Abstract

Corrosion triggered by exposure to corrosive aerosols in coastal areas is one of the main challenges in maintaining the reliability of electricity distribution systems. This study aims to identify the impact of corrosion on PLN's electrical distribution equipment, such as A3C conductors, brackets, and suspensions, which suffered significant damage due to corrosive environmental conditions in the coastal area of Pangandaran. Factors such as high levels of salt in the air, high humidity and exposure to sea breezes were shown to accelerate the rate of corrosion, leading to damage to distribution infrastructure and disruption of electricity supply to thousands of customers. The study also evaluated mitigation measures that could be implemented, including the use of corrosion-resistant materials, the application of protective coatings, and the implementation of regular inspections and maintenance. The results of this study are expected to serve as a basis for formulating strategies to improve the reliability of electricity distribution in coastal areas.

Keywords: Corrosion, Aerosols, Electrical Distribution, Coastal Area, Mitigation

I. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara tropis dengan iklim lembap secara alami menciptakan kondisi lingkungan yang mempercepat terjadinya korosi, khususnya di wilayah pesisir [1]. Paparan aerosol atmosfer di pesisir menjadi penyebab utama korosi pada peralatan logam [2]. *Chem-aerosol*

mengandung partikel seperti sulfat, karbonat, nitrat, dan ammonium yang merusak lapisan pelindung logam[3].

Karakteristik *chem-aerosol* yaitu dapat berubah dengan cepat dalam waktu dan ruang tergantung pada berbagai keadaan yang terjadi di atmosfer, seperti pencampuran kimia, koagulasi partikel, pemecahan ukuran partikel, dan reaksi kimia. *Chem-aerosol* memiliki partikel yang berasal dari garam

laut (seperti Na_2SO_4 dan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) partikel yang bereaksi (yaitu, NaNO_3), atau partikel kaya logam (misalnya, $\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$). Menurut para peneliti, partikel kaya logam mungkin termasuk Al, Si, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, dan Pb [3].

Pada daerah pesisir, kandungan klorida dalam aerosol korosif merupakan kontaminan alami yang paling signifikan dan berperan besar dalam proses korosi baja struktural [4]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa atmosfer pesisir memiliki tingkat salinitas yang sangat bervariasi, yang menyebabkan peningkatan signifikan dalam laju korosi atmosferik dibandingkan dengan wilayah non-pesisir [5]. Salinitas di atmosfer pesisir bervariasi dalam batas yang sangat luas (<5 hingga >300 mg Cl/m².d) [1]. Kondisi ini diperburuk oleh kelembapan tinggi dan paparan air laut, yang meningkatkan konduktivitas lapisan elektrolit pada logam dan merusak lapisan pasivasi [6]. Di Indonesia, dengan panjang garis pantai lebih dari 81.000 km, risiko korosi menjadi tantangan besar bagi infrastruktur listrik, khususnya di wilayah pesisir [7].

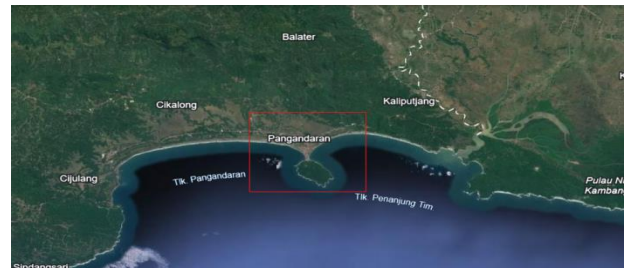
Korosi ini merupakan salah satu kendala yang dihadapi Perusahaan Listrik Negara (PLN) dalam menyediakan listrik kepada masyarakat di Indonesia, terutama pada peralatan distribusi listrik di wilayah pesisir [8]. Perlindungan peralatan distribusi Listrik dari kerusakan akibat korosi sangat diperlukan untuk mencegah terjadinya gangguan untuk menjaga keandalan Listrik [9]. Sistem distribusi listrik yang andal sangat penting untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat dan mendukung berbagai aktivitas ekonomi [10]. Keandalan sistem distribusi listrik mengacu pada kemampuan sistem untuk menyediakan pasokan listrik yang kontinu, aman, dan berkualitas kepada pelanggan, tanpa gangguan atau kerusakan signifikan [11].

Studi global menunjukkan bahwa kerusakan korosi dapat mengurangi masa pakai material hingga 50% dibandingkan wilayah yang tidak terpapar aerosol korosif [12]. Sebagai contoh, korosi pada insulator, kabel, dan struktur pendukung lainnya telah meningkatkan biaya penggantian komponen secara signifikan di wilayah pesisir [13]. Dalam konteks ini, pengembangan solusi yang lebih efisien untuk mitigasi korosi menjadi sangat penting, terutama dalam menjaga keandalan distribusi listrik [14]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis fenomena korosi akibat aerosol korosif pada peralatan distribusi listrik PLN di wilayah pesisir, serta implikasinya terhadap keandalan sistem distribusi listrik.

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan pengamatan lapangan secara langsung di kawasan pesisir Pangandaran, Jawa Barat, dengan mengacu pada metodologi yang sebelumnya digunakan oleh Guerra-Mera, dkk [15]. Pengamatan langsung dilakukan di beberapa lokasi distribusi listrik di wilayah pesisir Kabupaten Pangandaran, Jawa Barat. Lokasi ini dipilih karena memiliki karakteristik lingkungan dengan kadar aerosol korosif yang tinggi akibat paparan air laut dan kelembapan udara.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

B. Data dan Metode

Setiap komponen yang teridentifikasi mengalami korosi didokumentasikan secara visual menggunakan kamera digital beresolusi tinggi untuk memastikan detail kerusakan dapat terlihat jelas. Dokumentasi ini mencakup kondisi visual dan tingkat kerusakan pada material pendukung jaringan distribusi listrik. Kriteria tingkat kerusakan ditentukan berdasarkan indikator visual, seperti:

- a) Ringan: Permukaan logam menunjukkan sedikit perubahan warna tanpa pengelupasan.
- b) Sedang: Terjadi pengelupasan lapisan pelindung atau karat yang mulai meluas.
- c) Berat: Logam menunjukkan kerusakan struktural signifikan seperti lubang, retakan, atau deformasi.

Data yang diperoleh dari pengamatan ini akan dianalisis untuk menentukan pola kerusakan yang diakibatkan oleh aerosol korosif, serta untuk mengidentifikasi korelasi antara faktor lingkungan dan tingkat keparahan kerusakan. Faktor lingkungan yang dicatat meliputi kadar garam udara, kelembapan relatif, dan intensitas paparan angin laut [16].

Dalam proses observasi, penulis juga melakukan refleksi terhadap efektivitas klasifikasi tingkat kerusakan. Ditemukan bahwa pendekatan visual kadang tidak cukup untuk menentukan tingkat keparahan korosi secara tepat.

Sebagai penguatan terhadap data observasi, penelitian ini juga mengembangkan pendekatan preventif berbasis data dengan menyusun peta

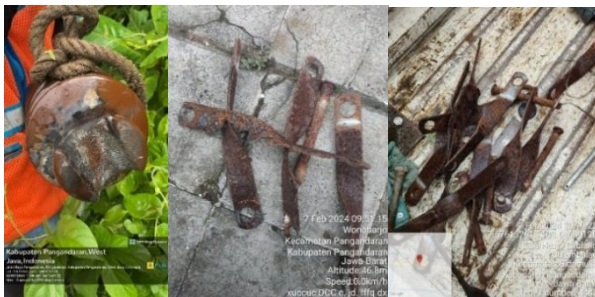
sebaran korosi. Peta ini diharapkan menjadi alat bantu perencanaan investasi peralatan distribusi ke depan, khususnya untuk wilayah pesisir yang rentan terhadap pengaruh lingkungan korosif. Dengan pemetaan ini, PLN dapat mengidentifikasi zona risiko tinggi dan mengatur prioritas penggantian atau penguatan material.

Selain itu, untuk mendukung efektivitas mitigasi korosi di masa mendatang, diperlukan integrasi langkah-langkah inovatif seperti penerapan teknologi sensor korosi, pemanfaatan drone untuk inspeksi visual rutin, serta penguatan kapasitas sumber daya manusia (SDM) melalui pelatihan teknis yang berkelanjutan. Pendekatan teknologi ini perlu disesuaikan dengan konteks lokal PLN agar efisiensinya optimal dan aplikatif. Penulis meyakini bahwa keberhasilan mitigasi korosi sangat bergantung pada konsistensi implementasi program pemeliharaan, penguatan kapasitas teknis petugas lapangan, serta dukungan kebijakan investasi peralatan berbasis kondisi lingkungan aktual di lapangan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Dampak korosi pada peralatan distribusi listrik

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, didapatkan dokumentasi komponen peralatan distribusi Listrik yang mengalami korosi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Komponen yang mengalami korosi

Komponen yang mengalami korosi yaitu Konduktor A3C (*All Alloy Aluminium Conductor*), *Bracket*, *Suspension*, dll dimana komponen tersebut sangat penting dalam menunjang peralatan distribusi Listrik. Kejadian korosi ini terjadi di sepanjang pesisir Pangandaran dan dengan frekuensi kejadian korosi sebanyak 3 kali selama tahun 2024. Korosi tersebut menyebabkan kerusakan komponen, gangguan jaringan listrik, dan pemadaman distribusi listrik terdampak sebanyak 62.505 pelanggan (Tabel 1). Penulis menilai bahwa angka ini mencerminkan urgensi penanganan korosi secara proaktif, terutama di wilayah pesisir. Tingginya jumlah pelanggan terdampak menunjukkan bahwa gangguan akibat

korosi bukan hanya bersifat teknis, melainkan juga berdampak langsung terhadap pelayanan publik dan kepercayaan pelanggan terhadap PLN.

Tabel 1. Penyebab Gangguan akibat korosi dan Jumlah Pelanggan Terdampak

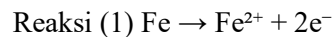
No	Unit Layanan Pelanggan PLN	Nama Jalur Listrik	Beban (Ampere)	Jumlah Pelanggan Terdampak	Lama Padam (menit)	Penyebab Gangguan
1	Pangandaran	KRNI	158	25135	81	Jumper Putus di T.KRNI Tiang >120 Akibat korosi
2	Pangandaran	BTHU	192	25507	65	Jumper Putus di T.BTHU 987 (CO AFT LEDA) Akibat korosi
3	Pangandaran	PATO	64	11858	44	Jumper Putus di T.PATO 1-30 Akibat korosi

B. Mekanisme korosi di lingkungan pesisir

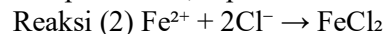
Lingkungan atmosfer laut (*marine atmospheric*), adalah satu lokasi yang mudah untuk terjadinya korosi [17]. *Marine atmosphere* berupa partikel halus dari kabut laut yang terbawa angin dan melekat pada permukaan struktur sehingga membentuk kristal garam [18]. Kandungan air laut yang didominasi adanya sulfat, *carbonat* dan *bicarbonate*, mempercepat reaksi kimia di permukaan logam, ditambah lagi dengan adanya kandungan ion *chloride* dari garam laut [19].

Ion Cl^- dari garam laut tidak teroksidasi atau tereduksi secara langsung dalam proses korosi, tetapi berperan sebagai katalis dan membantu mempercepat reaksi redoks antara logam, oksigen, dan air [20]. Laju korosi adalah fungsi dari aktivitas ion Cl^- . Ion Cl^- mempercepat pembentukan Fe^{2+} dengan mengikatnya dan mencegah deposisi ulang lapisan pelindung [1].

1) Peran Ion Cl^- dalam Pembentukan Fe^{2+} : Saat besi (Fe) teroksidasi dalam proses korosi, terjadi reaksi elektrokimia di anoda:



Ion Fe^{2+} terbentuk dan larut di lingkungan sekitar logam. Ion Cl^- , yang ada dalam lingkungan (seperti air laut atau atmosfer yang mengandung aerosol laut), berinteraksi dengan ion Fe^{2+} dan membentuk kompleks larut, seperti $FeCl_2$:



Kompleks ini bersifat larut yang artinya ion Fe^{2+} tetap berada dalam larutan dan tidak membentuk endapan pelindung.

2) Ion Cl^- mencegah deposisi ulang lapisan pelindung : Dalam kondisi normal, ion Fe^{2+} yang terbentuk selama korosi dapat berinteraksi dengan oksigen (O_2) dan ion hidroksida (OH^-) untuk membentuk senyawa seperti $Fe(OH)_2$ atau Fe_2O_3 yang bertindak sebagai lapisan pelindung pasif:

Reaksi (3) $\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$

Namun, dengan adanya ion Cl^- , maka akan mengikat ion Fe^{2+} lebih cepat daripada ion OH^- , sehingga mencegah pembentukan lapisan pelindung ini, yang menyebabkan logam dasar (Fe) tetap terpapar lingkungan dan korosi terus berlanjut membentuk produk korosi utama, yaitu:

a. Lepidokrosit ($4\gamma\text{-FeOOH}$)

Oksidasi lebih lanjut dari $\text{Fe}(\text{OH})_2$ membentuk $\gamma\text{-FeOOH}$:

Reaksi $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\gamma\text{-FeOOH}$

b. Geotit ($\alpha\text{-FeOOH}$)

Modifikasi struktur hidroksida membentuk $\alpha\text{-FeOOH}$

Reaksi (5) $\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \alpha\text{-FeOOH} + \text{H}_2\text{O}$

c. Akaganeit ($\beta\text{-FeOOH}$)

Dalam kehadiran ion Cl^- , $\beta\text{-FeOOH}$ terbentuk

Reaksi (6) $\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{Cl}^- \rightarrow \beta\text{-FeOOH} + \text{Cl}^-$

C. Strategi Mitigasi

Korosi yang tidak terkendali mengurangi keandalan sistem distribusi listrik PLN dengan meningkatkan risiko kegagalan peralatan [21]. Implementasi langkah mitigasi yang efektif dapat memperpanjang umur pakai peralatan, mengurangi biaya pemeliharaan dan penggantian, serta meningkatkan kepuasan pelanggan dengan mengurangi frekuensi gangguan Listrik [11]. Selain itu, pengelolaan korosi secara sistematis mencerminkan komitmen PLN terhadap pengembangan infrastruktur kelistrikan yang berkelanjutan dan tangguh, terutama di wilayah pesisir yang rentan terhadap korosi [8].

Untuk mengurangi dampak korosi pada peralatan distribusi listrik di wilayah pesisir, PLN dapat menerapkan langkah-langkah berikut:

a. Penggunaan material tahan korosi seperti baja galvanis / pelapisan seng (Zn), aluminium anodized (Al_2O_3), atau material komposit untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Pada baja galvanis.

1. lapisan seng (Zn) melindungi baja melalui perlindungan katodik. Seng lebih mudah teroksidasi dibandingkan besi (Fe), sehingga melindungi besi dari korosi

Reaksi (7) $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$

2. Proses anodisasi membentuk lapisan oksida pelindung (Al_2O_3) di permukaan aluminium, yang tahan terhadap korosi.

$2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$

b. Material komposit seperti fiberglass atau polimer tidak bereaksi secara kimia dengan lingkungan korosif. Sebaliknya, mereka bertindak sebagai penghalang fisik yang mencegah masuknya oksigen, air, atau ion seperti Cl^- .

c. Pemeliharaan dan Inspeksi Rutin untuk mendeteksi tanda-tanda awal korosi, selain itu membersihkan permukaan peralatan dari

kontaminasi garam juga perlu dilakukan secara berkala.

Penjadwalan pemeliharaan preventive mitigasi korosi pada aset PLN di wilayah pesisir perlu dilakukan secara teratur dan berjenjang. Inspeksi visual dan pembersihan kontaminasi garam dapat dilakukan setiap enam bulan untuk mencegah akumulasi kristal garam, sedangkan inspeksi non-destruktif dengan menggunakan metode ultrasonik atau magnetik dapat dilaksanakan setiap tahun untuk mendeteksi korosi yang tidak tampak secara kasat mata. Pembersihan permukaan dan pengecatan ulang dengan lapisan epoksi atau poliuretan dapat dijadwalkan setiap dua tahun guna memulihkan lapisan pelindung, disusul oleh re-galvanisasi lapisan seng pada struktur baja setiap lima tahun untuk memastikan perlindungan katodik tetap optimal.

Evaluasi dan re-anodisasi permukaan aluminium dapat dilakukan setiap delapan tahun untuk memperbarui lapisan oksida pelindung, sedangkan penggantian material komposit atau pelindung polimer dijalankan dalam rentang waktu 10 sampai 15 tahun sesuai kondisi lapangan dan rekomendasi produsen.

IV. KESIMPULAN

Fenomena korosi akibat aerosol korosif di wilayah pesisir laut menimbulkan tantangan signifikan bagi keandalan sistem distribusi listrik. Aerosol korosif, terutama ion klorida, mempercepat degradasi material melalui interaksi elektrokimia yang menghasilkan kompleks larut dan menghambat pembentukan lapisan pelindung alami pada logam.

Penulis berpendapat bahwa strategi mitigasi yang berhasil harus didukung oleh kebijakan internal PLN yang memperkuat inspeksi berbasis risiko, terutama di wilayah pesisir yang secara alamiah lebih korosif. Dengan mengikuti jadwal strategi mitigasi secara konsisten, PLN dapat meminimalkan risiko korosi, memperpanjang umur pakai peralatan, dan menjaga keandalan sistem distribusi listrik.

Selain itu, pendekatan preventif berbasis data seperti peta sebaran korosi perlu dikembangkan sebagai alat perencanaan investasi peralatan distribusi ke depan. Dengan langkah-langkah ini, PLN dapat meningkatkan keandalan, memperpanjang umur peralatan, dan memastikan keberlanjutan layanan distribusi listrik di wilayah pesisir. Penelitian dan inovasi lebih lanjut diperlukan untuk menghadirkan solusi yang lebih efektif dalam menghadapi tantangan ini. Selain langkah-langkah teknis tersebut, penulis meyakini bahwa keberhasilan mitigasi korosi sangat bergantung pada konsistensi dalam implementasi pemeliharaan dan

pelatihan teknis. Misalnya, penggantian material tanpa penguatan kapasitas SDM dapat membuat mitigasi tidak berkelanjutan. Di sisi lain, strategi berbasis teknologi seperti penggunaan sensor korosi atau inspeksi drone perlu dikembangkan dalam konteks lokal PLN agar efisiensinya optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT PLN (Persero) yang telah memberikan dukungan data dan akses ke lokasi penelitian di wilayah Pangandaran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Institut Teknologi Bandung atas fasilitas dan bimbingan selama proses penelitian ini. Tak lupa, penghargaan kami berikan kepada rekan-rekan sejawat yang telah memberikan masukan berharga dalam penyusunan artikel ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Nurjanna Joko Trilaksono, S.Si., M.Si dan Dr. Muhammad Rais Abdillah, S.Si., M.Sc atas bimbingan, dukungan, dan saran yang sangat berharga selama penelitian ini. Penelitian ini tidak akan berhasil tanpa dukungan moral dan teknis dari semua pihak yang terlibat.

REFERENSI

- [1] Nuraini L, Prifiharni S, Priyotomo G, et al. Atmospheric corrosion performance of different steels in early exposure in the coastal area region West Java, Indonesia. In: *AIP Conference Proceedings*. American Institute of Physics Inc., 2018. Epub ahead of print 15 May 2018. DOI: 10.1063/1.5038322.
- [2] Huang Z, Feng C, Wang J, et al. Research on metal corrosion mechanism and inhibition measures of transmission and distribution equipment in Hunan. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing Ltd, 2021. Epub ahead of print 22 January 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/621/1/012035.
- [3] Emetere ME, Afolalu SA, Amusan LM, et al. Role of Atmospheric Aerosol Content on Atmospheric Corrosion of Metallic Materials. *International Journal of Corrosion*; 2021. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1155/2021/6637499.
- [4] Chen X, Zhang Z, Zhang H, et al. Influence of Air Pollution Factors on Corrosion of Metal Equipment in Transmission and Transformation Power Stations. *Atmosphere (Basel)*; 13. Epub ahead of print 1 July 2022. DOI: 10.3390/atmos13071041.
- [5] Schoefs F, Boéro J, Capra B. Long-Term Stochastic Modeling of Sheet Pile Corrosion in Coastal Environment from On-Site Measurements. *J Mar Sci Eng*; 8. Epub ahead of print 1 February 2020. DOI: 10.3390/jmse8020070.
- [6] González-Sánchez JAntonio, Corvo Pérez Francisco, Acuña-González NAntonio. *Environmental degradation of infrastructure and cultural heritage in coastal tropical climate, 2009*. Transworld Research Network, 2009.
- [7] Irfandha NM, Yunarsih. Statistik Lingkungan Hidup Indonesia Garis Pantai dan Dampaknya. *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2023 Environment Statistics of Indonesia 2023*; 42.
- [8] Shi X, Ke Q, Lei J, et al. Corrosion Failure Analysis of Electrical Equipment in Distribution Power System under High Temperature and High Humidity Environment. In: *Journal of Physics: Conference Series*. Institute of Physics Publishing, 2020. Epub ahead of print 13 July 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1578/1/012204.
- [9] Bogatu N, Buruiana DL, Muresan AC, et al. Assessment of the Effectiveness of Protective Coatings in Preventing Steel Corrosion in the Marine Environment. *Polymers (Basel)*; 17. Epub ahead of print 1 February 2025. DOI: 10.3390/polym17030378.
- [10] Shi X, Gao X, Li R, et al. The Impact of Electricity Grid Development on Economic Growth and Energy Consumption in Anhui Province: A Seemingly Unrelated Regression-Based Analysis. *Sustainability (Switzerland)*; 17. Epub ahead of print 1 April 2025. DOI: 10.3390/su17073193.
- [11] Muhamad Sadewa, Endi Permata. Analisis Desain Kubikel 20kV untuk Peningkatan Efisiensi dan Keandalan Sistem Distribusi Listrik. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik* 2024; 2: 116–129.
- [12] Titakis C, Vassiliou P. Evaluation of 4-Year Atmospheric Corrosion of Carbon Steel, Aluminum, Copper and Zinc in a Coastal Military Airport in Greece. *Corrosion and Materials Degradation* 2020; 1: 159–186.
- [13] Calitz J, Potgieter JH. *Corrosion of overhead power transmission conductors in marine environments*, <https://www.researchgate.net/publication/289563197> (2005).
- [14] Muhammed N, Muhsin B. *Review on Corrosion and Rust Inhibition of Machines in Chemical Engineering Field*, www.journalspub.com (2019).
- [15] Guerra-Mera JC, García ÁRS, Pin-Mera MG, et al. Assessment of atmospheric corrosivity in coastal zones: Case study in port Lopez, Manabí, Ecuador. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*; 9. Epub ahead of print 1 June 2024. DOI: 10.1016/j.csee.2024.100703.
- [16] Daneshian B, Höche D, Knudsen OØ, et al. Effect of climatic parameters on marine atmospheric corrosion: correlation analysis of on-site sensors data. *Npj Mater Degrad*; 7. Epub ahead of print 1

- December 2023. DOI: 10.1038/s41529-023-00329-6.
- [17] Alcántara J, de la Fuente D, Chico B, et al. Marine atmospheric corrosion of carbon steel: A review. *Materials*; 10. Epub ahead of print 13 April 2017. DOI: 10.3390/ma10040406.
- [18] Morillas H, de Mendonça Filho FF, Derluyn H, et al. Decay processes in buildings close to the sea induced by marine aerosol: Salt depositions inside construction materials. *Science of the Total Environment*; 721. Epub ahead of print 15 June 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137687.
- [19] Pidato RR, Upacara P, Sebagai P, et al. *Corrosion never sleeps: Peristiwa korosi di sekitar kita*.
- [20] Shen F, Li M, Liu G, et al. Unveiling the intricacies of steel corrosion induced by chloride: Insights from reactive molecular dynamics simulation. *Constr Build Mater*; 443. Epub ahead of print 13 September 2024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.137839.
- [21] Taylor JW, McFarland Stephanie Ellis Member KW, Senior Member I, et al. *Corrosion Reduction in Power Distribution-(do not insert number)*.