

DESAIN SISTEM PROTEKSI KATODIK DENGAN ANODA KORBAN (SACP) UNTUK PIPA BAWAH TANAH DI STASIUN LRT KELAPA GADING

Doni Dwi Periyanto

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana,
Jl. PHH. Mustofa No. 68, Bandung 40124

Abstrak

Pipa hydrant di Stasiun LRT Kelapa Gading memiliki peran penting dalam menjaga keamanan dan keselamatan stasiun dengan menyediakan pasokan air darurat, terutama untuk pemadaman kebakaran. Namun, karena terbuat dari logam, pipa ini rentan terhadap korosi. Mengingat pentingnya fungsi pipa hydrant dalam menjaga keselamatan dan operasional stasiun, perlindungan dari korosi sangat penting untuk memperpanjang umur pakainya. Untuk mengatasi masalah korosi pada pipa hydrant sepanjang 918 meter, akan dirancang dan diimplementasikan sistem Proteksi Katodik dengan Anoda Korban (SACP). Standar NACE RP-B401 "Cathodic Protection Design" digunakan sebagai pedoman utama dalam perancangan ini. Pipa yang akan dilindungi adalah pipa baja hitam yang terkubur pada kedalaman 50 meter dan dilapisi dengan primer dan sekunder. Pipa ini memiliki diameter 8 inci. Anoda seng dipilih sebagai bagian integral dari sistem SACP. Sekitar 106 anoda seng dengan berat masing-masing 2,5 kg ditempatkan pada pipa hydrant dengan jarak 8,6 meter satu sama lain untuk memastikan distribusi perlindungan yang merata. Faktor-faktor seperti kondisi tanah, jenis tanah, kadar air, kedalaman pipa, kualitas anoda, jarak antar anoda, kualitas dan kondisi pipa, serta kondisi pelapisan pelindung pipa, semuanya menjadi pertimbangan penting dalam desain dan efektivitas SACP. Dengan penerapan SACP yang tepat, diharapkan pipa hydrant di Stasiun LRT Kelapa Gading dapat terlindungi dari korosi, umur pakainya diperpanjang hingga 10 tahun, serta keselamatan dan operasional stasiun tetap terjaga.

Kata kunci: Poteksi Katodik, Proteksi Katodik Anoda Korban, Stasiun LRT Kelapa Gading, Pipa hydrant, Pencegahan Korosi, Memperpanjang umur.

Abstract

[Design of Cathodic Protection System with Sacrificial Anodes (SACP) for Underground Pipes at Kelapa Gading LRT Station] The hydrant pipes at Kelapa Gading LRT Station play an important role in maintaining station security and safety by providing emergency water supply, especially for fire fighting. However, being made of metal, these pipes are prone to corrosion. Given the important function of the hydrant pipes in maintaining the safety and operation of the station, protection from corrosion is essential to extend their lifespan. To solve the corrosion problem of the 918 metre long hydrant pipe, a system of Cathodic Protection with Sacrificial Anodes (SACP) will be designed and implemented. NACE standard RP-B401 'Cathodic Protection Design' is used as the main guideline in this design. The pipe to be protected is a black steel pipe buried at a depth of 50 metres and coated with primary and secondary. The pipe has a diameter of 8 inches. Zinc anodes were selected as an integral part of the SACP system. Approximately 106 zinc anodes weighing 2.5 kg each were placed on the hydrant pipe at a distance of 8.6 metres from each other to ensure even distribution of protection. Factors such as soil conditions, soil type, moisture content, pipe depth, anode quality, spacing between anodes, pipe quality and condition, and pipe protective coating condition are all important considerations in the design and effectiveness of SACP. With the proper application of SACP, it is expected that the hydrant pipes at Kelapa Gading LRT Station can be protected from corrosion, their lifespan extended to 10 years, and the safety and operation of the station maintain

Keywords: Cathodic Protection, Sacrificial Anode Cathodic Protection, Kelapa Gading LRT Station, Hydrant Pipes, Corrosion Prevention, Extended Lifespan

1. Pendahuluan

Korosi adalah proses alami di mana logam, seperti yang digunakan dalam pipa hydrant, mengalami degradasi dan oksidasi karena reaksi kimia dengan

lingkungan sekitar. Proses ini dapat menyebabkan perubahan fisik dan kimiawi pada logam, yang pada gilirannya dapat mengurangi daya tahan dan usia pakai logam tersebut. Korosi adalah masalah yang sangat umum terjadi pada pipa logam yang digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam sistem pasokan air darurat seperti pipa hydrant (Sumantri & Iswanto, 2020; Suryadi, 2022).

*Penulis Korespondensi.

E-mail: donidwiperiyanto@gmail.com

Desain Sistem Proteksi Katodik dengan Anoda Korban (SAC) untuk Pipa Bawah Tanah di Stasiun LRT Kelapa Gading

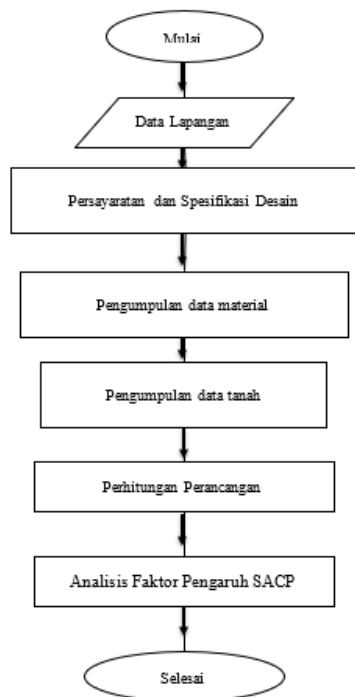
Bahaya korosi pada pipa hydrant di stasiun LRT Kelapa Gading sangat signifikan. Pipa hydrant ini memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga keselamatan dan keamanan stasiun dengan menyediakan pasokan air dalam situasi darurat, terutama untuk pemadaman kebakaran.

Dalam rangka mengatasi masalah korosi ini, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan sistem Proteksi Katodik dengan Anoda Korban (SACP) pada pipa baja tersebut yang terletak di dalam tanah. SACP adalah metode yang terbukti efektif dalam mencegah korosi pada pipa logam. Namun, ada berbagai faktor kompleks yang mempengaruhi efektivitas SACP dalam lingkungan ini. Oleh karena itu, penelitian ini juga akan menganalisis faktor-faktor ini yang mempengaruhi system kerja. (Arief & Sumargana, 2021; Azisah et al., 2020)(Alida & Pratama, 2022)

2. Metode Penelitian

A. Langkah Kerja

Metode penelitian yang digunakan penulis mengacu pada Gambar 1. Metode penelitian ini dipilih untuk dapat menyelesaikan permasalahan seperti: menentukan jenis anoda, menentukan jarak anoda, pengumpulan data tanah, perancangan sistem katodik dan analisis faktor yang mempengaruhi system proteksi katodik anoda korban (SACP)



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Prosedur Penelitian

A. Data Lapangan

Data lapangan merupakan tahap awal yang dilakukan dengan tujuan mengetahui kondisi terkait.

Data ini akan menjadi input pada perancangan sistem proteksi anoda korban.

B. Persyaratan dan Spesifikasi Desain

Pengidentifikasian persyaratan dan spesifikasi desain untuk sistem proteksi katodik dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan stasiun LRT Kelapa Gading. Spesifikasi ini terutama berfokus pada menentukan umur anoda yang diinginkan agar sistem proteksi katodik berjalan secara optimal sesuai dengan lingkungan dan kebutuhan yang ada di stasiun tersebut.

C. Pengumpulan Data Material

Sebelum melakukan perancangan sistem proteksi katodik tumbal, diperlukannya data berkaitan dengan material tersebut. Pada kegiatan ini, penulis berusaha untuk menentukan parameter-parameter material atau pipa yang akan diproteksi. Penulis juga bekerja sama dengan Stasiun LRT Kelapa Gading untuk memperoleh data tersebut.

D. Pengumpulan Data Tanah

Data ini mencakup informasi tentang jenis material pipa, ketebalan pipa, lapisan pelindung yang ada, dan kondisi pipa secara keseluruhan. Pengumpulan data yang teliti dan akurat sangat penting karena akan membantu dalam merancang sistem proteksi katodik yang sesuai dengan kebutuhan spesifik pipa tersebut. Dengan pemahaman yang baik tentang parameter-parameter material, proses perancangan sistem proteksi katodik tumbal dapat dilakukan dengan lebih efektif, memastikan perlindungan yang optimal terhadap korosi dan memperpanjang umur pipa baja.

E. Perancangan Sistem Katodik

Langkah pertama dalam merancang sistem ini adalah mengidentifikasi area yang memerlukan perlindungan katodik. Ini melibatkan pemahaman mendalam tentang lokasi pipa, jenis tanah di sekitarnya, dan faktor lingkungan lainnya yang dapat memengaruhi proses korosi. Penting untuk memperhitungkan arus yang dibutuhkan untuk melindungi seluruh pipa dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti ukuran pipa, ketebalan lapisan pelindung, dan karakteristik tanah. Terakhir, sistem monitoring harus diintegrasikan ke dalam desain untuk memantau kinerja sistem secara terus-menerus dan memastikan bahwa perlindungan katodik tetap efektif selama umur layanan yang diinginkan. (Ihza Mahendra & Dwisetiono, 2022; Widianingrum et al., 2021)

F. Analisis Faktor yang Mempengaruhi Sistem Proteksi Katodik Korban

Mengambil kesimpulan dari perhitungan desain adalah langkah penting untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memiliki dampak signifikan pada sistem ini. Dari hasil perhitungan tersebut, kita dapat mengidentifikasi parameter utama yang harus diperhatikan dalam perancangan, seperti jenis anoda yang tepat, kebutuhan arus proteksi yang diperlukan, kondisi tanah di lokasi instalasi, penempatan anoda yang optimal, dan pemantauan kinerja sistem secara

Desain Sistem Proteksi Katodik dengan Anoda Korban (SAC) untuk Pipa Bawah Tanah di Stasiun LRT Kelapa Gading

berkala. Kesimpulan ini akan membantu dalam merancang sistem proteksi katodik yang efektif dan andal untuk memastikan perlindungan yang optimal terhadap korosi pipa baja di Stasiun LRT Kelapa Gading.(Andira et al., 2022; Goffar, 2022; Widianingrum et al., 2021)

4. Hasil dan Pembahasan

A. Desain Sistem Proteksi Anoda Korban (SACP) Pada Pipa Baja

Proses perancangan desain perlindungan katodik dilakukan dengan mengikuti kriteria desain berikut

- Umur desain: 10 tahun
- Limit positif: -850 mV
- Limit negatif: -1100 mV

Standar yang diterapkan dalam desain merujuk pada

- NACE RP-B401 “Cathodic Protection Design”
- ASTM G-57 “Field Measurement of Soil Resistivity using the Wenner Four- Electrode Method”
- NACE RP-0177 “Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems”
- NACE RP-0169 “Standard Practice Control of External Corrosion”

Dengan berdasarkan gambar layout pada lampiran 1, dan data material yang telah diperoleh dari survei lokasi, pipa hydrant yang tertanam di Stasiun LRT Kelapa Gading dapat dijelaskan sebagai berikut

- Material pipa : Black Steel Pipe
- Panjang pipa : 918,18 m
- Diameter luar : 8 inch
- Kedalaman pipa : 50 m
- Jenis : Primer dan sekunder 1 lapis

B. Pengumpulan Data Tanah

Resistivitas tanah mengacu pada sifat bawaan tanah yang menentukan kemampuannya untuk menahan aliran arus listrik. Ini adalah ukuran seberapa baik atau buruk tanah menghantarkan listrik. Resistivitas biasanya diwakili oleh simbol ρ (rho) dan diukur dalam satuan ohm-m ($\Omega \cdot m$). Resistivitas tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain komposisi, kadar air, dan kandungan mineral tanah. Tanah yang kering dan berpasir umumnya memiliki resistivitas yang lebih tinggi, sedangkan tanah yang lembab atau kaya akan lempung cenderung memiliki resistivitas yang lebih rendah. Resistivitas tanah juga dapat bervariasi dengan kedalaman, karena lapisan

tanah yang berbeda mungkin memiliki sifat yang berbeda. Perhitungan resistivitas tanah sebagai berikut : (Ihza Mahendra & Dwisetiono, 2022)

Tabel 1. Sampel Data Resistivitas Tanah

Nomor Sampel	Resistivitas Tanah ($\Omega \cdot m$)
Sampel 1	200
Sampel 2	150
Sampel 3	180
Sampel 4	220
Rata – Rata	187,5

Dari data sampel yang sudah diambil, maka resistivitas tanah rata-rata di lokasi hipotetis ini adalah sekitar 187,5 ohm-meter ($\Omega \cdot m$).

C. Perhitungan Desain

Perhitungan desain dilaksanakan untuk mencapai nilai yang diharapkan dalam sistem perlindungan sehingga selama proses perancangan, pipa dapat dilindungi sesuai dengan standar yang telah ditetapkan

Rumus permukaan struktur yang akan dilindungi:

$$A = \pi \times D \times L$$

Dengan:

D = diameter luar pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

$$\pi = 3,14$$

A = luas permukaan yang akan dilindungi (m²)

Sehingga luas permukaan struktur yang akan dilindungi adalah 577,56 m²

D. Kebutuhan Arus Proteksi

Penting untuk memperhitungkan arus yang dibutuhkan oleh pipa untuk melindungi diri dari korosi. Kekurangan arus selama proses perlindungan dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan pelindung, oleh karena itu, perhitungan kebutuhan arus harus sejalan dengan desain yang telah dirancang untuk menghindari potensi masalah tersebut.

Perhitungan kebutuhan arus proteksi dapat dilakukan setelah mendapatkan luas permukaan pipa. Berikut adalah persamaan untuk kebutuhan arus proteksi:

$$I = A \times C_d \times C_b \times SF$$

Dengan:

I = arus proteksi (mA)

A = luas permukaan proteksi (m²)

Desain Sistem Proteksi Katodik dengan Anoda Korban (SAC) untuk Pipa Bawah Tanah di Stasiun LRT Kelapa Gading

C_d = densitas arus (mA/m²)

C_b = coating breakdown (%)

SF = safety factor

Dengan standar DNV-RP-B401-2005 yaitu nilai densitas arus minimal untuk melindungi pipa telanjang yang terkubur di dalam tanah sebesar 20 mA/sqm, dan nilai coating breakdown sebesar 20% (cat primer dan 1 lapisan sekunder), serta safety factor sebesar 1,25. Kita dapat menghitung arus proteksi dengan rumus yang telah diberikan dan mendapatkan hasil sebesar 2,89 A.(Goffar, 2022)

E. Anoda Yang Dibutuhkan

Dalam perancangan desain, lapis lindung diasumsikan mengalami penurunan kualitas selama masa pakainya. Pada kasus ini diasumsikan tingkat kerusakan sebesar sepuluh persen per tahun. Sehingga lapis lindung dapat dihitung melalui rumus berikut

$$W = \frac{I \times T \times 8760}{K \times u}$$

Dengan:

W = berat lapis lindung yang dibutuhkan (kg)

I = arus proteksi (A)

T = waktu (tahun)

K = kapasitas arus (AmpHr/kg)

u = faktor utilisasi (80%)

Pada perancangan ini anoda yang digunakan adalah anoda Zinc (Zn). Nilai Kapasitas arus pada anoda basis Zinc (Zn) dari tabel 10.6 standar pada DNV RP B401 adalah 1500 AmpHr/kg. Maka dari persamaan di atas maka berat total lapis lindung yang dibutuhkan adalah 210 kg anoda.

Dalam desain ini, sistem proteksi menggunakan anoda dengan jenis Zinc (Zn). Untuk memastikan efektivitas sistem, setiap pipa proteksi akan dilengkapi dengan minimal 2,5 kg berat anoda, sesuai dengan berat minimum yang tersedia di pasaran. Dengan membagi 210 kg dengan berat tersebut serta menambahkan safety factor sebesar 25% maka banyaknya anoda yang diperlukan adalah 106 buah. Untuk menjamin distribusi arus yang merata maka jarak pemasangan pada masing-masing anoda adalah 8,6 meter.

F. Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi SACP Untuk Pipa Baja Di Tanah

Sistem Sacrificial Anode Cathodic Protection (SACP) untuk pipa baja di dalam tanah di LRT Kelapa Gading dirancang untuk mencegah korosi dan memperpanjang masa pakai pipa. Dalam merancang sistem SACP ini perlu dipertimbangkan faktor – faktor yang nantinya dapat mempengaruhi kinerja dan efektivitas sistem ini. Memahami dan mempertimbangkan faktor-faktor ini selama proses desain dan implementasi sangat penting untuk memastikan perlindungan korosi yang optimal. Berikut

penjelasan mengenai faktor-faktor kunci yang dapat mempengaruhi SACP untuk pipa baja di dalam tanah di Stasiun LRT Kelapa Gading.

Resistivitas tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain komposisi, kadar air, dan kandungan mineral tanah. Tanah yang kering dan berpasir umumnya memiliki resistivitas yang lebih tinggi, sedangkan tanah yang lembab atau kaya akan lempung cenderung memiliki resistivitas yang lebih rendah. Resistivitas tanah juga dapat bervariasi dengan kedalaman, karena lapisan tanah yang berbeda mungkin memiliki sifat yang berbeda.

1. Kondisi tanah: Sifat kimia dan resistivitas elektrisitas tanah sangat mempengaruhi efektivitas perlindungan katodik. Tanah yang bersifat lebih konduktif dapat meningkatkan perlindungan katodik, sedangkan tanah dengan resistivitas tinggi dapat mengurangi efektivitasnya.
2. Jenis tanah: Tanah kering dan berpasir umumnya memiliki resistivitas yang lebih tinggi, sedangkan tanah yang lembab atau terdapat banyak kandungan lempung cenderung memiliki resistivitas yang lebih rendah.
3. Kadar air: Kadar air tanah berperan dalam penentuan konduktivitas listriknya. Semakin banyak kadar air dalam tanah dapat meningkatkan konduktivitas listrik dalam tanah sehingga sangat penting untuk perlindungan katodik yang efisien.
4. Kedalaman pipa: Kedalaman pipa baja yang terkubur di dalam tanah dapat mempengaruhi resistivitas tanah. Resistivitas tanah bervariasi terhadap kedalaman tanah, karena di tiap kedalaman tanah memiliki jenis dan sifat tanah yang berbeda.
5. Kualitas Anoda: Kualitas dan material anoda yang digunakan sangat penting. Anoda harus memiliki sifat yang tepat untuk mengorbankan dirinya sendiri dalam melindungi pipa baja. Material, ukuran, dan kualitas anoda harus dipilih dengan hati-hati sesuai dengan lingkungan dan aplikasi spesifik.
6. Jarak Antar Anoda: Jarak antara anoda-anoda dalam sistem proteksi perlu diperhitungkan dengan cermat. Jika anoda terlalu jauh dari pipa, maka arus perlindungan mungkin tidak mencukupi untuk melindungi seluruh pipa secara efektif.
7. Kualitas dan Kondisi Pipa: Pipa baja yang akan dilindungi juga harus dalam kondisi yang baik. Lubang atau kerusakan pada pipa dapat mengurangi efektivitas perlindungan katodik. Oleh karena itu, pemeliharaan pipa secara rutin sangat penting.

Desain Sistem Proteksi Katodik dengan Anoda Korban (SAC) untuk Pipa Bawah Tanah di Stasiun LRT Kelapa Gading

8. Kondisi pelapisan: Kondisi pelapis pelindung pipa sangat penting untuk keberhasilan sistem SACP. Lapisan berkualitas tinggi dan utuh memberikan lapisan perlindungan tambahan, sehingga meningkatkan umur dari anoda korban.

G. Standar Operasional Pemeliharaan Sistem Proteksi Anoda Korban

Pemeliharaan Sistem Proteksi Katodik dengan Anoda Korban (SACP) untuk pipa baja yang terkubur dalam tanah di Stasiun LRT Kelapa Gading adalah proses penting untuk memastikan perlindungan berkelanjutan terhadap pipa dari korosi. Proses pemeliharaan dimulai dengan inspeksi rutin, termasuk pemeriksaan visual terhadap kondisi anoda dan pemeriksaan kabel serta hubungannya. Hasil inspeksi akan menentukan apakah ada anoda yang perlu diganti atau kabel yang perlu diperbaiki.

Kemudian, langkah penggantian anoda dilakukan jika diperlukan. Anoda yang rusak harus diganti dengan yang baru sesuai dengan petunjuk produsen. Selama penggantian, penting untuk memastikan koneksi kabel ke anoda yang baru dilakukan dengan benar. Langkah pertama dalam proses ini adalah mengumpulkan data dan informasi terkait, termasuk jenis anoda yang digunakan, tanggal pemasangan, dan riwayat pemeliharaan sebelumnya. Kemudian, inspeksi visual dilakukan untuk menilai kondisi anoda, mencari tanda-tanda korosi atau kerusakan fisik, sambil juga melakukan pengukuran potensial katodik pada pipa yang dilindungi. Hasil dari inspeksi dan pengukuran ini kemudian dianalisis, dan data dibandingkan dengan spesifikasi produsen dan kriteria pemeliharaan yang relevan. Tujuannya adalah untuk menilai apakah anoda masih dalam kondisi baik dan memiliki usia pakai yang cukup atau jika sudah waktunya untuk diganti. Dalam pengambilan keputusan, faktor-faktor seperti kondisi lingkungan, tingkat korosi, dan kondisi pipa juga harus dipertimbangkan.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, akan diambil keputusan apakah anoda perlu diganti atau tidak. Jika keputusan adalah untuk mengganti anoda, langkah selanjutnya adalah mengembalikan pasokan listrik dari rectifier ke anoda dan secara cermat memantau kinerja sistem SACP untuk memastikan bahwa semuanya berfungsi dengan baik.

Selain itu, pemantauan dan pengukuran potensial katodik pada pipa juga merupakan langkah yang krusial. Pengukuran harus dilakukan secara berkala dengan menggunakan peralatan yang sesuai untuk memantau potensial katodik pada pipa. Hasil pengukuran ini penting untuk memastikan pipa tetap dalam kondisi terlindungi dari korosi. Selama proses pemeliharaan, rectifier juga perlu diperiksa dan perawatan preventif dilakukan sesuai dengan panduan produsen. Semua pekerjaan pemeliharaan harus dicatat dalam catatan pemeliharaan untuk referensi masa

depan. Dengan mengikuti langkah-langkah ini dan memperhatikan faktor-faktor yang relevan seperti kualitas anoda, kondisi lingkungan, dan ketersediaan pasokan listrik yang stabil, pemeliharaan SACP dapat dilakukan dengan efektif, memastikan perlindungan yang berkelanjutan terhadap pipa baja dari korosi dan memperpanjang usia pakai pipa.

5. Kesimpulan

Kesimpulan dalam perancangan sistem proteksi anoda korban (SACP) untuk pipa baja di dalam tanah di Stasiun LRT Kelapa Gading adalah sistem proteksi menggunakan anoda jenis Zinc (Zn) dengan total berat 210 kg. Berdasarkan data berat minimum anoda di pasar yang sebesar 2,5 kg, didapatkan kebutuhan sebanyak 106 anoda yang ditempatkan dengan jarak masing-masing 8,6 meter. Dalam merancang dan mengimplementasikan sistem Proteksi Katodik dengan Anoda Korban (SACP) untuk pipa baja di dalam tanah di Stasiun LRT Kelapa Gading, terdapat beberapa faktor kunci yang dapat mempengaruhi kinerja dan efektivitasnya. Faktor-faktor tersebut meliputi kondisi tanah, jenis tanah, kadar air, kedalaman pipa, kualitas anoda, jarak antar anoda, kualitas dan kondisi pipa, serta kondisi pelapisan pelindung pipa. Dengan mempertimbangkan semua faktor ini, diharapkan sistem SACP dapat berfungsi secara optimal dalam melindungi pipa dari korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alida, R., & Pratama, R. A. (2022). Pencegahan Korosi Pada Flowline 28" Skg 10 Pmb - Benuang Menggunakan Metode Impressed Current Cathodic Protection (Iccp) Pt Pertamina Hulu Rokan Region 1 Zona 4 Field Prabumulih. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 13(01), 57–65. <https://doi.org/10.52506/jtpa.v13i01.145>
- Andira, R., Zulfazri, Z., Bahri, S., Azhari, A., & Muarif, A. (2022). Pemanfaatan Ekstrak Daun Rambutan Sebagai Inhibitor Korosi Pada Plat Besi Dalam Media Air Payau. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 2(3), 11. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i3.6507>
- Arief, M., & Sumargana, L. (2021). Penggunaan Metode Ground Penetrating Radar (GPR) Untuk Identifikasi Utilitas Bawah Tanah. *Prisma Fisika*, 9(3), 244. <https://doi.org/10.26418/pf.v9i3.51099>
- Azisah, N., Paroka, D., & Wahyuddin, W. (2020). Analisa Penempatan Dan Kebutuhan Proteksi Katodik Pada Sistem Pipa Gas Bawah Laut Offshore Dari Pulau Pemping Ke Tanjung Ugang Batam. *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, 2(3), 57–63. <https://doi.org/10.62012/zl.v1i3.11978>
- Goffar, A. (2022). Rancangan Dasar Perhitungan Proteksi Katodik dengan Menggunakan Anoda Korban Pada Struktur Baja Anjungan Minyak di

Desain Sistem Proteksi Katodik dengan Anoda Korban (SAC) untuk Pipa Bawah Tanah di Stasiun LRT Kelapa Gading

- Lingkungan Air Laut. *Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi*, 45(1), 79–90. <https://doi.org/10.29017/lpmgb.45.1.686>
- Ihza Mahendra, T., & Dwisetiono, D. (2022). Proteksi Katodik Menggunakan Zinc Anode Untuk Menghambat Korosi Pada Lambung Kapal Port Link Vii Jakarta. *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, 7–12. <https://doi.org/10.62012/zl.v3i2.19694>
- Sumantri, D., & Iswanto, P. T. (2020). Desain Proteksi Katodik pada Struktur Baja di Laut dan di Darat untuk Masa Layan 10 Tahun. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 2(2), 77. <https://doi.org/10.22146/jmdt.55554>
- Suryadi, A. (2022). Rancangan Instalasi Penangkal Petir Sebagai Trainer Pemelajaran Sistem Proteksi. *Ramatekno*, 2(1), 45–30. <https://doi.org/10.61713/jrt.v2i1.40>
- Widianingrum, W., Sade, J., & Palippui, H. (2021). Analisis Peletakan dan Kebutuhan Proteksi Katodik Pada Mooring Buoy di Pertamina Fuel Terminal Luwuk. *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, 2(2), 57–54. <https://doi.org/10.62012/zl.v2i2.14081>