EKSPLORASI HAMBATAN MANAJERIAL ADOPSI TEKNOLOGI PROTEKSI KATODIK MANDIRI PADA INDUSTRI BETON PRACETAK

David Pustin Oliver[1)], Putra Eka Nugraha[1)], Evangelista Keyrieputri Tuda[1)], Arlando Adrianto Dolongseda[1)], Angga Adinata Priyogi[2)], Rilya Rumbayan[1)]

[1]Konstruksi Bangunan Gedung, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado
[2]Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado

E-mail: davidassa3007@gmail.com

Abstract

Structural degradation caused by corrosion in concrete elements represents a critical threat that systematically reduces the quality and service life of buildings. An autonomous, solar-powered cathodic protection system serves as a cutting-edge intervention that strongly resonates with the green building paradigm and long-term sustainability concepts. However, the transition to utilizing this technology still requires significant preparation in the form of technical readiness, management strategies, and high capital costs. The slow adoption of this technology is not solely due to civil engineering constraints, but rather the presence of managerial barriers. By exploring the managerial barriers and challenges in adopting autonomous cathodic protection technology that utilizes renewable energy as its power source, this study aims to formulate an effective implementation strategy.

Keywords: *Precast concrete; renewable technology; green building; sustainability; managerial factors*

PENDAHULUAN

Beton pracetak merupakan sistem yang sudah digunakan di sektor industri Indonesia sejak tahun 1970-an, namun masih banyak daerah yang belum menerapkan sistem ini secara masif (Anuna et al., 2023). Beton pracetak merupakan komponen struktur bangunan yang modelnya itu telah dicetak di pabrik terlebih dahulu lalu diangkut ke lokasi proyek, namun ada juga komponen yang dicetak langsung di lokasi proyek baru dirakit. Setelah itu ada juga tahap *curing*, dan tahap finishing dengan memperhatikan lingkungan agar tetap terkontrol. Sistem beton pracetak ini dapat memberikan efisiensi terhadap waktu dengan kualitas yang lebih terjamin dan hasil akhir yang lebih rapi. Baik beton *cast-in-situ* atau beton pracetak mengalami masalah yang sama yaitu korosi pada tulangannya, korosi ini dapat menurunkan mutu dari beton itu sendiri (Ridha et al., 2015). Sehingga telah dilakukannya beberapa penelitian terhadap mutu dari beton bertulang yang telah mengalami korosi pada tulangannya. Secara elektrokimia, area tulangan yang terkorosi bertindak sebagai anoda (mengalami oksidasi), sedangkan area yang tidak

terkorosi menjadi katoda. Berbagai metode digunakan untuk membatasi korosi ini, seperti perbaikan tambalan (*patch repair*), perawatan permukaan, inhibitor korosi, hingga ekstraksi klorida elektrokimia. Namun, metode konvensional seperti perbaikan tambalan seringkali terbatas pada kerusakan lokal berskala kecil dan membawa risiko memicu korosi baru (anoda baru) di area tulangan sekitarnya. Maka dari itu sebagai solusi yang lebih efektif, dilakukannya penelitian terhadap teknologi proteksi katodik dimana digunakan listrik untuk dialirkan pada tulangan-tulangan beton menggunakan jaring titanium sebagai anoda lalu dialirkan pada tulangan betonnya (Bashi et al., 2003; Byrne et al., 2016). Penggunaan tenaga surya ini membuat sistem ini lebih sederhana karena dapat langsung memasok arus searah (DC) yang dibutuhkan sistem proteksi katodik ini tanpa perlu adanya alat untuk mengubah jenis arus listriknya. Proteksi katodik mandiri ini merupakan salah satu upaya dalam mencegah terjadinya proses oksidasi antara besi tulangan dengan oksigen. Dan untuk menjunjung konsep *green building,* sumber energi listriknya itu dihasilkan dari sumber energi terbarukan yaitu menggunakan panel surya (Byrne et al., 2016; Karabacak & Karakaya, 2023; Kevin et al., 2019; Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2024). Meskipun teknologi proteksi katodik mandiri bertenaga surya ini menawarkan intervensi mutakhir yang beresonansi kuat dengan paradigma bangunan hijau, urgensi transisi untuk menerapkannya di industri beton pracetak masih terhambat secara signifikan. Lambatnya adopsi teknologi ini di lapangan rupanya bukan hanya disebabkan oleh kendala teknis rekayasa sipil semata, melainkan karena adanya faktor-faktor hambatan manajerial dan minimnya kesiapan manajemen pabrik. Tantangan utama yang menghalangi adopsi industri mencakup tingginya biaya awal investasi untuk sistem tersebut, serta kesulitan dalam melakukan perubahan sistem rencana produksi yang sudah baku di pabrik (Cheaitani & Cheytani, 2025). Selain itu, minimnya ketersediaan Sumber Daya Manusia (SDM) yang memiliki spesialisasi dalam menginstalasi serta memelihara sistem proteksi terintegrasi ini menjadi beban tambahan yang nyata bagi manajemen. Ketidaksiapan strategis dalam menghadapi perubahan operasional ini pada akhirnya membuat inovasi ramah lingkungan tersebut sulit diaplikasikan secara masif. Oleh karena itu, pemetaan mendalam mengenai akar permasalahan manajerial ini sangat krusial dilakukan agar inovasi anti-korosi ini dapat keluar dari batasan teoritis dan terimplementasi secara nyata pada ekosistem industri konstruksi (Cheaitani & Cheytani, 2025).

Penelitian ini ditujukan untuk menganalisis berbagai kendala maupun tantangan manajerial menjadi berbagai unsur yang lebih spesifik, sehingga penelitian ini dapat mengungkap sumber dari berbagai permasalahan yang ditemui. Dengan mampu melihat sumber masalah yang ditemui, penelitian ini dimungkinkan untuk membuat strategi penyelesaian yang tepat bagi setiap masalah tersebut sehingga pada akhirnya teknologi proteksi katodik mandiri bertenaga surya ini dapat diaplikasikan secara optimal pada sektor konstruksi nasional. Apa yang dibahas dalam penelitian ini mendukung dengan *roadmap* dari program studi penulis, yakni mengenai Integrasi "Teknologi Hijau dalam Desain Bangunan Gedung". Dengan demikian, penelitian ini secara aktif membahas terkait masalah lingkungan dan inefisiensi yang dihadapi oleh dunia saat ini. Fokus dari penelitian ini lebih condong ke depan karena bertindak sebagai langkah antisipatif dan inovatif karena dinilai dapat mengatasi berbagai hambatan dan tantangan dalam menerapkan teknologi proteksi katodik mandiri bertenaga surya pada elemen struktur beton pracetak ini di masa mendatang secara terukur dan berkelanjutan. Integrasi metode rekayasa struktural ini diproyeksikan akan membawa berbagai dampak positif yang sangat signifikan. Dengan menggabungkan pemanfaatan beton pracetak yang terbukti tangguh namun tetap minim limbah material selama masa konstruksi, serta penggunaan tenaga surya yang merupakan sumber energi terbarukan tanpa batas, inovasi ini sangat mendukung terwujudnya efisiensi sumber daya pada skala industri. Sinergi antara elemen struktural dan energi bersih ini adalah bentuk nyata dari dukungan terhadap konsep bangunan ramah lingkungan (*green building*) dan prinsip keberlanjutan jangka panjang. Pada akhirnya, seluruh gagasan konstruktif ini memiliki tujuan yang sama dengan agenda global, yakni berkontribusi langsung pada pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDG), khususnya SDG nomor 7 mengenai energi bersih yang terjangkau, serta SDG nomor 17 tentang penguatan kemitraan untuk mencapai tujuan pembangunan yang berkelanjutan.

Penelitian ini menawarkan pemetaan yang komprehensif terkait akar masalah manajerial dalam adopsi teknologi proteksi katodik mandiri bertenaga surya pada industri beton pracetak. Manfaat utama yang diperoleh adalah tersusunnya kerangka strategi manajerial inovatif yang dapat menjembatani kesenjangan antara kesiapan teknologi berkelanjutan dan sistem operasional industri. Penelitian ini memberikan panduan praktis penyelesaian masalah nyata menggunakan metode *Root Cause Analysis*. Secara ekstensif,

hasil studi ini diharapkan mampu mempercepat integrasi konsep bangunan ramah lingkungan pada ekosistem konstruksi nasional, sekaligus mendukung efisiensi sumber daya serta pencapaian target *Sustainable Development Goals* (SDG).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menerapkan pendekatan kualitatif yang terstruktur dengan mengkombinasikan metode studi literatur dan analisis akar masalah / *Root Cause Analysis* (RCA). Pedekatan ini dipilih untuk mengeksplorasi secara mendalam mengenai faktor-faktor yang menjadi hambatan dalam adopsi teknoligi katodik mandiri pada industry beton pracetak. Tahapan penelitian ini dimulai dengan studi literatur mengenai beton pracetak, proteksi katodik, tantangan / hambatan pengadopsian teknologi dan penerapan proteksi katodik pada beton bertulang. Untuk menjaga relevansi dari literatur, digunakan jurnal atau artikel dalam rentang waktu 10 tahun terakhir (2016-2026). Setelah data hambatan diperloleh dari studi literatur dilakukan analisis akar masalah, melalui *Root Cause Analysis* (RCA) diperloleh hasil eksplorasi hambatan atau tantangan yang lebih mendalam. Oleh karena itu, integrasi studi literatur dan metode *Root Cause Analysis* (RCA) merupakan pendekatan yang tepat dan relevan untuk mengetahui hambatan secara komperhensif, sehingga akar permasalahan manajerial dalam adopsi teknologi PV-ICCP ini dapat teridentifikasi secara baik.

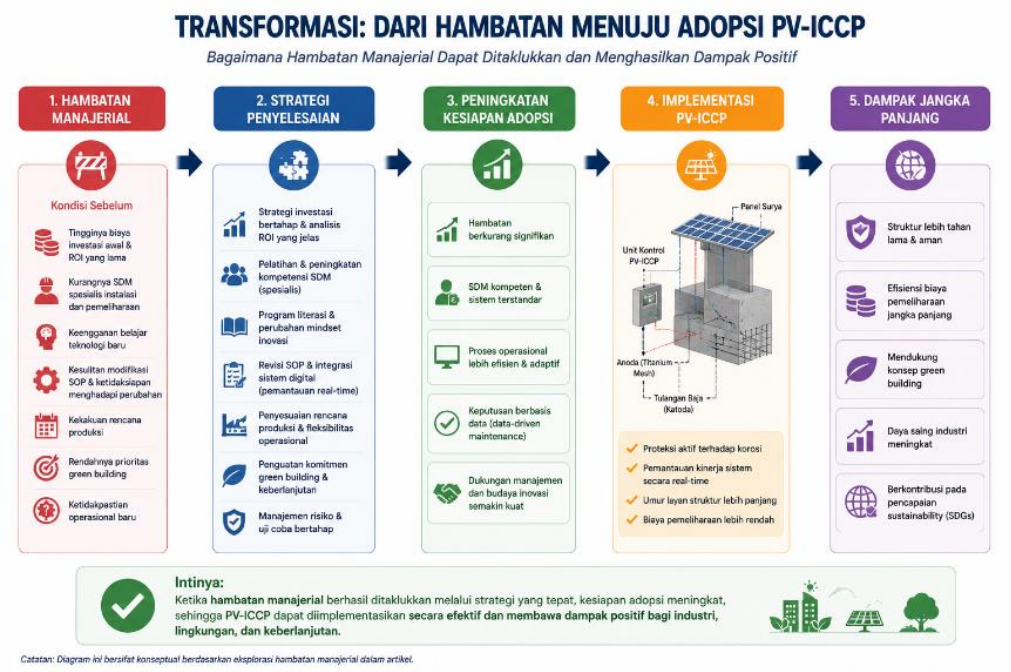


Gambar 1. Diagram Fishbone Akar Hambatan Manajerial

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan *Root Cause Analysis* (RCA) melalui sintesis literatur dalam studi ini berhasil memetakan kompleksitas yang melatarbelakangi lambatnya adopsi teknologi *Photovoltaic-Impressed Current Cathodic Protection (*PV-ICCP) pada industri beton pracetak. Hasil dan pemetaan mengonfirmasi bahwa kendala utama tidak semata-mata bertumpu pada persoalan teknis rakayasa sipil, melainkan didominasi oleh aspek manajerial. Hambatan-hambatan tersebut terdistribusi ke dalam, empat pilar utama: finansial, sumber daya manusia (SDM), sistem operasional, dan perencanaan strategis. Untuk mengurai benang merah manajerial ini, diperlukan intervensi Solusi yang tidak hanya adaptif secara teknis, tetapi juga transformative secara organisasional. Adopsi teknologi PV-ICCP mendisrupsi cara kerja manajemen pemeliharaan dari sistem pencatatan konvensional menuju sistem pemantauan terintegrasi berbasis digital, sehingga ketergantungan pada dokumentasi fisik dan inspeksi manual harus segera ditinggalkan. Manajemen kini membutuhkan personel yang tidak hanya memahami karakteristik dasar elemen beton pracetak, tetapi juga memiliki kompetensi khusus dalam mengoperasikan instrumen kelistrikan dan mengelola data analitik (*data-driven maintenance*). Secara spesifik, SDM teknis yang ditugaskan harus mampu membaca, menginterpretasi, dan merekam data metrik yang ditransmisikan oleh unit kendali proteksi katodik secara *real-time*, seperti fluktuasi tegangan, densitas arus pelindung, serta tingkat polarisasi pada tulangan baja. Untuk mewujudkan ekosistem kerja tersebut, strategi manajerial harus mencakup program pelatihan (*upskilling*) yang berkelanjutan atau rekrutmen tenaga ahli yang mampu menjembatani disiplin ilmu teknik material beton dengan pemahaman instrumentasi kelistrikan dasar. Kesiapan SDM dalam transisi digital ini merupakan investasi manajerial yang krusial guna meminimalisir kesalahan analitik (*human error*) dan memastikan sistem proteksi berjalan optimal dalam menahan laju korosi jangka panjang. Namun Dalam implementasinya, adopsi teknologi PV-ICCP tidak lepas dari kendala teknis rekayasa material. Kajian literatur menunjukkan bahwa elemen beton bermutu tinggi (misalnya *f'c* 40 MPa) memiliki matriks struktur pori yang sangat rapat, yang memicu tingginya resistivitas elektrik dan menghambat distribusi arus dari anoda ke tulangan baja. Sebagai respons teknis, diperlukan optimalisasi instrumen melalui peningkatan tegangan kerja (*driving voltage*) pada unit kendali untuk menembus resistivitas tersebut, sembari memantau secara ketat agar nilai polarisasi tetap berada di

atas standar 100 mV. Selain penyesuaian instrumen, intervensi desain juga mutlak diperlukan, seperti memperpendek jarak antar-anoda atau mengaplikasikan media konduktif tambahan. Dari perspektif manajerial industri beton pracetak, solusi teknis ini mengimplikasikan perlunya pembaruan Standar Operasional Prosedur (SOP) pada lini produksi. Manajemen pabrik harus memastikan bahwa konfigurasi anoda yang lebih rapat ini telah diintegrasikan secara presisi ke dalam gambar kerja (shop drawing) dan dieksekusi dengan baik saat perakitan tulangan di dalam bekisting sebelum fase pengecoran dimulai.



Gambar 2. Transformasi: Dari Hambatan Menuju Adopsi PV-ICCP

Penelitian ini berkontribusi langsung pada pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDG) nomor 7 mengenai energi bersih dan terjangkau. Hal ini diwujudkan melalui pengintegrasian teknologi proteksi katodik mandiri yang memanfaatkan energi matahari melalui panel surya sebagai sumber energi terbarukan tanpa batas. Penggunaan tenaga surya pada struktur beton pracetak ini memastikan sistem pencegahan korosi dapat beroperasi secara optimal dan ramah lingkungan. Sinergi antara keandalan elemen rekayasa struktural dan energi bersih ini merupakan bentuk dukungan nyata terhadap perwujudan konsep bangunan ramah lingkungan atau *green building*.

Selain itu, penelitian ini juga sejalan dengan pencapaian SDG nomor 17 tentang penguatan kemitraan untuk mencapai tujuan pembangunan yang berkelanjutan. Kajian

ini menyoroti bahwa adopsi teknologi *green building* tidak hanya bertumpu pada kendala rekayasa teknis, tetapi sangat dipengaruhi oleh kesiapan manajemen pabrik dan berbagai hambatan manajerial. Untuk mengatasi lambatnya adopsi teknologi ini, sangat diperlukan kolaborasi dan kemitraan strategis antara manajemen industri konstruksi dan penyedia Sumber Daya Manusia (SDM) yang memiliki spesialisasi khusus. Melalui kerangka strategi manajerial yang inovatif, kemitraan lintas disiplin ini menjadi kunci penting untuk mempercepat integrasi teknologi ramah lingkungan pada ekosistem industri beton pracetak nasional.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis akar masalah (*Root Cause Alnalysis)* terhadap studi literatur, pernelitian menyimpulkan bahwa terlambatnya pengadopsian teknologi *Photovoltaic-Impressed Current Cathodic Protection* (PV-ICCP) pada industri beton pracetak karena adanya kompleksitas manajerial. Untuk keberhasilan implementasi teknologi ini manajemen harus melakukan transformasi operasional (memberikan pelatihan) agar pekerja lapangan tidak hanya memahami material beton namun juga menguasaikelistrikan untuk pemantauan digital yang berbasis data. Namun, tantangan teknis seperti sulitnya arus Listrik menembus beton bermutu tinggi mengharuskan adanya penyesuaian desain, seperti merapatkan jaraj anoda. Sehingga, penyesuaan teknis dan peningkatan SDM menuntut industri untuk segera memperbarui Standar Operasional Prosedur (SOP) serta gambar (*shop drawing).*

DAFTAR PUSTAKA

Anuna, P. M. N., Tamasiro, N., Mundui, V., & Peginusa, S. (2023). Implementasi Beton Precast dengan Konsep Green Building pada Pembangunan Rumah Literasi untuk Masyarakat. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 159-169. https://www.semanticscholar.org/paper/Implementasi-Beton-Precast-dengan-Konsep-Green-pada-Anuna-Tamasiro/d83b76758fa2e10f097e5cc0d8e9d6d7577cf5d6

Anwar, M. S., Nikitasari, A., Mabruri, E., Sundjono, & Harsito. (2014). Investigasi Korosi Baja Tulangan Beton Sirip Dengan Proteksi Katodik Arus Tanding Menggunakan Anoda Mmo-Ti Mortar Konduktif. *Majalah Metalurgi, 5*, 256-264. https://ejournal.brin.go.id/metalurgi/article/view/6973

Bashi, S. M., Mailah, N. F., & Radzi, M. A. M. (2003). Cathodic Protection System. National Power and Energy Conference (PECon), 366-370. https://www.researchgate.net/profile/S-Bashi/publication/4145837_Cathodic_protection_system/links/55b6da4208aed621de043e66/Cathodic-protection-system.pdf

Byrne, A., Holmes, N., & Norton, B. (2015). *Cathodic Protection For Reinforced Concrete Structures: Present Practice And Moves Toward Using Renewable Energy*. School of Civil Structural Engineering (Former DIT). https://www.researchgate.net/profile/S-Bashi/publication/4145837_Cathodic_protection_system/links/55b6da4208aed621de043e66/Cathodic-protection-system.pdf

Byrne, A., Holmes, N., & Norton, B. (2016). State-of-the-art Review of Cathodic Protection for Reinforced Concrete Structure. *School of Civil Structural Engineering (Former DIT), 68*(13), 664-667. https://arrow.tudublin.ie/cgi/viewcontent.cgi?article=1090&context=engschcivart

Cheaitani, A., & Cheytani, S. (2025). The Latest Developments in the Management of Cathodic Protection Systems. *Concrete 2025*. https://ciaconference.com.au/concrete2023/pdf/full-paper_42.pdf

Karabacak, N., & Karakaya, A. (2023). Using solar energy in galvanic anode cathodic protection systems. *International Journal of Energy Applications and Technologies, 10*(1), 6-13. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2929676

Kevin, Linggadiharja, G. C., Tjandra, D., & Wijaya, G. B. (2019). Pengaruh Mutu Beton Terhadap Efektivitas Impressed Current Cathodic Protection Dengan Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminate Sebagai Anoda. *Dimensi Teknik Sipil*, 204-209. https://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-sipil/article/view/9620/8686

Ridha, M., Fonna, S., Hidayatullah, M. R., Huzni, S., & Thalib, S. (2015). Simulasi Desain Sistem Proteksi Katodik Anoda Korban pada Balok Beton Bertulang Dermaga Menggunakan Metode Elemen Batas. *Prosiding SNTTM*. https://prosiding.bkstm.org/prosiding/2015/MT%2046.pdf

Sufrianti, J., & Hamzah, A. (2019). Desain Metode Proteksi Katodik Dengan Arus Paksa (Impressed Current) Pada Pipa Dermaga. JOM FTEKNIK, 6, 1-8. https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/22722

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. (2024). Mahasiswa UMY Cegah Korosi Pada Bangunan Dengan Energi Terbarukan. *UMY*. https://www.umy.ac.id/mahasiswa-umy-cegah-korosi-pada-bangunan-dengan-energi-terbarukan/