

Pengembangan Purwarupa Sistem Monitoring dan Proteksi Logam Menggunakan Metode *Sacrificial Anode Cathodic Protection* Berbasis *Internet of Things (IoT)*

Rafi Ferdiansyah Raihan, Reza Kelana Bakti, Sekhah Ulyana, Dien Rahmawati, Faisal Budiman*

Universitas Telkom

*) *Corresponding author*: faisalbudiman@telkomuniversity.ac.id

Abstract

Metals is both an industrial and a construction element primarily in iron metals. However, iron metals can also corrode and oxidize at the oxygenated environment. Effective monitoring and protection systems are needed to prevent damage to the metals. The method used for corrosive protection on metals is with cathodic protection. That consists of Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) and Sacrificial Anode Cathodic Protection (SACP). ICCP method involve the use of electrical currents to prevent corrosion with iron metals, while SACP method involve use of more reactive metals to protect the iron. At this research using the SACP method. The system is integrated into an IoT because it has Wi-Fi modules. Data for measuring voltage values on the metals are sent to ThingSpeak platform that monitoring can be done on LCD, websites, and android application. The result of this study have successfully protected an iron metal by an anode from zinc metals. The value of a protected iron voltage as much as 1,04V in freshwater. It is hoped that this system will provide effective protection against corrosion in the iron metals.

Abstrak

Logam adalah unsur yang sering digunakan pada industri maupun pada bidang konstruksi terutama logam besi. Namun, logam besi juga dapat mengalami korosi dan oksidasi ketika terkontaminasi oleh lingkungan yang mengandung oksigen. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring dan proteksi korosi yang efektif untuk mencegah kerusakan pada logam besi. Metode yang digunakan untuk proteksi korosi pada logam adalah dengan *Cathodic Protection*. *Cathodic Protection* terdiri dari *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dan *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP). Metode ICCP melibatkan penggunaan arus listrik untuk mencegah korosi pada logam besi, sedangkan metode SACP melibatkan penggunaan logam yang lebih reaktif untuk melindungi logam besi dari korosi. Pada penelitian ini menggunakan metode SACP. Sistem ini terintegrasi IoT karena memiliki modul *Wi-Fi*. Data pengukuran berupa nilai tegangan pada logam dikirimkan ke *platform* ThingSpeak sehingga monitoring dapat dilakukan pada LCD, website, dan aplikasi android. Hasil penelitian yang telah dilakukan ini berhasil memproteksi logam besi yang terlindungi anoda dari logam *zinc*. Nilai tegangan logam besi terproteksi sebesar 1,04V pada air tawar. Diharapkan sistem ini dapat memberikan perlindungan yang efektif terhadap korosi pada logam besi.

Kata kunci : *Corrosion, ICCP, IoT, Iron, SACP*

PENDAHULUAN

Logam adalah bahan yang sangat penting dalam dunia industri dan juga sangat bermanfaat bagi kehidupan sehari-hari manusia. Industri menggunakan logam untuk bahan baku, bahkan digunakan untuk proses produksi dikarenakan sifatnya yang kuat, mudah ditempa dan tahan dalam jangka panjang [1]. Namun, sifat logam pada umumnya akan berkarat ataupun korosi jika ditempatkan pada lingkungan yang mengandung oksigen atau lingkungan yang sifatnya korosif, kecuali logam yang sifatnya inert seperti emas dan platinum (namun mahal secara pengadaan). Tanpa perlindungan yang tepat, logam tersebut tidak akan bertahan lama dan akan menyebabkan berbagai kerugian yang sangat besar bagi penggunaannya.

Korosi adalah suatu fenomena kerusakan pada logam akibat reaksi oksidasi yang terjadi antara logam dengan zat yang ada di lingkungan sekitar, yang pada umumnya disebabkan oleh lingkungan yang mengandung oksigen [2]. Korosi menyebabkan logam terus tergerus dan perlahan-lahan berkurang ketebalannya, sehingga jika dibiarkan begitu saja fungsi dari logam tersebut akan menjadi tidak optimal. Sebagai contoh, ketika pagar rumah yang terbuat dari besi tidak diproteksi (dilapisi cat), maka pagar tersebut tidak akan kokoh atau mudah rapuh. Kejadian korosi pada pipa logam di industri, pipa logam akan mengakibatkan kebocoran gas atau minyak sehingga dapat menyebabkan kebakaran. Contoh lainnya, ketika terjadi korosi pada pipa-pipa logam di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang mengalirkan uap air bertekanan tinggi, akan menyebabkan ledakan [3]. Hal ini menggambarkan bahwa melindungi logam dari proses korosi sangatlah penting.

Berbagai solusi telah dilakukan untuk melindungi logam dari proses korosi ataupun oksidasi, di antaranya adalah metode pelapisan (coating). Metode coating adalah dengan cara melapisi logam dengan suatu zat khusus agar logam tidak secara langsung kontak dengan lingkungan yang mengandung oksigen [4]. Hal ini dapat memberikan ketahanan pada logam besi dari korosi ataupun oksidasi. Walaupun metode ini sangat efektif untuk melindungi logam, namun terkadang membutuhkan biaya perawatan yang terkadang tidak terjangkau untuk mempertahankan perlindungan yang sempurna, atau lapisan yang cenderung mudah mengelupas. Metode coating lain dapat juga menggunakan elektroplating. Elektroplating adalah metode pelapisan logam dengan memanfaatkan proses elektrolisis. Dalam proses ini, logam yang akan dilapisi berperan sebagai katoda, sementara logam anoda dilarutkan sebagai bahan pelapis, yang biasanya adalah logam yang sifatnya lebih kuat daripada logam yang akan dilapisi. Hasilnya adalah lapisan tipis logam yang terbentuk di atas permukaan logam yang lain [5]. Penggunaan elektroplating terkadang memiliki keterbatasan dalam hal ukuran benda yang dapat dilapisi. Solusi lain yang dianggap mumpuni untuk melindungi logam dari korosi adalah dengan menggunakan metode perlindungan katodik yang dikenal sebagai cathodic protection. Cathodic protection memiliki dua metode utama, yaitu SACP (Sacrificial Anode Cathodic Protection) dan ICCP (Impressed Current Cathodic Protection). SACP merupakan metode proteksi logam katodik dengan memanfaatkan logam yang lebih reaktif (dilihat dari data tabel potensial standar untuk unsur logam) untuk terjadi korosi sebagai anoda korban. Karena perbedaan potensial dapat menyebabkan penarikan elektron negatif yang lebih besar. Logam anoda karbon tersebut akan mengalami korosi lebih cepat dan pada saat yang sama melindungi logam katoda dari proses korosi [6]. Sementara itu, ICCP adalah metode lain untuk melindungi logam dari korosi dengan memanfaatkan proses elektrokimia yang melibatkan katoda, anoda inert dan elektrolit, dimana logam yang akan diproteksi diberikan tambahan elektron tambahan dari arus listrik, sehingga mencegah lepasnya elektron akibat proses ionisasi logam karena efek oksidasi [7].

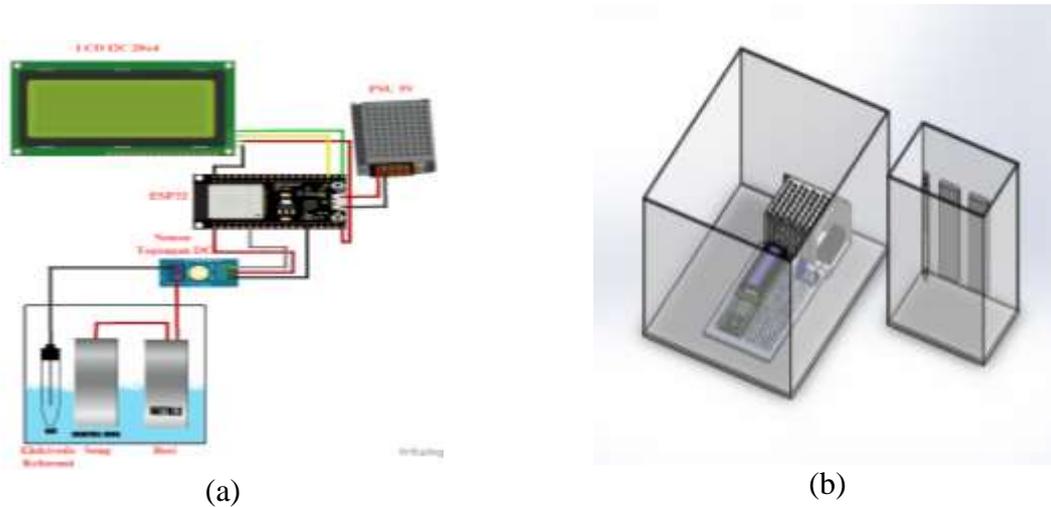
Penelitian yang dilakukan Dana Aulia (2022) berhasil mengembangkan sebuah sistem proteksi korosi menggunakan IoT dengan metode ICCP. Hasil penelitian yang dilakukan, menunjukkan bahwa sistem ini mampu menjaga potensial logam Zn sebesar 0,98 V dengan arus sebesar 0,25 mA. Namun terdapat beberapa kekurangan pada penelitian ini yaitu terbatas pada penggunaan logamnya, dan belum dapat dilakukan pada lingkungan yang lebih kompleks [8]. Penelitian yang telah dilakukan Isni Utami (2009), dalam perancangan proteksi katodik SACP di lingkungan *aqueos* [9]. Dengan sistem proteksi yang terdiri dari baja AISI SAE 1018, logam seng (Zn) dan aluminium (Al) sebagai anoda korban dan larutan NaCl 3,5% sebagai lingkungannya. Pengujian ini dilakukan dalam rentang waktu 168 sampai 840 jam. Perhitungan laju korosi pada penelitian ini menggunakan metode kehilangan berat. Untuk hasil penelitian menunjukkan bahwa anoda Al mampu melakukan penurunan laju korosi baja 82% sedangkan untuk anoda Zn sebesar 50%. Karena beda potensial Al lebih elektronegatif dibandingkan dengan Zn. Penelitian mengenai SACP lainnya telah dilakukan oleh Retno Indarti dkk (2018), dalam hal ini penulis mengidentifikasi metode SACP menggunakan anoda korban logam magnesium (Mg) pada pipa dalam tanah. Sistemnya terdiri dari pipa *seamless* dengan luas permukaan 5,7424 m² menggunakan logam Mg dengan berat 7 kg dan rentang 10-70 cm terhadap punggung pipa. Pemakaian anoda korban Mg telah diterapkan dengan *backfill* yaitu pembungkus dengan fungsi meratakan permukaan lingkungan sehingga arus *output* anoda korban diperkirakan tetap. Hasil penelitian yang dilakukan bahwa penggunaan anoda korban Mg dengan *backfill* lebih tepat untuk lingkungan bawah tanah dengan potensial lebih besar -1400mV/CSE dengan efisiensi 95% pada resistivitas tanah 1537 ohm-cm [10]. Dari kedua penelitian di atas, menandakan penelitian tersebut telah berhasil dilakukan menggunakan metode *cathodic protection* SACP pada media larutan elektrolit NaCl dan lingkungan bawah tanah. Dari beberapa literatur di atas, walaupun sistem SACP telah mulai dikembangkan secara bertahap, namun masih sedikit yang membuat sistem SACP secara otomatis dan terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT). Jika sistem otomatis SACP yang terintegrasi dengan IoT dapat dibuat, akan mempermudah proses pemantauan logam oleh pihak yang berkepentingan.

Oleh karena itu, pada penelitian ini perancangan purwarupa sistem monitoring dan proteksi logam menggunakan metode SACP berbasis *Internet of Things* (IoT) dikembangkan sebagai alternatif solusi untuk menyelesaikan permasalahan perlindungan logam. Sistem ini terdiri dari sensor tegangan DC, LCD dan mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi modul Wi-Fi untuk integrasi IoT. Sistem elektronika tersebut dihubungkan dengan setup implementasi untuk SACP, sehingga proses monitoring logam akan dapat dilakukan secara otomatis dan juga *real-time*. Alat ini dapat memproteksi logam dan menampilkan hasilnya melalui LCD, aplikasi dan website. Penampilan di LCD berupa angka sedangkan tampilan di aplikasi dan website berupa grafik garis dan angka. Harapan dari penelitian ini adalah salah satu alternatif dalam melakukan perlindungan logam dan potensial untuk diimplementasikan dalam skala besar.

METODE PENELITIAN

Diagram *wiring* purwarupa sistem SACP yang dirancang pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 1 (a). Sistem terdiri dari sensor tegangan menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai mikrokontroler dilengkapi dengan modul Wi-Fi. dan juga *display* LCD 20x4. Pada dasarnya, sistem di atas untuk mengakomodasi pembacaan tegangan logam secara otomatis, untuk mengetahui status logam terproteksi atau tidak (semakin tinggi tegangan, maka mengindikasikan logam tersebut belum *failure*). Untuk sistem pendukung SACP sendiri, digunakan elektroda referensi Ag/AgCl, logam besi (7 cm x 4,5 cm x 0,1 cm), logam *zinc* (Zn) (7 cm x 4,5 cm x 0,1 cm). Spesifikasi komponen elektronika yang digunakan pada sistem SACP ini disajikan pada Tabel 1. Keseluruhan komponen selanjutnya dirangkai dan dikemas dalam suatu kesatuan sistem

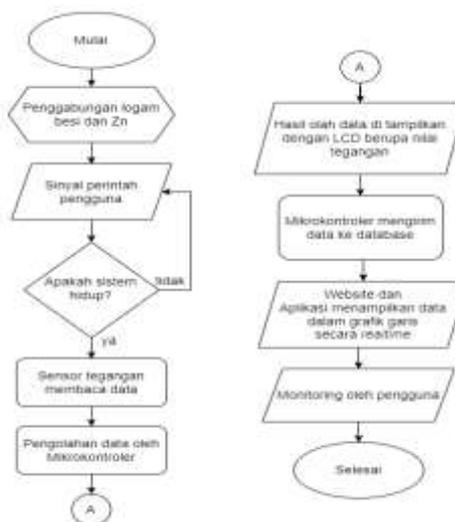
purwarupa yang ditunjukkan oleh Gambar 1 (b). Berjalannya sistem dapat ditunjukkan dalam Gambar 2. Langkah tersebut menunjukkan proses monitoring proteksi SACP sampai selesai.



Gambar 1. (a) Wiring Diagram Sistem SACP dan (b) 3D Purwarupa Sistem SACP

Tabel 1. Spesifikasi Komponen Elektronika

Komponen	Model/Tipe	Fungsi
Sensor Tegangan	Sensor Tegangan DC	Mengukur nilai tegangan pada logam
Sensor Arus	ACS712	Mengukur nilai arus pada logam
Mikrokontroler	ESP32	Komunikasi nirkabel
Power Supply	Switched Mode Power Supply 12 V & 5 V	Pemberi sumber daya
LCD	LCD I2C 20x4	Menampilkan karakter
Anoda Inert	Seng (Zn) & Karbon	Sacrificial anode
Logam	Besi	Katoda / logam yang akan dilindungi
Elektroda Referensi	Ag/AgCl	Elektroda referensi pengukuran potensial konstan

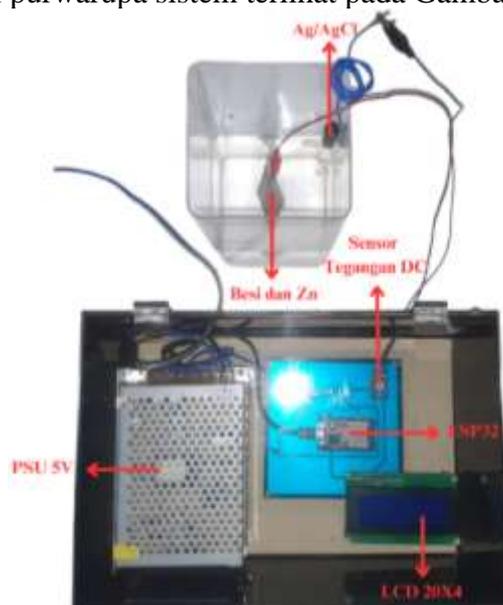


Gambar 2. Diagram Alir Sistem

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Alat

Gambar 1 adalah hasil dari perancangan prototype sistem monitoring dan proteksi korosi pada logam besi. Dapat dilihat purwarupa tersebut terdiri dari ESP32 sebagai mikrokontrolernya, menggunakan sensor tegangan DC, Ag/AgCl, logam Zn sebagai anoda, logam besi sebagai katoda yang diproteksi, PSU 5V untuk supply daya, serta purwarupa ini dapat dimonitoring langsung pada LCD. Penggunaan ESP32 sebagai mikrokontroler dalam sistem ini dikarenakan ESP32 adalah mikrokontroler yang memungkinkan untuk eksekusi paralel dan multitasking serta dilengkapi oleh modul Wi-Fi. Selain itu, pada sistem ini ESP32 digunakan untuk mengontrol dan mengendalikan berbagai sistem elektronik lainnya serta integrasi ke *Internet of Thing* (IoT) pada purwarupa sistem sehingga pengguna akan dapat memonitoring menggunakan perangkat yang terhubung dengan internet yang sama dengan sistem. Lalu sensor yang dipakai adalah sensor tegangan DC, prinsip kerja sensor ini adalah sebagai pembagi tegangan. Penggunaan sensor ini pada purwarupa sistem digunakan untuk pengukuran tegangan potensial. Sensor tegangan DC yang terhubung langsung ke logam besi akan secara langsung mengukur perbedaan potensial antara titik sensor dan logam besi. Hal ini memungkinkan untuk sensor dapat mendeteksi perubahan tegangan pada logam besi dalam kondisi atau lingkungan air tawar. Sehingga jika logam besi mengalami korosi, perubahan tegangan dapat terdeteksi oleh sensor tegangan. Untuk Proses elektrolisis yang terjadi antara Ag/AgCl, Zn dan logam besi adalah elektroda referensi Ag/AgCl yang dipakai digunakan untuk memastikan adanya referensi potensial yang stabil, sementara anoda Zn dan katoda Fe akan mengalami reaksi elektrokimia. Arus listrik yang terjadi karena ionisasi pada logam Zn akan mereduksi logam besi. Ketika arus listrik mengalir melalui larutan elektrolit, ion Zn^{2+} akan berpindah menuju logam besi. Sehingga logam besi akan mengalami penumpukan lapisan pada permukaannya, dan mengakibatkan logam besi tidak mudah mengalami korosi. Pembuatan purwarupa sistem monitoring dan proteksi logam menggunakan metode SACP berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem IoT ini berfungsi untuk memonitoring kondisi korosi pada logam yang bisa dilakukan dimana saja, dimana data yang sudah diambil akan ditampilkan melalui aplikasi dan website. Realisasi dari purwarupa sistem terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Realisasi Sistem

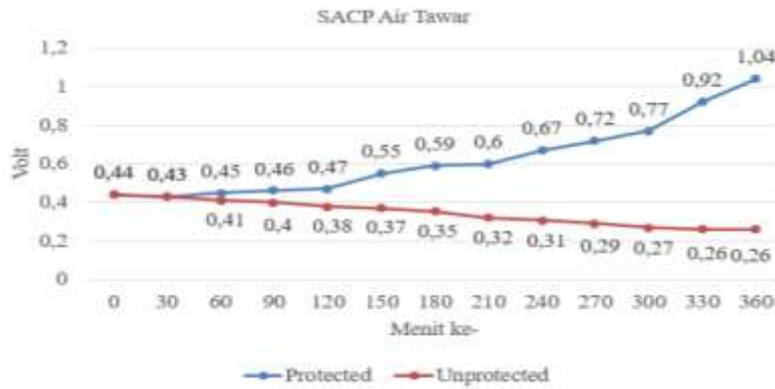
Pengujian Alat

Tabel 2. Pengujian Kalibrasi Sensor Tegangan DC

DC Power Supply (Volt)	Multimeter (Volt)	Sensor Tegangan (Volt)	Error (Volt)
1,0	1,03	0,59	0,44
1,3	1,38	1,00	0,38
1,6	1,68	1,36	0,32
1,9	1,96	1,73	0,21
2,2	2,26	2,07	0,19
2,5	2,57	2,48	0,09
2,8	2,86	2,96	0,10
3,0	3,04	3,29	0,25
Rata-Rata Error			0,25

Tabel 2 menampilkan hasil pengujian dari sensor tegangan DC. Hasil pengujian ini dilakukan menggunakan *power supply* DC dan multimeter yang dihubungkan ke sensor tegangan, pin V+ ke Vcc pada sensor, pin GND ke GND pada sensor. Dengan mengubah besaran power supply tersebut, maka besar tegangan pada sensor tegangan ini terlihat pada layar LCD sehingga dapat dilakukan pengukuran untuk kalibrasi sensor tegangan. Hasil pengukuran dari sensor tegangan DC ini menunjukkan rata-rata nilai *error* pada sensor tegangan sebesar 0,25V. Nilai absolut ini dapat mengevaluasi pengukuran yang dilakukan oleh sensor tegangan, terdapat perbedaan sebesar 0,25V antara nilai ukur oleh sensor dengan nilai referensi dari power supply. Sensor tegangan menghasilkan pengukuran yang lebih rendah daripada *power supply*. Namun 0,25V merupakan nilai yang rendah, karena masih mendekati 0 sehingga pengujian kalibrasi pada sensor tegangan masih dapat diterima.

Hasil pengujian sistem secara keseluruhan yang dimonitoring selama 360 menit secara simultan ditunjukkan pada Gambar 4 menggunakan media air tawar dengan pH 7,7. Dari hasil pengukuran ini terdapat perbedaan kondisi logam besi yang tidak diproteksi dan yang diproteksi SACP pada Tabel 3. Kondisi logam besi yang tidak terproktesi pada lingkungan air tawar mengalami korosi berwarna kemerahan karena bereaksi dengan oksigen dan air dalam udara (oksida besi). Sedangkan kondisi logam besi yang terproteksi SACP, pada permukaan logam besi tersebut terdapat lapisan Zn yang secara tidak langsung melindungi logam besi tersebut dari korosi (berwarna putih). Logam Zn melapaskan elektron dan membentuk ion Zn^{2+} dalam lingkungan elektrolit. Dengan korosi Zn yang terkontrol melalui referensi potensial Ag/AgCl, Zn berfungsi sebagai pengorbanan dalam memberikan perlindungan katodik pada logam besi.



Gambar 4. *Metal Failure* Metode SACP Air Tawar

Pada Gambar 4, grafik *metal failure* menunjukkan adanya perbedaan antara logam yang terproteksi dan tidak terproteksi yakni adanya kenaikan dan penurunan nilai potensial logam. Dalam pengujian selama 360 menit adanya kenaikan nilai potensial karena proteksi SACP, dengan kenaikan ini mencukupi untuk menghambat laju korosi sehingga hasil akhir pengambilan data ini menunjukkan nilai potensial logam besi di 1,04V. Di waktu yang sama, logam tanpa proteksi SACP mengalami laju korosi yang menunjukkan penurunan nilai potensial dengan hasil akhir 0,26V. Nilai potensial tersebut dapat memperlihatkan bahwa nilai yang mendekati *failure* akan mempengaruhi kondisi logam karena mencapai kriteria korosi, sedangkan kenaikan potensial akan menjadikan logam besi terlindungi dari korosi karena nilai potensial berada diatas standar Emf dan tidak terjadi overproteksi.

Tabel 3. Perbedaan Kondisi Logam Besi, (a) Sebelum Diproteksi, (b) Setelah Diproteksi dengan SACP, (c) Sebelum Diproteksi dan (d) Tanpa Proteksi SACP

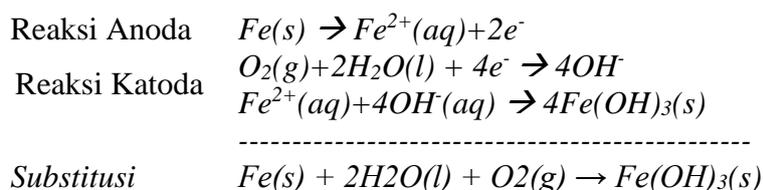
Kondisi Logam yang Diproteksi SACP		Kondisi Logam Tanpa SACP	
Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
			
(a)	(b)	(c)	(d)

Note

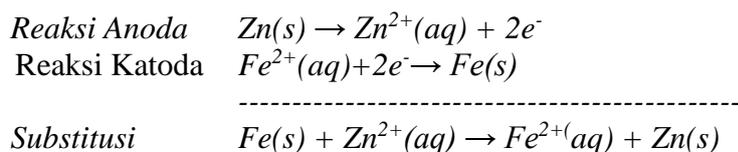
- : Lapisan Zinc
- : Karat

Gambar (a) dan (c) menunjukkan kondisi awal logam dengan nilai potensial yang sama sebesar 0,440 V, kemudian masing-masing logam tersebut akan menjalankan 2 kondisi. Logam (a) merupakan kondisi sebelum dilakukannya proteksi SACP, kemudian kondisi tersebut mengalami perubahan menjadi tampilan pada logam (b), keduanya adalah logam yang sama. Begitu pula dengan logam (c) yang tanpa proteksi mengalami perubahan kondisi menjadi tampilan pada logam (d). Transformasi pada logam ditandai dengan warna yang berbeda, tanda biru merupakan adanya pelapisan dari logam Zn yang melepaskan elektron nya sehingga melekat pada logam besi yang mengakibatkan logam besi terlindungi dari korosi, kemudian tanda merah adalah kondisi munculnya karat dengan warna merah kecoklatan karena reaksi oksidasi.

Korosi adalah proses kimia dimana logam mengalami oksidasi atau reaksi dengan lingkungan sekitar yang mengandung oksigen. Korosi terjadi karena adanya reaksi elektrokimia yang melibatkan anoda, katoda, elektrolit serta lingkungan elektrokimia. Korosi tercipta ketika logam menjadi anoda dan mengalami oksidasi, pada proses ini logam akan kehilangan elektron dan menghasilkan ion positif. Lingkungan juga turut andil dalam proses terjadinya korosi, seperti kelembaban, keasaman, suhu, oksigen dan zat kimia (garam atau asam) bisa mempengaruhi kecepatan tingkat dari korosi. Untuk melindungi logam dari korosi maka digunakanlah metode sacrificial anode. Metode ini mengorbankan logam lain yang lebih reaktif sebagai bahan pelindung bagi logam yang akan dilindungi agar logam tersebut tidak cepat korosi. Korosi yang terjadi ketika logam besi berada di lingkungan air tawar disebabkan oleh reaksi oksida besi sebagai berikut:



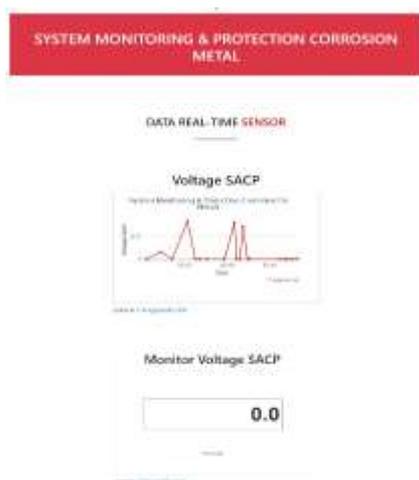
Dalam proses korosi ini, logam besi berperan sebagai anoda yang mengalami oksidasi, sedangkan oksigen dan air tawar bertindak sebagai reduktor, yang menyebabkan pembentukan endapan karat yang memiliki warna kecoklatan. Oleh karena itu terjadilah korosi. Namun berbeda halnya ketika logam besi tersebut bereaksi dengan logam *zinc* sebagai *sacrificial anode* yang melindungi logam besi tersebut dari korosi. Dengan reaksi kimia sebagai berikut:



Logam besi tersebut bereaksi dengan ion Zn^{2+} . Sehingga logam *zinc* teroksidasi dan melepaskan elektron, dan menyebabkan korosi terjadi pada logam *zinc*. Dengan demikian, logam besi yang terproteksi ini dilindungi dari korosi akibat endapan ion zinc sebagai logam Zn padat pada permukaan logam besi. Proses ini dinamakan dengan *cathodic protection* menggunakan metode SACP.

IoT Monitoring

Selain dapat dimonitoring secara langsung dengan display LCD, sistem ini juga bisa dimonitoring melalui aplikasi dan website. Monitoring dengan menggunakan aplikasi dan website bertujuan untuk dapat memantau nilai tegangan dari jarak jauh. Proses monitoring ini dengan mengolah data yang dibaca oleh sensor kemudian diproses oleh ESP32 lalu dikirim ke ThingSpeak kemudian ditampilkan pada website dan aplikasi. Untuk fitur dari aplikasi dan website yaitu bisa menampilkan data dalam bentuk grafik garis dan angka serta adanya fitur status pada aplikasi untuk mengetahui keadaan logam yang sedang diproteksi. Keunggulan dari IoT monitoring ini adalah dapat melakukan monitoring secara *real-time* dan monitoring bisa dilakukan dari jarak jauh. Gambar 5 dan Gambar 6 di bawah ini merupakan tampilan dari website (kiri), dan aplikasi (kanan).



Gambar 5. Tampilan Pada Website



Gambar 6. Tampilan Pada Aplikasi

Pengiriman data dari Thingspeak ke aplikasi dan website memiliki delay sebesar 15 detik. Karena platform Thingspeak memiliki fitur *message update interval limit* sebesar 15 detik, oleh karena itu data yang dikirim ke Thingspeak bisa diterima dalam waktu 15 detik [11].

KESIMPULAN

Penelitian ini merancang purwarupa alat pada sistem monitoring dan proteksi korosi pada logam besi menggunakan metode *cathodic protection* yaitu *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP). Dengan ukuran logam besi 7 cm x 4,5 cm x 0,1 cm dan menggunakan lingkungan elektrolit yaitu air tawar. Logam besi tersebut dapat diproteksi dan diukur dengan memanfaatkan sensor tegangan DC. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa pada saat logam besi diproteksi menggunakan metode SACP, logam besi berhasil diproteksi dengan nilai tegangan 1,04V pada air tawar. Logam besi yang terproteksi tersebut memiliki struktur yang lebih baik dan tidak korosi karena cakupan anoda pada logam besi tersebut terpenuhi. Sistem ini juga memungkinkan untuk dimonitoring dimanapun, karena terintegrasi oleh IoT. Sistem ini memanfaatkan ThingSpeak sebagai *cloud database* dari sistem monitoring dan proteksi korosi pada logam, selanjutnya data yang terkirim ke ThingSpeak akan diteruskan ke website dan aplikasi dengan tampilan grafik garis dan angka. Sistem monitoring dan proteksi korosi pada logam besi ini berhasil menunjukkan bahwa sistem dengan metode SACP dapat memperlambat laju korosi pada lingkungan elektrolit. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah dengan meningkatkan sistem IoT serta melakukan pengujian pada lingkungan yang berbeda agar bisa memberikan wawasan terhadap kinerja proteksi korosi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Tuhan, keluarga, teman, pembimbing serta kampus Telkom University yang telah membantu membiayai dan mendukung penelitian pengembangan purwarupa sistem monitoring dan proteksi logam menggunakan metode SACP berbasis *Internet of Things* (IoT). Sehingga penelitian ini bisa berjalan dengan baik dan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Sitompul, Y. P. Siahaan, M. B. Butar, J. C. Gulo and A. A. Bondar, "Pengaruh Total Hutang dan Perputaran Persediaan Terhadap Laba Bersih Pada Perusahaan Sub Sektor Industri Logam Yang Terdapat di Bursa Efek Indonesia," *Jurnal Global Manajemen*, vol. 11, no. 1, pp. 229-237, 2022.
- [2] F. Sidik, "Analisa Korosi dan Pengendaliannya," *Jurnal Foundry*, vol. 3, no. 1, pp. 25-30, 2013.
- [3] W. a. D.E, "Perhitungan Laju Korosi Untuk Menentukan Sisa Umur Pakai (Remaining Service Life) dan Sistem Perawatan Pada Jaringan Pipa Produksi Uap Geothermal di PT.Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang," Bandung, Universitas Islam Bandung, 2016.
- [4] S. Sukarman, I. R. Sitorus, B. Aribowo, D. A. Rajab and Y. Heryadi, "Optimasi Parameter Proses Powder Coating Pada Plat Electro Galvanized," *Prosiding SEMNASTERA*, vol. 1, pp. 110-115, 2019.
- [5] Ahmadi and C. A. Dewi, "The Effect of Electric Flow on Decorative Krom Electroplating With Copper Base Metal Toward Corrosion Rate," *PRISMA SAINS*, vol. 1, no. 2, pp. 134 - 138, 2010.
- [6] B. Syahputra, S. J. Sisworo and A. Trimulyono, "Analisa Teknis & Ekonomis Perancangan Sistem Pencegahan Korosi Pada Lambung Kapal, Dengan Variasi Sistem Pencegahan Menggunakan ICCP (Impressed Current Cathodic Protection) Dibandingkan dengan SACP (Sacrificial Anode Cathodic Protection)," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 3, no. 2, pp. 247 - 253, 2015.
- [7] J. Oh, "The Performance of Cathodic Protection with ICCP," *The Korean Society of Marine Engineers*, vol. 28, no. 8, pp. 1286 - 1290, 2004.
- [8] D. A. Pratiwi, D. Rahmawati and F. Budiman, "Sistem Monitoring Perlindungan Logam Zn Menggunakan Metode ICCP Berbasis Internet of Things (IoT)," *TREnD - Technology of Renewable Energy and Development*, pp. 162-169, 2022.
- [9] I. Utami, "Proteksi Katodik Dengan Anoda Tumbal Sebagai Pengendalian Laju Korosi Baja Dalam Lingkungan Aqueous," *Teknik Kimia*, vol. 3, no. 2, pp. 240-245, 2009.
- [10] R. Indarti, Y. T. Sarungu and C. Magesang, "Karakterisasi Simulator Sistem Proteksi Katodik Metode Anoda Korban Pada Sistem Perpipaan Yang Tertanam Dalam Tanah," *9th Industrial Research Workshop and Nasional Seminar*, vol. 9, pp. 41-45, 2018.
- [11] ThingSpeak, "Student License," ThingSpeak, [Online]. Available: https://thingspeak.com/prices/thingspeak_student