

RANCANG BANGUN PENGGUNAAN METODE IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION PADA LOGAM BERBASIS MIKROKONTROLER

Hidayat¹, Usep Mohamad Ishaq², Cecep Wiliam³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Komputer Unikom, Bandung

¹hidayat@unikom.ac.id, ²ishacovic@gmail.com, ³cepwil@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan utama pada peralatan dan struktur bahan yang terbuat dari logam adalah korosi yang mengikis struktur pada logam sampai pada taraf yang sangat merusak. Akibat korosi pada logam ini dapat menimbulkan bahaya bahkan korban jiwa, seperti halnya korosi yang terjadi pada jembatan yang dapat menyebabkan runtuhnya jembatan tersebut dan pipa gas yang dapat menyebabkan kebakaran akibat kebocoran pada pipa gas. Permasalahan ini menjadi bagian yang sangat penting dan serius untuk ditangani. Salah satu upaya untuk mencegah korosi ini adalah dengan dirancangnya suatu sistem pencegahan korosi yang menggunakan metoda Impressed Current Cathodic Protection. Sistem ini dibuat untuk mengendalikan arus proteksi pada logam supaya tetap berada pada kriteria perlindungan, yaitu antara 0.850 V sampai 1.5 V (dalam nilai absolut) terhadap elektroda referensi Ag/AgCl. Sistem ini diujikan pada logam baja dengan ukuran 10 x 10 cm² dengan ketebalan 0,2 cm. Logam yang akan diproteksi ini ditempatkan pada berbagai lingkungan untuk pengujian. Buck-Boost Converter dikendalikan dengan memberikan variasi siklus PWM dari mikrokontroler untuk proses switching. Semakin besar siklus PWM yang diberikan, maka arus dan tegangan keluaran dari Buck-Boost Converter pun akan semakin besar. Dan semakin besar arus dan tegangan yang diberikan pada logam, maka tegangan E_i (tegangan logam terhadap elektroda referensi) pun akan semakin kecil. Hasil pengujian menunjukkan logam uji berhasil dilindungi dari korosi yang diuji pada lingkungan air ledeng, air laut, air cuka dan air kapur. Masing-masing pengujian dilakukan selama 12 jam.

Kata Kunci : Korosi, Impressed Current Cathodic Protection, Buck-Boost Converter, Mikrokontroler

1 Pendahuluan

Korosi merupakan permasalahan utama pada peralatan dan struktur bahan yang terbuat dari logam. Korosi atau karat dapat mengikis struktur pada logam sampai pada taraf yang sangat merusak.[1]

Amerika Serikat mengalokasikan biaya pengendalian korosi sebesar 80 hingga 126 milyar dollar per tahun[2]. Di Indonesia sekitar dua puluh tahun ke belakang, biaya yang ditimbulkan akibat korosi dalam bidang industri mencapai 5 trilyun rupiah. Nilai tersebut memberi gambaran betapa besarnya dampak yang ditimbulkan korosi, dan nilai ini semakin meningkat setiap tahunnya karena belum terlaksananya pengendalian korosi yang efektif di bidang industri[3].

Kerugian yang ditimbulkan akibat korosi di industri dapat dikategorikan menjadi kerugian dengan dampak yang bersifat langsung dan tidak langsung. Kerugian langsung adalah dapat berupa terjadinya kerusakan pada peralatan, mesin dan stuktur-struktur yang berbahan dasar logam bahkan dapat menimbulkan kecelakaan seperti kejadian runtuhnya jembatan akibat korosi, kebakaran akibat kebocoran pipa gas, sedangkan kerugian

tidak langsung dapat berupa terhentinya aktivitas produksi karena terjadinya kerusakan peralatan akibat korosi.

Salah satu metoda yang dapat digunakan untuk pencegahan dan pengendalian korosi, adalah metoda proteksi katodik arus paksa atau yang dikenal dengan istilah *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP). Proteksi katodik biasa digunakan untuk mengurangi laju korosi pada logam, akan tetapi pada prakteknya penerapan metoda tersebut masih banyak dilakukan secara konvensional/ manual.

Hal di atas mendorong Peneliti untuk merancang bangun penerapan metoda ICCP secara otomatis berbasis mikrokontroler.

2 Teori Penunjang

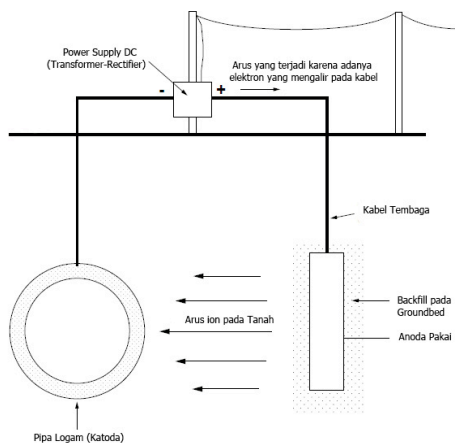
Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat adanya reaksi oksidasi-reduksi antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya dan menghasilkan senyawa-senyawa / residu yang tidak dikehendaki, yaitu karat, sehingga dalam bahasa sehari-hari proses korosi biasa disebut perkaratan.[2]

Rancang Bangun Penggunaan Metode *Impressed Current Cathodic Protection* Pada Logam Berbasis Mikrokontroler

2.1 Metoda Proteksi Katodik Arus Paksa

Metoda Proteksi Katodik Arus Paksa atau dikenal dengan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) merupakan salah satu metoda proteksi katodik (*Cathodic Protection*) yang kebutuhan arus elektronnya disuplai dari luar sistem. Proteksi katodik biasa diaplikasikan pada struktur yang telah dilapisi, dengan pelapisan (*coating*) yang menyediakan bentuk primer dalam perlindungan korosi. Metode ini biasa digunakan untuk perlindungan pipa-pipa dan tangki yang dikubur, struktur di dalam perairan laut dan besi-besi penunjang.[1]

Komponen dasar yang membentuk sistem proteksi katodik arus paksa terdiri dari katoda, yaitu logam yang akan dilindungi, sumber arus DC (*Rectifier*), anoda *inert* (*Ground Bed* atau *Anode Bed*), dan kawat penghubung (*Metallic Circuit*) antara anoda dan katoda [2], seperti yang terlihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Skema Metoda ICCP.[1]

Keuntungan yang dapat dicapai dari metoda ini, yaitu: [2]

1. Besarnya tegangan dan arus dapat dirancang untuk kisaran yang lebih luas dan sesuai kebutuhan.
2. Area yang luas dapat diproteksi dengan hanya satu buah instalasi sistem proteksi katodik arus paksa.
3. Keluaran tegangan dan arus yang bervariasi dan dapat diatur.
4. Dapat diaplikasikan untuk lingkungan dengan tingkat resistivitas yang tinggi.
5. Efektif untuk melindungi struktur yang dilapisi maupun yang tidak.

Selain memiliki kelebihan yang menguntungkan, metoda ini juga memiliki

kelemahan-kelemahan yang membatasi dalam penggunaannya, yaitu: [2]

1. Dapat menimbulkan masalah interferensi katodik.
2. Dapat mengalami kegagalan suplai energi / power.
3. Memerlukan inspeksi dan perawatan secara berkala.
4. Memerlukan sumber daya dari luar, yang menyebabkan tambahan pengeluaran bulanan.
5. Proteksi yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan dari pelapisan.

2.2 Kriteria Perlindungan

Struktur logam yang terkorosi tidak mempunyai potensial yang sama dengan potensial kebutuhan proteksi di seluruh permukaan strukturnya. Kriteria proteksi yang praktis perlu memasukkan perubahan lingkungan sebagai pertimbangan.

Kriteria-kriteria berikut diambil dari buku Pierre R. Roberge yang merupakan kriteria perlindungan yang telah diaplikasikan untuk struktur yang terkubur yang telah distandarkan oleh NACE *International* [1].

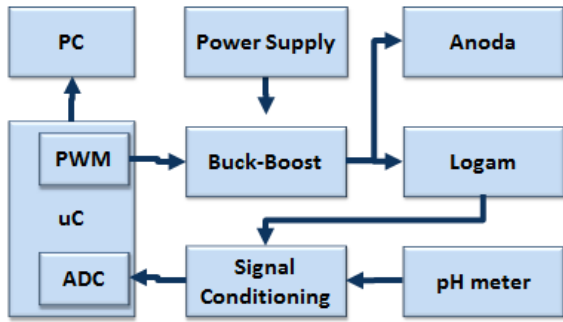
1. Potensial struktur ≤ -850 mV terhadap elektroda acuan $Cu/CuSO_4$ (pada kondisi *aerobic*).
2. Potensial struktur ≤ -950 mV terhadap elektroda acuan $Cu/CuSO_4$ (pada kondisi *anaerobic* dimana korosi mikrobiologi mungkin terjadi).
3. Pergeseran potensial negatif ≥ 300 mV ketika dialiri arus.
4. Pergeseran potensial positif ≥ 100 mV ketika arus diinterupsi.

3 Perancangan

Perancangan sistem terdiri dari perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Blok diagram sistem perangkat keras ditunjukkan pada gambar 2.



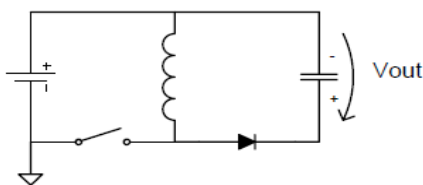
Gambar 2. Blok diagram sistem proteksi katodik otomatis

Blok PC, memuat sebuah *Personal Computer* (PC) untuk *monitoring* kondisi sistem dan pengambilan data (*data acquisition*) variabel-variabel pada sistem.

Blok uC, memuat mikrokontroler AVR ATmega16 yang memiliki ukuran memori flash sebesar 16 KiloByte dan frekuensi kristal 8 MHz. Mikrokontroler ini memuat ADC internal dan juga dapat membangkitkan sinyal PWM.

Blok Power Supply, berfungsi untuk menyuplai catu daya utama seluruh komponen sistem yang dibuat, kecuali PC, dan sebagai sumber arus DC yang menyuplai kebutuhan elektron untuk melindungi logam dari korosi.

Buck-Boost Converter, *Buck-Boost Converter* merupakan rangkaian untuk mengkonversi tegangan *input* positif menjadi tegangan *output* negatif (*inverting*). [5]



Gambar 3. Rangkaian alternatif Buck-Boost Converter. [5]

Pada perancangan rangkaian *Buck-Boost Converter*, implementasi rangkaian yang digunakan merupakan rangkaian alternatifnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Keuntungan menggunakan rangkaian alternatif ini adalah *switching* rangkaian dapat dilakukan pada bagian *low-side*, sehingga memungkinkan digunakannya MOSFET biasa sebagai *circuit driver*-nya, sedangkan kelemahannya terletak pada tegangan beban yang tidak mereferensi

pada *ground*, tetapi pada tegangan positif *power supply*.

Nilai parameter sistem yang digunakan adalah $V_{OUT} = 5 \text{ V}$, $V_{IN} = 9 \text{ V}$, $I_{OUT} = 5 \text{ mA}$, $f = (8\text{MHz}/256) = 31,250 \text{ KHz}$, $L = 1,5 \text{ mH}$, $C = 10 \text{ uF}$.

$$V_{OUT} = -V_{IN} \cdot \left(\frac{k}{1-k} \right)$$

Tanda negatif menyatakan polaritas output

$$k = \frac{V_{OUT}}{V_{OUT} + V_{IN}} = \frac{5}{5 + 9} = 0,357$$

(*Duty Cycle* = 35,7%)

Pada *duty cycle* 0 %, maka tegangan *output* pun akan 0 Volt, dan pada *duty cycle* 50 % maka tegangan *output* akan sama dengan tegangan *input*, dengan polaritas yang berlawanan dengan polaritas *input*.

$$\Delta I = \frac{V_{IN} \cdot k}{f \cdot L} = \frac{9 \cdot (0,357)}{31250 \cdot (0,0015)} = 0,068$$

(*Ripple arus* = 6,8%)

$$\Delta V_{OUT} = \frac{I_{OUT} \cdot k}{f \cdot C} = \frac{0,005 \cdot (0,357)}{31250 \cdot (0,00001)} = 0,0057$$

(*Ripple tegangan* = 0,57%)

Besarnya nilai induktor dan kapasitor sangat dipengaruhi oleh besarnya frekuensi *switching* dan *duty cycle*, sehingga untuk memperoleh nilai *ripple* arus dan tegangan yang diinginkan harus disesuaikan dengan besarnya nilai induktor dan kapasitor yang digunakan, beserta parameter tegangan *input* dan arus *output*.

Blok Anoda, merupakan komponen sistem yang berfungsi sebagai penerima arus elektron (*ground bed*) dari katoda/ logam yang dilindungi.

Blok Logam, memuat logam yang dilindungi dari korosi dengan membuat logam tersebut bertindak sebagai katoda.

Blok pH Meter, merupakan sensor untuk mengukur nilai pH/ aktifitas ion hidrogen dalam suatu larutan yang dimanfaatkan untuk mengukur perbedaan potensial antara logam dengan elektroda acuan *Ag/AgCl* yang terdapat pada pH Meter tersebut.

Blok Signal Conditioning, merupakan rangkaian *interfacing* antara sensor dengan

Rancang Bangun Penggunaan Metode Impressed Current Cathodic Protection Pada Logam Berbasis Mikrokontroler

ADC internal yang berfungsi untuk pengkondisian sinyal agar sinyal dari sensor dapat dibaca oleh ADC internal mikrokontroler.

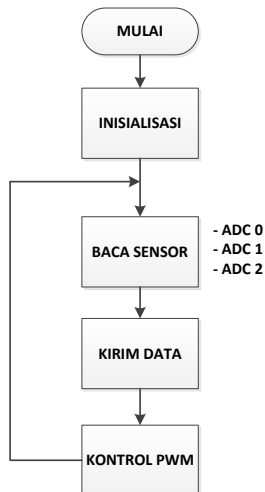
3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak terdiri dari perangkat lunak pada mikrokontroler dan perangkat lunak pada PC.

Perangkat Lunak pada Mikrokontroler

Gambar 3 adalah diagram alir utama sistem yang dirancang.

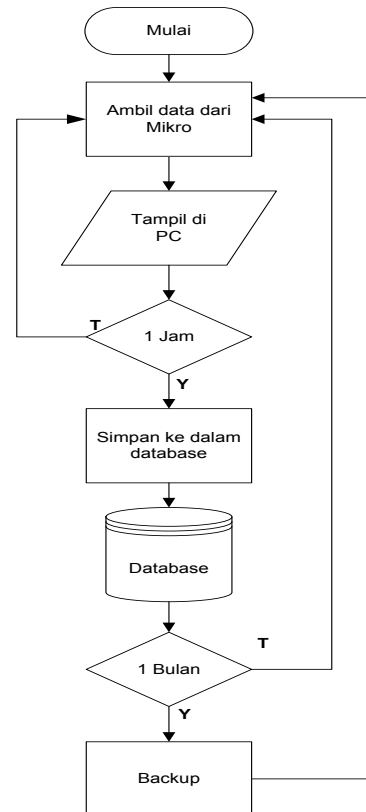
Sistem dirancang agar dapat melakukan pengontrolan dan pengaturan sistem proteksi katodik agar dapat beroperasi secara permanen dan memenuhi kriteria imun pada struktur logam yang diproteksi. Pada model pengontrolan tersebut pemenuhan kriteria proteksi pada struktur dilakukan dengan memantau kondisi tegangan logam (E_i) terhadap elektroda acuan $Ag/AgCl$ supaya tetap berada pada kisaran 0,850V sampai 1,5V (dalam nilai absolut)[3].



Gambar 4. Diagram alir algoritma program kontrol dan monitoring sistem proteksi katodik

Perangkat Lunak pada PC

Pada PC di jalan Program *Data Acquisition and Monitoring* untuk memantau kondisi sistem, melakukan pengambilan data setiap sepuluh menit sekali yang kemudian disimpan ke dalam *database* secara otomatis, dan setiap satu hari sekali dapat dilakukan *backup* data untuk analisa. Pengaturan rentang waktu *logging* dan *backup* pada program dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Data tersebut diperoleh dari hasil olahan mikrokontroler yang dikirimkan ke PC. Diagram alir program *Data Acquisition and Monitoring* ini ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 5. Diagram alir program *Data Acquisition and Monitoring*

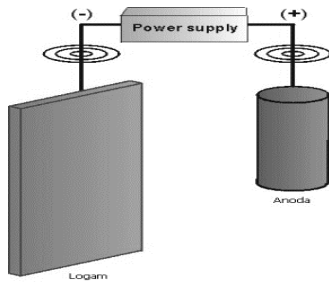
3.3 Implementasi

Sistem bekerja berdasarkan perbandingan tegangan E_i antara logam yang diproteksi terhadap elektroda acuan. Selanjutnya, E_i dibandingkan dengan nilai *set point* V_1 dan V_2 , sehingga menghasilkan *error* yang merupakan nilai koreksi yang harus diproses oleh mikrokontroler dengan mengeluarkan sinyal PWM yang sesuai untuk mengendalikan tegangan keluaran agar memenuhi kriteria proteksi katodik. Sistem proteksi ini diimplementasikan pada logam baja tipe AST dengan ukuran 10x10x0,2 cm yang kemudian ditempatkan pada lingkungan korosif.

4 Hasil Pengujian dan Analisa

4.1 Pengujian Kebutuhan Arus

Pengujian dilakukan dengan menerapkan metode ICCP secara manual dengan memberikan beberapa besaran arus. Gambar 5. menunjukkan susunan logam pada pengujian kebutuhan arus.



Gambar 6. Rangkaian ICCP manual

Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1. Pengujian pada setiap nilai arus yang diberikan dilakukan selama 24 jam. Selanjutnya, Perubahan kondisi logam dapat diamati secara visual.

Tabel 1. Hasil pengujian kebutuhan arus

Kondisi OFF		Kondisi ON		Hasil Pengujian
I (mA)	V (Volt)	I (mA)	V (Volt)	
-0,02	0,13	5,03	4,04	Terproteksi
-0,44	1,27	4,01	3,46	Terproteksi
-0,43	1,40	3,07	3,12	Terproteksi
-0,24	1,57	2,02	2,59	Terkorosi
-0,20	1,64	1,01	2,29	Terkorosi
-0,10	1,47	0,50	1,79	Terkorosi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa logam akan mulai terkorosi saat arus yang diberikan lebih kecil dari 3 mA.

4.2 Pengujian Berat Logam

Pengujian berat digunakan untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada logam tidak dilakukan metoda perlindungan apapun. Pengujian ini dilakukan dengan cara merendam logam pada beberapa jenis air selama 7 hari. Penimbangan berat dilakukan sebelum dan sesudah perendaman. Pada Tabel 2. ditunjukkan hasil penimbangan berat logam.

Tabel 2. Hasil uji berat logam

Lingkungan Uji	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Selisih (g)
Air Ledeng	202,20	202,1	0,1
Air Laut	202,10	199,8	2,3

Selanjutnya dapat dilakukan penghitungan laju korosi pada logam tersebut.

Laju korosi pada air ledeng =

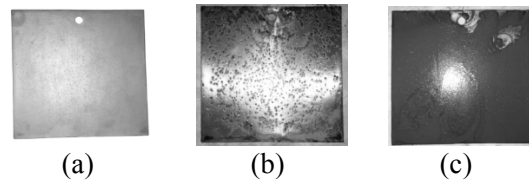
$$\frac{w}{(A.t.\rho)} = \frac{0,1}{(208.7.7,85)} = 0,0319 \text{ mpy}$$

Laju korosi pada air laut =

$$\frac{w}{(A.t.\rho)} = \frac{2,3}{(208.7.7,85)} = 0,734 \text{ mpy}$$

Nilai laju korosi di atas menunjukkan bahwa logam uji dengan ketebalan 0,2 cm membutuhkan 62 tahun untuk terkikis habis jika berada pada lingkungan air ledeng dan membutuhkan 3 tahun jika berada pada lingkungan air laut.

Kondisi permukaan logam setelah dilakukan pengujian selama 7 hari direndam di dalam air ledeng dan air laut.



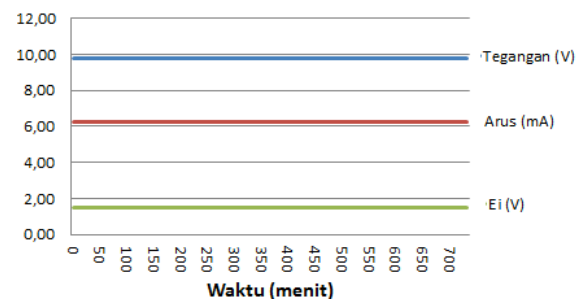
Gambar 7. Hasil korosi pada logam, a) Pelat sebelum direndam, b) Pada rendaman air ledeng, c) Pada rendaman air laut.

4.3 Pengujian Sistem

Sistem ini dirancang untuk mengendalikan supaya arus proteksi pada logam tetap berada pada kriteria perlindungan, yaitu kisaran 0.850V sampai 1.5V (dalam nilai absolut)[3] terhadap elektroda referensi *Ag/AgCl*. Pada pengujian ini digunakan dua buah pelat logam dengan bahan dan ukuran yang sama. Satu buah direndam tanpa proteksi dan satunya di rendam dengan diberikan proteksi. Pengujian dilakukan selama 12 jam. Pengujian dilakukan pada lingkungan air ledeng, air laut, air cuka dan air kapur.

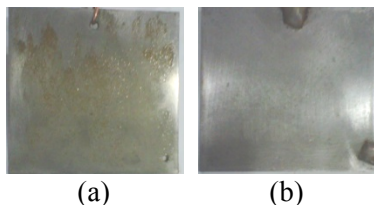
Pengujian pada lingkungan air ledeng

Grafik hasil pengujian dan perbedaan fisik logam yang terproteksi pada lingkungan air ledeng ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9.

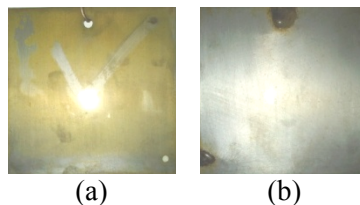


Gambar 8. Grafik pengukuran sensor terhadap waktu pada lingkungan air ledeng

Rancang Bangun Penggunaan Metode Impressed Current Cathodic Protection Pada Logam Berbasis Mikrokontroler



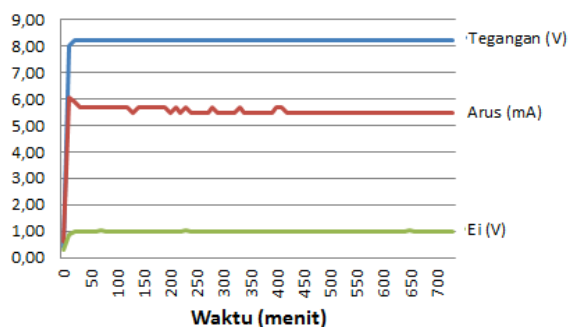
Gambar 9. Kondisi permukaan logam pada pengujian menggunakan air ledeng, a) tidak terproteksi, b) terproteksi



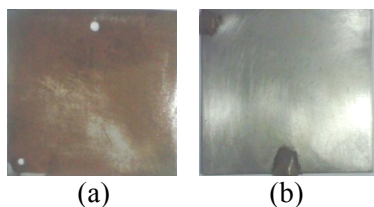
Gambar 13. Kondisi permukaan logam pada pengujian menggunakan air cuka, a) tidak terproteksi, b) terproteksi

Pengujian pada lingkungan air laut

Grafik hasil pengujian dan perbedaan fisik logam yang terproteksi pada lingkungan air laut ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11.



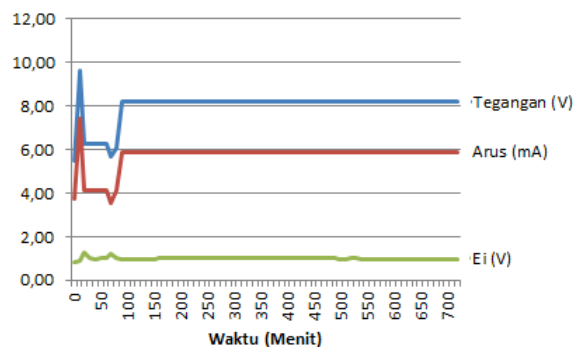
Gambar 10. Grafik pengukuran sensor terhadap waktu pada lingkungan air laut



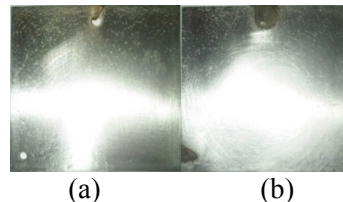
Gambar 11. Kondisi permukaan logam pada pengujian menggunakan air laut, a) tidak terproteksi, b) terproteksi

Pengujian pada lingkungan air kapur

Grafik hasil pengujian dan perbedaan fisik logam yang terproteksi pada lingkungan air kapur ditunjukkan pada Gambar 14 dan 15.



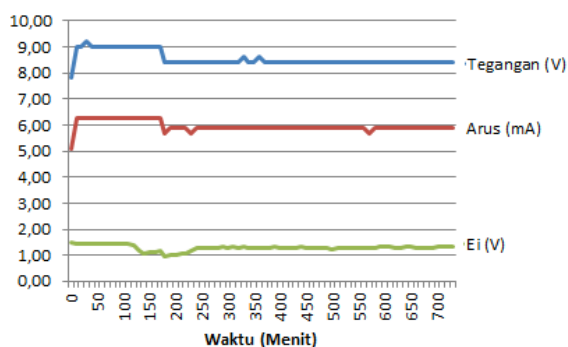
Gambar 14. Grafik pengukuran sensor terhadap waktu pada lingkungan air kapur



Gambar 15. Kondisi permukaan logam pada pengujian menggunakan air kapur, a) tidak terproteksi, b) terproteksi

Pengujian pada lingkungan air cuka

Grafik hasil pengujian dan perbedaan fisik logam yang terproteksi pada lingkungan air cuka ditunjukkan pada Gambar 12 dan 13.



Gambar 12. Grafik pengukuran sensor terhadap waktu pada lingkungan air cuka

Hasil pengujian menunjukkan bahwa otomatisasi metoda ICCP pada logam uji dapat melindungi korosi pada logam. Pada pengujian logam pada lingkungan selain lingkungan air ledeng terjadi peningkatan nilai tegangan dan arus seiring dengan meningkatnya nilai E_i pada 10 menit pertama. Pada saat E_i mencapai kriteria perlindungan, besarnya arus akan dipertahankan stabil. Garis arus pada pengujian di lingkungan air laut menunjukkan adanya perubahan pada lingkungan air laut. Hal ini merupakan respon dari sistem pengontrolan yang dibuat agar nilai tegangan E_i tetap berada pada kriteria proteksi katodik, sehingga logam pun berhasil dilindungi dengan baik selama 12 jam pengujian dengan nilai rata-rata arus sebesar 5,493 mA.

5 Simpulan dan Saran

Hasil perancangan dan pengujian menunjukkan bahwa otomatisasi metoda ICCP telah berhasil diaplikasikan pada logam yang berukuran $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dengan ketebalan 0,2 cm. Hasil pengujian otomatisasi metoda ICCP pada logam dengan menggunakan beberapa jenis lingkungan air, yaitu air ledeng, air laut, air cuka dan air kapur terbukti mampu melindungi logam dari korosi yang diuji dalam waktu masing-masing selama 12 jam.

Adapun saran dari penelitian ini, adalah perlunya dilakukan pengujian pada logam dengan skala besar untuk membuktikan tingkat keberhasilan penerapan otomatisasi metoda ICCP ini pada aplikasi sesungguhnya.

6 DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. R. Roberge, *Handbook of Corrosion Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1999.
- [2] Department of the Army, Manual EM 1110-2-3400, *Engineering and Design Painting: New Construction And Maintenance, Chapter 2, Corrosion Theory and Corrosion Protection*, CECW-EE, Washington, D.C., 1995.
- [3] S. Kharzi, M. Haddadi, A. Malek, *Development of A Voltage Regulator for Solar Photovoltaic Cathodic Protection System*, Ecole National Polytechnic, Algeria, 2006.
- [4] Atmel Corporation, ATmega16 (L) Preliminary, Rev. 2466C-03/02, California, 2002
- [5] Stephen Bowling, *Buck-Boost LED Driver Using the PIC16F785 MCU*, AN1047, Microchip Technology Inc, U.S.A., 2006.