

Pengaruh pH Tanah dan Variasi Cacat Gores Lapis Lindung terhadap Kebutuhan Arus Proteksi Sistem *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) pada Baja AISI 1045

Faris Putra Ardiansyah, Sulistijono, dan Tubagus Noor Rohmannudin

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: ssulistijono@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Salah satu proses pengendalian korosi pada suatu material dapat menggunakan pelapisan/coating dan perlindungan katoda dengan memberikan arus paksa. Pada penelitian yang dilakukan kali ini akan mempelajari mengenai pengaruh dari variasi luas goresan lapis lindung dan pH tanah terhadap kebutuhan arus proteksi pada sistem proteksi katodik arus paksa (ICCP). Luas goresan yang diberikan berbentuk persegi panjang dan lingkaran dengan luasan masing-masing sebesar 10 mm², 50 mm², 100 mm², 150 mm², 250 mm², dan 500 mm². Sedangkan perbedaan pH pada tanah yang digunakan ialah pH 3, pH 7, dan pH 11. Spesimen tanpa goresan dan tanpa lapis lindung digunakan sebagai pembanding. Sistem menggunakan *rectifier* yang berguna sebagai penyearah arus. Arus proteksi pada ICCP diatur sedemikian rupa hingga nilai beda potensial dapat mencapai -850 mV terhadap elektroda referensi Cu/CuSO₄. Pengukuran arus proteksi pada sistem ICCP dilakukan selama 7 hari dengan pengambilan data setiap harinya. Sedangkan nilai arus proteksi terkecil pada luas goresan berbentuk lingkaran 10 mm² dengan kondisi tanah yang basa (pH 11) yaitu sebesar 0,014 mA. Pengaruh dari dua variabel tersebut dihitung menggunakan analisa statistik regresi berganda sehingga mendapatkan persamaan $Y = 0,127 + 0,0024 X_1 + 0,00031 X_2$. Dimana nilai X_1 sebagai kondisi pH tanah, X_2 sebagai luas cacat goresan, dan Y sebagai arus proteksinya.

Kata Kunci : Arus Proteksi, Baja AISI 1045, ICCP, pH Tanah, Variasi Cacat Goresan.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan struktur yang terbuat dari besi dan baja kini memiliki peranan yang sangat penting dalam dunia industri terutama pada penggunaan untuk saluran air, saluran gas, maupun tiang konstruksi. Struktur yang diaplikasikan pada kegiatan tersebut didesain sedemikian rupa agar dapat dipakai hingga 30-50 tahun. Namun pada kenyataannya timbul banyak permasalahan yang menyebabkan turunnya kualitas baja tersebut hingga terjadi kerusakan yang sangat parah. Hal ini dikarenakan korosi yang menjadi penyebab utama terhadap kegagalan material dimana dampak yang ditimbulkan akan berimbas pada lingkungan dan ekonomi. Oleh karena itu, berbagai upaya terus dilakukan guna untuk mempertahankan masa pemakaian yang lebih lama dan sesuai standar.

Selain itu, kondisi pada struktur yang dipendam didalam tanah dapat membuat masalah menjadi lebih kompleks. Pada

umumnya, korosi pada tanah dapat dibatasi dengan pengukuran resistivitas tanah dan potensial struktur terhadap tanah. Namun setelah diteliti kembali masih terdapat banyak faktor yang dapat menyebabkan timbulnya korosi pada tanah, diantaranya ialah jenis tanah, kelembaban, pH tanah, dan cacat/goresan pada baja yang dapat menimbulkan korosi sumuran. Pelapisan (*Coating*) menjadi solusi untuk menjaga kestabilan dan penghalang terhadap lingkungan korosif untuk mengurangi laju degradasi. Lapisan tambahan diberikan untuk mengisolasi struktur agar terhindar dari lingkungan luar yang dapat menimbulkan korosi.

Namun pada kenyataannya, tak jarang saat proses pemasangan *coating* terdapat ketidaksempurnaan sehingga timbul goresan atau sobekan. Usaha lain yang dapat dilakukan untuk mengendalikan korosi ialah dengan menggunakan proteksi katodik metode *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP)[1]. Sistem proteksi ini dapat melindungi baja yang relatif besar dengan memberikan sejumlah arus secara paksa yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Dengan keuntungan yang lebih fleksibel dalam mengendalikan korosi pada struktur baja konstruksi yang melatarbelakangi penulis untuk melakukan penelitian ini. Pada penelitian ini akan dibahas karakteristik tanah pada tingkat keasaman yang berbeda-beda terhadap kebutuhan arus proteksi yang dibutuhkan oleh struktur baja yang dipendam didalam tanah. Selain itu, variabel lain yang diteliti ialah variasi cacat gores yang diberikan pada lapis lindung diharapkan memiliki pengaruh pada kebutuhan proteksi katodik.

II. METODE PENELITIAN

Proteksi katodik digunakan untuk mengendalikan korosi pada permukaan logam. Proses yang dilakukan biasanya berupa reaksi elektrokimia dimana logam yang dilindungi akan bertindak sebagai katoda. Arus mengalir berasal dari anoda melalui sel elektrolit menuju ke katoda. Sehingga kemampuan proteksi terhadap katoda dapat dicapai dengan mengalirkan arus listrik tersebut [2]. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja AISI 1045 yang mempunyai kadar karbon sekitar 0,4-0,45% [3] dengan dimensi panjang 100 mm dan diameter 20 mm sebanyak 42

buah yang akan digunakan sebagai katoda. Anoda grafit tipe *Impregnated Epoxy Resin (H)* berbentuk tubular sebagai anoda. Kemudian untuk *coating/lapis lindung* yang digunakan adalah cat *zinc chromate* dan *epoxy filler* dengan tambahan hardener. Fungsi dari kedua lapisan tersebut dapat melindungi baja dari serangan korosi. Bahan lainnya adalah *filler* perekat untuk menyambungkan baja dengan kabel tembaga. Dan yang terakhir untuk mengubah kondisi pH tanah dapat ditambahkan dengan larutan aquades yang dicampurkan dengan HCl untuk mengubah tanah menjadi asam, sedangkan campuran dengan NaOH untuk mengubah tanah menjadi basa.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja AISI 1045 [4]

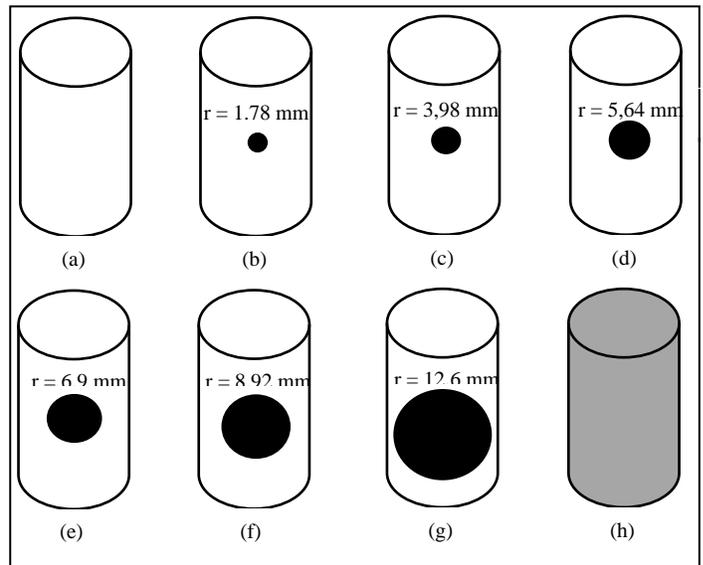
| Unsur | % berat |
|-------|---------|
| C | 0,45 |
| Si | 0,25 |
| Mn | 0,6 |
| P | 0,01 |
| S | 0,002 |
| Cu | 0,04 |

Tabel 2. Spesifikasi Anoda Grafit [5]

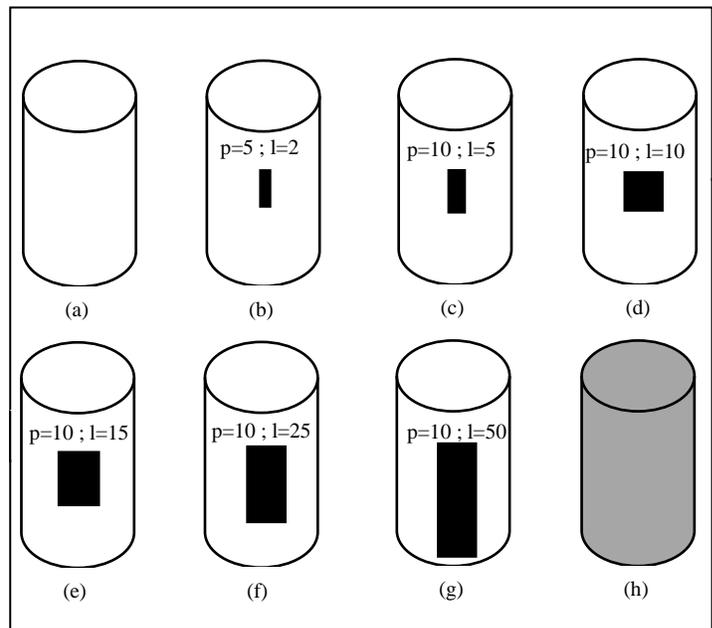
| Spesifikasi | Keterangan |
|-----------------|-----------------------------|
| Kategori | Impregnated Epoxy Resin (H) |
| Model | M120H |
| Bentuk | Tubular |
| Dimensi | p=138 mm ; d = 36 mm |
| Massa pakai | 20 tahun |
| Komposisi Kimia | 99.8% Carbon; 0.2% Ash |
| Laju konsumsi | 0.1-1kg/A.Year |

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *rectifier* sebagai penyearah arus, gergaji mesin memotong baja sesuai dengan dimensi yang diinginkan, mesin bor, *box container* wadah yang digunakan untuk menampung semua rangkaian, kaca sekat, *digital multimeter*, dan *avometer*.

Langkah penelitian ini diawali dengan preparasi baja yang bertindak sebagai katoda. Baja dipotong menjadi 42 bagian dengan gergaji mesin hingga mendapatkan dimensi masing-masing panjang 100 mm dan diameter 20 mm. Melubangi spesimen katoda dengan mengebor salah satu ujungnya untuk tempat pemasangan kabel katoda. Untuk membuat tanda goresan dapat dilakukan dengan menempelkan lakban dengan ukuran yang telah ditetapkan pada permukaan spesimen katoda yaitu sebesar 10 mm², 50 mm², 100 mm², 150 mm², 250 mm², dan 500 mm². Selain itu juga menggunakan spesimen dengan tanpa *coating* dan tanpa goresan yang digunakan sebagai nilai patokan. Pada bagian ini tidak akan tertutup *coating*.



Gambar 1. Ilustrasi Spesimen Katoda dengan Goresan Berbentuk Lingkaran Seluas: (a) 0 mm² (*Full Coating*), (b) 10 mm², (c) 50 mm², (d) 100 mm², (e) 150 mm², (f) 250 mm², (g) 500 mm², (h) Tanpa *Coating*

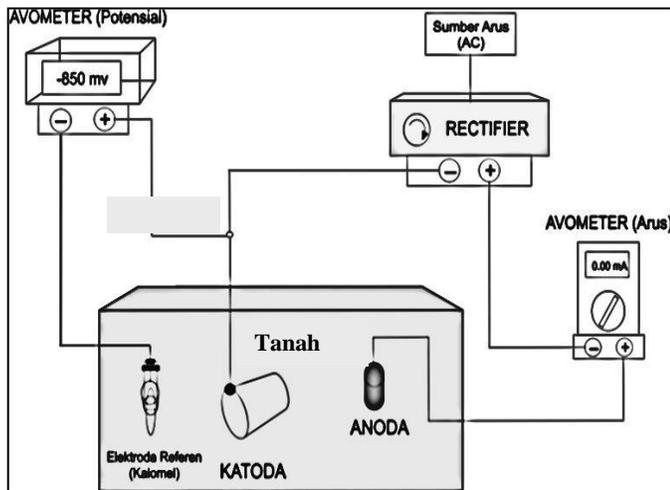


Gambar 2. Ilustrasi Spesimen Katoda dengan Goresan Berbentuk Persegi Panjang Seluas: (a) 0 mm² (*Full Coating*), (b) 10 mm², (c) 50 mm², (d) 100 mm², (e) 150 mm², (f) 250 mm², (g) 500 mm², (h) Tanpa *Coating*

Langkah selanjutnya dengan melakukan pelapisan cat *zinc chromate* dan *epoxy filler* sebanyak 2 lapis. Banyaknya lapisan yang diberikan ini diharapkan dapat menutup rapat permukaan baja sehingga tidak terekspose langsung dengan lingkungannya (kecuali cacat goresan yang sengaja dibuat). Memasang kabel pada katoda melalui mur dan baut pada baja kemudian ditutup dengan memberikan lem tembak. Sama halnya dengan katoda, anoda grafit dipotong hingga berukuran tebal ± 10 mm dan dengan diameter 36 mm. Pemasangan

kabel tembaga dapat dilakukan dengan memberi lubang pada bagian tengahnya.

Katoda dan anoda dihubungkan melalui kabel tembaga dengan *rectifier* sebagai penyearah arus. Kabel tembaga pada baja dihubungkan ke kutub negatif (-) *rectifier* sedangkan kabel tembaga pada anoda grafit dihubungkan ke kutub positif (+) *rectifier*. Rangkaian menggunakan dua avometer untuk menghitung potensial kerja dan arus dalam rangkaian ICCP.



Gambar 3. Rangkaian ICCP

Pada penelitian ini menggunakan media tanah yang berbeda-beda. Terdapat 3 perbedaan pH tanah yang akan diujikan. Pengambilan media tanah yang berbeda ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kebutuhan arus proteksi yang dibutuhkan pada lingkungan tanah yang asam, netral, dan basa. Untuk mendapatkan tanah yang netral dapat menggunakan tanah pada umumnya dikarenakan tingkat keasaman maupun basanya tidak terlalu besar dan memiliki kecenderungan untuk mendekati daerah pH netral. Kemudian untuk merubah pH tanah menjadi asam dapat ditambahkan dengan larutan Asam Klorida (HCl) sesuai dengan kebutuhan. Sedangkan untuk merubah lingkungan tanah dengan pH basa dapat menambahkan Natrium Hidroksida (NaOH) kedalam tanah tersebut.

Setelah rangkaian dipasang maka langkah selanjutnya adalah pengukuran kebutuhan arus proteksi yang digunakan pada sistem ICCP ini. Metode pengukuran yang digunakan mengacu kepada *half-cell potential* (potensial elektroda setengah sel). Dimana beda potensial yang diukur berdasarkan perbedaan tegangan antara elektroda kerja dengan referensi yang dimasukkan kedalam tanah. Elektroda acuan yang digunakan pada sistem ini adalah elektroda acuan Cu/CuSO₄. Dengan mendapatkan nilai potensial terhadap elektroda acuannya, maka arus proteksi yang digunakan dapat diatur dengan sedemikian rupa sehingga nilai potensial yang bekerja pada spesimen dapat berada dalam kondisi imun/dapat terproteksi. Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan kabel tembaga pada pipa dengan kutub positif (+) avometer dan menghubungkan elektroda referen dengan kutub negatif (-) avometer [6].

Penelitian dilakukan untuk mengetahui nilai arus proteksi dengan melakukan pengukuran setiap hari selama 7 hari. Hal

ini mengacu pada standard NACE TM0169-2000 “*Laboratory Corrosion Testing of Metals*”. Data arus proteksi pada sistem didapatkan setelah arus tersebut diatur sehingga nilai potensial yang bekerja berada pada -850mV dimana baja akan mulai terproteksi. Pengukuran dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali agar mendapatkan nilai arus proteksi yang lebih tepat dan pengukuran tersebut diambil nilai rata-ratanya. Kemudian pengambilan data secara visual dengan skala makro dilakukan pada tiap-tiap spesimen untuk mengetahui perubahan fisik yang terjadi [7].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran potensial awal dilakukan pada baja AISI 1045 sebelum instalasi ICCP dinyalakan. Nilai potensial awal ini berfungsi untuk mengetahui nilai potensial sebelum dan sesudah instalasi ICCP yang selanjutnya dapat digunakan sebagai patokan untuk menentukan arus proteksinya.

Tabel 3. Hasil Nilai Potensial Awal (a) Kondisi Tanah pH 3

| pH Tanah | Bentuk Goresan | Luas Goresan (mm ²) | Potensial Awal (-mV) |
|----------|-----------------|---------------------------------|----------------------|
| 3 | Lingkaran | 10 | 764 |
| | | 50 | 745 |
| | | 100 | 753 |
| | | 150 | 697 |
| | | 250 | 712 |
| | | 500 | 706 |
| | Persegi Panjang | 10 | 755 |
| | | 50 | 730 |
| | | 100 | 745 |
| | | 150 | 710 |
| | | 250 | 702 |
| | 500 | 698 | |
| | Tanpa Goresan | 0 | 778 |
| | Tanpa Coating | 6908 | 701 |

(b) Kondisi Tanah pH 7

| pH Tanah | Bentuk Goresan | Luas Goresan (mm ²) | Potensial Awal (-mV) |
|----------|-----------------|---------------------------------|----------------------|
| 7 | Lingkaran | 10 | 768 |
| | | 50 | 761 |
| | | 100 | 783 |
| | | 150 | 720 |
| | | 250 | 722 |
| | | 500 | 719 |
| | Persegi Panjang | 10 | 776 |
| | | 50 | 755 |
| | | 100 | 764 |
| | | 150 | 739 |
| | | 250 | 718 |
| | 500 | 723 | |
| | Tanpa Goresan | 0 | 782 |
| | Tanpa Coating | 6908 | 720 |

(c) Kondisi Tanah pH 11

| pH Tanah | Bentuk Goresan | Luas Goresan (mm ²) | Potensial Awal (-mV) |
|----------|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| 11 | Lingkaran | 10 | 789 |
| | | 50 | 770 |
| | | 100 | 740 |
| | | 150 | 725 |
| | | 250 | 748 |
| | | 500 | 736 |
| | Persegi Panjang | 10 | 790 |
| | | 50 | 781 |
| | | 100 | 765 |
| | | 150 | 759 |
| | | 250 | 782 |
| | 500 | 760 | |
| | Tanpa Goresan | 0 | 792 |
| | Tanpa <i>Coating</i> | 6908 | 733 |

(c) Kondisi Tanah pH 11

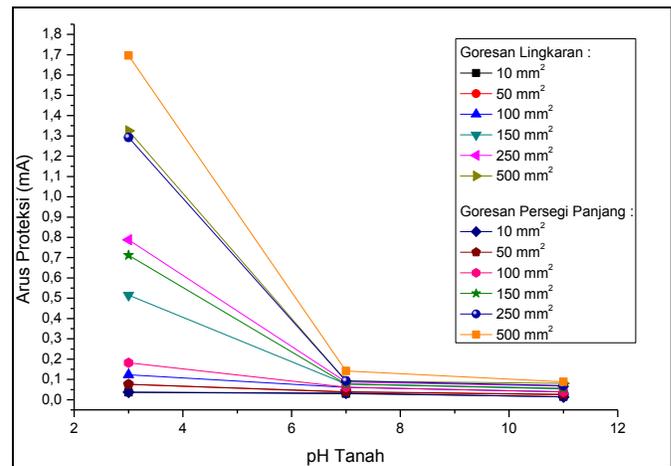
| pH Tanah | Bentuk Goresan | Luas Goresan (mm ²) | Arus Proteksi (mA) |
|----------|----------------------|---------------------------------|--------------------|
| 11 | Lingkaran | 10 | 0,014 |
| | | 50 | 0,025 |
| | | 100 | 0,039 |
| | | 150 | 0,053 |
| | | 250 | 0,067 |
| | | 500 | 0,080 |
| | Persegi Panjang | 10 | 0,014 |
| | | 50 | 0,027 |
| | | 100 | 0,038 |
| | | 150 | 0,056 |
| | | 250 | 0,069 |
| | 500 | 0,088 | |
| | Tanpa Goresan | 0 | 0,004 |
| | Tanpa <i>Coating</i> | 6908 | 0,855 |

Setelah mengukur potensial awal, maka rangkaian ICCP dapat dinyalakan dengan mengatur keluaran arus sehingga potensial kerja berada pada -850 mV dimana baja dapat terproteksi. Hasil akhir yang didapatkan berupa nilai rata-rata arus proteksi sebagai berikut :

Berdasarkan data rata-rata arus proteksi yang telah didapatkan maka hasil yang ada dilanjutkan dengan memplotkan hingga didapatkan grafik sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Pengukuran Rata-Rata Arus Proteksi (a) Kondisi Tanah pH 3

| pH Tanah | Bentuk Goresan | Luas Goresan (mm ²) | Arus Proteksi (mA) |
|----------|----------------------|---------------------------------|--------------------|
| 3 | Lingkaran | 10 | 0,036 |
| | | 50 | 0,076 |
| | | 100 | 0,123 |
| | | 150 | 0,515 |
| | | 250 | 0,788 |
| | | 500 | 1,325 |
| | Persegi Panjang | 10 | 0,038 |
| | | 50 | 0,076 |
| | | 100 | 0,182 |
| | | 150 | 0,712 |
| | | 250 | 1,292 |
| | 500 | 1,696 | |
| | Tanpa Goresan | 0 | 0,023 |
| | Tanpa <i>Coating</i> | 6908 | 3,595 |

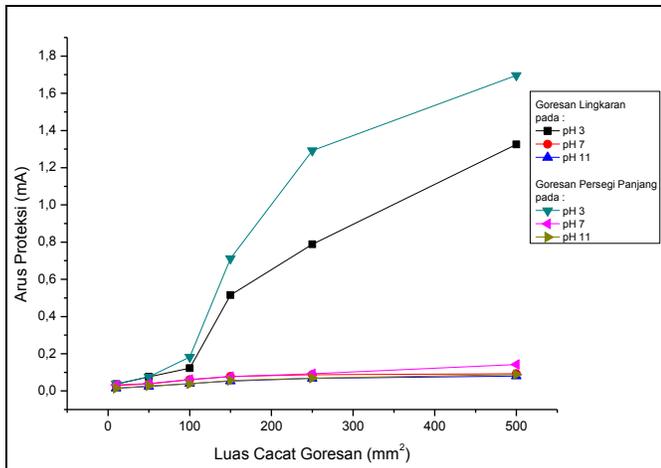


Gambar 1. Grafik Pengaruh Arus Proteksi Terhadap Kondisi pH Tanah

(b) Kondisi Tanah pH 7

| pH Tanah | Bentuk Goresan | Luas Goresan (mm ²) | Arus Proteksi (mA) |
|----------|----------------------|---------------------------------|--------------------|
| 7 | Lingkaran | 10 | 0,030 |
| | | 50 | 0,037 |
| | | 100 | 0,060 |
| | | 150 | 0,078 |
| | | 250 | 0,087 |
| | | 500 | 0,092 |
| | Persegi Panjang | 10 | 0,032 |
| | | 50 | 0,040 |
| | | 100 | 0,061 |
| | | 150 | 0,077 |
| | | 250 | 0,093 |
| | 500 | 0,142 | |
| | Tanpa Goresan | 0 | 0,014 |
| | Tanpa <i>Coating</i> | 6908 | 1,949 |

Dengan kondisi cacat goresan yang sama, berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan instalasi ICCP didalam tanah dengan nilai pH yang semakin asam maka dibutuhkan nilai arus proteksi yang semakin tinggi, sebaliknya apabila kondisi tanah memiliki kecenderungan menuju ke daerah basa maka arus proteksi yang dibutuhkan semakin kecil. Pada kondisi baja yang tidak tertutup oleh lapis lindung, arus proteksi pada kondisi tanah dengan pH 3 membutuhkan 3,595 mA. Sedangkan pada pH 7 membutuhkan arus 1,949 mA dan untuk pH 11 membutuhkan arus 0,855 mA. Selisih kenaikan arus proteksi yang dibutuhkan cukup tinggi. Dari tanah dengan kondisi basa (pH 11) menuju ke kondisi yang netral (pH 7) terjadi peningkatan sebesar 56,13%. Sedangkan tanah dengan kondisi netral (pH 7) menuju ke kondisi yang asam (pH 3) terjadi peningkatan sebesar 45,79%. Hal ini disebabkan karena pada kondisi tanah yang memiliki pH < 5 akan memiliki tingkat agresifitas korosi yang sangat tinggi. Sehingga untuk melindungi baja tersebut diperlukan keluaran arus proteksi yang besar pula [8].



Gambar 2. Grafik Pengaruh Arus Proteksi Terhadap Variasi Cacat Goresan

Pengukuran arus proteksi dilanjutkan dengan membandingkan terhadap variasi cacat goresan yang diberikan. Pada kondisi pH tanah yang sama, semakin besar luas goresan yang diberikan pada baja maka akan semakin besar pula arus proteksi yang diberikan. Sebagai contoh pada kondisi tanah dengan pH 7, telah diberikan cacat goresan dengan luasan 10 mm², 50 mm², 100 mm², 150 mm², 250 mm², dan 500 mm². Arus yang diberikan secara berturut-turut adalah 0,032 mA; 0,04 mA; 0,061 mA; 0,077 mA; 0,093 mA; dan 0,142 mA. Hal ini dapat terjadi akibat adanya daerah pada permukaan logam yang terekspose langsung dengan lingkungannya. Sehingga dapat mengakibatkan terjadinya reaksi oksidasi yang berlanjut dengan adanya inisiasi korosi. Oleh karena itu, dibutuhkan pasokan elektron yang semakin tinggi guna menghindari terjadinya korosi yang lebih parah [9].

Analisa selanjutnya dengan menggunakan metode statistika. Untuk menentukan adanya suatu hubungan variabel sebabnya yaitu pH tanah dan variasi cacat goresan terhadap variabel terikat untuk arus proteksinya. Maka didapatkan persamaan regresi berganda untuk luasan berbentuk lingkaran sebagai berikut :

$$Y = 0,144 + 0,017 X_1 + 0,0004 X_2 \quad (1)$$

Sedangkan persamaan regresi berganda untuk luasan berbentuk persegi panjang sebagai berikut :

$$Y = 0,11 + 0,008 X_1 + 0,0004 X_2 \quad (2)$$

Dimana nilai X₁ untuk kondisi pH tanah dari kondisi tanah pH 3 hingga pH 7, X₂ untuk luas cacat goresan dengan rentan luas 0 mm² hingga 6908 mm², dan Y untuk arus proteksi dalam satuan mA. Untuk menguji kekuatan pengaruh dari kondisi pH tanah dan variasi cacat goresan terhadap arus proteksi, digunakan uji korelasi *pearson* dan uji korelasi berganda. Dari hasil uji korelasi *pearson* didapatkan bahwa hubungan antara kondisi pH tanah dengan kebutuhan arus proteksi memiliki kategori yang sedang sebesar 0,381 (0,2 < r < 0,4). Sedangkan untuk variabel variasi cacat goresan terhadap kebutuhan arus memiliki hubungan yang kuat yaitu sebesar 0,735 (0,6 < r < 0,8)

Perhitungan dilanjutkan mendapatkan nilai korelasi berganda sebesar 0,828. Artinya pengaruh yang ditimbulkan oleh kedua variabel ini sangatlah kuat, sehingga apabila pH tanah dan variasi cacat goresan memiliki nilai yang tinggi maka secara otomatis nilai arus proteksi yang dibutuhkan akan semakin tinggi. Adapun kontribusi secara simultan kedua variabel tersebut sebesar : $(0,828)^2 \times 100\% = 69\%$.

IV KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Terdapat pengaruh yang ditimbulkan oleh kondisi pH tanah yang berbeda-beda terhadap kebutuhan arus proteksinya. Dengan membandingkan pada luas cacat goresan yang sama, arus proteksi yang dibutuhkan pada baja akan semakin turun dengan meningkatnya derajat keasaman tanah dari pH 3 (asam), pH 7 (netral), dan pH 11 (basa)
2. Sama halnya dengan pH tanah, variasi cacat goresan pada lapis lindung dapat mempengaruhi nilai proteksi yang diberikan pada baja. Pada kondisi pH tanah yang sama, arus proteksi yang dibutuhkan cenderung meningkat seiring meluasnya cacat goresan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Wu, S. Xing, F. Yun, "The Influence of Coating Damage on The ICCP Cathodic Protection Effect," Luoyang Ship Material Research Institute, P.R.China (2009)
- [2] Mars G. Fontana, "Corrosion Engineering 2nd Edition". Singapore: McGraw-Hill International. (1996)
- [3] Glyn, "Physical Metallurgy of Steel," Class Notes and Lecture Material, ForMSE 651.01 (2001)
- [4] Chemical Composition of AISI 1045. Diakses tahun 2014. (Online) Available at <http://www.strindustries.com>
- [5] A.W. Peabody, "Control of Pipeline Corrosion," Edited by Ronald L Bianchetti, Texas: NACE International the Corrosion Society (2001)
- [6] NACE SP0169-2007, Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems. Diakses tahun 2014. (Online) Available at <http://www.nace.org>
- [7] NACE TM 0169-95 "Laboratory Corrosion Testing of Metals"
- [8] B.P. Bofardi, "Control of Environmental Variables in Water Recirculating Systems," New Jersey : Noyes Publications. (1985)
- [9] Moch. Nurus Shobah, "Pengaruh Goresan Lapis Lindung dan Salinitas Air Laut Terhadap Arus Proteksi Sistem Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) pada Pipa API 5L Grade B," Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. (2014)