

Pengaruh Variasi Goresan Lapis Lindung dan Variasi pH Tanah terhadap Arus Proteksi Sistem *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* pada Pipa API 5L Grade B

Trendy Leo Pratama, Sulistijono, dan Tubagus Noor R.

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—Korosi merupakan penyebab utama terjadinya kegagalan material *pipeline* akibat berinteraksi secara langsung dengan lingkungan. Pemberian lapis lindung yang selama ini menjadi pilihan utama untuk mengontrol korosi tidak selamanya bisa diandalkan. Hal ini disebabkan kemungkinan terjadinya kerusakan lapis lindung selama proses *shipping* atau instalasi sangatlah besar. Oleh karena itu sering kali pemberian lapis lindung dikolaborasi dengan perlindungan sistem proteksi katodik, khususnya sistem arus paksa (ICCP). Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh luas goresan lapis lindung dan pH tanah terhadap arus proteksi sistem proteksi katodik arus paksa (ICCP). Goresan yang diberikan berbentuk lingkaran dan persegi panjang dengan luas 10 mm², 50 mm², 100 mm², 150 mm², 250 mm², dan 500 mm². Spesimen tanpa goresan dan tanpa lapis lindung digunakan sebagai pembanding. Sedangkan untuk variasi pH tanahnya adalah pH 3 (asam), pH 7 (netral), dan pH 11 (basa). Pipa API 5L grade B digunakan sebagai katoda dan grafit sebagai anoda, serta *rectifier* sebagai penyearah arus (DC). Arus proteksi ICCP diatur hingga mencapai nilai potensial proteksi -850 mV vs elektroda Cu/CuSO₄. Setelah dilakukan pengkondisian awal selama 8 hari dan 7 hari pengukuran arus, didapatkan hasil bahwa semakin semakin besar goresan lapis lindung maka semakin besar arus proteksi yang dibutuhkan dalam kondisi pH tanah yang sama. Sedangkan dalam kondisi luas goresan yang sama, kebutuhan arus proteksi meningkat seiring dengan semakin rendahnya pH tanah (semakin asam).

Kata Kunci—arus proteksi, goresan lapis lindung, ICCP, pH tanah, *pipeline*.

I. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas sangat memperhatikan jaringan pipa bawah tanah (*Onshore Pipeline*). Umumnya, *onshore pipeline* didesain dengan usia antara 10 sampai 40 tahun. Namun, sering kali desain *onshore pipeline* yang sudah direncanakan tidak sesuai dengan realita yang ada karena korosi. Korosi adalah serangan pada material logam karena bereaksi dengan lingkungannya [1]. Korosi menjadi penyebab utama dari kegagalan ini, yang mana bisa menyebabkan kualitas dari suatu material itu menurun akibat berinteraksi dengan lingkungan. Oleh karena itu, dalam perancangan *onshore pipeline* harus memperhatikan banyak faktor dan dengan beberapa pertimbangan agar bisa dihasilkan rancangan

yang sedemikian rupa yang memiliki umur pakai yang lebih lama serta sesuai dengan standar yang ada.

Korosi dalam industri minyak dan gas sangatlah besar kemungkinannya. Fluida yang dialirkan, belum lagi faktor lingkungan, semuanya bersifat korosif dan bisa mengancam desain *onshore pipeline* yang sudah dirancang. Maka dari itu, sangat penting untuk melakukan perlindungan yang sedemikian rupa supaya jaringan pipa aman, mulai dari pemilihan material sampai dengan instalasi pipa. Material yang biasa digunakan di industri minyak dan gas adalah Pipa API 5L Grade B. Pipa ini sangat cocok dipakai untuk mengalirkan fluida minyak dan gas karena sudah sesuai dengan standar dari *American Petroleum Institute*.

Selain faktor fluida, kondisi lingkungan tanah yang ekstrem juga semakin memperparah kecenderungan korosi untuk terjadi. Tidak hanya korosi internal yang disebabkan oleh fluida yang mengalir didalam pipa, namun korosi eksternal juga bisa terjadi. Adapun pengoperasian *pipeline* di industri minyak dan gas membutuhkan proteksi pada permukaan eksternal pipa, karena pipa kerap terekspos lingkungan dan cenderung bereaksi dengan lingkungan [2]. Perlindungan korosi dengan cara pelapisan (*coating*) menjadi sebuah kewajiban untuk dilakukan guna menanggulangi masalah ini. Pelapisan (*coating*) merupakan salah satu cara yang efektif untuk mencegah terjadinya korosi pada pipa. Lapisan *coating* ini akan melindungi pipa dari korosi dengan cara mencegahnya untuk berinteraksi dengan lingkungan secara langsung. Namun, kemungkinan untuk terjadi kerusakan pada *coating* tetaplah selalu ada, seperti saat pemasangan dan saat pengiriman (*shipping*), bahkan dalam kondisi kerja pun juga demikian. Dari sini bisa dilihat bahwasanya meskipun sudah dilakukan *coating*, tidaklah menjamin suatu material bisa terbebas dari serangan korosi.

Coating merupakan suatu kewajiban untuk diberikan pada pipa untuk mengontrol terjadinya korosi. Namun, seiring dengan banyaknya kemungkinan pada *coating* untuk mengalami sebuah kerusakan maka seringkali metodenya harus dipadukan dengan sistem proteksi katodik [3]. Ada dua macam proteksi katodik, namun yang biasa digunakan adalah metode sistem *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP). Sistem ICCP ini sanggup memberikan jangkauan

perlindungan yang relatif besar terhadap jaringan pipa serta arus yang diberikan dari sumber luar bisa diatur sedemikian rupa dengan sebuah alat yang bernama *rectifier*. Umumnya anoda yang dipakai adalah material dengan laju konsumsinya yang rendah (inert), dimana material itu lebih mulia daripada material pipa.

Sistem ICCP ini bisa digunakan untuk melindungi struktur baik yang diberi *coating* ataupun tidak. Tingkat fleksibilitas dari sistem ini juga cukup baik karena bisa didesain dengan rentang kapasitas output arus yang luas. Artinya, kebutuhan arus dapat diatur baik secara manual maupun secara otomatis dengan merubah tegangan output sesuai dengan kebutuhan. Dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi tersebut, yang mana kita bisa menentukan kebutuhan arus proteksi dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan korosi pada jaringan pipa baik yang memiliki *coating* yang bagus ataupun dalam kondisi yang rusak. Hal inilah yang melatar belakangi penulis melakukan penelitian dengan menggunakan metode ICCP pada struktur pipa dengan kondisi *coating* yang rusak atau terdapat cacat, lalu menggunakan anoda grafit dalam lingkungan tanah (*onshore*) dengan kondisi derajat keasaman (pH) tanah yang berbeda.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Preparasi Spesimen (Katoda)

Spesimen (katoda) yang digunakan adalah pipa API 5L grade B. Pipa dibotong menjadi 42 bagian dengan masing-masing berukuran panjang 100 mm dan berdiameter 60,3 mm. Setelah dipotong, spesimen dibersihkan dari produk korosi dengan cara diampelas hingga benar-benar bersih. Spesimen yang telah bersih kemudian dilubangi dibagian ujungnya untuk dimasukkan kabel lalu ditutup dengan lem tembak. Tahap selanjutnya adalah pemberian lapisan *coating* dengan *zinc chromate* sebanyak dua lapis dan *epoxy filler* juga dua lapis. Pada pemberian lapisan *epoxy* juga diberikan hardener yang merupakan pasangan dari *epoxy filler* yang digunakan. Selama pemberian lapisan, kekentalan *coating* sangat diperhatikan. Hal ini terkait dengan pemberian *thinner* sebagai campuran lapis lindung. Terakhir adalah menutup kedua ujung pipa dengan karet *sponge* agar tidak ada elektrolit yang masuk kedalam pipa. Tidak lupa dilakukan pemberian kodefikasi pada spesimen agar mudah dalam pengamatan dan pengukuran nantinya.

B. Preparasi Anoda

Anoda yang digunakan adalah grafit. Grafit dipilih karena memiliki laju konsumable yang sangat rendah atau bisa dikatakan terholong logam yang mulia [4]. Memang dalam sistem arus paksa (ICCP), anoda diharuskan untuk memiliki potensial yang lebih tinggi daripada material yang digunakan pada katoda. Grafit dipotong-potong hingga memiliki ukuran sebesar tebal 13 mm lalu berdiameter 36 mm. Anoda lalu dilubangi dengan menggunakan bor untuk jalan masuknya kabel. Kabel dililitkan kemudian ditutup dengan lem tembak.

C. Preparasi Media Elektrolit

Dalam penelitian ini menggunakan media tanah sebagai elektrolit dengan perlakuan tertentu sehingga menghasilkan pH tanah sebesar 3 (asam), 7 (netral), dan 11 (basa). Berdasarkan standar NACE TM 0169-95, rasio minimum yang dianjurkan untuk volume larutan (elektrolit) terhadap luas permukaan spesimen adalah 20 ml/cm^2 [5]. Spesimen yang digunakan memiliki luas permukaan $189,342 \text{ cm}^2$ maka volume tanah minimum yang digunakan sebesar 4 L. Untuk pembuatan elektrolit pH tanah 3 digunakan HCL 1M sebanyak 1 ml yang dicampurkan kedalam 1 L aquades lalu dicampurkan ke tanah hingga homogen. Untuk pH tanah 7 (netral) maka menggunakan tanah di lingkungan pada umumnya yang mana sudah memiliki range pH 7, sehingga hanya perlu ditambahkan aquades 1 L saja. Sedangkan untuk lingkungan dengan pH 11 (basa) maka digunakan larutan NaOH 1M sebanyak 1 ml yang dilarutkan kedalam 1 L aquades lalu dicampurkan hingga homogen kedalam tanah.

D. Pengkondisian Spesimen

Sebelum dilakukan instalasi ICCP untuk kemudian mengukur arus proteksi yang diberikan, terlebih dahulu spesimen katoda dikondisikan dalam media tanah yang telah dibuat dengan variasi pH tertentu. Pengkondisian ini bertujuan untuk merusak lapisan pasif yang terbentuk pada permukaan pipa. Pengkondisian dilakukan dengan cara imersi dalam media tanah selama 8 hari. Dari 3 variasi pH elektrolit yang berbeda, masing-masing elektrolit ditempatkan dalam 3 *box container* dengan warna yang berbeda untuk membedakan pH tanah didalamnya. Selama pengkondisian awal ini juga dilakukan pengukuran potensial awal dari spesimen (katoda) untuk dibandingkan nanti besarnya dengan potensial setelah pemasangan sistem proteksi arus paksa (ICCP).

E. Pengukuran Arus Proteksi

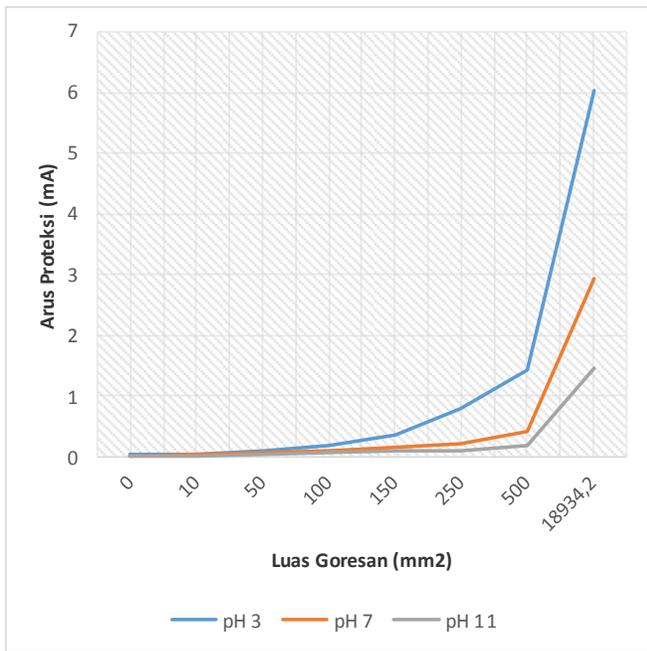
Pada penelitian ini pengujian korosi *pipeline* yang dilakukan adalah dengan mengukur *half-cell potential*. Elektroda acuan yang digunakan adalah elektroda referensi Cu/CuSO₄. Dalam sistem ICCP, fokus utama yang menjadi parameter dalam sistem adalah tingkat proteksi yang didapat dari potensial korosi. Dari potensial korosi yang diketahui, arus proteksi dapat diatur sedemikian rupa agar nilai potensial spesimen berada dalam kondisi terproteksi.

Pengujian potensial spesimen dengan metode *Half-Cell Potential* dilakukan untuk mengetahui tingkatan proteksi yang diberikan dan potensi korosi yang terjadi pada pipa. Pengukuran arus proteksi dilakukan selama 7 hari dengan interval setiap hari selama 7 hari dilakukan pengukuran data *half-cell potential* dengan elektroda referensi Cu/CuSO₄.

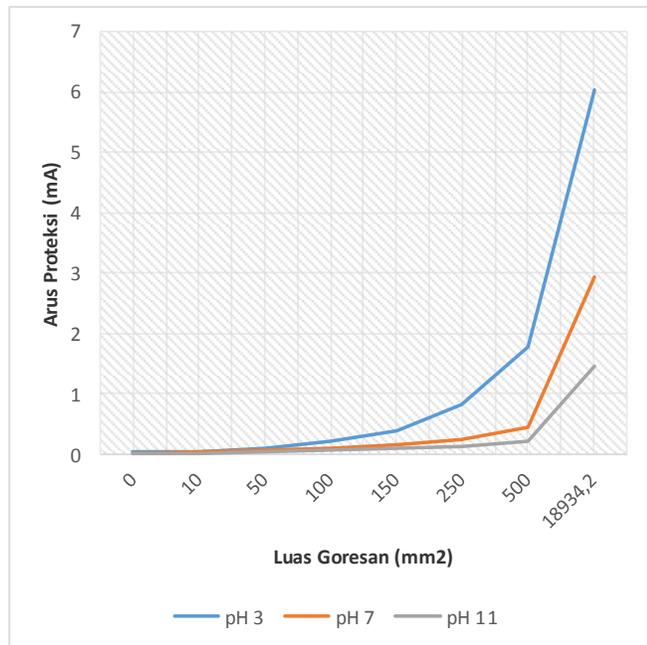
III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Arus Proteksi dalam pH yang Sama

Pada gambar 1 dan gambar 2 berikut ini memperlihatkan hasil pengukuran arus proteksi dalam lingkungan pH tanah yang sama dengan variasi goresan lapis lindung.



Gambar 1. Grafik Pengaruh Luas Goresan Lingkaran terhadap Rata-Rata Kebutuhan Arus Proteksi



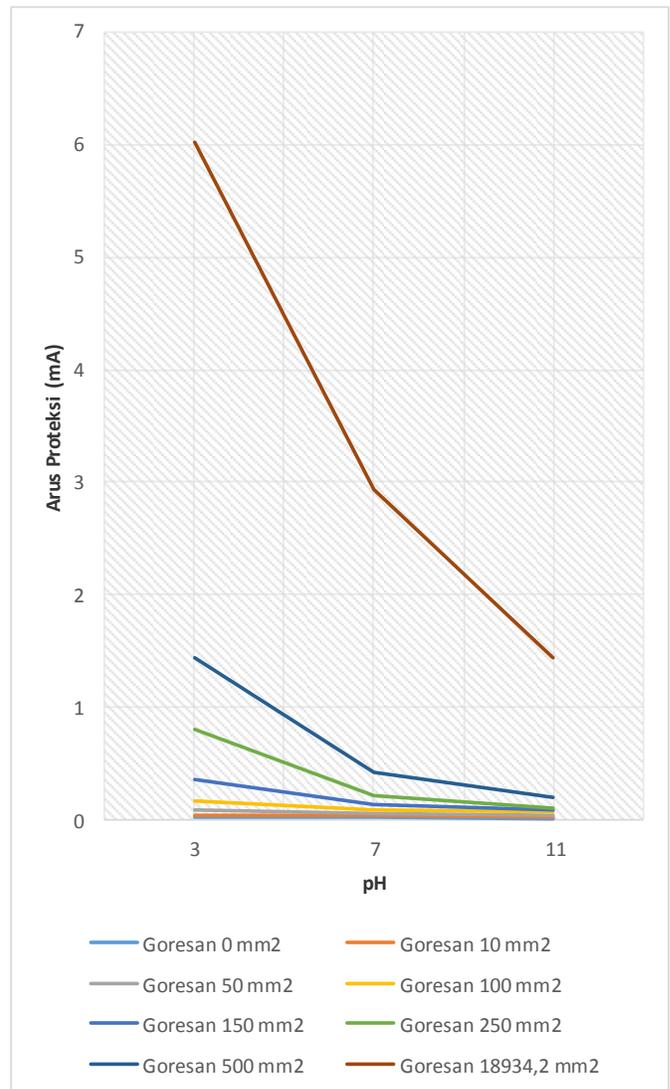
Gambar 2. Grafik Pengaruh Luas Goresan Persegi Panjang terhadap Rata-Rata Kebutuhan Arus Proteksi

Dari hasil pengukuran arus proteksi yang didapatkan selama 7 hari proses pengukuran, dapat dilihat bahwa dalam lingkungan elektrolit yang sama (pH sama), semakin besar luas goresan pada pipa maka semakin besar pula arus proteksi yang harus diberikan pada pipa. Atau dengan kata lain semakin besar luasan pipa yang kontak secara langsung dengan lingkungan, maka semakin besar arus proteksi yang dibutuhkan untuk melindungi pipa agar tetap berada pada level terproteksi. Semakin besar luas permukaan pipa yang terbuka

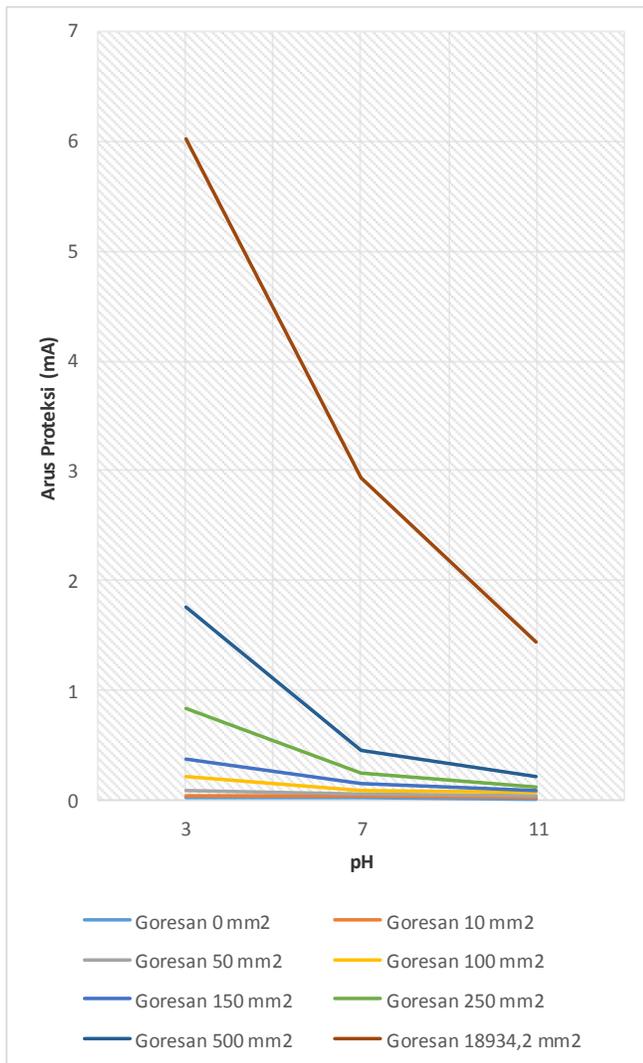
dengan lingkungan, maka daerah anodik menjadi lebih besar dari sebelumnya jika tertutup atau terisolasi dari lingkungan sehingga reaksi oksidasi akan lebih banyak terjadi dan ini tentunya sangatlah merugikan. Sesuai dengan prinsip teori terjadinya korosi pada umumnya, bahwa elektron memiliki peranan yang sangat penting dalam menjaga dari korosi karena elektron akan bereaksi dengan ion positif elektrolit dan akan melindungi katoda. Pasokan elektron dibutuhkan lebih banyak di daerah anodik ini untuk menekan reaksi anodik yang melibatkan ion logam, menghindari korosi yang lebih parah. Oleh sebab itu, arus proteksi yang diberikan juga harus lebih besar karena arus proteksi berbanding lurus dengan arus elektron [6].

B. Hasil Pengukuran Arus Proteksi dalam Luas Goresan yang Sama

Pada gambar 3 dan gambar 4 berikut ini memperlihatkan hasil pengukuran arus proteksi dalam luas goresan yang sama dengan variasi pH tanah.



Gambar 3. Grafik Pengaruh pH Tanah terhadap Arus Proteksi pada Goresan Berbentuk Lingkaran

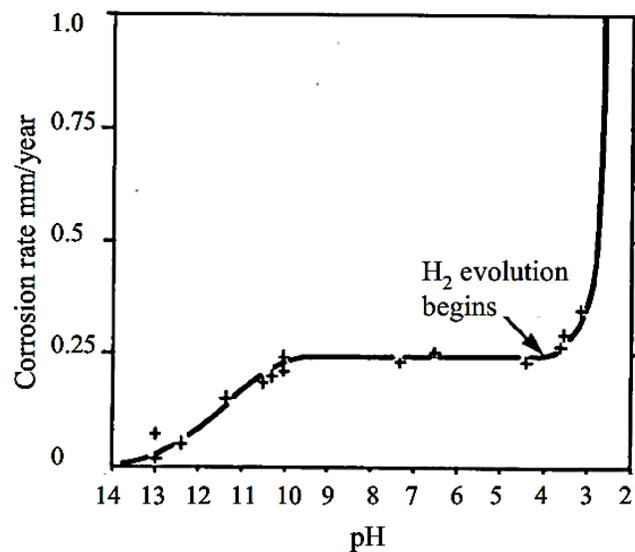


Gambar 4. Grafik Pengaruh pH Tanah terhadap Arus Proteksi pada Goresan Berbentuk Persegi Panjang

Pengukuran arus proteksi juga dibandingkan berdasarkan lingkungan elektrolit dengan pH tanah yang berbeda. Dalam pipa dengan luas goresan yang sama, kebutuhan arus proteksi semakin meningkat seiring dengan semakin kecilnya nilai pH media, yaitu dari pH 11, pH 7, hingga pH 3.

Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah pipa API 5L grade B yang mana tergolong kedalam baja karbon rendah. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa kondisi derajat keasaman atau yang biasa disebut pH tanah cukup berpengaruh terhadap kebutuhan arus proteksi, walaupun pengaruhnya tidak begitu signifikan seperti ditunjukkan dalam perhitungan Anova (*Analysis of Variance*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin asam atau semakin rendah nilai pH maka kebutuhan arus proteksi cenderung lebih besar. Hal tersebut terbukti pada trend hasil penelitian yang ada.

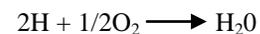
Dengan hasil yang diperoleh tersebut maka sesuai dengan literatur yang ada, bahwasanya semakin rendah pH maka semakin asam dan butuh arus proteksi yang lebih besar. Kita bisa lihat pada diagram hubungan antara pH dengan laju korosi seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Kurva Hubungan pH dengan Laju Korosi [1]

Terlihat pada kurva bahwa semakin asam kondisi suatu lingkungan maka laju korosi semakin tinggi, begitu juga sebaliknya semakin basa kondisi suatu lingkungan maka laju korosi akan semakin rendah. Hal ini berkaitan dengan erat dengan pengaruh adanya lapisan pasif yang memiliki sifat protektif. Hampir semua logam memiliki kemampuan membentuk lapisan pasif yang bersifat protektif pada permukaan logam. Lapisan pasif ini biasanya terbentuk dari oksida logam atau senyawa lain yang akan memisahkan logam dari media (larutan).

Antara pH 4 sampai 10 terdapat endapan lapisan *ferro oxide* yang porous dan menutupi permukaan sehingga bisa terhalang untuk bisa bereaksi langsung dengan lingkungan. Pada kondisi pH dibawah 4 maka laju korosi cenderung sangat tinggi. Hal ini dikarenakan oksida besi (FeO) ini larut, maka dari itu tidak ada lagi yang bisa membentuk film pelindung dari lingkungan, sehingga material akan bereaksi dengan lingkungan. Korosi semakin meningkat karena konsentrasi H⁺ yang cukup tinggi [7]. Atom-atom H bergabung dengan oksigen dengan reaksi:



Jika konsentrasi H⁺ cukup tinggi (pH rendah) maka terjadi reaksi:



Ion Fe²⁺ juga bereaksi dengan oksigen dan membentuk karat (coklat kemerah-merahan) dengan menghasilkan ion H⁺ yang selanjutnya direduksi menjadi H₂. Sedangkan untuk suatu kondisi dimana pH dalam kondisi basa atau 10 keatas itu cenderung lebih tahan terhadap korosi. Hal ini dikarenakan pada kondisi ini terbentuklah lapisan pasif fero oksida (Fe₂O₃) yang protektif. Hal ini juga sejalan dengan teori dari persamaan Nerst. Jika dihitung melalui persamaan nerst maka pada kondisi asam memiliki nilai E atau potensial korosi yang lebih besar jika dibandingkan dengan kondisi netral bahkan basa.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam pH tanah yang sama, arus proteksi yang dibutuhkan pada sistem ICCP meningkat seiring dengan semakin bertambah besarnya luas goresan pada pipa.
2. Dalam luas goresan yang sama, arus proteksi yang dibutuhkan pada sistem ICCP meningkat seiring dengan semakin rendahnya pH tanah (semakin asam kondisi lingkungan).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bardal, Einar. 2003. *Corrosion and Protection*. Trondheim: Norway.
- [2] Rafferty, K. 1989. *A Materials and Equipment Review of Selected*. Report to USDOE, GeO-Heat Center, Klamath Falls, OR.
- [3] ASM Metal Handbook Vol.13 9th ed. 1987. *Corrosion*. Colorado: ASM International Handbook Committee.
- [4] Callister, William. D. Jr., 2006. *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. Seventh Edition. USA: John Wiley & Sons Inc.
- [5] NACE Standard TM0169-95. 1995. *Laboratory Corrosion Testing of Metals*. Houston: NACE International.
- [6] Departemen Perindustrian dan Perdagangan. (___). *Pendidikan dan Pelatihan Inspektur Korosi*. Jakarta: Balai Besar Bahan dan Barang Teknik.
- [7] Roberge, Pierre, R., 2000. *Handbook of Corrosion Engineering*. USA: The Mc.Graw-Hill Companies Inc.