

Intisari

Korosi atau karat merupakan suatu kondisi degradasi logam yang diakibatkan oleh reaksi reduksi - oksidasi yang terjadi pada logam dengan berbagai zat yang ada di lingkungan sekitarnya sehingga menghasilkan suatu senyawa yang tidak dikehendaki. Pada tahun 2010 berdasarkan data dari NACE diperlukan dana sekitar 3,7 Triliun USD per tahun untuk menangani masalah korosi. Terkait dengan permasalahan korosi ini diperlukan adanya suatu tindakan perlindungan dan perawatan terhadap struktur yang terbuat dari logam dengan cara memberikan proteksi katodik. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membuat desain sistem proteksi katodik dengan metode *impressed current*. dan melakukan pemodelan simulasi attenuasi dengan menggunakan software MatLab untuk mengetahui radius sebaran arus pada suatu bahan baja karbon rendah di stuktur tiang pancang pelabuhan minyak.

Penelitian ini dilakukan dengan menghitung luas bagian terluar dari semua struktur tiang pancang pelabuhan. Data yang digunakan untuk menghitung luas area yang akan proteksi, kemudian kebutuhan arus dan tegangan DC diperoleh berdasarkan data lapangan. Data tersebut kemudian digunakan sebagai referensi perhitungan menggunakan persamaan-persamaan dan standard yang berlaku. Pemodelan matematika menggunakan perangkat lunak MatLab dilakukan juga untuk mengetahui pengaruh atenuasi terhadap distribusi dan pemetaan tegangan disepanjang struktur pelabuhan minyak tersebut.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk mencapai masa proteksi struktur pelabuhan selama 20 tahun dibutuhkan jumlah anode sebanyak 76 buah dengan total kebutuhan arus DC sebesar 4000 Ampere dan kebutuhan tegangannya sebesar 50 40 Vdc. Dari pengujian juga diketahui bahwa kinerja system proteksi katodik *impressed current* untuk proteksi pelabuhan dipengaruhi oleh electrical continuity diantara masing-masing stuktur pelabuhan. Untuk memperoleh hasil proteksi katodik yang maksimal maka nilai resistansi antara sambungan setiap pelabuhan harus sangat kecil atau dalam kondisi seragam.

Kata Kunci: korosi, pelabuhan, *impressed current*, *electrical continuity*, *anode*, katodik, Matlab.

Abstract

Corrosion is a metal degradation process due to its environment reaction, followed by reduction-oxidation reaction that happened. In 2010, based on NACE data, in about 3,7 Trillion USD shall be spend in order to mitigate corrosion problem in Oil and Gas Industry. Related to the corrosion problem, it is necessary to have an act of protection and maintenance of structures by providing cathodic protection. This research was conducted with the aim to design impressed current method of cathodic protection system. and conduct attenuation simulation modeling using MatLab software to determine the current distribution radius range of a low carbon steel material in the jetty pile structure.

The research was conducted by determining the engineering design calculation for a whole pile outer structures section. Data used to calculate the area to be protected, then the demand for DC current and voltage is obtained based on field data. The data is then used as reference calculations using the applicable equations and standards followed by additional mathematical modeling structure such attenuation simulation using Matlab software to determine the effect of structural attenuation on cathodic voltage distribution and voltage distribution mapping along the structure of the oil wharf.

The results showed that for 20 years design lifetime, totally 76 additional anodes were needed with a total requirement of 4000 Ampere DC current and were divided into 4 ICCP systems, where the voltage requirement for each system was 40-50 Volt DC. As per verification results from site, it has been identified that cathodic protection performance would be influenced by electrical continuity condition for each Oil Wharf structures. Good Electrical continuity between structure section within uniform condition, would enhance distribution potential and cathodic protection performance.

Keywords: : corrosion, wharf, impressed current, electrical continuity, anode, cathodic, Matlab.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, korosi masih merupakan masalah pelik di dalam industri minyak dan gas. Korosi menyebabkan penurunan *performance* secara berkelanjutan dan bertahap pada suatu material yang digunakan pada proses produksi minyak dan gas. Penurunan *performance* tersebut dapat menyebabkan kegagalan secara tiba-tiba, dan dapat berujung terhadap terjadinya beberapa hal yang sangat kritis seperti, *personnel safety*, *plant shutdown*, sampai penurunan level produksi. Kecelakaan bisa terjadi karena adanya kegagalan proses antara manusia, mesin, material dan lingkungan (Ramli, 2010). Kegagalan pada saluran pipa dapat mengakibatkan risiko yang berdampak terhadap manusia, kerusakan lingkungan dan kerugian secara ekonomi (Cunha, 2012). Kegagalan pada saluran pipa dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kerusakan pada lapisan pipa, pipa penyok (*denting*), bocor (*leaking*), pecah/putus (*rupture*) dan kegagalan lainnya (Artana, 2009). Salah satu penyebab kegagalan struktur adalah korosi (Lam dkk, 2015; Hopkins, 2008; Myers dan Cohen, 1984).

Tiang pancang pelabuhan memiliki potensi mengalami korosi. Pasalnya, korosi merupakan peristiwa alamiah yang tidak mungkin dapat dicegah. Potensi korosi di industri minyak dan gas terjadi pada tahap produksi, ekstraksi, pemurnian dan penyimpanan (El-Lateef dkk, 2012).

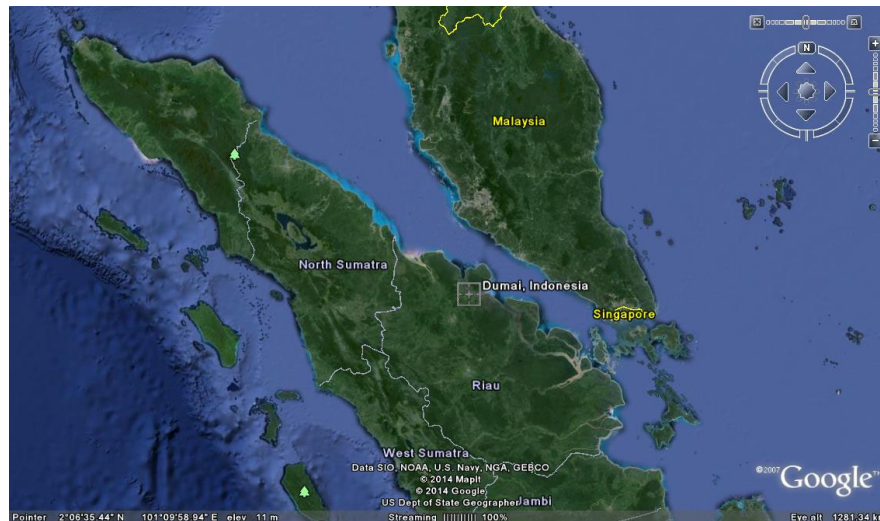
Berdasarkan data terbaru dari *NACE*, sebuah lembaga persatuan ahli korosi sedunia, disebutkan bahwa 3,7 milyar dollar dihabiskan pertahun untuk mengatasi masalah korosi di industri minyak dan gas (Cramer dan Covino, 2013). Berdasarkan data dari *ASM Handbook (American Society of Materials)*, hampir 80 % kerusakan material pada industri minyak dan gas diakibatkan oleh korosi. Nilai kerugian akibat korosi hampir mencapai 1-5 % dari pendapatan domestik nasional (GDP). Dengan memberikan perhatian dan berpartisipasi pada upaya penanggulangan

korosi, berarti kita ikut melakukan penghematan biaya yang mencapai 25-30 % per tahun (Gibran dan Rustandi, 2015).

Salah satu peralatan yang kerap menjadi target korosi adalah tiang pancang pelabuhan. Oleh sebab itu, penerapan sistem proteksi korosi menjadi suatu keharusan dalam konstruksi pelabuhan. Hal ini dilakukan sebagai bagian dari pemeliharaan dan pencegahan kerugian akibat korosi pada struktur pelabuhan (Putra, 2016). Bagian struktur tiang pancang yang dilindungi adalah permukaan luar yang bersentuhan langsung dengan air laut. Kerusakan ekstrim dapat terjadi karena unsur-unsur korosif konsentrasi tinggi yang terdapat pada lingkungan bersinggungan dengan peralatan tersebut (Gibran dan Rustandi, 2015). Salah satu cara untuk mengurangi pengaruh agresifitas lingkungan adalah dengan melakukan proteksi katodik pada bagian eksternal tiang pancang pelabuhan. Sistem proteksi katodik arus tanding adalah suatu metoda perlindungan karat yang menggunakan tegangan DC. Tegangan DC digunakan untuk membuat laju korosi suatu logam semakin menurun karena potensial dari logam tersebut dibuat negatif (Peabody, 2005).

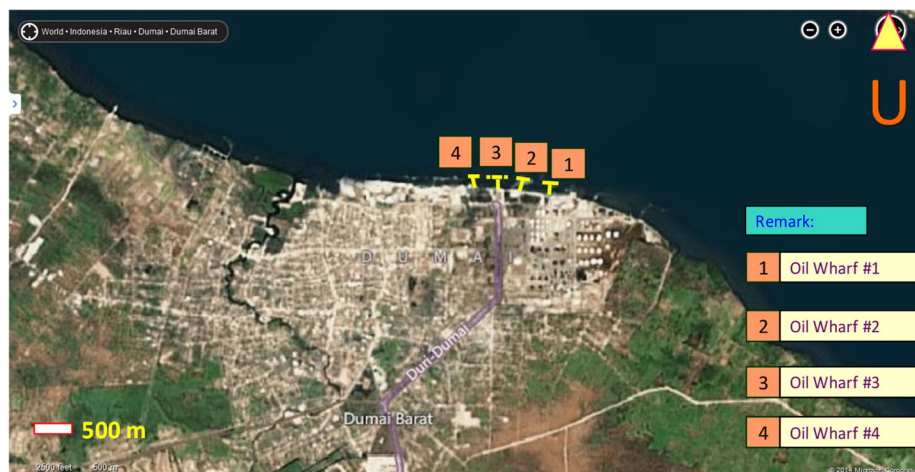
Parameter keberhasilan kinerja suatu sistem proteksi katodik adalah dicapainya level proteksi minimum melalui pengukuran *Structure to Electrolyte Potential* (-800 mV vs *Ag/AgCl*). Ada banyak parameter yang mempengaruhi kinerja suatu sistem proteksi katodik dan kebutuhan arusnya. Di antaranya adalah tahanan tanah, kondisi *coating*/lapisan pada bagian permukaan tiang pancang pelabuhan, maupun kandungan bakteri dalam tanah (Peabody, 2005). Parameter lainnya yang sangat berpengaruh terhadap keberhasilan kinerja sistem proteksi katodik adalah faktor penyebaran arus, atau biasa disebut atenuasi. Atenuasi merupakan gambaran jangkauan dan distribusi arus proteksi yang seragam terhadap struktur yang ingin dilindungi. Setiap anode *groundbed* memiliki jangkauan cakupan persebaran arus. Hal ini akan mempengaruhi kinerja suatu sistem proteksi katodik. Oleh sebab itu, diperlukan suatu studi untuk mempelajari karakteristik parameter di atas dan diaplikasikan pada sistem desain serta pemasangan sistem proteksi katodik untuk melindungi bagian permukaan tiang pancang pelabuhan.

Berdasarkan pernyataan di atas, penulis melakukan studi dan desain sistem, serta mempelajari pengaruh atenuasi melalui pendekatan perhitungan dan proses instalasi proteksi katodik pada bagian eksternal struktur tiang pancang pelabuhan minyak milik PT. xXx, khususnya bagian yang terendam air laut yang berlokasi di Propinsi Riau, Indonesia. Lokasi PT. xXx disajikan pada Gambar 1.1 di bawah:



Gambar 1.1 Peta Lokasi PT. xXx di Propinsi Riau
(Source: google earth, taken on April 9th, 2014, 00:57AM)

Tiang pancang pelabuhan minyak yang akan diproteksi katodik dan merupakan objek studi berlokasi di PT xXx, seperti terlihat pada Gambar 1.2 di bawah:



Gambar 1.2 Tampilan dari Udara Fasilitas Pelabuhan Minyak PT. xXx
(Source: <http://www.bing.com/maps/>, Accessed on Monday, May 12th, 2014)

Penelitian ini diharapkan dapat menemukan suatu besaran pasti dan kondisi optimum kinerja sistem proteksi katodik dan jangkauan arus proteksinya menggunakan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP). Studi ini juga diharapkan dapat memberikan rekomendasi pengembangan metoda dan teknologi yang dapat digunakan untuk sistem perlindungan korosi pada industri strategis seperti minyak dan gas.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, perumusan masalah dari penelitian ini adalah:

- a. Terjadi penurunan efektifitas proteksi katodik pada struktur tiang pancang di pelabuhan minyak atau *Oil Wharf* (OW) #1, #2, #3 dan #4 yang diindikasikan dari nilai tegangan pembacaan dibawah -800 mV
- b. Usia sistem proteksi katodik yang lama hampir mencapai umur desainya
- c. Terindikasi bentuk korosi secara visual di hampir keseluruhan struktur tiang pancang di OW #1, #2, #3, dan #4

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini meliputi proses desain dan analisis terhadap perancangan dan pemasangan sistem proteksi katodik di pelabuhan minyak Dumai. Ruang lingkup penelitian dan analisisnya meliputi:

- a) Proses desain sistem proteksi katodik pada material baja karbon rendah untuk tiang pancang pelabuhan minyak #1, #2, #3 & #4.
- b) Bagian yang akan diproteksi katodik pada penelitian ini hanya terbatas pada bagian luar permukaan yang terendam tanah dan terbenam oleh air laut.
- c) Anode yang akan digunakan adalah tipe *Mixed Metal Oxide* (MMO).
- d) Rapat arus yang digunakan adalah 100 mA/m² (DNVGL-RP-B401, 2017).
- e) Sistem ini di desain untuk 20 tahun ke depan.
- f) Penelitian ini tidak memperhitungkan pengaruh dari *Sulfate Reducing Bacteria*.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan sistem desain secara *engineering* maupun instalasi proteksi katodik pada struktur tiang pancang di pelabuhan minyak PT. xXx. Tujuan utama pembuatan sistem proteksi adalah tercapainya kondisi kinerja proteksi katodik yang ideal di seluruh struktur tiang pancang pelabuhan berdasarkan standar internasional yang berlaku. Beberapa hal yang ingin ditekankan dalam penelitian ini antara lain:

- a) Menentukan kebutuhan arus sistem perlindungan katodik yang sesuai untuk struktur tiang pancang pelabuhan minyak perusahaan PT. xXx.
- b) Menentukan sistem desain perlindungan katodik yang sesuai dengan jumlah tiang pancang dan luas struktur pelabuhan minyak perusahaan PT. xXx yang akan dilindungi.
- c) Melakukan simulasi jangkauan dan distribusi arus proteksi terhadap tiang pancang yang ingin dilindungi dan pengaruhnya terhadap nilai potensial proteksi menggunakan perangkat lunak MatLab.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk berbagai kalangan, antara lain:

1. Peneliti

- a) Diketuinya besaran arus dan tegangan katodik optimum yang dibutuhkan untuk melindungi seluruh struktur pelabuhan minyak dari serangan korosi.
- b) Diketuinya kondisi persebaran arus optimum di area struktur pelabuhan minyak melalui pemodelan kaitanya dengan jumlah dan posisi anode.

2. Industri

Sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan sistem perlindungan korosi optimum, termasuk tipe, pemilihan, spesifikasi peralatan, dan sebaran arus.

3. Penelitian selanjutnya

Sebagai referensi dalam pengembangan metoda dan teknologi yang bisa digunakan untuk sistem perlindungan korosi pada industri minyak dan gas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Proteksi Katodik (*Cathodic Protection*) adalah teknik elektro-kimia yang digunakan untuk mengendalikan korosi pada permukaan logam dengan menjadikannya sebagai katode dari sel elektrokimia, memanfaatkan potensial elektrode dari dua logam yang berbeda. Sel galvanik logam dengan potensial lebih rendah akan mengalami korosi. Proteksi katodik dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menggunakan *Sacrificial Cathodic Protection* (SACP) dan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) (Jones, 1996). Proteksi katodik dianggap sebagai metoda yang paling efektif dalam perlindungan eksternal struktur logam dengan aplikasi terapan hingga 75 persen (Cramer dan Covino, 2013). Keunggulan sistem proteksi katodik dibanding sistem perlindungan korosi lainnya adalah biaya yang relatif lebih murah, lebih mudah diaplikasikan di lapangan, reliabilitas lebih baik dan tingkat keberhasilan lebih tinggi. Karena keunggulannya, aplikasi terapan dari proteksi katodik semakin berkembang termasuk pengembangan dari sisi komputasi dan perhitungan yang banyak digunakan oleh industri perlindungan korosi terkemuka. Pasalnya, sistem proteksi ini menawarkan kompromi yang baik antara ketepatan, kecepatan, dan toleransi perhitungan yang valid (Gibran dan Rustandi, 2015).

Namun, seiring dengan perkembangan waktu, teori proteksi katodik mengalami perkembangan yang cukup signifikan ke arah pemodelan dan simulasi perhitungan melalui program komputer. Desain proteksi katodik bisa saja salah. Misalnya, kesalahan mendefinisikan parameter umum yang berakibat pada kesalahan perhitungan. Kasus ini biasanya melibatkan sistem pemodelan yang berfluktuasi dengan cepat dan mungkin jauh dari penerapan sebenarnya. Seperti halnya parameter perhitungan yang semakin kompleks, sistem komputasi pemodelan yang baik dan detail sangat dibutuhkan untuk menghasilkan perhitungan yang akurat (Delina, 2007).

Sejumlah penelitian telah dilakukan dengan menggunakan model matematika untuk proteksi katodik. Di antaranya adalah model matematika pada

Computer Program for Designing Cathodic Protection System Sacrificial method (Delina, 2007) dan *Modeling of the Galvanic Cathodic Protection System with Dynamic Polarization Characteristics* (Mujezinovic, dkk, 2016). Namun, para peneliti sebelumnya hanya menggunakan model proteksi tanpa mengetahui distribusi persebaran arus katodik.

Riemer dkk. (2005) meneliti pengaruh kandungan oksigen dalam tangki terhadap pemodelan perhitungan matematika proteksi katodik bagian alas tangki. Metoda yang digunakan adalah persamaan *Laplace*. Penelitian ini menemukan bahwa prediksi performa ternyata sangat bergantung terhadap posisi anode, kandungan oksigen dalam tanah, dan keberadaan lapisan pelindung bocor yang berada di sekeliling tangki. Pada penelitian ini, setiap konfigurasi anode ditemukan dapat memberikan arus proteksi yang cukup terhadap alas tangki ketika kandungan oksigen dalam tanah dikurangi dengan kombinasi penggunaan *ribbon* dan lapisan pelindung kebocoran yang menghalangi difusi kandungan oksigen hingga mendekati $I_{lim, O_2} = 1\pi Acm^{-2}$

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Gibran dan Rustandi, (2015) tentang pengaruh pH dan tahanan tanah terhadap pemodelan distribusi arus katodik pada bagian bawah tangki. Penelitian ini menemukan bahwa tahanan tanah yang lebih tinggi dari 3000 Ωcm akan menyebabkan terganggunya distribusi arus dari anode ke tangki. Sementara itu, pH yang lebih rendah dengan nilai 5-7 akan mengurangi tahanan tanah dan meningkatkan penyebaran arus dari anode ke struktur tangki. Selanjutnya, pH yang lebih asam akan menyebabkan kondisi yang lebih korosif. Gibson dkk. (2011) melakukan penelitian pemodelan potensial proteksi katodik atenuasi untuk struktur *flowlines* dan *risers* di area *offshore*. Penelitian ini mengembangkan pemodelan *engineering* proteksi katodik yang dapat memprediksi atenuasi potensial sepanjang struktur *flowlines* dan *risers* beserta arus yang dibutuhkan untuk memberikan perlindungan korosi. Pemodelan dikembangkan berdasarkan skenario berikut, *Zero resistive source to a zero resistive source at two different potentials*, *Zero resistive source to a non-zero resistive source*, *Non-zero resistive source to a non-zero resistive source*. Tahanan diasumsikan tidak sama atau identik. Pemodelan simulasi ini telah dilisensi oleh FDM model yang

dikembangkan oleh Hartt dan Chu (2008), dengan mengabaikan perubahan potensial secara tiba tiba dekat anode bersamaan dengan pengaruh *mid- potential* dan kebutuhan arus yang dibutuhkan.

Ning dkk. (2013) meneliti pengaruh kandungan *hydrogen sulfide* dalam baja karbon rendah terhadap pemodelan perhitungan matematika proteksi katodik struktur pelabuhan. Metoda yang digunakan adalah persamaan *Dwight*. Prediksi performa ternyata sangat bergantung terhadap posisi anode, kandungan *hydrogen sulfide* dalam tanah, dan keberadaan H_2S dan *Microbialy Induced Corrosion* di sekeliling area tiang pancang pelabuhan. Pada penelitian ini, setiap konfigurasi anode dapat memberikan arus proteksi yang cukup terhadap tiang pancang pelabuhan ketika kandungan *hydrogen sulfide* dalam tanah dikurangi, dengan kombinasi penggunaan variasi pH yang menghalangi difusi kandungan *hydrogen sulfide* hingga mendekati 0 ppm.

Lan dkk. (2011) meneliti tentang pemodelan desain proteksi katodik dengan bantuan *Beasy Software* menggunakan pendekatan *Boundary Element Method*. Penulis membuktikan bahwa pemodelan matematika dengan pendekatan *Boundary Element Method* memberikan gambaran struktur yang lebih relevan dan presisi. Pemodelan dapat menggambarkan detail kebutuhan arus setiap sudut struktur dan kondisi persebaran arus yang menyeluruh. Penelitian ini memberikan peluang bagi penelitian lebih lanjut dengan parameter lain yang dapat dikombinasikan terkait faktor depolarisasi korosi, seperti kandungan oksigen, pH, dan bakteri.

Selanjutnya, Montoya dkk (2005) melakukan penelitian tentang simulasi pemodelan sistem proteksi katodik menggunakan metoda elemen. Montoya mengembangkan suatu simulasi matematika melalui analisis numerik persamaan *buttlar volmer*. Persamaan tersebut dikaji dengan menempatkan *boundary* struktur untuk sistem proteksi katodik tangki penyimpang bahan bakar. Dengan persamaan *buttlar volme*, Montoya dapat memprediksi tegangan katodik di seluruh area bagian bawah tangki. Ia juga bisa memprediksi yang akan digunakan, serta memprediksikan pemodelan umum dan *boundary* suatu struktur yang perlu diproteksi katodik, termasuk mencakup pengaruh resistivitas. Pasalnya, resistivitas

tanah yang cukup tinggi akan mempengaruhi jumlah anode dan jarak anode dengan tangki.

Funahashi (1996), meneliti tentang pemodelan desain proteksi katodik terkait perilaku polarisasi pada struktur pentanahan (*grounding*) peralatan berbahan baja. Berdasarkan penelitian ini, ditemukan bahwa sistem perlindungan katodik yang sesuai untuk pentanahan peralatan berbahan baja adalah jenis anode *magnesium* dengan berat 3 lb, 5 lb, 9 lb, 20 lb. Dalam kasus ini, dipilih anode *magnesium* 17 lb dengan ukuran 6"x55". Anode *zinc* lebih tepat digunakan pada resistivitas tanah kurang dari 30 ohm. Dengan kata lain, Anode *zinc* tidak dapat digunakan pada tanah padat, seperti lingkungan pegunungan, yang memiliki resistivitas tinggi. Anode *magnesium* memiliki nilai arus keluaran (I) sebesar 0.0431 A. Anode dapat dipasang dengan posisi horisontal. Penggunaan sistem pentanahan berbahan baja dengan perlindungan katodik dapat menghemat biaya investasi hingga 60% dibandingkan pentanahan dengan bahan logam tembaga.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Korosi

Istilah *korosi* pertama kali dikemukakan oleh *American Electrochemical Society* pada tahun 1946 sebagai kerusakan pada logam akibat interaksi dengan lingkungan. Prosesnya terjadi secara elektrokimia. Korosi terjadi karena logam mencari kestabilan bentuk dan energi seperti halnya saat logam masih dalam bentuk ion metal yang diekstraksi dari dalam perut bumi (Fontana, 2008). Secara umum, korosi meliputi hilangnya logam pada bagian yang terbuka dan bersentuhan langsung dengan air dan oksigen. Reaksi kimia yang timbul pada logam dalam tanah dapat mengikuti tahapan reaksi berikut (Muhlbauer, 2014):



Persamaan reaksi di atas menggambarkan bahwa potensial *redoks* (reduksi oksidasi) yang terjadi adalah negatif. Secara termodinamik, kespontanan suatu reaksi dilambangkan dengan energi bebas Gibbs (ΔG) yang bernilai negatif. Secara matematik energi bebas Gibbs dapat dituliskan :

$$\Delta G = -nFE \quad (3.4)$$

dengan:

n = jumlah elektron yang dilepaskan

F = *Faraday constant* (96.5 kJ/mol)

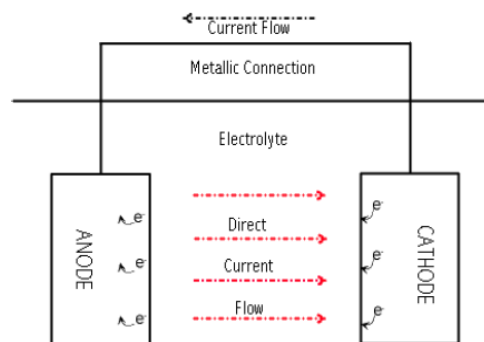
E = tegangan (V)

Semakin besar energi bebas Gibbs semakin spontan reaksi reduksi-oksidasi yang akan terjadi.

Korosi pada logam terjadi karena adanya perbedaan potensial dari satu bagian ke bagian yang lain pada permukaan logam. Beda potensial ini akan menyebabkan terjadinya reaksi reduksi dan oksidasi seperti persamaan di atas. Reaksi oksidasi menyebabkan terlepasnya ion logam ke lingkungan. Ada empat

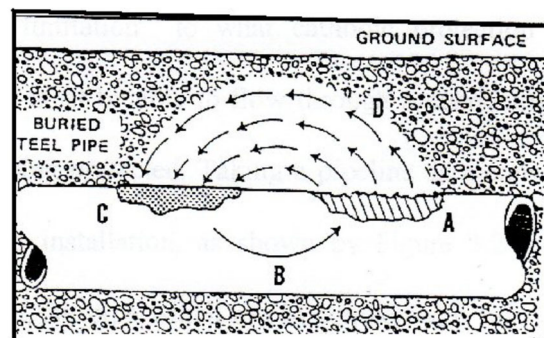
unsur pokok yang harus dipenuhi agar korosi dapat terjadi, seperti tertera pada Gambar 3.1. Jika salah satunya hilang, maka korosi tidak dapat terjadi (Muhlbauer, 2014). Empat unsur pokok tersebut adalah

- 1) Anode, tempat terjadinya reaksi oksidasi.
- 2) Katode, tempat terjadinya reaksi reduksi.
- 3) Elektrolit, lingkungan tempat katode dan anode.
- 4) *Metal Path* atau konduktor logam



Gambar 3. 1. Mekanisme Korosi Galvanik (Gibran dan Rustandi, 2015)

Gambar 3.2 menjelaskan aliran arus korosi antara area katodik dan area anodik pada suatu area pipa yang terbenam di tanah. C adalah tanda untuk area katodik; arah arus listrik ditunjukkan oleh B; dan arus yang mengalir kembali dari area katodik ke area anodik ditunjukkan oleh A. Pada area anodik, arus meninggalkan logam menuju lingkungan di sekitarnya. Logam yang mengalami korosi ditunjukkan oleh D, dimana jumlah arus yang mengalir tersebut dipengaruhi oleh besarnya tahanan tanah/lingkungan. Faktor ini sangat mempengaruhi derajat/tingkat polarisasi yang terjadi pada area anodik maupun katodik.

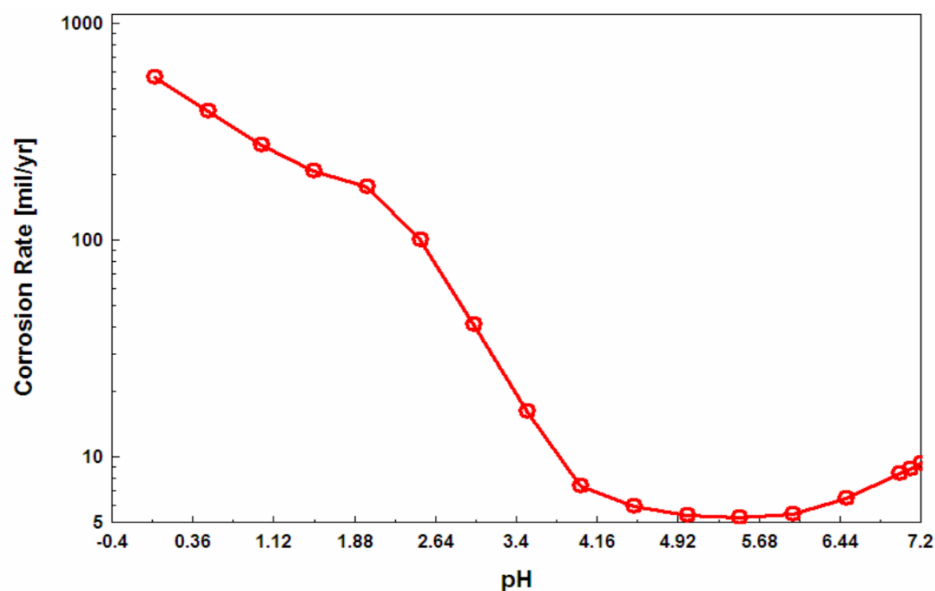


Gambar 3. 2. Aliran arus listrik antara area katodik dan anodik (Fontana, 2008)

3.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi

1. pH (*power of hydrogen*)

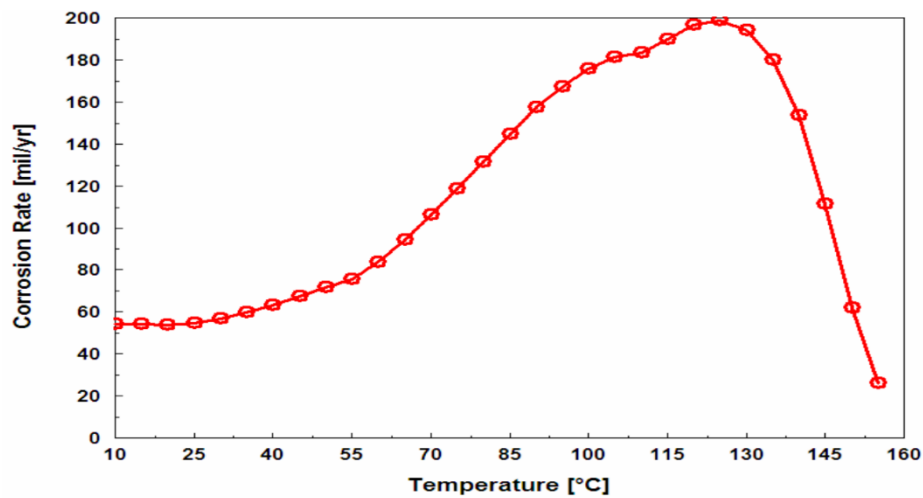
pH adalah derajat keasaman suatu lingkungan dan mempengaruhi laju korosi. Secara umum, lingkungan yang memiliki pH rendah akan bersifat asam. Semakin tinggi keasaman, laju korosi semakin cepat. Pasalnya, lingkungan asam yang memiliki kandungan ion H banyak akan mestimulasi proses transfer elektron dari anode ke katode, sehingga akan meningkatkan laju korosi. Semakin basa suatu kondisi lingkungan, semakin lambat laju korosi yang terjadi. Polanya seperti disajikan Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3. 3. Pengaruh pH terhadap Laju Korosi (Jones, 1996)

2. Temperatur

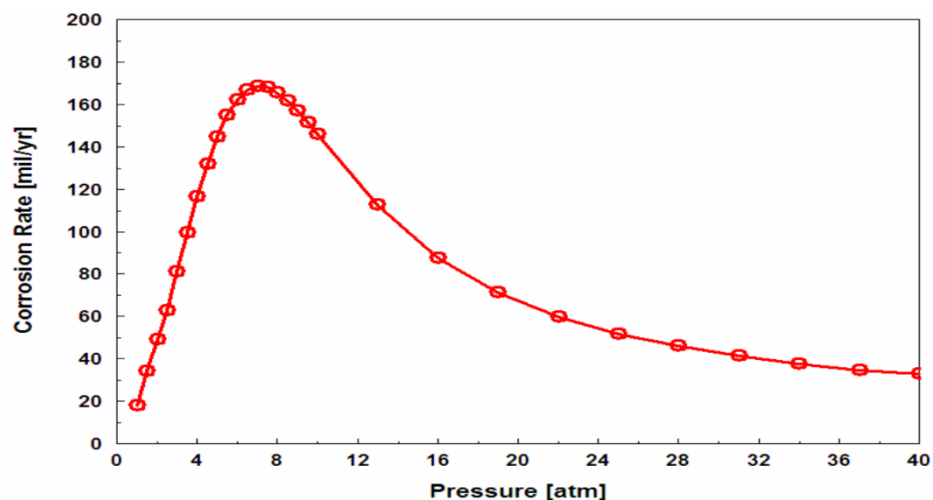
Pada umumnya, laju korosi akan meningkat seiring dengan bertambah tingginya temperatur. Pengaruh temperatur memiliki fungsi hiperbolik. Laju korosi akan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya temperatur sampai pada titik kritis/kerusakan maksimal yaitu $\pm 130^{\circ}\text{C}$ (Freundlich, 2006). Jika temperatur melewati titik ini, laju korosi akan turun. Sangat disarankan untuk menghindari lingkungan dengan temperatur tinggi, misalnya pada rentang $70-145^{\circ}\text{C}$. Pasalnya, lingkungan seperti ini memiliki efek kerusakan paling parah. Polanya seperti disajikan pada Gambar 3.4 berikut:



Gambar 3. 4. Pengaruh Temperatur terhadap Laju Korosi (Freundlich, 2006)

3. Tekanan

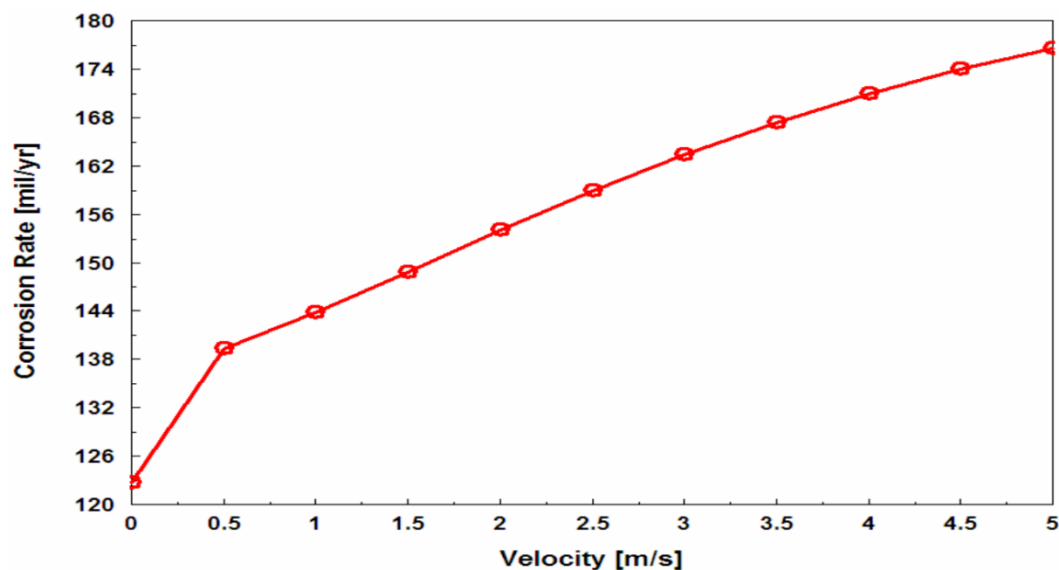
Pada umumnya, laju korosi juga akan meningkat seiring dengan bertambahnya tekanan. Pengaruh tekanan juga memiliki fungsi hiperbolik. Laju korosi akan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya tekanan sampai pada titik kritis/kerusakan maksimal yaitu ± 8 atm (Jones, 1996). Jika tekanan melewati titik ini, laju korosi akan turun. Sangat disarankan untuk menghindari lingkungan dengan tekanan operasi tinggi, misalnya pada rentang 2-8 atm. Pasalnya, lingkungan seperti ini memiliki efek kerusakan paling parah. Polanya seperti disajikan pada Gambar 3.5 berikut:



Gambar 3. 5. Pengaruh Tekanan terhadap Laju Korosi (Jones, 1996)

4. Kecepatan Aliran

Seperti halnya temperatur dan tekanan, laju korosi juga meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran. Semakin tinggi kecepatan aliran, tingkat kerusakan lapisan pasif karena berinteraksi dengan elektrolit semakin besar. Akibatnya, laju korosi logam semakin cepat. Sangat disarankan untuk menghindari lingkungan dengan laju aliran tinggi, di atas 0.5 m/s. Polanya seperti disajikan pada Gambar 3.6 berikut.



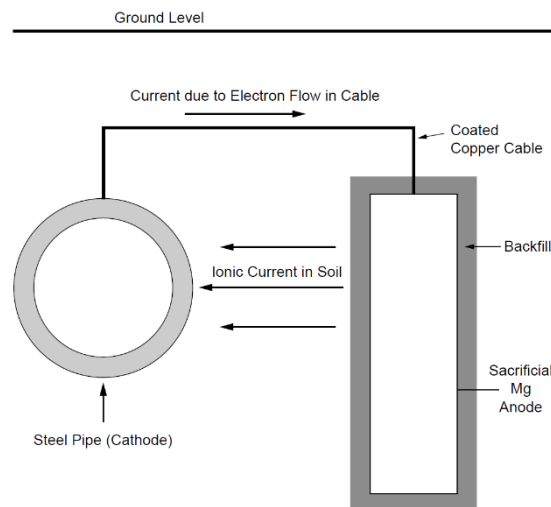
Gambar 3. 6. Pengaruh Kecepatan Aliran terhadap Laju Korosi (Freundlich, 2006)

5. Kandungan O₂

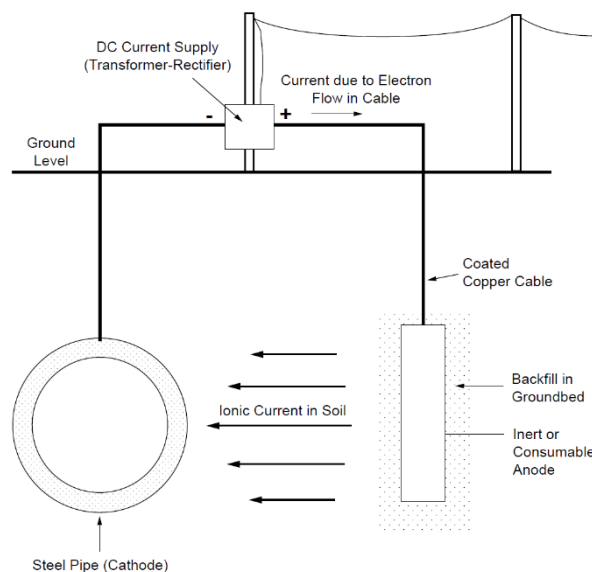
Oksigen bersifat sebagai polarizer, karena O₂ digunakan sebagai sumber reaksi reduksi, yang nantinya akan menstimulasi reaksi oksidasi pada anode. Perbedaan kandungan oksigen akan menyebabkan diferensial aerasi. Daerah yang memiliki kandungan oksigen lebih banyak akan bersifat lebih katodik, sedangkan daerah dengan oksigen lebih rendah akan bersifat lebih anodik. Semakin banyak kandungan O₂ pada lingkungan, stimulasi proses elektrokimia akan semakin cepat. Untuk mengurangi laju korosi secara signifikan, dapat dilakukan dengan mengurangi kadar oksigen hingga di bawah 5 ppm (NACE 01775, 2013).

3.3 Proteksi Katodik

Proteksi Katodik adalah teknik yang digunakan untuk mengendalikan korosi pada permukaan logam dengan menjadikan permukaan logam tersebut sebagai katode dari sel elektrokimia. Proteksi katodik dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menggunakan *Sacrificial Cathodic Protection* (SACP) dan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP), seperti pada Gambar 3.7 dan 3.8 berikut:



Gambar 3. 7. Mekanisme SACP (Gibran dan Rustandi, 2015)



Gambar 3. 8. Mekanisme ICCP (Gibran dan Rustandi, 2015)