

## PENGARUH UNSUR – UNSUR KIMIA KOROSIF TERHADAP LAJU KOROSI TULANGAN BETON : I. DI DALAM AIR RAWA

Sulistyoweni W, Henki W. Ashadi, Andri Krisnadi Wicaksono

Center For Environmental and Water Engineering Research  
Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

Email : [s\\_weni@eng.ui.ac.id](mailto:s_weni@eng.ui.ac.id)

---

### Abstrak

Sebagian besar bangunan prasarana sipil menggunakan tulangan beton untuk memperkuat konstruksi betonnya. Tulangan beton tersebut sangat rentan terhadap pengaruh unsur kimia yang dapat menyebabkan korosi. Korosi terjadi akibat adanya unsur kimia di lingkungan asam. Unsur-unsur kimia yang mempunyai sifat korosif diantaranya sulfat, klorida dan nitrat. Banyak lahan di wilayah Indonesia berupa rawa. Air rawa umumnya mempunyai kadar asam tinggi, dan mengandung unsur sulfat, klorida dan nitrat yang melebihi kondisi normal air tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh unsur-unsur kimia korosif di dalam air rawa terhadap laju korosi tulangan beton. Ada dua perlakuan yang dilakukan yaitu : (1) merendam tulangan beton dari dua jenis mutu (ST 37 dan ST 60) selama 60 hari ke dalam air rawa tercemar, (2) ST 37 digerakkan naik turun secara periodik dalam rendaman air rawa tercemar. Air rawa dibuat dalam tiga variasi yaitu dengan memperbesar konsentrasi unsur korosif 1x, 5x, dan 10 x. Pengukuran laju korosi menggunakan metoda immersi. Hasil uji immersi menunjukkan bahwa unsur klorida memberikan pengaruh yang paling besar dalam proses korosi ST 37 maupun ST 60 dan dengan diikuti dengan unsur sulfat dan nitrat. Besarnya laju korosi ST 37 adalah 24.29 mpy sedangkan ST 60 adalah 22.76 mpy. Untuk tulangan beton ST 37 yang digerakkan naik turun, besarnya laju korosi adalah 37,59 mpy, di mana unsur klorida paling besar pengaruhnya dalam proses korosi, dan diikuti dengan sulfat kemudian nitrat.

### Abstract

Most of infrastructures using steel concrete to reinforce the strength of concrete. Steel concrete is so vulnerable to chemical compounds that can cause corrosion. It can happen due to the presence of chemical compounds in acid environment in low pH level. These chemical compounds are  $SO_4^{2-}$ , Cl,  $NO_3^-$ . There are many swamp area in Indonesia. The acid contents and the concentration of ion sulphate, chlorides, and nitrate are higher in the swamp water than in the ground water. The objective of this research was to find out the influence of corrosive chemicals in the swamp water to the steel concrete corrosion rate. There were two treatment used: (1) emerging ST 37 and ST 60 within 60 days in the 'polluted' swamp water, (2) moving the ST 37 up and down periodically in the 'polluted' swamp water. Three variation of 'polluted' swamp water were made by increasing the concentration of corrosive chemical up to 1X, 5X and 10X respectively. The corrosion rate was measured by using an Immersion Method. The result of Immersion test showed that chloride had the greatest influence to corrosion rate of ST 37 and ST 60 and followed by sulphate and Nitrate. Corrosion rate value for ST 37 is 24.29 mpy and for ST 60 is 22.76 mpy. By moving the sample up and down, the corrosion rate of ST 37 increase up to 37.59 mpy, and chloride still having the greatest influence, followed by sulphate and nitrate.

Keywords : Corrosive ions, swamp water, corrosion rate, steel concrete

---

### Pendahuluan

Kebutuhan hidup manusia semakin lama semakin berkembang dan semakin kompleks. Oleh karena itu kebutuhan akan prasarana dan sarana fisik yang akan memudahkan manusia beraktivitas untuk memenuhi kebutuhan hidup juga semakin berkembang dan beraneka ragam. Prasarana dan sarana fisik tersebut dapat berupa bangunan rumah, bangunan gedung,

bangunan pabrik, bangunan jalan dan jembatan dan sebagainya. Bangunan-bangunan tersebut berlokasi tidak hanya di kota-kota tetapi juga sampai ke pelosok-pelosok daerah. Bangunan tersebut dapat berlokasi di daerah dengan lingkungan yang ekstrim, dalam arti pada lokasi tersebut banyak mengandung kandungan unsur yang bersifat korosif seperti di daerah pantai, di daerah bekas tanah rawa, daerah bekas tempat pembuangan sampah, daerah yang mempunyai kadar polusi tinggi,

daerah yang curah hujannya tinggi, daerah kawasan industri dan lain sebagainya. Korosi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi penurunan kekuatan konstruksi. Faktor yang menyebabkan terjadinya korosi adalah faktor dalam diri beton dan faktor lingkungan [1]. Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terlihat bahwa air rawa dan lumpur rawa memiliki kandungan yang menyebabkan terjadinya korosi pada tulangan beton. Air dan lumpur rawa mengandung zat organik, humus yang tinggi sehingga pH-nya rendah yang mengakibatkan air rawa bersifat asam. Karat sebutan orang awam terhadap korosi menjadi penyebab utama kerusakan material yang umumnya terbuat dari logam sehingga menimbulkan kerugian [2] Korosi dapat berlangsung apabila semua komponen sel elektrokimia tersedia yaitu tersedianya katoda dan anoda serta elektrolit dalam kadar yang cukup. Dengan adanya elektrolit maka akan terjadi perpindahan elektron dari anoda menuju katoda akibat perbedaan potensial antara keduanya. Korosi secara umum mempunyai pengertian sebagai kerusakan yang terjadi pada material yang terjadi akibatnya adanya reaksi kimia. Proses korosi yang terjadi pada material yang terbuat dari bahan logam disebabkan karena adanya proses pelepasan elektron pada logam (anoda) yang kemudian elektron tersebut diterima oleh logam lain (katoda). Proses tersebut terjadi apabila adanya zat yang bersifat sebagai elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar listrik. Korosi adalah suatu fenomena yang kompleks yang terjadi tidak hanya pada material yang terbuat dari metal namun korosi secara umum diketahui terjadi pada permukaan metal yang disebut *general corrosion*. Seiring dengan perkembangan jaman dan pengetahuan maka para ahli metalurgi telah mempunyai cara bagaimana membuat suatu unsur yang mempunyai ketahanan diri terhadap serangan korosi. Kemampuan

suatu bahan untuk dapat tahan dari proses korosi tergantung dari beberapa faktor, seperti yang tergambar di bawah [3,1].

Berdasarkan diagram tersebut dapat kita lihat bahwa faktor termodinamika dan elektrokimia mempunyai peran yang penting dalam memahami dan mengontrol korosi. Ada berbagai cara untuk mengklasifikasikan korosi yang terjadi pada metal, bila ditinjau berdasarkan mekanisme terjadinya korosi maka korosi dapat diklasifikasikan menjadi :

- *Chemical corrosion*
- *Electrolytic corrosion*

Selain itu korosi juga dapat diklasifikasikan menjadi (1) *wet corrosion* dan (2) *dry corrosion*, yaitu:

- *Wet corrosion*

Terjadi bila ada zat cair yang menjadi elektrolit, dapat terlihat pada korosi yang terjadi pada besi yang diakibatkan oleh air.

- *Dry corrosion*

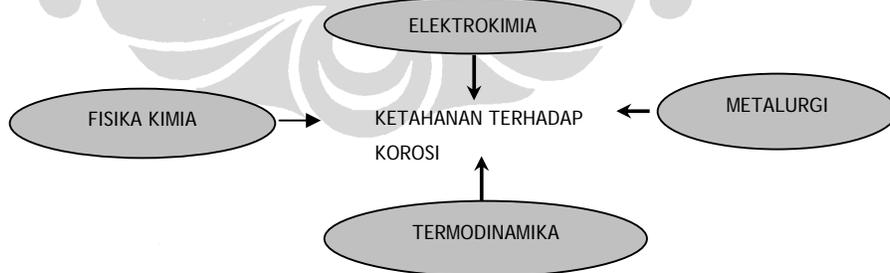
Korosi ini terjadi tanpa kehadiran dari air, penyebab dari korosi ini adalah temperatur tinggi dan gas penyebab korosi (karbondioksida dan sulfurdioksida).

Sifat-sifat kimia yang mempengaruhi korosi : pH, Alkalinitas, Oksigen terlarut (*dissolved oxygen/DO*), SS (*suspended Solid*), Kalsium, Klorida dan sulfat, Angka permanganat [4].

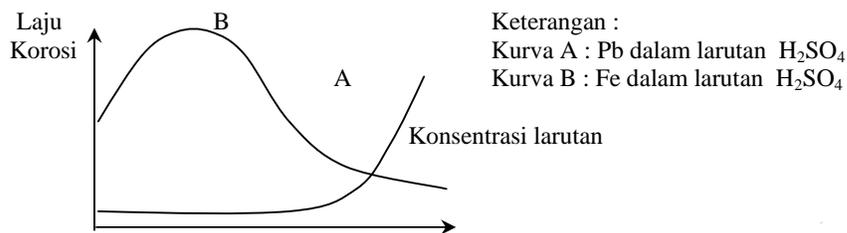
**Efek Dari Konsentrasi Zat Korosif**

Gambar di bawah menunjukkan efek dari konsentrasi zat korosif pada laju korosi.

Adanya ion chlorida dalam beton yang mengandung karbonat menyebabkan resiko korosi pada tulangan yang lebih besar dibanding dalam kondisi alkalin [5,1].



Gambar 1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Korosi Pada Logam (Fontana, 1986)



Keterangan :  
 Kurva A : Pb dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
 Kurva B : Fe dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Gambar 2. Efek Dari Konsentrasi Zat Korosif Terhadap Laju Korosi.(Fontana, 1986)

**Metode Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan dengan memberikan ‘perlakuan’ terhadap tulangan beton ST 37 dan ST 60 yang direndam dalam air tercemar. Ada dua perlakuan utama yaitu (1) tulangan beton ST 37 dan ST 60 direndam selama 60 hari, (2) tulangan beton ST 37 digerakkan naik turun secara periodik dalam rendaman air tercemar. Air tercemar yang berfungsi sebagai rendaman divariasikan dalam 4 jenis air yaitu Air Rawa Murni (ARM), Air Rawa yang diperbesar konsentrasi unsur korosif menjadi 5x (AR5), Air rawa yang diperbesar konsentrasi unsur korosif menjadi 10x (AR10) dan air tanah yang berfungsi sebagai kontrol. Air rawa diambil dari rawa yang paling tercemar di wilayah DKI, berdasarkan data dari Bapedalda Propinsi DKI Jakarta. Sampel tulangan beton dibuat dalam bentuk kupon dengan ukuran 5 cm x 2,5 cm x 0,3 cm. Jumlah sampel dibuat 24 kupon dengan pembagian 8 kupon ST 37 dan 16 kupon ST 60. Sampel digantungkan dalam wadah-wadah yang berisi air rendaman dalam empat variasi. Pada hari ke 60 dilakukan pengukuran laju korosi tulangan beton dengan menggunakan metoda immersion. Masing-masing kupon ditimbang sebelum dimasukkan ke dalam wadah uji coba dan setelah 60 hari perendaman. Selanjutnya perhitungan laju korosi beton menggunakan rumus :

$$Mpy = \frac{534.(W_a - W_o)}{D.A.T} \quad (1)$$

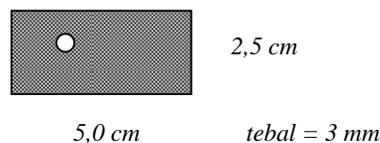
Dimana :

- Wa : Berat awal sampel
- Wo : Berat akhir sample
- D : berat jenis tulangan
- A : luas permukaan sampel
- T : waktu perendaman

**Sampel Uji Korosi**

Sampel tulangan ST 37 dan mutu ST 60 untuk uji Immersion berdasarkan peraturan ASTM [6] untuk laju korosi adalah berbentuk kupon persegi atau berbentuk

lingkaran dengan tebal minimal 3 mm. Untuk percobaan ini digunakan strip kupon persegi berukuran 50 mm x 25 mm x 3 mm dengan toleransi 1%, seperti gambar berikut:



Gambar 2. Kupon Uji Immersi

Pada saat perendaman juga dilakukan penggantian air rawa dan larutan korosif setiap 2 minggu sekali, agar kondisi yang terjadi seperti layaknya dilapangan. Perendaman dilakukan selama 60 hari dimana pada hari ke 60 pada sampel yang telah diangkat kemudian dibersihkan dari karat dengan mencucinya dengan campuran yang terbuat dari NaOH dan serbuk Zinc.

**Penambahan Zat Korosif**

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh unsur-unsur korosif di dalam air rawa terhadap laju korosi tulangan beton, oleh karena itu di dalam air rawa yang diambil untuk dijadikan sampel di dalamnya ditambahkan unsur-unsur korosif dalam jumlah tertentu. Unsur-unsur korosif tersebut adalah unsur  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ . Unsur –unsur tersebut didapatkan dari senyawa –senyawa  $H_2SO_4$ , HCl dan  $HNO_3$ . Senyawa-senyawa tersebut ditambahkan kedalam air rawa murni dengan jumlah tertentu agar mencapai konsentrasi yang diinginkan. Konsentrasi yang diharapkan adalah 10X dan 5X dari konsentrasi unsur-unsur tersebut yang terdapat di dalam air rawa murni.

**Hasil dan Pembahasan**

Air rawa yang digunakan dalam percobaan ini ditambahkan unsur-unsur korosif. Kadar kandungan dari masing-masing unsur yang ditambahkan pada air rawa adalah 5X dan 10Xdari kandungan alami.

**Tabel 1. Kualitas Air Rawa dan Air Tanah**

	pH	Nitrat	Nitrit	SS	DHL	Alkalinitas	Cl	DO	Ca	Sulfat	KMnO <sub>4</sub>
Air rawa Cengkareng	7.2	5.8	0.001	470	2400	166.95	168.35	3.47	38.34	440	41.6
Air tanah	5.8	6.2	0.015	12	2200	96.27	93.9	2.81	21.15	2	10.3

Sumber : Laboratorium Lingkungan Fakultas Teknik Sipil Universitas Indonesia

Dari tabel 1. terlihat bahwa kedua jenis air tersebut memiliki angka pH yang dapat menyebabkan rusaknya lapisan pasif (<13.5) dari sebuah tulangan baja. Namun terlihat dari data laboratorium ternyata angka pH dari

air yang ada di fakultas teknik lebih rendah daripada air yang berasal dari rawa Cengkareng. Namun air rawa memiliki unsur penyebab korosi yang lebih tinggi yaitu kandungan sulfat dan klorida yang lebih tinggi.

Kedua jenis air tersebut juga memiliki angka DO yang rendah sehingga memungkinkan berkembangnya bakteri anaerob seperti bakteri *D. desulfuricans* yang menjadi salah satu faktor terjadinya korosi. Reaksi yang terjadi adalah reaksi pengurangan sulfat.

**Laju Korosi Dari Tulangan Beton**

Data-data hasil penimbangan dari sample yang telah selesai masa rendamannya kemudian dihitung dengan menggunakan rumus (1) diatas. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

Dari tabel 2. dapat dikatakan bahwa:

1. Penambahan unsur Sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) yang diperbesar 5X lebih dominan mempengaruhi laju korosi pada kedua jenis mutu tulangan dibandingkan dengan  $Cl^-$  dan  $NO_3^-$ .

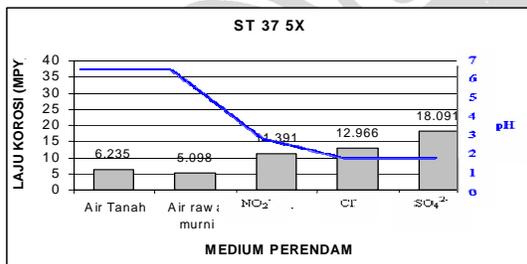
2. Penambahan unsur Chlorida yang diperbesar 10X lebih dominan mempengaruhi laju korosi pada kedua jenis mutu tulangan dibandingkan dengan  $SO_4^{2-}$  dan  $NO_3^-$ .
3. Unsur  $Cl^-$  mempunyai pengaruh yang paling besar pada laju korosi ST 37 yang digerakkan naikturun dibandingkan dengan unsur  $SO_4^{2-}$  dan  $NO_3^-$  dengan konsentrasi yang diperbesar 5X maupun 10X. Besaran laju korosinya adalah 35.759 – 37.588 mpy.

Berdasarkan tabel hasil perhitungan uji Immersion, dibuat grafik perbandingan medium perendaman terhadap laju korosi dari setiap mutu tulangan sebagai berikut :

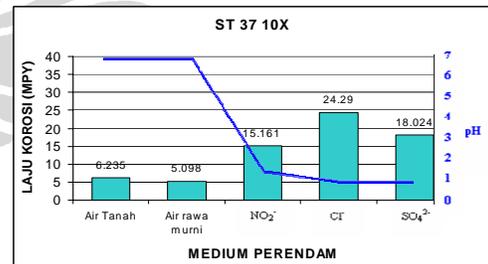
**Tabel 2. Hasil Uji Immersion dalam berbagai variasi jenis perendaman**

perendam (Air Rawa +)	variasi konsentrasi	laju korosi ST 37 (mpy)	laju korosi ST 60 (mpy)	laju korosi ST 37 naikturun (mpy)
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<b>5X</b>	18.091	17.193	34.780
	<b>10X</b>	18.024	21.575	34.138
<b>HCl</b>	<b>5X</b>	12.966	11.055	37.588
	<b>10X</b>	24.290	22.757	35.759
<b>HNO<sub>3</sub></b>	<b>5X</b>	11.391	10.817	32.304
	<b>10X</b>	15.161	14.965	30.464
<b>Air Rawa Murni</b>		5.098	5.047	14.467
<b>Air Tanah</b>		6.235	5.437	6.395

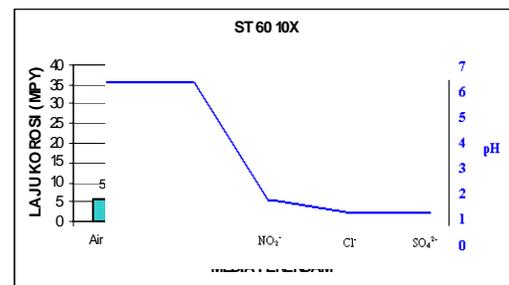
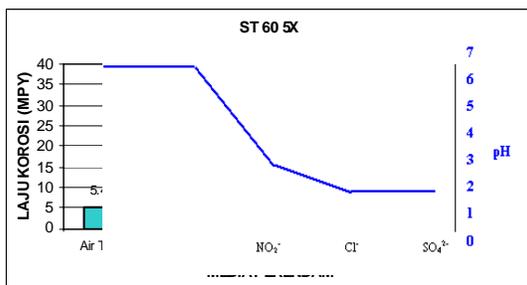
Sumber : Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan FTUI, Depok 2002



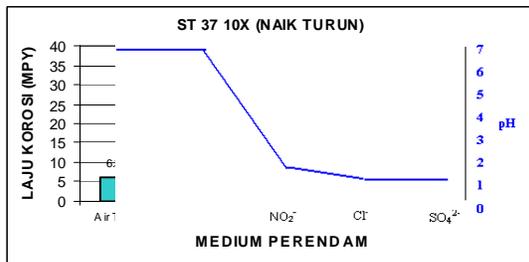
**Grafik 1. Perbandingan Laju Korosi Tulangan ST 37 (Konsentrasi 5X)**



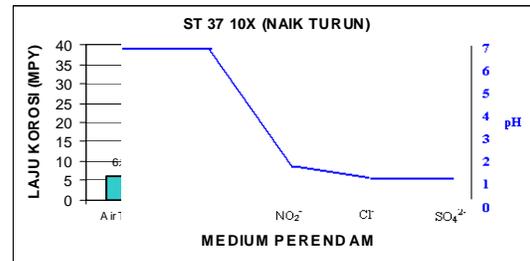
**Grafik 2. Perbandingan Laju Korosi Tulangan ST 37 (Konsentrasi 10X)**



Grafik 3. Perbandingan Laju Korosi Tulangan ST 60 (Konsentrasi 5X)



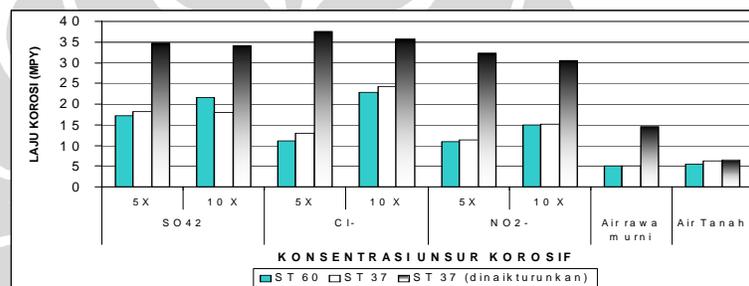
Grafik 4. Perbandingan Laju Korosi Tulangan ST 60 (Konsentrasi 10 X)



Grafik 5. Perbandingan Laju Korosi Tulangan ST 37 (Konsentrasi 5X) Dinaikturunkan

Grafik 6. Perbandingan Laju Korosi ST 37 (Konsentrasi 10X) Dinaikturunkan

Perbandingan secara keseluruhan dari data diatas adalah sebagai berikut :



Grafik 7. Perbandingan Laju Korosi Dalam Rendaman Air Rawa

### Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang didapat berdasarkan dari analisa data dan pembahasan adalah sebagai berikut :

1. Unsur sulfat memberikan pengaruh yang paling besar terhadap laju korosi pada penambahan konsentrasi 5X diikuti dengan chlorida dan nitrat. Besaran masing-masing laju korosi untuk kedua jenis mutu adalah 18.091 mpy untuk ST 37 dan 17.193 untuk ST 60.
2. Pada penambahan konsentrasi 10X, unsur chlorida memberikan pengaruh yang paling besar terhadap laju korosi dibandingkan dengan sulfat dan nitrat. Besaran masing-masing laju korosi untuk kedua jenis mutu adalah 24.290 mpy untuk ST 37 dan 22.757 untuk ST 60.
3. Laju korosi tulangan ST 37 yang dinaikturunkan lebih besar dari laju korosi tulangan ST 37 yang hanya dicelup saja. Laju korosi terbesar terjadi pada sample dengan rendaman air rawa ditambah unsur chlorida dengan penambang konsentrasi 5X dan 10X, diikuti dengan sulfat dan nitrat.
4. Semakin tinggi kualitas tulangan beton semakin rendah laju korosi yang terjadi.

### Daftar Acuan

- [1] H.H. Uhlig, W.R. Revie, Uhlig's Corrosion Handbook, John Wiley and Sons, New York, 2000, p.582.
- [2] J. Chamberlein, Korosi, Gramedia, Jakarta, 1991.
- [3] M.G. Fontana, Corrosion Engineering, McGraw Hill, New York, 1986.
- [4] D.H. Davies, G.T. Burstein, Corrosion: Effect of Bicarbonate on the corrosion and passivation of iron, 1980, p.36
- [5] D. Barkey, D. Pinelle, E. Lyons, I. Christopher, [http://www.arofe.army.mil/Conferences/Recent\\_Abstract/200th\\_Meeting/meet.html](http://www.arofe.army.mil/Conferences/Recent_Abstract/200th_Meeting/meet.html).
- [6] Anon., Annual Book of ASTM Standarts G59-78, ASTM, Philadelphia, 1981, p.964.
- [7] Ulf Nurnberger, Willibad Beul FMPA Otto-graf Journal, [http://www.fmpa.de/english/journal/1999/Beitrag\\_NeurnbergerBeul.html](http://www.fmpa.de/english/journal/1999/Beitrag_NeurnbergerBeul.html)