PENGARUH UNSUR – UNSUR KIMIA KOROSIF TERHADAP LAJU KOROSI TULANGAN BETON : II. DI DALAM LUMPUR RAWA

Henki W. Ashadi, Sulistyoweni W, Irma Gusniani

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

Email : s_weni@eng.ui.ac.id

Abstrak

Lingkungan yang tercemar dapat mempengaruhi umur konstruksi bangunan. Beton bertulang merupakan salah satu pilihan material bangunan dan di dalamnya terdapat tulangan beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh unsur kimia korosif dalam lumpur rawa terhadap laju korosi tulangan beton. Korosi pada tulangan beton umumnya terjadi akibat adanya reaksi kimia tulangan tersebut dengan lingkungan yang bersifat asam serta mengandung unsur-unsur kimia yang mempunyai sifat korosif seperti ion-ion SO_4^{2-} *,* Cl^- *, dan* NO_3^-*. Kegiatan penelitian dilakukan dengan merendam tulangan beton dari dua jenis mutu (ST 37 dan ST 60) selama 60 hari ke dalam lumpur rawa tercemar. Lumpur rawa dibuat dalam tiga variasi yaitu dengan memperbesar konsentrasi unsur korosif 1x, 5x, dan 10 x. Pengukuran laju korosi menggunakan metoda imersi. Hasil uji immersi menunjukkan bahwa unsur sulfat memberikan pengaruh yang paling besar dalam proses korosi ST 37 maupun ST 60 iikuti dengan unsur chlorida dan nitrat. Besarnya laju korosi ST 37 adalah 17.58 mpy sedangkan ST 60 adalah 12.47 mpy.*

Abstract

A polluted environment will influence the building age. The objective of this research was to find out the influence of corrosive chemicals within the sludge swamp area with the corrosion rate of steel concrete. Corrosion in steel concrete usually occur in acid area which contain of SO_4^{2-}*,* Cl^- *and* NO_3^-*. The research treatment used by emerging ST 37 and ST 60 within 60 days in 'polluted' sludge swamp area. Three variation of 'polluted' swamp sludge were made by increasing the concentration a corrosive unsure up to 1X, 5X and 10X. The corrosion rate measured by using an Immersion Method. The result of Immersion test showed that sulphate had a greatest influence to corrosion rate of ST 37 and ST 60 and followed by chloride and nitrate. Corrosion rate value for ST 37 was 17.58 mpy and for ST 60 was 12.47 mpy.*

Keywords :Corrosions rate, steel concrete, sludge swamp

Pendahuluan

Korosi merupakan fenomena kerusakan suatu material akibat material tersebut bereaksi secara kimia dengan lingkungannya yang tidak mendukung. Korosi dapat berlangsung apabila semua komponen sel elektrokimia tersedia yaitu anoda, katoda sirkuit eksternal (penghubung antara anoda dan katoda), sirkuit internal (elektrolit). Katoda (+) dan anoda (-) adalah logam yang sejenis atau berlainan yang mempunyai perbedaan potensial. Apabila salah satu dari komponen tersebut di atas tidak ada, maka korosi tidak akan berlangsung. Lingkungan yang tidak mendukung yang dapat menyebabkan korosi dapat berupa kadar pH yang rendah, banyaknya kandungan unsur klorida bebas, sulfat dan beberapa faktor lingkungan lainnya serta faktor dari beton itu sendiri baik itu mutu tulangan yang digunakan ataupun mutu dan tebal selimut betonnya. Dalam menentukan suatu derajat kerusakan dari suatu proses korosi terhadap suatu material maka digunakan satuan mpy dan mm/year yang menyatakan laju korosi. Hal inilah yang menjadi objek dari penelitian ini, yaitu untuk mengetahui pengaruh lumpur rawa terhadap laju korosi pada tulangan beton dan perbandingannya dengan air rawa tersebut, karena didasari fakta bahwa struktur pondasi dari gedung/bangunan yang berada di rawa tidak hanya terendam oleh airnya saja tetapi juga oleh lumpur dan tanah rawa tersebut.Korosi selalu diartikan sebagai karat atau "rust" oleh orang awam. Secara fisik, karat inilah yang dapat terlihat jelas kasat mata. Bahkan dalam dunia industri dan metalurgi, karatlah yang menjadi penyebab utama kerusakan

material yang umumnya terbuat dari logam sehingga menimbulkan kerugian yang cukup besar dari segi biaya. Hal ini membuat para ahli menganggap kerusakan akibat karat sebanding dengan keuntungan yang diperoleh manusia dengan ditemukannya logam besi [1]. Padahal sesungguhnya karat hanyalah sebagian dari produk akibat proses korosi. *Fontana*, 1986 [2] mendefinisikan korosi sebagai fenomena kerusakan material yang diakibatkan oleh adanya reaksi kimia antara material tersebut dengan lingkungan yang tidak mendukung. Definisi material yang dimaksud di sini tidak hanya logam semata, tetapi juga mencakup keramik, plastik, kayu dan material non logam lainnya. Sifat elektrokimia korosi dapat diilustrasikan oleh kerusakan *zinc* (seng) akibat asam klorida (HCl). Ketika *zinc* ditaruh dalam larutan HCl, maka akan terjadi reaksi dimana gas hidrogen akan terbentuk dan *zinc* akan terlarut, membentuk larutan *zinc* klorida.
Persamaannya adalah :

$$Zn + 2HCl \longrightarrow ZnCl_2 + H_2$$

Ion klorida bukan merupakan unsur yang ikut bereaksi maka persamaannya dapat kita tuliskan :

$$Zn + 2H^+ \longrightarrow Zn^{2+} + H_2$$

Dengan melihat persamaan reaksi kimia di atas maka dapat disimpulkan bahwa *zinc* dioksidasi menjadi ion *zinc* dan ion hidrogen direduksi menjadi hidrogen. Oleh sebab itu maka reaksi kimia di atas dapat kita bagi menjadi 2 kelompok :

$Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e$ (*Reaksi Anoda*)
$2H^+ + 2e \longrightarrow H_2$ (*Reaksi Katoda*)

Reaksi anoda diindikasikan dengan naiknya bilangan valensi dan terjadinya produksi elektron. Reaksi katoda diindikasikan dengan terjadinya konsumsi elektron sehingga menyebabkan penurunan jumlah elektron. Hal ini merupakan prinsip utama korosi yang dapat dituliskan "*Ketika suatu logam terjadi korosi maka laju oksidasi akan sama dengan laju reduksi*". Peristiwa korosi dari contoh di atas dapat kita ilustrasikan pada gambar di bawah.

Herbert Uhlig (2000:582) [3], menggambarkan proses korosi tulangan baja pada beton dengan persamaan reaksi sbb:

Reaksi Anoda :

$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e$
$Fe^{2+} + 2\,OH^- \longrightarrow Fe(OH)_2$
$4\,Fe(OH)_2 + O_2 + H_2O \longrightarrow 4\,Fe(OH)_3$
$\longrightarrow 2\,Fe_2O_3\,H_2) + 4\,H2O$ (karat)

Reaksi Katoda:

$1/2\,O_2 + H_2O + 2\,e \longrightarrow 2\,OH^-$

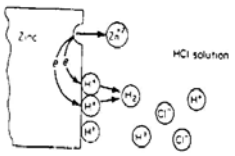
Dalam beton karbonat yang mengandung ion chlorida, resiko korosinya lebih besar dari pada dalam beton alkalin yang mengandung garam [4,5,6] .

Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan memberikan 'perlakuan' terhadap tulangan beton ST 37 dan ST 60 yang direndam dalam lumpur tercemar, yaitu tulangan beton ST 37 dan ST 60 direndam selama 60 hari. Lumpur tercemar yang berfungsi sebagai rendaman divariasikan dalam 4 jenis air rendaman yaitu lumpur rawa murni (LRM), lumpur rawa yang diperbesar konsentrasi unsur korosif menjadi 5x (LR5), lumpur rawa yang diperbesar konsentrasi unsur korosif menjadi 10x (LR10)dan air tanah yang berfungsi sebagai kontrol. Lumpur 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.

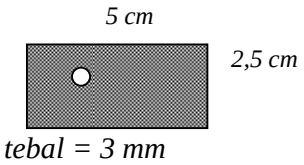
Jumlah sampel untuk masing- masing tulangan beton 8 kupon. Sampel digantungkan dalam wadah-wadah yang berisi air rendaman dalam empat variasi. Pada hari ke 60 dilakukan pengukuran laju korosi tulangan beton dengan menggunakan metoda immersion. Masing-masing kupon ditimbang sebelum dimasukkan ke dalam wadah uji coba dan setelah 60 hari perendaman. Peristiwa korosi dari contoh di atas dapat kita ilustrasikan pada gambar di bawah.

Gambar 1. Reaksi Elektrokimia Ketika Zinc Bereaksi dengan HCl



Sampel Uji Korosi

Sampel tulangan ST 37 dan mutu ST 60 untuk uji Immersion berdasarkan peraturan ASTM [7] 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 lumpur 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.

Hasil dan Pembahasan

Kualitas Lumpur Rawa (LRM)

Hasil pemeriksaan kualitas lumpur rawa dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Lumpur Rawa

No.	Parameter	Satuan	Lumpur Rawa Alami
1.	pH		6.0
2.	Temperatur	^{0}C	26
3.	DHL	mS/cm	1700
4.	Alkalinitas	mg/l	122.72
5.	Cl^-	mg/l	122.72
6.	DO	mg/l	1.86
7.	Sulfat	mg/l	1.0
8.	Zat Organik	mg/l	59.4
9.	TSS	mg/l	1.950
10.	Nitrat	mg/l	ttd
11.	Nitrit	mg/l	0.018

Keterangan : ttd = tidak terdeteksi
Sumber *: Laboratorium Teknik Penyehatan Jurusan Sipil Universitas Indonesia*

Berdasarkan konsentrasi unsur korosif dalam LRM di atas, dilakukan perhitungan dan percobaan untuk membuat variasi lumpur rendaman lainnya dengan konsentrasi masing-masing unsur diperbesar 5 x dan 10 x

Laju korosi tulangan beton

Hasil uji laju korosi dengan metoda immersi pada masing-masing sampel (kupon) dapat dilihat dalam tabel 2.

Berdasarkan hasil laju korosi dalam Tabel 2 dapat dilihat bahwa :

1. Perbesaran konsentrasi unsur korosif dalam lumpur rawa akan mempengaruhi pH campuran lumpur rawa tersebut. Semakin besar penambahan unsur kimia korosif semakin rendah pH campuran lumpur.
2. Apabila dilihat hubungan antara laju korosi yang terjadi pada tulangan ST 37 dan ST 60 terhadap pH, dapat dikatakan bahwa laju korosi pada pH campuran lebih tinggi dari pH rawa alami. Semakin rendah pH campuran semakin tinggi laju korosi yang terjadi. Hal ini terbukti dari hasil diatas yang menunjukkan bahwa laju korosi pda LR10 lebih besar dari laju korosi pda LR5.
3. Unsur kimia yang paling korosif adalah H_2S0_4 diikuti dengan HCl lalu HNO_3^- Diantara ketiganya, unsur sulfat mempunyai nilai laju korosi yang paling tinggi, yaitu untuk ST 37 sebesar 17.58 mpy dan untuk ST 60 sebesar 12.47 mpy, diikuti oleh unsur Chlorida kemudian Unsur Nitrat.
4. Laju korosi tulangan ST 37 lebih besar dari tulangan ST 60 dalam setiap media perendam, baik itu dalam rendaman LR5 maupun LR10. Hal tersebut disebabkan karena Tulangan ST 60 mempunyai mutu lebih tinggi dari ST 37 sehingga lebih mampu tahan terhadap proses korosi.

Tabel 2. Laju Korosi Tulangan ST 37 dan ST 60

No.	Lumpur + unsur korosif	Variasi konsentrasi unsur korosif	pH campuran	Laju korosi		Laju korosi	
				(mpy)	(mm/year)	(mpy)	(mm/year)
				ST 37		ST 60	
1.	Air tanah	Alami	5.8	6.235	-	5.437	-
2.	Lumpur	Alami	6.0	5.09	0.129	4.34	0.110
3.	HCl-	5 X	2	9.00	0.228	6.04	0.153
4.		10X	1	15.03	0.382	10.56	0.268
5.	$H_2SO_4^{2-}$	5X	2	10.28	0.261	9.16	0.233
6.		10X	1	17.58	0.446	12.47	0.317
7.	HNO_3^-	5X	1.5	7.97	0.202	7.66	0.195
8.		10X	2.5	11.86	0.301	7.89	0.200

Sumber : Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan, FTUI Depok, 2002

Baja tulangan pada struktur beton bertulang biasanya mengandung 2- 4 % karbon, dan 1- 3 % silikon. Usaha untuk meningkatkan kekuatan (*strength*) baja tulangan umumnya hanya dengan merubah proses pekerjaan panas (*hot rolling process*). Sedangkan untuk memperbaiki mutu baja tulangan dalam hal ketahanannya terhadap proses korosi hanyalah dengan menambahkan sedikit silikon. Penambahan konsentrasi unsur korosif 10X ke dalam lumpur rawa alami lebih banyak pengaruhnya daripada penambahan konsentrasi 5X. Hal ini membuat laju korosi tulangan ST 37 dan ST 60 yang terendam LR10 lebih besar dari laju korosi tulangan ST 37 dan ST 60 yang terendam LR5. Pengaruh variasi larutan asam yang ditambahkan ke dalam lumpur rawa alami memberikan data bahwa laju korosi terbesar pada tulangan ST 37 dan ST 60 dengan penambahan konsentrasi 5X maupun 10X secara berurut adalah : H_2SO_4, HCl, HNO_3. Hal ini disebabkan karena penambahan larutan asam sulfat (H_2SO_4), ternyata lebih besar memberikan dampak penurunan pH, dibandingkan penambahan larutan HCl dan HNO_3 sehingga dalam setiap jenis tulangan, penambahan larutan ini menyebabkan laju korosi yang lebih besar dari larutan lainnya.

Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pembahasan diatas, di dapat beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Semakin rendah pH Lumpur rawa semakin besar laju korosi yang terjadi dalam tulangan beton, baik itu tulangan ST 37 maupun ST 60.
2. Unsur Sulfat memberikan pengaruh yang paling besar terhadap laju korosi tulangan beton ST 37 maupun ST 60 diikuti oleh unsur Chlorida kemudian Nitrat. Besaran laju korosinya untuk tulangan ST 37 adalah 17.58 mpy sedangkan untuk tulangan ST 60 adalah 12.47 mpy.
3. Semakin tinggi kualitas tulangan beton semakin rendah laju korosi yang terjadi.

Daftar Acuan

[1] J. Chamberlein, Korosi, Gramedia, Jakarta, 1991.
[2] M.G. Fontana, Corrosion Engineering, McGraw Hill, New York, 1986.
[3] H.H. Uhlig, W.R. Revie, Uhlig's Corrosion Handbook, John Wiley and Sons, New York, 2000, p.582.
[4] D. Barkey, D. Pinelle, E. Lyons, I. Christopher, *http://www.arofe.army.mil/Conferences/Recent_ Abstract/200th_Meeting/meet.html*.
[5] P. Hanancok, J.E.O. Maayne, J. Appl. Chem. 9 (1959) 350
[6] Ulf Nurnberger, Willibad Beul FMPA Otto-graf Journal, *http://www.fmpa.de/english/journal/1999/ Beitrag NeurnbergerBeul.html*
[7] Anon., Annual Book of ASTM Standarts G59-78, ASTM, Philadelphia, 1981, p.964.