

LAJU KOROSI TULANGAN PADA MUTU BETON YANG BERBEDA

Atur P. N. Siregar *

Abstract

The aim of this research is to measure the corrosion rate of steel reinforcement in several qualities of concretes. The type of specime were used in this research, i.e. concrete cylinder with the steel reinforcement diameters 6, 8 and 10 mm embedded in. The 28-days compressive strength used in the research were 12,5; 17,5 and 22,5 Mpa. The specimens were then cured in four different treatments: plain water, sea-water, H_2SO_4 5 gr/mL, and HCl 5 gr/mL solution. The corrosion of steel reinforcement was measured from 7 until 90 days of specimens' age. The result shows that corrosion rate of steel reinforcement embedded in the higher grade concrete is significantly smaller than in the lower grade concrete. The corrosion rate of bars in the 12,5; 17,5 and 22,5 MPa compressive strength concrete which were immersed in plain water were $3.10 \times 10^3 \mu\text{m/year}$, $3.02 \times 10^3 \mu\text{m/year}$ and $2.64 \times 10^3 \mu\text{m/year}$, respectively; in the H_2SO_4 5 gr/mL solution were $17.17 \times 10^3 \mu\text{m/year}$, $8.69 \times 10^3 \mu\text{m/year}$ and $6.11 \times 10^3 \mu\text{m/year}$, repectively; in the sea-water were $17.24 \times 10^3 \mu\text{m/year}$, $8.84 \times 10^3 \mu\text{m/year}$ dan $6.14 \times 10^3 \mu\text{m/year}$; and in the HCl 5 gr/mL were $21.67 \times 10^3 \mu\text{m/year}$, $7.81 \times 10^3 \mu\text{m/year}$ dan $6.11 \times 10^3 \mu\text{m/year}$. Finally, the worst corrosion effect to reinforcement bars is in the HCl solution.

Keywords: Corrosion Rate, Reinforced Bars, Concrete Quality

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung laju korosi dari tulangan beton yang tertanam pada berbagai mutu beton. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa silinder beton dengan di tanam tulangan bediameter 6, 8 dan 10 mm. Variasi mutu beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah 12,5; 17,5 dan 22,5 MPa. Benda uji tersebut di rendam dalam berbagai jenis keada, yaitu air tawar, air laut, larutan H_2SO_4 5 gr/mL dan larutan HCl 5 gr/mL. Pengujian laju korosi dilakukan mulai hari ke 7 sampai hari ke 90 dari umur perendaman benda uji. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa laju korosi pada tulangan beton pada mutu beton yang baik akan lebih rendah dibandingkan dengan beton mutu yang rendah. Tingkat laju korosi tulangan beton pada beton dengan mutu 12,5 ; 17,5 dan 22,5 MPa yang dilakukan perendaman pada lingkungan air tawar adalah $3.10 \times 10^3 \mu\text{m/thn}$, $3.02 \times 10^3 \mu\text{m/thn}$ and $2.64 \times 10^3 \mu\text{m/thn}$; pada perendaman dilarutan H_2SO_4 5 gr/mL adalah $17.17 \times 10^3 \mu\text{m/thn}$, $8.69 \times 10^3 \mu\text{m/thn}$ and $6.11 \times 10^3 \mu\text{m/thn}$; pada perendaman dilingkungan air laut adalah $17.24 \times 10^3 \mu\text{m/thn}$, $8.84 \times 10^3 \mu\text{m/thn}$ dan $6.14 \times 10^3 \mu\text{m/thn}$; dan pada perendaman dilarutan HCl 5 gr/mL adalah $21.67 \times 10^3 \mu\text{m/thn}$, $7.81 \times 10^3 \mu\text{m/thn}$ dan $6.11 \times 10^3 \mu\text{m/thn}$. Dampak dari korosi yang disebabkan oleh lingkungan luar yang paling buruk adalah bila terletak pada larutan HCl.

Kata kunci: Corrosion Rate, Reinforced Bars, Concrete Quality

1. Pendahuluan

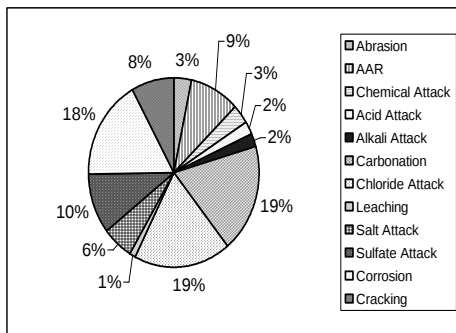
Bangunan dengan menggunakan beton bertulang merupakan bangunan yang sangat lazim digunakan oleh masyarakat pada umumnya. Demikian pula penggunaan bangunan berstruktur beton bertulang banyak digunakan pada daerah tepi pantai tanpa perlakuan khusus. Dengan terletaknya bangunan-bangunan tersebut pada

lingkungan korosif maka perlu diperhitungkan perlemahan kekuatan struktur bangunan tersebut yang pada akhirnya akan menentukan masa layan dari bangunan tersebut.

Basheer (1996) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa dari hasil review-nya pada sebanyak lebih dari 400 dokumen tentang kerusakan beton maka terindikasikan kerusakan

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

tersebut diakibatkan oleh mekanisme fisik dan kimiawi. Dan hal ini dapat dikategorikan seperti dalam diagram pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Prosentasi Kerusakan Beton Akibat Proses Fisik dan Kimiawi (Basheer, P. A. M, 1996)

Kerusakan struktur bangunan dalam hal ini struktur beton bertulang akibat proses kimiawi berdasarkan data hasil review Basheer (1996) sekitar 77% dari data kerusakan struktur beton. Dan hal ini merupakan faktor yang menyebabkan kerusakan yang sangat besar.

Proses perusakan kimiawi pada struktur beton bertulang berupa korosi tulangan beton sangat sering terjadi pada bangunan-bangunan rumah penduduk tepi pantai. Adapun bangunan tersebut dibangun dengan metode yang sederhana tanpa perlakuan khusus. Oleh karena itu dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi tulanga beton dari berbagai mutu beton yang sering

digunakan dilapangan pada berbagai lingkungan korosif.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Mekanisme korosi

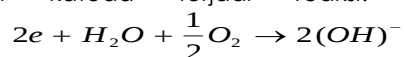
Tulangan besi dalam beton sebenarnya tahan terhadap korosi, karena sifat alkali dari beton (pHnya sekitar 12-13), sehingga dipermukaan tulangan dalam beton terbentuk sebuah lapisan pasif yang menyebabkan besi terlindung dari pengaruh luar. Proses karbonisasi (*carbonation*) dan intrusi ion-ion khlorida (Cl^-) ke dalam beton adalah dua faktor utama yang menyebabkan rusaknya lapisan pasif tersebut dan berlanjut pada terkorosinya tulangan di dalam beton.

Korosi pada besi tulangan merupakan proses bereaksinya atom-atom Fe yang berada dalam batang tulangan menjadi ion Fe^{2+} atau Fe^{3+} . Mekanisme korosi yang disebabkan baik ion Klorida maupun karbonasi adalah sebagai berikut:

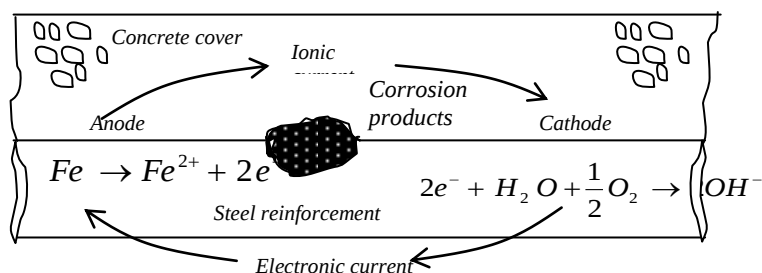
Pada anoda terjadi reaksi :



Pada katoda terjadi reaksi :

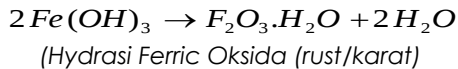
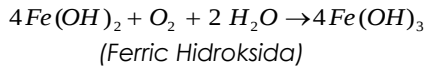
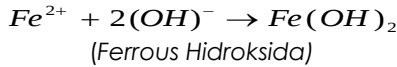


Hasil pada reaksi tersebut terbentuknya ion hidroksil OH^- yang mana ion tersebut meningkatkan sifat alkali dari beton tersebut dan memperkuat lapis pasif yang mana akan mengurangi pengaruh karbonisasi dan ion klorida pada katoda seperti pada Gambar 2 (Broomfield J.P., 1997).



Gambar 2. Mekanisme Terjadinya Korosi pada Tulangan dalam Beton

Akan tetapi dengan adanya air dan oksigen yang cukup maka ion Ferrous (Fe^{2+}) akan larut dalam air membentuk Ferrous Hidroksida seperti reaksi berikut:



Volume Ferric Hidroksida ($Fe(OH)_3$) yang terhidrasi mencapai dua kali dari volume besi yang teroksidasi, sehingga volume bertambah menjadi dua sampai sepuluh kali dari volume besi yang teroksidasi.

2.2 Pengaruh mutu beton terhadap laju korosi

Umumnya beton memiliki tingkat proteksi yang tinggi terhadap korosi. Beton yang memiliki faktor air semen yang rendah dengan perawatan yang baik memiliki permeabilitas yang rendah dimana akan mengurangi penetrasi unsur-unsur penyebab korosi seperti oksigen (O_2), ion Klorida (Cl^-), Karbondioksida (CO_2) dan Air (H_2O). Semakin baik mutu suatu beton maka permeabilitasnya semakin rendah. Ini berarti bahwa kemungkinan terekspos terhadap lingkungan yang korosif semakin kecil.

Millard (1991) dalam penelitiannya menemukan bahwa tahanan listrik (*electrical resistivity*) beton meningkat dengan meningkatnya mutu beton serta semakin tebalnya selimut beton. Tahanan listrik beton berfungsi mengurangi laju korosi dengan menghambat arus listrik dalam beton akibat korosi yang terjadi secara elektro-kimia. Dengan berkurangnya arus listrik yang mengalir dalam proses korosi tersebut maka atom Fe yang akan teroksidasi akan berkurang.

Tahanan beton juga bergantung pada kelembaban (derajat kejenuhan) dalam pori-pori beton, sehingga

besarnya berfluktuasi terhadap kondisi lingkungan. Tahanan beton pada beton yang kering diperoleh sebesar $1 \times 10^9 \Omega \cdot cm$ dan pada beton yang jenuh air sebesar $1 \times 10^4 \Omega \cdot cm$ bahkan nilainya bisa kurang dari $1 \times 10^3 \Omega \cdot cm$ untuk beton yang sangat basah (Lopez W., 1993). Tahanan beton untuk bahan homogen dapat dihitung dengan rumus berikut (Millard, 1991):

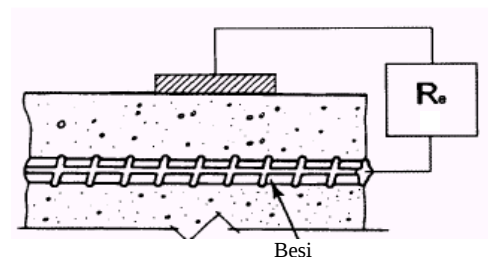
$$\rho = 2\pi a \left(\frac{V}{I} \right) \dots \dots \dots (1)$$

dimana : a = jarak kontak
I = Arus yang melalui bidang yang diukur
V = Potensial di antar bidang yang diukur

Persamaan di atas dapat ditulis menjadi (Broomfield J.P. 1997):

$$\rho = 2 R D \ (\Omega \cdot cm) \dots \dots \dots (2)$$

dimana : R = Tahanan antara elektroda sensor dengan tulangan beton
D = Diameter batang tulangan



Gambar 3. Cara Pengukuran Tahanan Beton (Millard, 1991)

Tabel 1 dapat dijadikan sebagai petunjuk untuk mengukur tingkat kecepatan korosi sehubungan dengan tahanan beton.

2.3 Pengukuran laju korosi

Secara umum pengukuran tingkat laju korosi dibedakan atas dua cara yaitu cara langsung dan tidak langsung. Pengukuran tahanan beton (*Concrete resistivity*) dan Potential Mapping adalah dua cara pengukuran laju korosi secara

tidak langsung, sedangkan pengukuran langsung dilakukan dengan teknik elektro-kimia (*electrochemical techniques*). Metode langsung terdiri dari 4 cara yaitu: Linear Polarisation Resistance, AC Impedance, Galvanostatic Pulse Transient Analysis dan Harmonic Analysis. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Linear Polarisation Resistance. Metode ini dapat mengukur laju korosi pada saat pengukuran.

Tabel 1. Tingkat Korosi berdasarkan Tahanan Beton

Tahanan (k Ω .cm)	Tingkat Kecepatan Korosi
< 5	Sangat Tinggi
5 – 10	Tinggi
10 – 20	Sedang
> 20	Lambat

Sumber : Millard, 1991

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa korosi besi tulangan merupakan proses elektrokimia maka hukum Ohm ($V = I.R$) tidak berlaku. Akan tetapi bila beda potensial yang diberikan kecil sekali (ΔE) maka hukum Ohm dapat digunakan untuk menghitung tahanan yang dikenal sebagai polarization resistance (R_p) akibat ΔE yang diberikan, yang mana merupakan tahanan pada penghubung tulangan-beton dengan rumus berikut (Gowers K.G. dan Millard S.G., 1999):

$$R_p = \left(\frac{\Delta E}{\Delta I} \right)_{\Delta E \rightarrow 0}$$

Lebih lanjut Gowers K.G. dan Millard (1999) menjelaskan bahwa R_p bergantung pada luas permukaan besi tulangan yang akan diukur. Arus akibat korosi yang berbanding terbalik terhadap polarisation resistance dapat dihitung dengan rumus:

$$I_{corr} = \frac{\beta_a \beta_c}{2.3(\beta_a + \beta_c)} \frac{1}{R_p} = \frac{B}{R_p} \dots\dots(3)$$

dimana β_a , β_c adalah konstanta Tafel untuk anoda dan katoda yang

kemudian dikenal dengan konstanta Stern-Geary (B), yang besarnya diperkirakan sebesar 25 mV untuk besi yang bersifat aktif korosi dan 50 mV untuk besi yang bersifat pasif korosi (Andrade C., at al.1997). Laju korosi dihitung dengan persamaan:

$$p = \frac{M i_{corr} t}{\rho z F} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

M = berat Atom (= 55.85 g/mol untuk besi)

$i_{corr} = \frac{I_{corr}}{A}$ (kerapatan arus korosi (A cm⁻²))

I_{corr} = corrosion current

A = Luas penampang besi yang diukur

t = waktu pengukuran

ρ = berat jenis besi (= 7.95 g/cm³)

z = jumlah elektro yang ditransfer per atom

(2 untuk Fe $\rightarrow$ Fe²⁺ + 2e⁻)

F = konstanta Faraday (= 96500 C/mol)

Adapun penentuan tingkat laju korosi dari suatu tulangan baja dapat dilakukan dengan menggunakan tabel 2.

Table 2. Laju korosi tulangan dalam beton

Laju Korosi	Polarisation resistance: R_p (k Ω .cm ²)	Kerapatan arus akibat koros : i_{corr} (μ A/cm ²)
Tinggi	$2.5 > R_p > 0.25$	$10 < i_{corr} < 100$
Sedang	$25 > R_p > 2.5$	$1 < i_{corr} < 10$
Rendah	$250 > R_p > 25$	$0.1 < i_{corr} < 1$
Pasif	$R_p > 250$	$i_{corr} < 0.1$

Sumber: Gowers K.G. dan Millard, 1999

3 Metode Penelitian

3.1 Material

Bahan-bahan dasar pembuatan beton yang digunakan adalah semen Portland tipe I merk Tonasa dengan kemasan kantong 50 kg, agregat halus Agregat halus dari sungai Palu, agregat kasar yang diambil dari Stone Crusher di Ex. Sungai Taipa, air PAM Palu. Tulangan yang menjadi obyek penelitian korosi

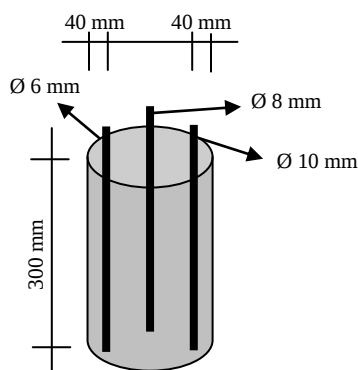
adalah tulangan baja dengan mutu baja (f_y) 240 MPa yang berdiameter 10 mm, 8 mm dan diameter 6 mm dengan kondisi bagus (tidak berkarat), serta pada bagian yang mengalami tekuk tidak digunakan/dibuang.

Seluruh bahan dasar dilakukan pemeriksaan sesuai dengan SK SNI T-15-2002-02 sehingga memenuhi standar yang telah ditentukan berupa pemeriksaan agregat halus dan kasar, berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kasar, berat isi agregat halus dan kasar, kadar air agregat halus dan kasar, kotoran organik, keausan agregat serta berat jenis semen.

3.2 Benda uji

Bahan-bahan dasar pembuatan beton yang digunakan adalah semen Portland tipe I merk Tonasa dengan kemasan kantong 50 kg, agregat halus Agregat halus dari sungai Palu, agregat kasar yang diambil dari Stone Crusher di Ex. Sungai Taipa, air PAM Palu. Tulangan yang menjadi obyek penelitian korosi adalah tulangan baja dengan mutu baja (f_y) 240 MPa yang berdiameter 10 mm, 8 mm dan diameter 6 mm dengan kondisi bagus (tidak berkarat), serta pada bagian yang mengalami tekuk tidak digunakan/dibuang.

Pembuatan sampel benda uji menggunakan dimensi silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan menggunakan tulangan yang berdiameter 6 mm, 8 mm dan 10 mm dengan jarak selimut 40 mm untuk pengujian laju korosi (gambar 4)



Gambar 4. Benda Uji

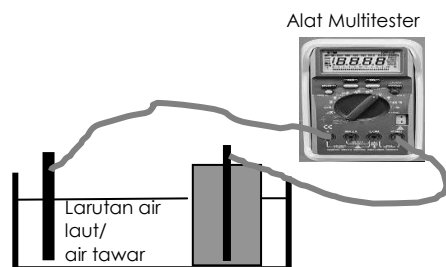
Untuk jumlah masing-masing benda uji ini dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Pembuatan benda uji

Perlakuan/ Lingkungan	Mutu Beton		
	K-125	K-175	K-225
Air normal	3	3	3
Air Laut	3	3	3
Larutan HCl (5 gr/lt)	3	3	3
Larutan H ₂ SO ₄ (5 gr/lt)	3	3	3
Jumlah	36		

3.3. Model pengujian

Model pengujian resistivity tulangan beton bertulang dengan menggunakan alat multimeter adalah seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Teknik pengukuran tahanan (resistivity) tulangan beton, R_p

Untuk mengetahui laju korosi dari tulangan beton maka dilakukan pengukuran variabel kuat arus yang mengalir pada tulangan beton. Pengukuran dilakukan pada hari ke-7, 14, 21, 28 dan setiap 3 hari berikutnya hingga hari ke-90 dari umur beton. Pengukuran dilakukan untuk setiap jenis diameter tulangan pada pagi dan siang hari.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil penelitian

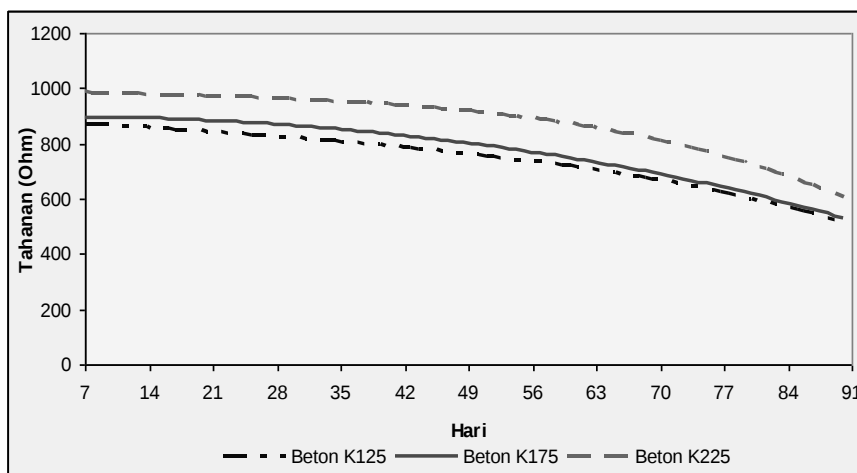
• Pendaman pada air tawar

Hasil pengujian di laboratorium terhadap tahanan rata-rata tulangan beton seperti terlihat pada gambar 6 i menunjukan bahwa tahanan pada

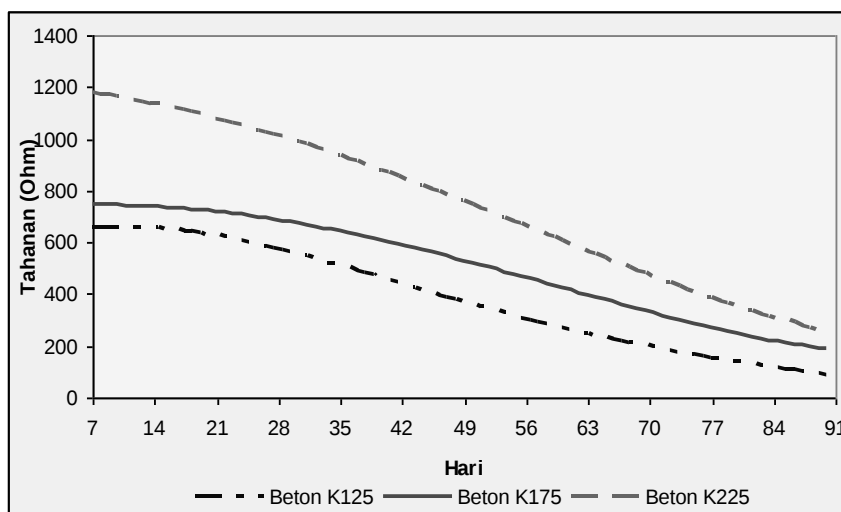
tulangan yang tertanam pada beton dengan mutu yang rendah akan lebih rendah dibandingkan dengan yang tertanam pada beton dengan mutu yang tinggi. Dan pada akhir pembacaan bahwa peningkatan tahanan beton mutu K-175 terhadap beton mutu K-125 sebesar 2,61% sedangkan untuk mutu beton K-225 sebesar 17,41%.

- Perendaman pada Larutan HCl

Gambar 7 menunjukkan bahwa tahanan pada tulangan yang tertanam pada beton dengan mutu yang rendah dan direndam dalam larutan HCl 5 gr/mL akan lebih rendah dibandingkan dengan yang tertanam pada beton dengan mutu yang tinggi. Dan pada hari ke-90 pembacaan diperoleh peningkatan tahanan beton mutu K-175 terhadap beton mutu K-125 sebesar 95,12 % sedangkan untuk mutu beton K-225 sebesar 180,69 %.



Gambar 6. Tahanan Tulangan pada Beton dalam Lingkungan Air Normal



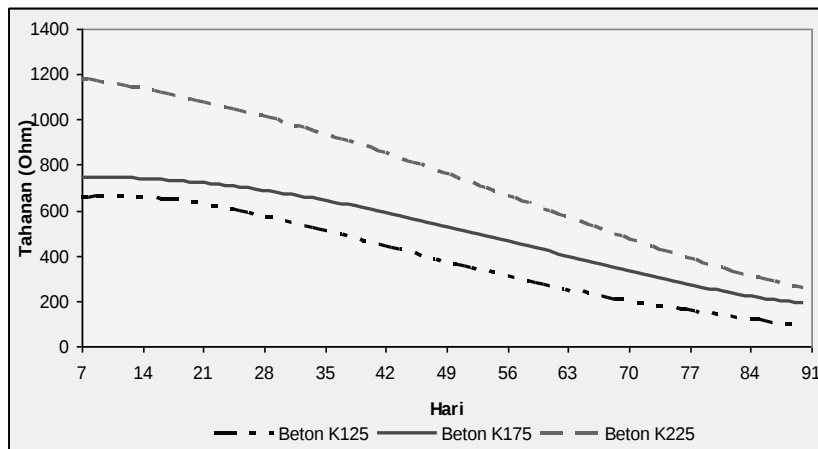
Gambar 7. Tahanan Tulangan pada Beton dalam Lingkungan Korosif Ion Cl⁻

- Perendaman pada Larutan H_2SO_4

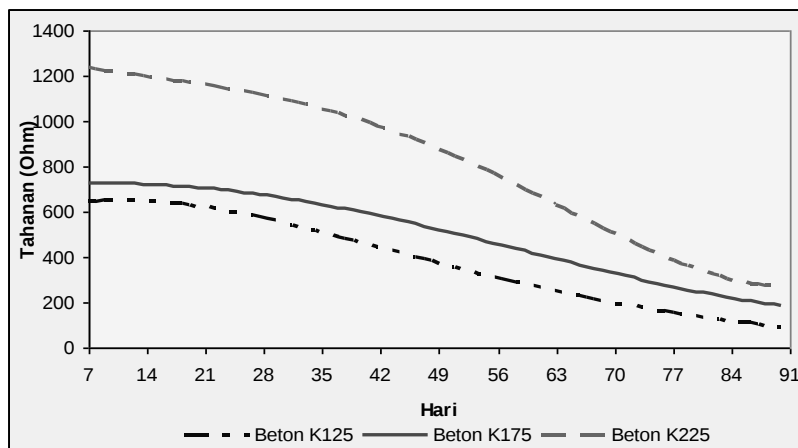
Beton bertulangan yang dilakukan perendaman pada larutan H_2SO_4 5 gr/mL (gambar 8) mengalami kecenderungan yang tidak berbeda dengan perendaman sebelumnya bahwa tulangan pada beton dengan mutu tinggi akan memiliki tahanan yang lebih baik dari tulangan pada beton dengan yang lebih rendah. Peningkatan tahanan tulangan pada beton mutu K-175 sebesar 95,39 % dan pada beton mutu K-225 sebesar 181,22 % jika dibandingkan dengan mutu beton K-125.

- Perendaman pada air laut

Kecenderungan yang sama terlihat antara beton dengan mutu yang berbeda pada perendaman dengan air laut (gambar 9). Tulangan pada beton dengan mutu yang tinggi akan memiliki tahanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tulangan pada beton dengan mutu yang rendah. Peningkatan tahanan tulangan pada beton K-175 yang direndam dengan air laut sebesar 177,32 % sedangkan pada beton mutu K-225 sebesar 254,86 %.



Gambar 8. Tahanan Tulangan pada Beton dalam Lingkungan Korosif Ion SO_4^{2-}



Gambar 9. Tahanan Tulangan pada Beton dalam Lingkungan Korosif Air Laut

4.2 Pembahasan

Penentuan tahanan pada penelitian ini adalah tahanan total yang terjadi pada tulangan beton dan beton itu sendiri sehingga laju korosi yang terjadi adalah laju korosi total.

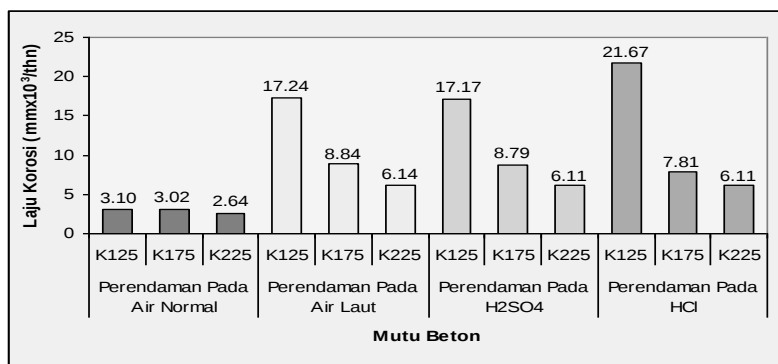
Dari gambar 6 hingga 9, terlihat dengan jelas bahwa kecenderungan yang terjadi adalah tahanan tulangan beton akan rendah pada beton dengan mutu yang rendah sedangkan pada beton dengan mutu yang tinggi, tahanan tulangannya akan tinggi juga. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa tingkat korosi tulangan yang terjadi pada beton dengan mutu rendah akan semakin tinggi. Porositas dari beton mutu rendah akan lebih besar dibandingkan dengan beton mutu tinggi sehingga mempermudah ion-ion agresif yang dapat menyebabkan terjadinya korosi pada tulangan akan lebih mudah mencapai tulangan tersebut.

Dengan menggunakan formula pada persamaan (4) maka dapat dihitung perkiraan laju korosi yang terjadi pada tulangan beton pada masing-masing mutu beton dan pada masing-masing perlakuan perendaman (gambar 10). Dari gambar 10, jelas terlihat bahwa laju korosi tulangan akan berhubungan erat dengan mutu beton mutu beton yang dipakai. Tingkat laju korosi akan semakin turun dengan semakin baiknya mutu beton. Beton yang bermutu baik akan memiliki permeabilitas yang sangat rendah sehingga sulit unsur-unsur dari luar beton

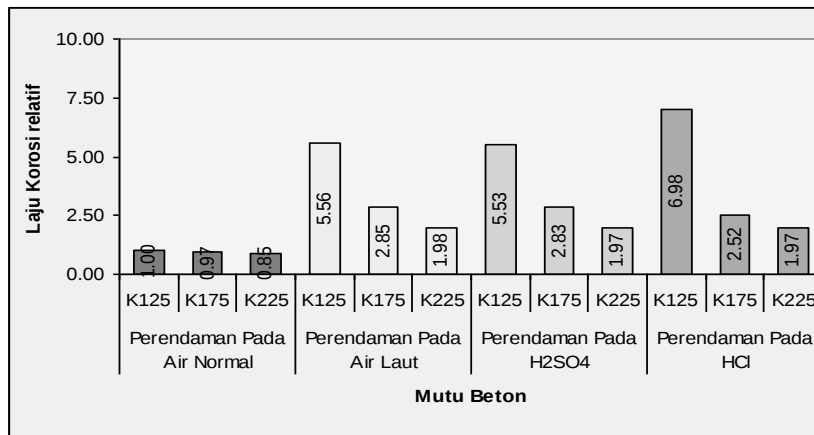
masuk ke dalam beton. Dengan demikian semakin baiknya mutu beton maka ion-ion korosif yang dapat mengakibatkan korosi pada tulangan akan sulit masuk ke dalam beton sehingga dapat proses korosi yang terjadi dapat diturunkan.

Dengan memberikan patokan pada beton mutu K-125 yang direndam pada air normal sebagai dasar laju korosi (gambar 11), maka tampak jelas bahwa laju korosi rata-rata menurun lebih dari 2,5% bila menggunakan mutu beton yang lebih baik. Adapun laju korosi yang tertinggi adalah pada tulangan beton yang berada pada lingkungan yang mengandung ion Cl^- khususnya pada mutu beton K-125 sebesar hampir 7 kali dari kondisi normal.

Pada dasarnya tulangan besi dalam beton sebenarnya tahan terhadap korosi, karena sifat alkali dari beton (pHnya sekitar 12-13), sehingga dipermukaan tulangan dalam beton terbentuk sebuah lapisan pasif yang menyebabkan besi terlindung dari pengaruh luar. Akan tetapi proses karbonisasi (*carbonation*) dan intrusi ion-ion klorida (Cl^-) ke dalam beton adalah dua faktor utama yang menyebabkan rusaknya lapisan pasif yang melindungi tulangan dalam beton dari pengaruh luar. Oleh karena itu laju korosi tulangan tertinggi terjadi pada beton bermutu rendah yang terletak pada lingkungan yang mengandung ion klorida.



Gambar 10. Perkiraan Laju Korosi Tulangan pada setiap mutu beton dalam lingkungan korosif yang berbeda



Gambar 11. Perkiraan Laju Korosi Relatif Tulangan pada setiap mutu beton dalam lingkungan korosif yang berbeda

Tabel 4. Perkiraan Laju Korosi Tulangan Beton

Lingkungan	Mutu Beton			Rata-rata
	K-125	K-175	K-225	
	(mmx10 ³ /thn)	(mmx10 ³ /thn)	(mmx10 ³ /thn)	
Air Normal	3.10	3.02	2.64	2.92
Air Laut	17.24	8.84	6.14	10.74
Ion SO ₄ ²⁻	17.17	8.79	6.11	10.69
Ion Cl ⁻	21.67	7.81	6.11	11.86

Adapun perkiraan laju korosi tulangan yang tertanam pada beton dengan berbagai mutu yang terletak pada berbagai kondisi lingkungan korosif dapat dilihat pada tabel 4.

Dengan demikian tampak jelas bahwa secara rata maka laju korosi tulangan beton yang tertinggi secara rata-rata terjadi pada struktur beton bertulang yang berada pada lingkungan korosif yang mengandung ion klorida dengan perkiraan laju korosi pertahunnya sebesar $11,86 \times 10^3 \mu\text{m}$.

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang bertujuan untuk menentukan laju korosi tulangan dalam beton dengan menggunakan tahanan listrik yang terjadi pada tulangnya

maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Laju korosi tulangan beton sangat dipengaruhi oleh mutu beton yang melindungi tulangan tersebut.
- 2) Perkiraan laju korosi tulangan terletak pada lingkungan air normal untuk beton mutu K-125, K175 dan K-225 berturut-turut adalah $3,10 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$, $3,02 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$ dan $2,64 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$.
- 3) Perkiraan laju korosi tulangan terletak pada lingkungan mengandung air laut untuk beton mutu K-125, K175 dan K-225 berturut-turut adalah $17,24 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$, $8,84 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$ dan $6,14 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$.
- 4) Perkiraan laju korosi tulangan terletak pada lingkungan

mengandung ion SO_4^{2-} untuk beton mutu K-125, K175 dan K-225 berturut-turut adalah $17.17 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$, $8.79 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$ dan $6.11 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$.

- 5) Perkiraan laju korosi tulangan terletak pada lingkungan mengandung ion Cl^- untuk beton mutu K-125, K175 dan K-225 berturut-turut adalah $21.67 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$, $7.81 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$ dan $6.11 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$.
- 6) Korosi tulangan beton yang tertinggi akan terjadi pada bangunan yang terlatak pada lingkungan yang mengandung ion Cl^- .

6. Daftar Pustaka

- Andrade C., Castelo V., and Gonzales J.A .,1997, *The Determination of the Corrosion Rate of Steel Embedded in Concrete by the Polarisation Resistance and A.C Impedance Methods*, ASTM STP 906.
- Basheer, P. A. M., dkk., 1996, *Predictive Models for Deterioration of Concrete Structures, Construction and Building Materials*, Vol. 10, No. 1, hal. 27-37
- Broomfield J.P. 1997, *Corrosion of steel in concrete*, E & F.N. Spon.
- Engelberg, D. ,2001, *Corrosion and Protection Centre*, UMIST, Manchester
- Gowers K.G. and Millard S.G., 1999, *Electrochemical Techniques for Corrosion Assessment of Reinforced Concrete Structures*, *Proc.Inst. Civ. Engineers Structs. & Buildings*.
- Lopez W., 1993, *Influence of degree of pore saturation on the resistivity of concrete and the corrosion rate steel reinforcement*, *Cement and Concrete Research*, Vol. 23
- Millard S.G., 1991, *Reinforced Concrete Resistivity Measurement Techniques*, *Proc.Inst. Civ. Engineers*, Part 2, pp.71-88.

William H., 2003 , *Creitcal Issue Related to Corrosion Induced Dereriation Projection for Concrete Marine Bridge Sub Structures*, Report to Florida Department of Transportation Research Centre.