

# PENGARUH PENGGUNAAN CALCIUM STEARATE TERHADAP NILAI ABSORPSI DAN ARUS MACROCEL PADA BETON BERTULANG

Agus Maryoto<sup>#1</sup>, Yanuar Haryanto<sup>#2</sup> dan Gathot Heri Sudibyo<sup>#3</sup>

agus\_maryoto1971@yahoo.co.id

yanuar\_haryanto@yahoo.com

gathot\_hs2003@yahoo.com

*Prodi Teknik Sipil Jurusan Teknik Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto*

**Abstract—** Bridge structure in the USA amounted to 577,000 units and as many as 134,000 units (23% of the total bridge) against damage caused by corrosion. This damage requires repairs at a cost not less than U.S. \$ 90.9 billion. This damage is similar to the events in Indonesia.

This research was performed by use of the calcium Stearate to neutralize reinforcement corrosion in reinforced concrete. Calcium Stearate will react with the cement hydration reaction during the process underway. The result of this reaction is physically looks like a candle. This compound would cover and fill the capillaries when water evaporates in the fresh concrete. This layer does not absorb and impermeable to water and corrosive compounds. So that these compounds caused corrosion of the reinforcement can not penetrate reinforced concrete. The ultimate goal of using calcium Stearate is to increase the service life of aging structures in corrosive areas such as building docks, bridges and rigid layer on the highway.

The results showed that the use of calcium Stearate concrete with fly ash at 0% have a tendency of lowering the rate of corrosion of reinforcement and inhibit corrosion. Calcium Stearate with a dose of 2 kg per m<sup>3</sup> of concrete can decrease makrocell value amounting to 67%. While on the concrete with fly ash 40%, the addition of 2 kg of calcium Stearate cause makrocell value decreased by 85%.

**Key words:** corrosion rate, absorption, water-resistant concrete

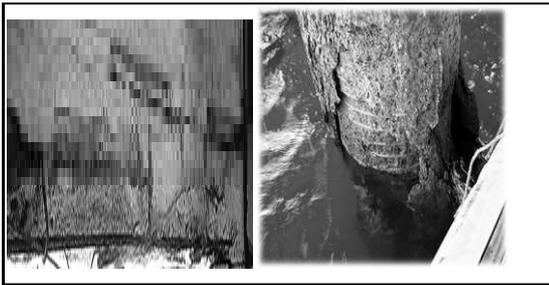
## PENDAHULUAN

Struktur jembatan di USA berjumlah 577.000 buah dan sebanyak 134.000 buah (23% dari total jembatan) rusak, mayoritas kerusakan disebabkan oleh korosi tulangan pada beton bertulang. Kerusakan ini memerlukan perbaikan dengan biaya tidak kurang dari US\$ 90.9 milyar (anonim, 2002).

Struktur beton pada daerah agresif (laut) dan lingkungan terbuka mempunyai resiko yang sangat tinggi terhadap kerusakan bila hanya dipakai beton biasa. Struktur beton bertulang yang rawan terhadap serangan korosi adalah struktur dermaga, jembatan dan lapisan kaku pada jalan raya. Ketiga struktur ini selalu berhubungan dengan lingkungan terbuka, air hujan dan air laut. Pada beberapa kondisi, beton bertulang dapat mengalami kerusakan sebelum masa layan berakhir. Hal ini disebabkan antara lain oleh terjadinya korosi pada baja tulangan yang ada pada beton, terutama pada lingkungan yang terkontaminasi ion klorida (Cl-) seperti pada daerah tepi pantai atau laut lepas. Penetrasi ion klorida akan tetap terjadi melalui pori-pori beton dan menyebabkan terjadinya korosi pada tulangan. Produk korosi baja dapat mencapai 3-9 kali besar volume baja tulangan sebelum terkorosi dan produk ini akan terakumulasi di permukaan tulangan.

Produk korosi ini akan menyebabkan terjadinya tegangan ekspansif setempat yang mengakibatkan timbulnya retak pada permukaan beton. Retakan ini akan semakin mempermudah penetrasi ion klorida ke permukaan tulangan sehingga mempercepat proses korosi dan akhirnya terjadi pengelupasan selimut beton (spalling). Selanjutnya umur layan struktur beton bertulang turun drastis. Oleh karena itu beton daerah agresif harus di desain kedap air dan hydropobhik sehingga unsur-unsur perusak tidak bisa masuk menyerang tulangan beton. Berikut Gambar 1 merupakan kerusakan beton akibat terkorosinya tulangan beton bertulang.

Ada beberapa sistem untuk menjadikan struktur beton bertulang aman dari serangan korosi. Sistem tersebut adalah sistem membrane, sistem coating dan sistem integral waterproofing. Pada sistem integral waterproofing, pekerjaan pendahuluan tidak diperlukan sehingga umur beton (selama beton masih ada, sistem integral waterproofing juga akan tetap ada) dan waktu pelaksanaan pengecoran beton mengikuti jadwal pekerjaan. Sistem integral waterproofing adalah satu-satunya sistem yang cocok untuk diterapkan pada struktur beton di daerah agresif. Penggunaan calcium stearate pada beton merupakan salah satu sistem integral waterproofing.



Gambar 1. Kerusakan beton bertulang akibat korosi

Neville (1996) menyebutkan bahwa penyerapan air oleh beton karena disebabkan oleh tegangan permukaan pori kapiler. Air yang diserap ini bisa masuk ke dalam beton melalui pipa-pipa kapiler. *Calcium stearate* yang digunakan pada beton bertujuan untuk mencegah masuknya air dan bahan kimia ke dalam beton. Reaksi antara *calcium stearate* dan semen menghasilkan suatu senyawa yang secara fisik menyerupai lilin. Setelah proses reaksi hidrasi semen dan air berakhir maka lapisan seperti lilin ini melapisi permukaan kapiler yang ada di dalam beton. Efek pelapisan ini menyebabkan beton bersifat *hydrophobic* atau tidak menyerap air sehingga beton sulit ditembus oleh air atau bahan kimia.

Lebar retak merupakan parameter praktis yang paling berpengaruh pada desain dan penilaian struktur beton bertulang (Chun, 2006). Kecepatan korosi *makrosel* lebih tinggi dibandingkan dengan *mikrosel* baik dalam arah vertikal maupun horisontal tulangan beton (Baccay, A.M, et al, 2004). Permulaan korosi tulangan konvensional terjadi kurang dari 1 tahun (Darwin, et al, 2006). Apabila dilihat dari segi biaya, korosi sangat merugikan.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui penggunaan *calcium stearate* dalam menetralkan laju korosi tulangan pada struktur beton bertulang.

#### TINJAUAN PUSTAKA

Beton merupakan bahan yang bersifat porous, artinya mempunyai pori-pori yang mempengaruhi kekuatan tekan dan sifat menyerap air. Pori-pori tersebut dapat dikurangi dengan memberi bahan tambah beton kedap air. Bahan tambah ini mampu menetralkan absorpsi beton normal. Sehingga tingkat kedap terhadap tekanan air menjadi meningkat (Hewlet, 1987).

SKSNI S-36-1990-03 menyebutkan bahwa beton kedap air harus memenuhi sifat sebagai berikut :

Beton kedap air normal bila diuji dengan cara perendaman dalam air :

selama 10 + 0.5 menit, resapan (absorpsi) maksimum 2.5 % terhadap berat beton kering oven,

selama 24 jam, resapan maksimum 6.5 % terhadap berat beton kering oven.

Beton kedap air agresif, bila diuji dengan cara tekanan air, maka tembusnya air ke dalam beton tidak melampaui batas berikut :

Agresif sedang : 50 mm

Agresif kuat : 30 mm

Budiono, et. al. (2006) menyebutkan bahwa kekuatan, daya tahan struktur beton bertulang memerlukan perawatan khusus bila terjadi korosi pada baja tulangan. Korosi baja tulangan terutama tulangan tarik yang disebabkan oleh penetrasi klorida atau karbondioksida melalui pori-pori beton menyebabkan daya dukung dari struktur beton bertulang berkurang.

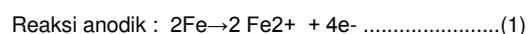
Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Threthewey, 1988). Korosi pada baja tulangan beton dapat terjadi ketika cukup tersedia air dan udara (oksigen). Pada umumnya baja tulangan beton yang telah diselubungi beton tidak akan terkorosi karena beton bersifat sangat alkalin. Beton disebut bersifat alkalin ketika air yang berada dalam beton memiliki konsentrasi sodium, potassium, dan kalsium yang tinggi (Broomfield, 1997). Sifat alkalin beton kemudian membentuk lapisan tipis  $Fe(OH)_2$  (ferro oksida) atau lapisan pasif yang melapisi permukaan baja tulangan beton dan melindunginya dari korosi. Pada kondisi ini, beton memiliki  $pH > 13$ , sedangkan menurut Broomfield, 1997 menyebutkan bahwa  $pH$  beton berkisar antara 12 dan 13. Sifat alkalin beton terbentuk ketika terjadi pencampuran antara semen dan air sehingga  $Ca(OH)_2$  dari semen melepas ion  $OH^-$  dan ion-ion ini, yang membawa sifat alkali dari beton, menempel pada permukaan baja tulangan sehingga terbentuk  $Fe(OH)_2$ .

Lapisan pasif ini akan terus ada selama lingkungan yang bersifat alkalin tetap terjaga. Tapi pada kenyataannya lingkungan alkalin ini tidak dapat terus terjaga. Ada dua hal yang dapat menyebabkan kehancuran lapisan pasif, yaitu karbonasi ( $CO_2$ ) dan serangan ion klorida.

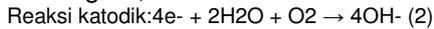
Korosi merupakan peristiwa elektrokimia, yaitu adanya aliran elektron dari anoda menuju katoda atau pengaruh derajat keasaman ( $pH$ ). Ketika lapisan pasif rusak, karat akan mulai terbentuk pada tulangan. Reaksi kimia yang terjadi sama, walaupun korosi terjadi akibat serangan ion klorida ataupun karbonasi. Timbulnya reaksi anodik pada anoda dan reaksi katodik pada katoda menyebabkan adanya aliran elektron dari anoda menuju katoda.

Reaksi anodik adalah reaksi oksidasi atau pelepasan elektron, sedangkan reaksi katodik adalah reaksi reduksi atau penarikan elektron. Kedua reaksi ini terjadi secara bersamaan. Secara lebih rinci digambarkan sebagai berikut:

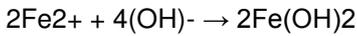
Ketika baja tulangan mengalami korosi terjadi pelepasan elektron.



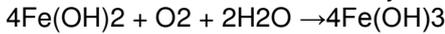
Reaksi kimia yang lain terjadi untuk mengkonsumsi elektron yang dilepaskan tadi. Reaksi ini menggunakan air dan oksigen ;



Kedua reaksi tersebut akan membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_2$



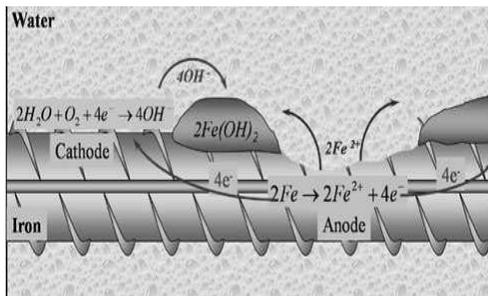
Ferrous Hydroxide



Ferric Hydroxide



Hydrated Ferric Oxide (karat)



Gambar 2 Proses korosi pada tulangan

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  memiliki volume sekitar dua kali volume baja awal yang digantikannya. Hal ini akan menyebabkan terjadinya pembengkakan volume tulangan, yang bersifat keropos, menjadi sekitar dua sampai sepuluh kalinya (Broomfield, 1997). Pembengkakan pada permukaan baja tulangan beton ini mengakibatkan retaknya permukaan beton dan diikuti dengan terjadinya *spalling*, kedua hal ini merupakan hal yang biasa jika terjadi korosi.

Tattersal dan Banfil (1992) menyebutkan bahwa bahan untuk kedap air mempunyai efek mencegah air masuk kedalam beton melalui kapiler. Bentuk bahan tersebut berasal dari material sabun, butyl stearate dan bahan dari hasil minyak bumi. Bahan ini meredam absorpsi terhadap air dan senyawa perusak.

Konsep yang dikembangkan dalam penelitian adalah membuat beton menjadi kedap terhadap air dan senyawa perusak, sehingga akhirnya korosi tulangan pada beton bertulang dapat dinetralisir.

## METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen atau percobaan (*experimental research*). Tujuan utama penelitian eksperimental adalah untuk menyelidiki kemungkinan saling hubungan sebab akibat dengan cara mengadakan intervensi atau mengenakan perlakuan pada satu atau lebih kelompok eksperimen, kemudian hasil (akibat) dari intervensi

tersebut dibandingkan dengan kelompok yang tidak dikenakan perlakuan atau kelompok kontrol.

Untuk menggambarkan kejelasan penelitian ini, berikut ini adalah kebutuhan peralatan, kebutuhan bahan, kebutuhan benda uji, ukuran benda uji dan tahapan pelaksanaan penelitian.

### 1. Alat

Timbangan, ember, ayakan, gelas ukur, alat pengaduk beton (*mixer*), cetakan silinder dan balok, alat uji *slump*, alat uji pengukur arus *macrocell*.

### 2. Bahan

Semen, agregat halus, agregat kasar, fly ash, calcium stearate, air, baja tulangan D16

### 3. Benda Uji

Ukuran benda Uji dan Jumlah kebutuhan benda uji pada penelitian disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

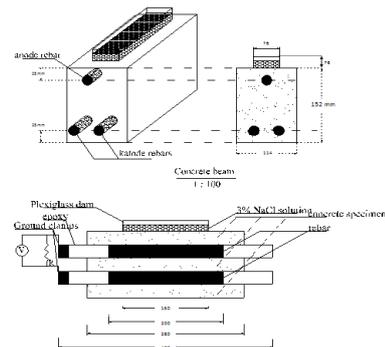
TABEL 1. UKURAN BENDA UJI

No	Jenis Pengujian	Ukuran benda Uji
1	Absorpsi	Silinder diameter 7.5 cm tinggi 15 cm.
2	Arus Macrocell	Balok, panjang 28 cm, lebar 22.4 cm, tinggi 15,2 cm

TABEL 2. KEBUTUHAN BENDA UJI

Fly Ash (%)	Calcium Stearate (kg)	Absorpsi	Arus Macrocell
0	0	3	3
	1	3	3
	2	3	3
	3	3	3
	4	3	3
40	0	3	3
	1	3	3
	2	3	3
	3	3	3
	4	3	3
TOTAL		30	30

*Setting up* benda uji untuk pengujian arus *macrocell* dan potensial *half-cell* disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3 Setting up Benda Uji untuk Pengujian Arus macrocell dan potensial half-cell

### 4. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam sistematis dan urutan yang jelas dan teratur sehingga nantinya diperoleh hasil yang memuaskan dan dapat dipertanggungjawabkan.

Oleh karena itu, pelaksanaan penelitian ini dibagi dalam beberapa tahap, yaitu :

a. Tahap I

Pada tahap ini, seluruh bahan dan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini dipersiapkan terlebih dahulu agar penelitian dapat berjalan dengan lancar.

b. Tahap II

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap agregat kasar dan agregat halus yang akan digunakan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan tersebut. Selain itu, uji ini untuk mengetahui apakah agregat kasar maupun halus memenuhi persyaratan atau tidak untuk perencanaan campuran beton.

c. Tahap III

Pada tahapan ini dilakukan pekerjaan sebagai berikut :

- i. Penetapan campuran adukan beton
- ii. Persiapan Baja Tulangan
- iii. Pembuatan adukan beton
- iv. Pemeriksaan *slump*
- v. Pembuatan benda uji

d. Tahap IV

Pada tahap ini dilakukan perawatan benda uji yang telah dibuat pada tahap III.

e. Tahap V

i. Pengujian Absorbansi

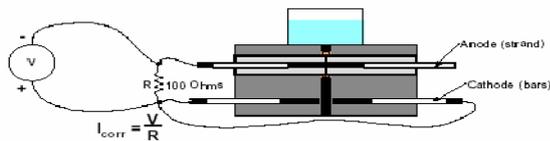
Pengujian absorbansi dilakukan dengan cara menimbang benda uji setelah di oven selama 3 hari dengan suhu  $100 \pm 5^\circ \text{C}$  (a) kemudian benda uji direndam selam 10 menit dalam air. Selanjutnya diangkat dan dibersihkan dari air hingga jenuh kering muka dan ditimbang (b).

$$\text{Absorbansi} = \frac{b - a}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

ii. Pengukuran arus *Macrocell*

Arus korosi *macrocell* dapat dihitung dengan menggunakan Hukum Ohm. Tegangan/voltase listrik yang bergerak melalui resistor yang ditempatkan di antara tulangan katoda dan anoda, seperti yang terlihat pada Gambar 4.2, diukur dengan menggunakan Voltmeter. Arus korosi (satuan  $\mu\text{A}$ ),  $I_{\text{corr}}$  dihitung dengan membagi tegangan hasil pengukuran (satuan mV) dengan besar tahanan/resistor yang digunakan ( $100\Omega$ ). Arus korosi ini dihitung dengan interval waktu 2 minggu,

$$I_{\text{corr}} = \frac{V}{100}$$



Gambar 4. Pengukuran arus korosi macrocell

f. Tahap VI

Pada tahap ini, data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis untuk mendapatkan hubungan antara variable-variabel yang diteliti dalam penelitian.

g. Tahap VII

Pada tahap ini dibuat sebuah kesimpulan, berdasarkan data yang telah dianalisis, yang berhubungan dengan penelitian.

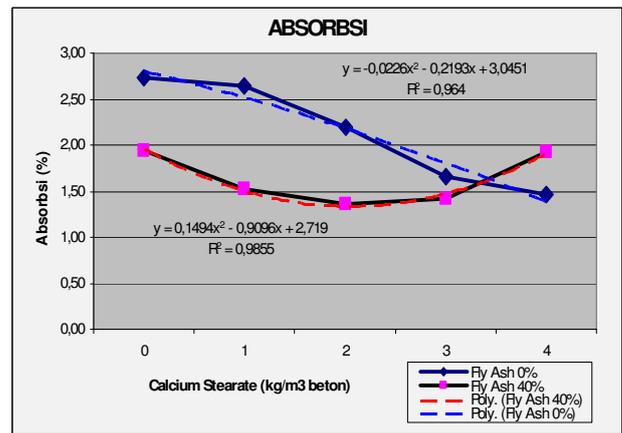
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Absorbansi

Data hasil pengujian absorbansi dan penetrasi tercantum dalam Tabel 3 dan Gambar 5.

TABEL 3. HASIL UJI ABSORBANSI

No.	Kode Sampel	Umur (Hari)	Calcium Stearate	Fly Ash (%)	Jenis Pengujian	
					Absorbansi (%)	Penetrasi (cm)
1	C0F0	28	0	0	2,74	2,15
2	C1F0	28	1	0	2,64	1,60
3	C2F0	28	2	0	2,20	1,47
4	C3F0	28	3	0	1,66	1,57
5	C4F0	28	4	0	1,46	1,10
6	C0F40	28	0	40	1,94	1,70
7	C1F40	28	1	40	1,52	1,40
8	C2F40	28	2	40	1,35	1,00
9	C3F40	28	3	40	1,42	2,50
10	C4F40	28	4	40	1,93	3,10



Gambar 5. Grafik hasil pengujian absorbansi

Berdasarkan Gambar 5. dapat diketahui bahwa peningkatan penambahan kadar calcium stearate pada beton dengan fly ash 0%, nilai absorbansi dan penetrasi mempunyai kecenderungan menurun. Reaksi antara calcium stearate dan semen menghasilkan sesuatu yang membuat beton menjadi *hydrophobic*. Oleh karena adanya peningkatan sifat *hydrophobic* ini, maka beton lebih sulit dalam menyerap / *absorb* air dan air juga sulit untuk bisa masuk meresap ke dalam beton (*penetrate*). Efek lain yang ditimbulkan karena ke-*hydrophobic*-kan beton adalah meningkatnya sifat kohesi air lebih besar dibandingkan dengan adhesi antara air dan beton. Tarik menarik antara ion air yang sejenis menimbulkan air sulit untuk meresap ke dalam beton.

Sementara itu peningkatan penambahan calcium stearate pada beton dengan *fly ash* 40% menyebabkan

penurunan nilai absorpsi dan penetrasi. Bahkan nilai tersebut lebih kecil dibandingkan dengan beton dengan *fly ash* 0% (*non fly ash*). Reaksi antara semen dan air menghasilkan *tobermorrite* sebagai perekat dan sejumlah kapur bebas ( $\text{CaOH}_2$ ). Kapur bebas ini akan bereaksi dengan *fly ash* sehingga menghasilkan lagi *tobermorrit*. Hal ini menyebabkan beton menjadi lebih solid dan sedikit pori. Butiran *fly ash* yang lebih halus dari semen juga membuat beton semakin solid dan semakin sedikit porinya. Pada akhirnya beton menjadi kedap air.

Penurunan maksimal absorpsi dan penetrasi terjadi pada penambahan calcium stearate sebesar 2 kg, kemudian meningkat lagi seiring adanya peningkatan penambahan calcium stearate di atas 2 kg. Hal ini karena adanya kapur bebas sisa reaksi antara calcium stearate dengan semen yang tidak habis sempurna bereaksi dengan *fly ash*. Sehingga pada jumlah yang besar menurunkan kuat tekan beton dan efek lanjutannya adalah absorpsi dan penetrasi menjadi lebih tinggi.

### B. Macrocell

Pengujian korosi dilakukan dengan dua cara yaitu dengan pengujian arus korosi macrocell dan pengujian potensial half cell. Pengujian untuk mendapatkan besaran arus korosi macrocell ini dilakukan dengan berpedoman pada ASTM G 109-92 "Standard Test Method for Determining the Effects of Chemical Admixtures on the Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments" dimana tulangan katoda dan anoda pada benda uji dihubungkan dengan sebuah resistor 100  $\Omega$  sehingga arus yang bergerak di antara kedua jenis tulangan tersebut dapat dihitung. Sedangkan pengujian potensial korosi pada penelitian ini dilakukan dengan berpedoman pada ASTM C 876 – 91 "Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete".

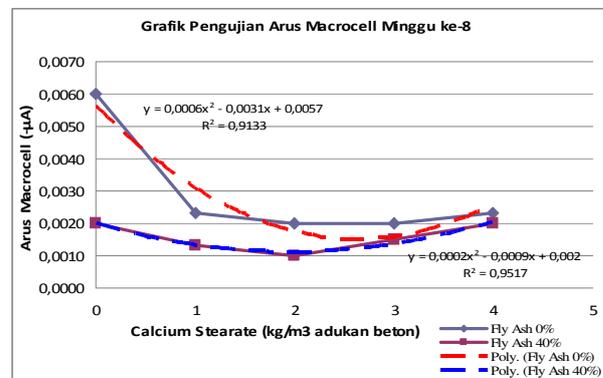
Pengujian arus korosi *macrocell* dan potensial *half cell* dilakukan selama waktu penelitian dengan interval waktu antar pengukuran selama dua minggu. Pengujian dilakukan pada awal *wet period* dan *dry period*. Pada Tabel 4 dan Gambar 6 berikut disajikan hasil lengkap dari pengujian arus korosi *macrocell*.

Berdasarkan Gambar 6 menunjukkan bahwa arus korosi *macrocell* yang terjadi masih sangat kecil. ASTM G 109-92 menyebutkan bahwa korosi pada baja tulangan beton terbentuk ketika arus yang bergerak di antara katoda dan anoda sudah melewati nilai 10  $\mu\text{A}$ . Dari data hasil pengukuran di atas diketahui bahwa arus yang terukur masih jauh berada di bawah ambang batas yang ditentukan yaitu sebesar 10  $\mu\text{A}$ . Hal ini mengindikasikan bahwa pada benda uji tersebut belum

terjadi proses korosi atau jika terjadipun masih berada pada tingkat rendah.

TABEL 4 HASIL PENGUJIAN ARUS KOROSI MACROCELL (SATUAN DALAM MA)

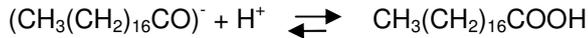
Benda Uji	Pembacaan Arus Macrocell ( $\mu\text{A}$ )			
	WET	DRY	WET	DRY
C0F0	0	0	0	0.0060
C1F0	0	0	0	0.0023
C2F0	0	0	0	0.0020
C3F0	0	0	0	0.0020
C4F0	0	0	0	0.0023
C0F40	0	0	0	0.0020
C1F40	0	0	0	0.0013
C2F40	0	0	0	0.0010
C3F40	0	0	0	0.0015
C4F40	0	0	0	0.0023



Gambar 6. Grafik pengujian arus korosi macrocell

Beton normal menunjukkan nilai arus korosi *macrocell* dan potensial *half cell* yang paling tinggi jika dibandingkan dengan beton yang menggunakan substitusi *fly ash* dan penambahan *calcium stearate*. Hal ini dikarenakan *calcium stearate* mampu membentuk lapisan lilin yang dapat melindungi tulangan sedangkan *fly ash* membuat beton tidak porous sehingga penetrasi ion klorida berkurang. Beton dengan perbandingan *calcium stearate* 2 kg dan *fly ash* 40% menunjukkan nilai arus korosi *macrocell* terkecil sebesar 0.001  $\mu\text{A}$ . Sedangkan nilai potensial *half cell* terkecil sebesar 5.167 mV pada beton dengan perbandingan *calcium stearate* 2 kg dan *fly ash* 0%. Kemudian nilai arus korosi *macrocell* dan potensial *half cell* meningkat pada beton dengan *calcium stearate* 4 kg dan *fly ash* 40%. Hal ini disebabkan karena kadar bahan tambah sudah berlebih. Sehingga menyebabkan terjadinya proses hidrolisis dan berlebihnya kandungan CaO pada beton. Hidrolisis adalah peristiwa terpecahnya senyawa oleh air menjadi ion-ion penyusunnya.

Proses hidrolisis calcium stearate:



Sisa dari reaksi ini adalah  $\text{Ca}^{2+}$  bersifat basa dan  $\text{OH}^-$  bersifat asam. Kedua ion tersebut dapat memicu terjadinya korosi.

#### KESIMPULAN

- Penggunaan calcium stearate pada beton dengan *fly ash* 0% menyebabkan nilai absorpsi semakin kecil. Nilai tersebut cenderung turun seiring adanya peningkatan penambahan calcium stearate. Nilai absorpsi dan penetrasi terkecil terjadi pada penambahan calcium stearate 4 kg yaitu berturut-turut sebesar 1.46% dan 1.10 cm.
- Sedangkan pada beton dengan *fly ash* 40%, penambahan calcium stearate menyebabkan turunnya nilai absorpsi paling minimum yaitu pada dosis 2 kg calcium stearate yaitu sebesar 1.35% dan 1 cm.
- Penggunaan calcium stearate pada beton dengan *fly ash* 0% mempunyai kecenderungan menurunkan korosi tulangan. Calcium stearate dengan dosis 2 kg per m<sup>3</sup> beton menurunkan nilai makrocell sebesar 67%. Sedangkan pada beton dengan *fly ash* 40%, penambahan calcium stearate

sebesar 2 kg menyebabkan nilai makrocell turun sebesar 85%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2002, Concrete Corrosion, University of South Carolina, USA.  
Anonim, ASTM - 04.02, 1996. Concrete and Aggregates, Easton, USA.  
Anonim, SKSNI S - 36 - 1990 - 03. Spesifikasi beton bertulang kedap air. Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan LPMB, Bandung.  
Baccay, M. A., T. Nishida, N. Otsuki, J. Hamamoto dan K. Chin, 2004. Influence of Bleeding on Minute Properties and Steel Corrosion in Concrete. Journal of Advanced Concrete Technology, USA.  
Broomfield, J. P., 1997. Corrosion of Steel in Concrete. E & F.N. Spon. London. United Kingdom  
Budiono, B, S. Sugiri, D.R. Munaf, H. Henry, 2008. "Pengaruh Korosi Baja Tulangan pada Kekuatan Balok Beton Bertulang", Institut Teknologi Bandung.  
Chapra, S.C. dan R.P Canale. 1988. Numerical Methods for Engineers, 2nd edition, McGraw-Hill, Inc, USA.  
Chun, Q.L, R.E. Melchers, and J.J Zheng, 2006. Analytical Model for Corrosion-Induced Crack Width in Reinforced Concrete Structure, Jurnal Struktur, ACI, USA  
Darwin, D, W. Lindquist, J. Browning, dan G. Miller, 2006. Effect of Cracking on Chloride Content in Concrete Bridge Decks. Material Journal, ACI, USA.  
Hewlet, P.C., 1987. Integral Waterproof for Concrete, Cementation Research, Fosroc Limited, Chemical Division, United Kingdom.  
Marchand J, J. Bastien, J. Duchenes, M. Gaudry dan M. Jolin, 2008. Fonds québécois pour la recherche sur la nature et les technologies' Laval University - University Of Montréal. [www.otik.use.pl/eng/uszzkodzFram.html](http://www.otik.use.pl/eng/uszzkodzFram.html)  
Neville, 1996. Properties of Concrete, Longman, USA.  
Tattersal, G.H dan Banfill, B.F.G., 1992. Rheology of Concrete, Pitman Advance Publishing, USA.  
Trethewey K.R., Chamberlain, J, 1991, alih bahasa oleh Alex Tri Kantjono Widodo, Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.