

Penurunan Nilai *Half Cell Potential* Beton dengan Bahan Tambah *Fly Ash* dan $\text{Ca}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$

Reduction of Half Cell Potential in Concrete by Fly Ash and $\text{Ca}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$

Agus Maryoto*¹

agus_maryoto1971@yahoo.co.id

Fakultas Teknik Jurusan Sipil, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

Abstrak— Serangan korosi pada tulangan baja di dalam beton bertulang dapat diinisiasi oleh ion klorida. Semakin banyak ion klorida yang meresap ke dalam beton, laju korosi pada beton bertulang semakin tinggi. Tingkat Ke-potensi-an korosi ini bisa diukur dengan melakukan uji *half cell potential*. *Fly ash* merupakan bahan yang mempunyai butir lebih halus dibanding semen mampu memperkecil diameter kapiler beton. Sementara itu senyawa *stearate* bila diaplikasikan pada beton mampu meningkatkan ke-hydrophobic-an beton. Studi ini meneliti tentang pengaruh penggunaan *fly ash* dan *calcium stearate* / $\text{Ca}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$ pada beton. Investigasi ini menggunakan benda uji balok beton bertulang ukuran 11.4 x 15.2 x 28.0 cm sebanyak 15 buah. Baja tulangan yang digunakan merupakan baja ulir diameter 16 mm. Dua buah tulangan dalam balok beton bertulang yang terletak di bawah berfungsi sebagai katoda dan satu buah tulangan yang terletak di atas berfungsi sebagai anoda. Hasil uji *half cell potential* menunjukkan bahwa beton dengan kandungan *fly ash* dan *calcium stearate* dapat menurunkan tingkat kepotensial beton dari serangan korosi.

Kata kunci— korosi, beton bertulang, kapiler, *half cell potential*

Abstract— Corrosion attack on the steel reinforcement in reinforced concrete can be initiated by chloride ions. The more chloride ions are absorbed into the concrete, the higher is reinforced concrete corrosion rate. Potentiality levels of corrosion can be measured by test half-cell potential. Fly ash which is a material that has a finer grain than cement concrete is able to reduce the capillary diameter of concrete. Meanwhile, stearate compound when applied to concrete can increase hydrophobic properties of concrete. This study examines the effect of the use of fly ash and calcium stearate / $\text{Ca}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$ in concrete. This investigation uses reinforced concrete beam test specimen size of 11.4 x 15.2 x 28.0 cm by 15 pieces. Reinforcing steel used is a deformed steel with its diameter of 16 mm. Two steels reinforcement embedded in reinforced concrete beam at the bottom serves as a cathode and one steel reinforcement located in the upper serves as the anode. The test results show that the half-cell potential of concrete containing fly ash and calcium stearate can reduce the potentiality level of corrosion attack in reinforced concrete.

Keyword— corrosion, reinforced concrete, capillary, half cell potential

PENDAHULUAN

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi pada baja tulangan beton dapat terjadi ketika cukup tersedia air dan udara (oksigen). Pada umumnya baja tulangan beton yang telah diselimuti 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, 2003). Sifat alkalin beton kemudian membentuk lapisan tipis $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (*ferro*

oksida) atau lapisan pasif yang melapisi permukaan baja tulangan beton dan melindunginya dari korosi. Pada kondisi ini, beton memiliki pH > 13, selanjutnya pH beton berkisar antara 12 dan 13. Sifat alkalin beton terbentuk ketika terjadi pencampuran antara semen dan air sehingga $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari semen melepas ion OH^- dan ion-ion ini, yang membawa sifat alkali dari beton, menempel pada permukaan baja tulangan sehingga terbentuk $\text{Fe}(\text{OH})_2$.

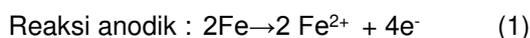
Lapisan pasif ini akan terus ada selama lingkungan yang bersifat alkalin tetap terjaga. Tapi pada kenyataannya lingkungan alkalin ini tidak dapat terus terjaga. Ada dua hal yang dapat menyebabkan

kehancuran lapisan pasif, yaitu karbonasi (CO_2) dan serangan ion klorida.

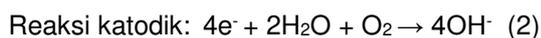
Korosi merupakan peristiwa elektrokimia, yaitu adanya aliran elektron dari anoda menuju katoda atau pengaruh derajat keasaman (pH). Ketika lapisan pasif rusak, karat akan mulai terbentuk pada tulangan. Reaksi kimia yang terjadi sama, walaupun korosi terjadi akibat serangan ion klorida ataupun karbonasi.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

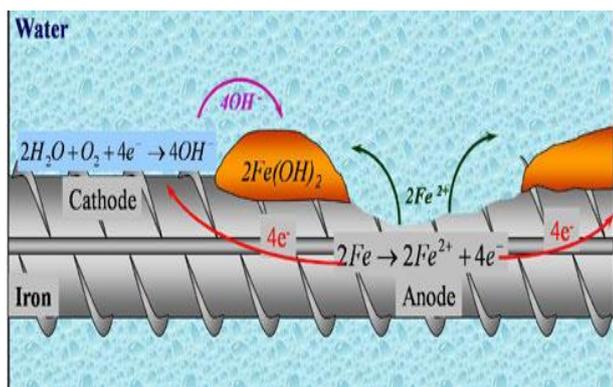
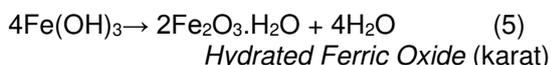
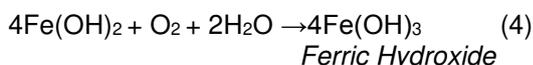
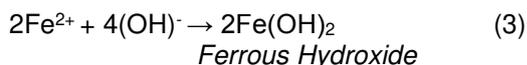
Ketika baja tulangan mengalami korosi terjadi pelepasan elektron



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



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



Gambar 1. Proses Korosi pada Tulangan

Fe_2O_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, 2003). 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.

Sifat pozzolan adalah sifat bahan dalam keadaan halus dapat bereaksi dengan kapur bebas dan air pada suhu 24 – 27 derajat celcius, dengan membentuk senyawa yang padat dan tidak larut dalam air. *Fly ash* merupakan limbah pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap. Senyawa kimia yang ada di dalam *fly ash* meliputi silika, besi oksida, aluminium oksida, magnesium oksida dan sulfat (Hausmann, 1990). Oleh karena kandungannya yang mengandung bahan-bahan pozzolan maka *fly ash* termasuk material pozzolanic. Selain itu, produksi fly ash di Indonesia akan mencapai jutaan meter kubik pada akhir tahun 2020. Pemanfaatan *fly ash* secara massive sangat diperlukan untuk memusnahkan limbah ini dengan aman (Maryoto, 2004).

Bahan-bahan yang bersumber dari material sabun, *butyl stearate* dan produk sampingan dari proses pembuatan minyak bumi merupakan bahan yang bisa digunakan untuk membuat beton menjadi kedap air (Tattersal&Banfill, 1992). Hal ini sudah pernah dibuktikan dengan mencampurkan *calcium stearate* ke dalam beton dan hasilnya menunjukkan bahwa absorpsi dan penetrasi beton menjadi lebih rendah dibanding dengan beton tanpa *calcium stearate* (Maryoto, 2014). Sayangnya, pengujian secara langsung terhadap kemampuan mencegah korosi besi tulangan akibat penetrasi ion klorida ke dalam beton belum dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa besar pengaruh penggunaan *calcium stearate* untuk mencegah korosi pada beton bertulang secara langsung. Kombinasi penggunaannya dengan *fly ash* dalam jumlah besar pada beton juga diselidiki. Hal ini mengingat produksi limbah *fly ash* sangat besar setiap tahunnya.

METODE PENELITIAN

A. Bahan-bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen, agregat kasar, agregat halus, air, *fly ash* dan *calcium stearate*. Semen merupakan produksi PT. Semen Gresik dan merupakan semen tipe 1. Agregat kasar merupakan batu pecah mesin dengan ukuran agregat maksimum sebesar 20 mm. Agregat kasar ini merupakan produksi dari daerah Karang Lewas, Purwokerto. Agregat halus merupakan pasir yang diambil dari Sungai Serayu. Air yang digunakan sebagai pelumas material-material penyusun beton diambil dari sumur dalam di lingkungan Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman. *Fly ash* berasal dari limbah pembakaran batu bar PLTU Cilacap. Selanjutnya *calcium stearate* yang digunakan merupakan material produksi dari PT. Wadah Makmur, Jakarta. Baja tulangan yang digunakan merupakan baja tulangan ulir diameter 16 mm yang dijual bebas di toko-toko material di Purwokerto. *Fly Ash* PLTU Cilacap ditunjukkan dalam Gambar 2.

B. Peralatan

Peralatan yang digunakan meliputi timbangan dengan kapasitas 20 kg dan 2.61 kg, ayakan untuk gradasi batu pecah dan pasir, alat pengaduk beton, cetak silinder, cetakan untuk benda uji korosi, oven, alat uji slump, komopor listrik, cetakan *capping*, alat tekan beton dan alat uji half cell potential. Alat uji half cell potential ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Fly Ash



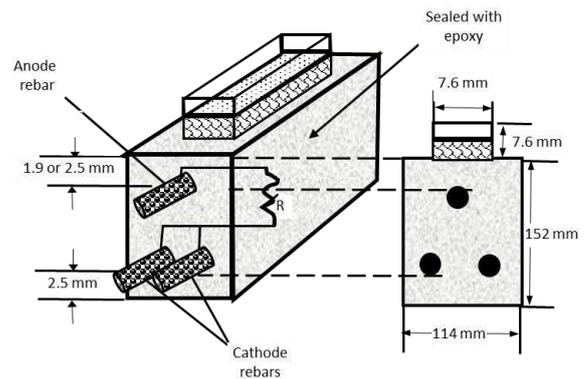
Gambar 3. Alat ukur uji half cell potential

C. Benda Uji

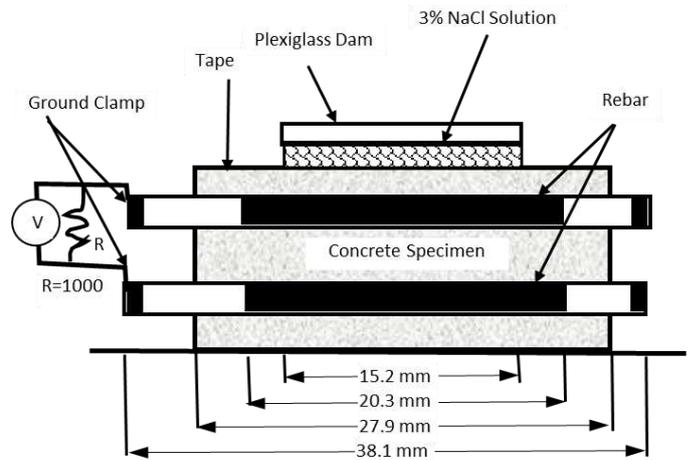
Jumlah benda uji dan porsi campuran beton ditampilkan dalam Tabel 1. Dimensi benda uji *half cell potential* dapat dilihat pada Gambar 4. Proses pengujian dan pemasangan dam seperti terlihat dalam Gambar 5.

Tabel 1. Jumlah benda uji dan porsi campuran beton

Nomor Sampel	Kandungan		Jumlah Benda Uji
	Fly Ash (% berat semen)	Calcium stearate (kg/m ³ beton)	
1	0	0	3
2	0	40	3
3	1	40	3
4	2	40	3
5	4	40	3



Gambar 4. Ukuran benda uji

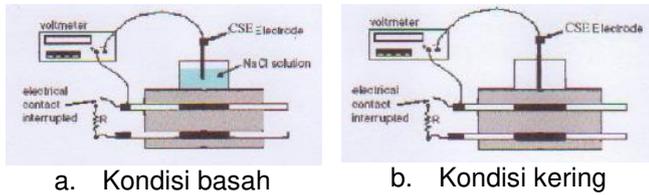


Gambar 5. Pemasangan dam

D. Prosedur Pengujian Half Cell Potential

Setelah beton benda uji selesai dirawat dalam waktu 28 hari, pemasangan kabel pada baja tulangan mulai dilakukan sesuai dengan ASTM G 109-92. Ada dua pengukuran *half cell potential* yaitu ketika benda uji dalam keadaan basah dan dalam keadaan kering. Setelah bak *plexyglass* diisi dengan larutan NaCl 3% selama 2 minggu dan kemudian kemudian dilakukan pengukuran *half cell potential*. Pengukuran dalam kondisi ini disebut pengukuran dalam kondisi basah.

Sebaliknya, pengukuran kering dilakukan ketika larutan NaCl 3% sudah dikuras dari *plexiglass* dan benda uji dibiarkan dalam kondisi kering selama 2 minggu. Skema pengukuran basah dan kering ditampilkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Skema pengukuran *half cell potential*

Pengukuran *half cell potential* dilakukan dengan alat seperti Gambar 3. Caranya dengan menempelkan elektroda alat di permukaan beton yang berada di dalam *plexiglass* dam. Gambar 7 menunjukkan cara pengukuran *half cell potential* dalam eksperimen kondisi kering. Sebelum pembacaan dilakukan, hubungan antara katoda dan anoda seperti pada Gambar 5 harus diputus lebih dahulu. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa *half cell potential* hanya membaca tulangan anoda saja (tulangan sebelah atas). Semua peralatan dan metode pengukuran korosi yang digunakan dalam uji ini mengikuti standar yang telah ditetapkan oleh ASTM G 109-92 dan menggunakan elektroda acuan Cu/CuSO₄ (CSE).



Gambar 6. Pengukuran half cell potential

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian half cell potential ditampilkan dalam Tabel 2. Berdasarkan ASTM C 876 memberikan kriteria mengenai pembacaan potensial yang berhubungan dengan korosi. Kriteria tersebut seperti ditampilkan dalam Tabel 3.

Meskipun berdasarkan Tabel 3, korosi yang terjadi pada benda uji beton bertulang masih sangat kecil, namun berdasarkan nilai tersebut kecenderungan korosi pada Tabel 2. bisa dianalisis sebagai berikut.

Tabel 2. Pengujian half cell potential

Benda Uji	Pembacaan HCP (-mV)			
	Basah	Kering	Basah	Kering
1	83.7	3.7	71.7	44.5
2	37.2	3.8	60.4	19.7
3	37.0	3.2	59.0	5.8
4	36.8	2.0	34.2	5.3
5	70.3	4.8	59.7	39.9

Tabel 3. Kriteria korosi

Potensial (mV vs CSE)	Kemungkinan korosi
$X \geq -200$	< 10%
$-200 > X > -350$	50%
$X \leq -350$	>90%

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa nilai *half cell potential* saat kondisi basah lebih besar dari pada saat pengujian kondisi kering. Hal ini bisa dimengerti mengingat dalam kondisi basah larutan NaCl 3% lebih mudah memicu arus proses korosi. Sementara itu dalam kondisi kering, larutan NaCl 3% tidak bisa menembus beton lebih dalam.

Benda uji beton yang hanya menggunakan semen murni, tanpa tambahan *fly ash* dan *calcium stearate*, mempunyai nilai *half cell potential* yang paling tinggi. Kecenderungan ini terjadi pada saat pengujian kondisi basah maupun kondisi kering.

Benda uji beton yang menggunakan campuran *fly ash* saja, nilai *half cell potential* mulai turun bila dibandingkan dengan benda uji dengan kandungan semen murni. Kecenderungan penurunan nilai ini semakin besar ketika kandungan *calcium stearate* juga meningkat. Penurunan nilai *half cell potential* pada beton dengan *fly ash* disebabkan oleh pengecilan diameter kapiler saat beton mengeras. Proses ini disebabkan oleh diameter butir *fly ash* yang lebih kecil disbanding dengan diameter butir semen. Efeknya adalah butiran *fly ash* ini dapat mengisi pori-pori yang lebih kecil.

Selanjutnya benda uji dengan tambah *fly ash* dan *calcium stearate* mempunyai nilai *half cell potential* yang paling kecil karena *calcium stearate* akan bereaksi dengan semen untuk membentuk lapisan *hydrophobik* di permukaan kapiler beton. Nilai *half cell potential* yang paling kecil dicapai ketika penambahan *calcium stearate* sebesar 2 kg per meter kubik beton. Kandungan *calcium stearate* lebih dari 2 kg menunjukkan kecenderungan nilai *half cell potential* meningkat kembali. Hal ini disebabkan karena kadar *calcium stearate* sudah berlebih sehingga menyebabkan terjadinya proses hidrolisis, Akibatnya kandungan CaO pada beton berlebih.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan di atas, beberapa kesimpulan dapat diberikan seperti berikut:

- a. Penggunaan *fly ash* dalam beton dapat menurunkan nilai *half cell potential*. Hal ini disebabkan butirannya yang sangat halus dapat mengisi pori-pori yang lebih kecil dan akhirnya membentur kapiler dengan diameter yang lebih kecil bila dibanding dengan beton yang hanya menggunakan semen saja.
- b. Penambahan *calcium stearate* pada beton juga memperkecil nilai *half cell potential* pada beton. Kadar yang paling bagus adalah 2 kg per meter kubik beton.
- c. Jumlah *calcium stearate* yang berlebih mengakibatkan nilai *half cell potential* beton juga membesar.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 1992, Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Designation: G 109-92, West Conshohocken.
- Broomfield, J. P., 2003, Corrosion of Steel in Concrete. E & F.N. Spon. London. United Kingdom.
- Hausmann, D. A., 1990, Electrochemical Behavior of Steel in Concrete. Journal of the ACI, American Concrete Institute, Detroit, USA, pp. 171-187
- Maryoto, A., 2014, Synergy of calcium stearate and fly ash usage to reduce water penetration in concrete, Journal of Civil Engineering and Planning, Universitas Negeri Semarang, Indonesia, Vol. 16 No. 2, pp. 135-140.
- Maryoto, A., 2004, Studi Penggunaan Calcium Stearate dan Aspal Emulsi untuk Mengontrol Absorpsi pada Beton Mutu Normal. Master Theses, Universitas Diponegoro. Semarang.
- Tattersal, G.H. dan Banfill, B.F.G., 1992, Rheology of Concrete, Pitman Advance Publishing, USA.