

PERBANDINGAN LAJU KOROSI TULANGAN PADA BETON NORMAL DAN BETON BUSA POZZOLAN (BETON RINGAN BUSA)

R. Dedi Iman Kurnia

Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Almuslim

M. Ridha

Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Syiah Kuala

Suhaimi

Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Almuslim

Email : suhaimi_civil@yahoo.com

ABSTRAK

Penggunaan beton ringan sebagai struktur dari bangunan dapat dijadikan salah satu solusi pada daerah rawan gempa, karena semakin ringan suatu bangunan maka semakin kecil pula gaya gempa yang bekerja. Selama ini sudah banyak informasi dan penelitian yang dilakukan mengenai korosi baja tulangan pada beton normal, sedangkan informasi dan penelitian mengenai korosi pada beton ringan khususnya beton busa sangat sedikit. Perlu dilakukan kajian lebih mendalam tentang penggunaan beton ringan seperti beton busa sebagai elemen bangunan, khususnya mengenai ketahanan korosi pada tulangnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur laju korosi pada baja tulangan dalam beton busa dengan metode *Linear Polarization Resistance* (LPR). Benda uji yang digunakan berjumlah 2 buah, benda uji berbentuk balok dengan dua variasi yaitu beton busa pozzolan dan beton normal sebagai pembandingan. Ukuran benda uji 15cm x 20 cm x 80 cm dengan faktor air semen 0,4; *specific gravity* 1,6 dan *f_c* kuat tekan rata-rata 25 MPa. Digunakan 4 tulangan utama \varnothing :10 mm dan 7 tulangan sengkang \varnothing 6 mm dengan jarak per 10 cm. Setiap variasi benda uji direndam dalam larutan Natrium Klorida 3,5%. Hasil pengukuran potensial korosi menggunakan teknik *half-cell potential mapping* akan memberikan gambaran awal lokasi yang mempunyai resiko tinggi terkorosi. Pada lokasi ini dilakukan pengukuran laju korosi dengan metode *linear polarization resistance*. Pengambilan data dilakukan dua minggu sekali selama delapan minggu waktu perendaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi pada beton normal lebih tinggi dari pada beton busa pozzolan. Ketebalan selimut dan waktu perendaman terlihat memberikan pengaruh terhadap nilai laju korosi. Ditinjau dari aspek perilaku korosinya, beton busa pozzolan layak apabila digunakan sebagai elemen bangunan.

Kata Kunci : *Beton ringan, Beton busa pozzolan, laju korosi, half-cell potential mapping, linear polarization resistance.*

ABSTRACT

*The use of lightweight concrete as the structure of the building can be one solution in earthquake-prone areas, because the lighter building cause the lesser seismic forces work on it. All this has a lot of information and research conducted on the corrosion of reinforcing steel in normal concrete, while the information and research on corrosion in lightweight foam concrete was minimal. Need to do more in-depth study of the use such as lightweight foam concrete as building elements, in particular regarding corrosion resistance of steel reinforcement. This study aims to measure the rate of corrosion of reinforcing steel in concrete foam with Linear Polarization Resistance method (LPR). Specimens used were 2 pieces, beam-shaped specimen with two variations, pozzolan foam concrete and normal concrete for comparison. Specimen size 15cm x 20 cm x 80 cm with a water-cement ratio 0.4; specific gravity of 1.6 and *f_c* average compressive strength of 25 MPa. Used 4 main reinforcement \varnothing 10 mm and 7 mm with reinforcing cross bar \varnothing 6 per 10 cm distance. All the variation of the test specimen is immersed in a solution of 3.5 % Sodium Chloride. The result of corrosion potential measurements using the technique of half-cell potential mapping will provide an overview of the initial location that has a high risk of corroded. At this location the corrosion rate measured by linear polarization resistance method. The Data collection was performed every two weeks for eight weeks of immersion time. The results showed that the corrosion rate is higher on the normal concrete than the pozzolan foam concrete. The thickness of the blanket and soaking time seen influenced the value of the corrosion rate. Be reviewed from the behavior of its corrosion, the pozzolan foam concrete deserve to be as an element of the building.*

Keywords : lightweight concrete , foam concrete pozzolan , corrosion rate , the half - cell potential mapping , linear polarization resistance.

PENDAHULUAN

Provinsi Aceh merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang sering mengalami gempa bumi. Perencanaan konstruksi bangunan di wilayah yang seperti ini perlu memperhitungkan ketahanan terhadap gempa. Penggunaan beton ringan sebagai struktur dari bangunan merupakan salah satu solusi yang dapat dilakukan, karena semakin ringan suatu bangunan maka semakin kecil pula gaya gempa yang bekerja pada bangunan tersebut. Selama ini sudah banyak informasi dan penelitian yang dilakukan mengenai korosi baja tulangan pada beton normal, sedangkan informasi dan penelitian mengenai korosi pada beton ringan khususnya beton busa sangat sedikit. Perlu dilakukan kajian lebih mendalam tentang penggunaan beton ringan seperti beton busa sebagai elemen bangunan, khususnya mengenai ketahanan korosi pada tulangnya, sehingga beton ringan layak digunakan sebagai elemen struktur bangunan apabila ditinjau dari segi ketahanan terhadap korosi.

Beton merupakan bahan yang dominan digunakan sebagai bahan bangunan karena memiliki durability atau tingkat keawetan yang tinggi dibanding material lain. Untuk memperoleh struktur bangunan yang relatif kuat pada beton ditambahkan baja tulangan, kombinasi antara keduanya kemudian dikenal dengan nama beton bertulang. Kombinasi antara beton dan baja tulangan menjadikan beton bertulang sebagai struktur yang memiliki kekuatan yang optimal. Dalam penggunaannya kualitas beton akan mengalami penurunan, salah satu penyebab menurunnya kualitas beton bertulang adalah korosi pada baja tulangnya

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi risiko korosi pada tulangan dalam beton. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menghitung laju korosi sesaat pada tulangan dalam beton busa pozzolan menggunakan metode *Linear Polarisation Resistanced* dengan variabel penelitian berupa ketebalan selimut beton dan waktu perendaman, untuk kemudian dibandingkan dengan laju korosi pada beton normal. Penelitian ini dilakukan menggunakan dua buah benda uji yaitu beton busa Pozzolan dan beton normal dengan mutu rencana beton f_c 25 MPa, FAS 0,4 dan SG 1,6. Pada beton busa dilakukan penambahan pozzolan alam sebesar 10 % sebagai bahan pengganti semen, hal ini dilakukan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya. Media perendaman berupa air laut buatan dari larutan NaCl 3,5 %. Pengambilan data laju korosi benda uji dilakukan dua minggu sekali selama delapan minggu waktu perendaman.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Beton Ringan

Di negara maju penggunaan beton ringan dikembangkan sebagai upaya untuk memanfaatkan limbah industri agar tidak merusak lingkungan. Sementara di beberapa negara lainnya dikembangkan untuk memanfaatkan material-material setempat yang berlimpah, (ACI Committee 1999). Di Amerika, pemakaian beton ringan pertama kali diperkenalkan pada Perang Dunia I (1917) oleh perusahaan *Emergency Fleet Building*. Beton ringan bertulang tersebut memakai *aggregate expanded shale*, dengan kekuatan 34,47 MPa dan berat isi 1760 kg/m³, (ACI Committee, 1999). Di negara Jerman beton ringan dikembangkan oleh Joseph Hebel pada tahun 1943 melalui produk Hebel, yang disebut *Aerated Lightweight Concrete (ALC)*. Material ini terbuat dari campuran kapur, pasir, silika, semen, air dengan penambahan agregat ringan berupa polystiren, (Winner and Architecture's Life, 2010).

Menurut Mulyono (2004), Beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m³. Sedangkan agregat ringan adalah agregat dalam keadaan kering dan gembur mempunyai berat isi < 1100 kg/m³. Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai kepadatan sekitar 300 – 1850 kg/m³, mempunyai berat jenis yang ringan dan porositas yang tinggi, yang dapat dihasilkan dari agregat alam maupun hasil buatan.

Menurut *American Standard for Testing Materials (ASTM) C.330*, agregat ringan dapat dibedakan menjadi dua yaitu agregat alami dan agregat buatan. Agregat ringan buatan dapat berupa *expanded clay, shale, slate, perlite, vermiculite*, atau *fly ash* yang dapat berasal dari proses pemanasan, pendinginan dan dari industri *cinder*. Sedangkan agregat ringan alami meliputi jenis-jenis agregat *diatomic*, batu apung, *scoria, volcanic cinders* dan *tuff* yang semuanya termasuk batuan asli vulkanik

Karena beratnya yang ringan, beton ringan mempunyai beberapa kelebihan dalam hal pengangkutan dan pemasangan, berat yang ringan dan memberikan beban lebih kecil untuk struktur di bawahnya. Kelebihan lainnya adalah sebagai penghambat panas (*heat insulation*), sebagai peredam suara (*sound insulation*) dan lebih tahan api, (G. Batis, 2004). Secara garis besar penggunaan beton ringan dapat dibagi tiga, (Dobrowolski, 1998) yaitu:

1. Untuk non struktur dengan berat jenis antara 240 kg/m³ – 800 kg/m³ dan kuat tekan antara 0,35 MPa – 7 MPa yang umumnya digunakan untuk dinding pemisah atau dinding isolasi.
2. Untuk struktur ringan dengan berat jenis 800 kg/m³ – 1400 kg/m³ dan kuat tekan antar 7 MPa – 17 MPa yang umumnya digunakan untuk dinding.
3. Untuk struktur dengan berat jenis antara 1400 kg/m³ – 1800 kg/m³ dan kuat tekan lebih dari 17 MPa yang dapat digunakan sebagaimana beton normal

Beton Busa

Beton busa merupakan jenis beton ringan yang paling mudah diproduksi. Beton busa merupakan salah satu jenis beton ringan yang dibuat dengan membuat gelembung-gelembung udara di dalam adukan semennya. Beton busa hanya mengandung tiga bahan baku, yaitu bahan pengikat (semen atau kapur, atau keduanya), air dan gelembung gas. Dua jenis beton busa yang utama adalah beton busa buatan pabrik dengan penggunaan uap panas dan tekanan (*autoclaved*) dan beton busa cetak di lokasi.

Abdullah (2007), menyatakan salah satu cara menghasilkan beton busa adalah dengan membuat gelembung-gelembung gas/ udara dalam campuran mortar sehingga menghasilkan material yang berstruktur sel-sel, yang mengandung rongga udara dengan ukuran antara 0,1-1,0 mm. Busa yang terbentuk berupa balon-balon udara yang tidak saling berhubungan dan terdistribusi merata di dalam beton. Campuran beton busa hanya terdiri dari semen, air dan *foam*, beton busa menjadi tidak ekonomis karena volume semen yang digunakan besar.

Bahan Pengganti Semen

Pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina. Bahan-bahan pozzolan bila bertemu dengan kalsium hidroksida Ca(OH)₂ bebas hasil hidrasi semen secara lambat akan bereaksi membentuk kalsium silikat hidrat, (ASTM C 618-91). Menurut ASTM C 593-82 pozzolan terbagi atas dua macam, yaitu pozzolan alam (*natural pozzolan*), yang merupakan timbunan atau bahan sedimentasi dari abu vulkanis yang mengandung silika aktif. Pozzolan buatan (*artificial pozzolan*), berasal dari limbah berupa abu sisa hasil proses pembakaran yang mengandung silika reaktif, seperti *fly ash*, dan abu sekam (*rice husk ash*) dan *micro silica (silica fume)*.

Men
terfu
dan
teka
pene
pene
baha

Koro
Baja
baja
adak
baha
(Kirm
Koro:
reaks
peny
mutu
akan
penur
Perm
yang
tertutu
anoda
hasil i
akan
Gamb
kira-ki
zat kc
parah.

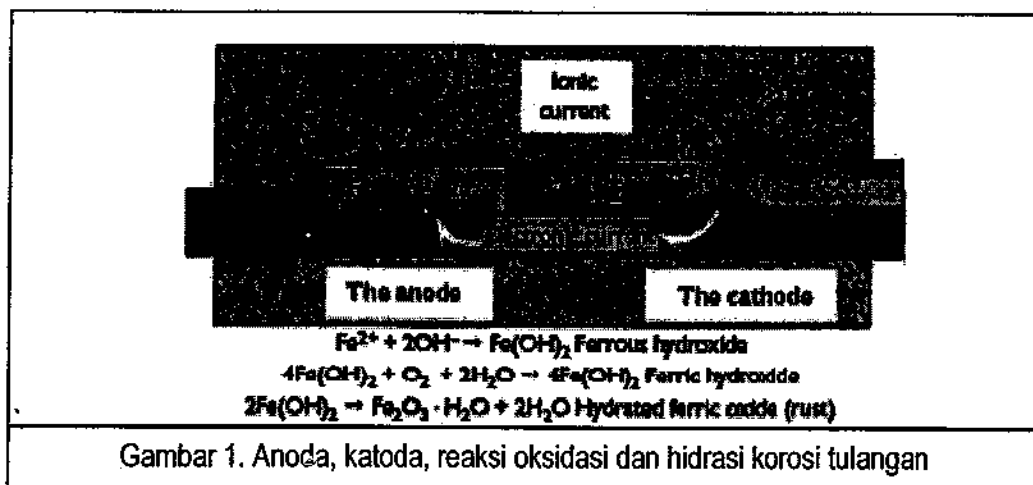
Menurut G. Batis (2004), beton yang mengandung pozzolan mempunyai permeabilitas rendah dan tahan terhadap serangan sulfat. Hasil penelitian Abdullah (2007), menunjukkan bahwa penambahan *pozzolan* dan *fly ash* dalam beton busa sampai pada persentase tertentu memberi pengaruh positif terhadap kuat tekannya, tetapi tidak terhadap kuat tarikannya. Peningkatan kuat tekan terjadi pada beton busa dengan penambahan *fly ash* dan pozzolan pada SG 1,2 dan 1,4. Peningkatan yang signifikan tampak pada penambahan pozzolan dan *fly ash* sebesar 30 % dari berat semen. Tetapi pada SG 1,6 penggunaan bahan pengganti > 20 % cenderung menurunkan nilai kuat tekan.

Korosi Baja Tulangan dalam Beton

Baja dalam beton mempunyai kemampuan yang sangat baik dalam menerima gaya tarik dan lentur. Sifat baja tulangan yang paling penting apabila digunakan dalam hitungan perencanaan beton bertulang adalah modulus elastisitas (E) dan tegangan leleh baja (f_y). Jenis baja yang sering digunakan untuk bahan struktur bangunan sipil adalah baja karbon lunak yang memiliki kandungan karbon 0,3-0,59 %, (Kirman M dan Supriadi, 2008).

Korosi didefinisikan sebagai kerusakan atau penurunan mutu suatu material yang diakibatkan oleh reaksi antar lingkungan dan material itu sendiri. Penetrasi oleh Ion Klorida dan karbonasi merupakan penyebab utama dari korosi (Broomfield, 2007). Korosi baja tulangan dalam beton dapat menurunkan mutu beton dan mengurangi daya lekatnya dengan beton. Volume baja yang mengalami korosi cenderung akan membesar sehingga medesak selimut beton hingga terkelupas. Hal ini dapat menyebabkan penurunan mutu beton dan menyebabkan masa layan struktur berkurang, (Amri Syafei, 2005).

Permukaan baja yang lapisan pasifnya hilang, menjadi anoda dari reaksi korosi baja tulangan. Elektron yang dilepaskan dari reaksi anoda ini, menyebabkan gas O₂ dan air di atas permukaan baja, yang masih tertutup oleh lapisan pasif, bereaksi, bagian baja ini menjadi katoda. Kedua ion yang terbentuk pada anoda dan katoda bergabung membentuk senyawa hasil korosi. Fe(OH)₂ sebagai bentuk awal senyawa hasil korosi akan berada di permukaan baja yang mengalami korosi. Jika konsentrasi O₂ tinggi, maka akan terbentuk Fe(OH)₃. Mekanisme korosi pada tulangan dalam beton seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Perbandingan volume antara senyawa hasil reaksi korosi dengan senyawa yang bereaksi kira-kira 2,5 kali, sehingga selimut beton retak dan terlepas. Setelah selimut beton terkelupas, maka zat-zat korosif lebih mudah berinfiltrasi ke dalam beton dan kerusakan akibat korosi akan menjadi lebih parah, (Broomfield 2007).



Pengukuran Tulangan Potensial Dengan Metode *Half Cell Potential Mapping*

Teknik *Half-cell potential mapping* merupakan suatu metode awal mendeteksi korosi tulangan dalam beton. Dengan teknik ini hanya dapat mendeteksi lokasi daerah korosi dengan resiko tertentu (Broomfield, 2007). ASTM C876 adalah standar yang digunakan untuk pengukuran *half-cell potential mapping*. Berikut tabel nilai potensial pada permukaan tulangan baja yang diukur dengan menggunakan teknik *half-cell potential mapping* untuk beberapa standar *half-cell*.

Korosi pada tulangan baja dalam beton dapat terjadi jika antara anoda dan katoda terdapat selisih potensial listrik. Nilai potensial suatu bahan diperoleh dengan mengukur selisih potensial dari bahan tersebut dengan suatu elektroda baku seperti elektroda kalomel jenis SCE (*Saturated Calomel Elektrode*). semakin negatif (aktif) nilai potensial bahan semakin besar kecenderungan untuk terjadi korosi, (Fontana 1987).

Tabel 1. kriteria korosi tulangan baja untuk beberapa standar *half-cell*

No	<i>Copper copper sulphate</i>	<i>Silver Silver chloride</i>	<i>Hydrogen Electrode</i>	<i>Calomel Electrode</i>	<i>Corrosion Condition</i>
1	> -200 mV	> -106 mV	> +116 mV	> -126 mV	<i>Low risk (10%)</i>
2	-200 to-350 mV	-106 to-256 mV	+116 to-34 mV	-126 to-276 mV	<i>Intermediate risk</i>
3	< -350 mV	< -256 mV	< - 34 mV	< -276 mV	<i>High risk (90%)</i>
4	< -500 mV	< -406 mV	< -184 mV	< -426 mV	<i>Severe corrosion</i>

Sumber : Broomfield (2007)

Pengukuran Laju Korosi Dengan Metode *Linear Polarization Resistance (LPR)*

Metode tahanan polarisasi linier atau disebut juga *Linear Polarization Resistance (LPR)* adalah metode pengukuran laju korosi berdasarkan fenomena elektrokimia. Teknik pemantauan korosi dengan metode *linear polarization resistance* ini cepat dan tidak mengganggu, hanya membutuhkan koneksi ke baja tulangan data yang dihasilkan dapat memberikan pemahaman tentang laju korosi pada tulangan baja, dan memberikan informasi yang rinci tentang potensial dari sampel yang diuji, (Law and Millard, 2000).

Berdasarkan asumsi Stern-Geary, arus terpolarisasi berubah secara linier seiring dengan perubahan yang terjadi pada potensial. Pengukuran laju korosi dengan metode LPR akan menghasilkan perkiraan laju korosi yang lebih baik, apabila dilakukan perhitungan dengan rentang perubahan nilai potensial korosi 10 sampai 20 mV dalam kurva polarisasinya. Besarnya kemiringan dari kurva polarisasi ini sama dengan (R_p) tahanan polarisasi, (Neil G. Thompson, Joe H. Payer).

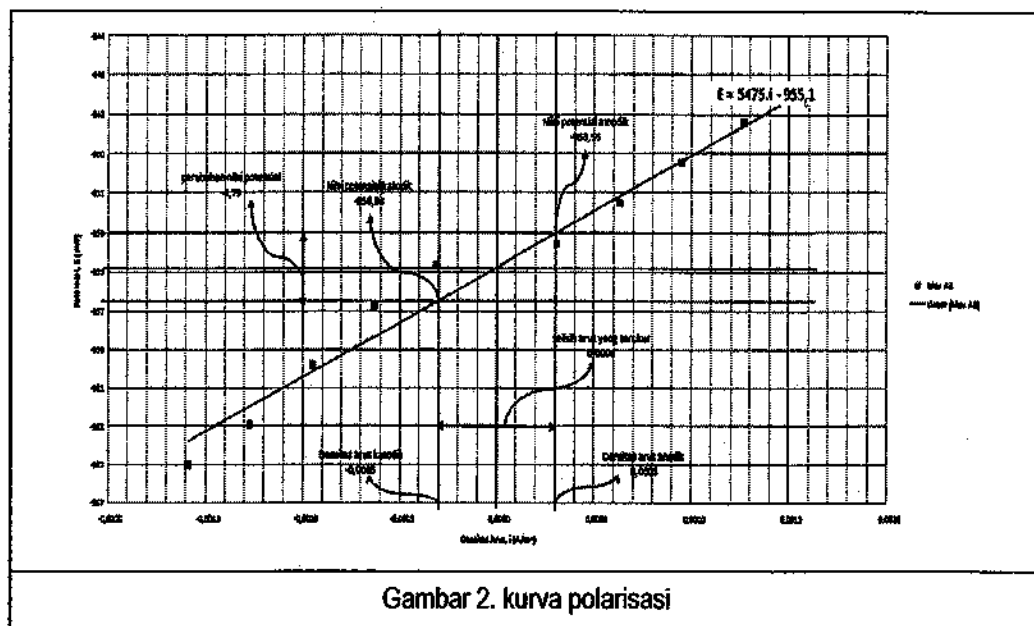
Metode
Perut
alami
(arus)
Persa
anodi
derah
korosi
Data
ditulis
kedak
adalah
Menu
atom l
yang l
dapat

METC

Risiko
mengg
akibat

dalam
tentu
potensi
akan

selisih
bahan
dalam
korosi,



Gambar 2. kurva polarisasi

Metode tahanan polarisasi linier menggunakan pergeseran kesetimbangan reaksi elektrokimia. Perubahan arus listrik diharapkan berdampak pada perubahan nilai potensial suatu logam dari potensial alami logam terhadap potensial korosi. Perubahan arus listrik tersebut akan menghasilkan kerapatan arus yang merupakan fungsi linier dari potensial elektroda, (Nuh M dan Sunara, 1994).

Persamaan garis lurus pada kurva polarisasi digunakan untuk menentukan potensial korosi pada daerah anodik dengan densitas arus tertentu, begitu pula dengan nilai potensial korosi dan densitas arus pada daerah katodik. Data nilai potensial anodik dan katodik dituliskan dalam bentuk tabel. Selanjutnya arus korosi anodik dan katodik dibagi dengan luas permukaan pengukuran untuk mendapatkan densitas arus. Data potensial hasil pengukuran, berupa arus yang diberikan dan densitas arus hasil perhitungan dituliskan dalam bentuk tabel untuk setiap pengukuran. Dari data potensial hasil pengukuran diplot ke dalam bentuk kurva. Kurva ini diplot dengan sumbu x adalah nilai densitas arus (i) dan sumbu y adalah nilai potensial yang terukur, kurva ini dinamakan dengan kurva polarisasi.

Menurut Fontana (1997), jika nilai K sebagai konstanta untuk satuan mpy adalah 0.129, a sebagai berat atom baja tulangan 55.8, i sebagai densitas arus besi terkorosi 1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan n adalah nomor elektron yang hilang saat proses korosi untuk besi 2, dan D sebagai densitas yaitu 7.86 g/cm^3 , maka laju korosi dapat ditentukan dengan Persamaan berikut ini :

$$CR = i_{\text{corr}} \times K \cdot \frac{a}{nD} \quad (\text{mpy})$$

Di mana: CR = laju korosi (mpy)
I_{corr} = intensitas arus korosi (μA)

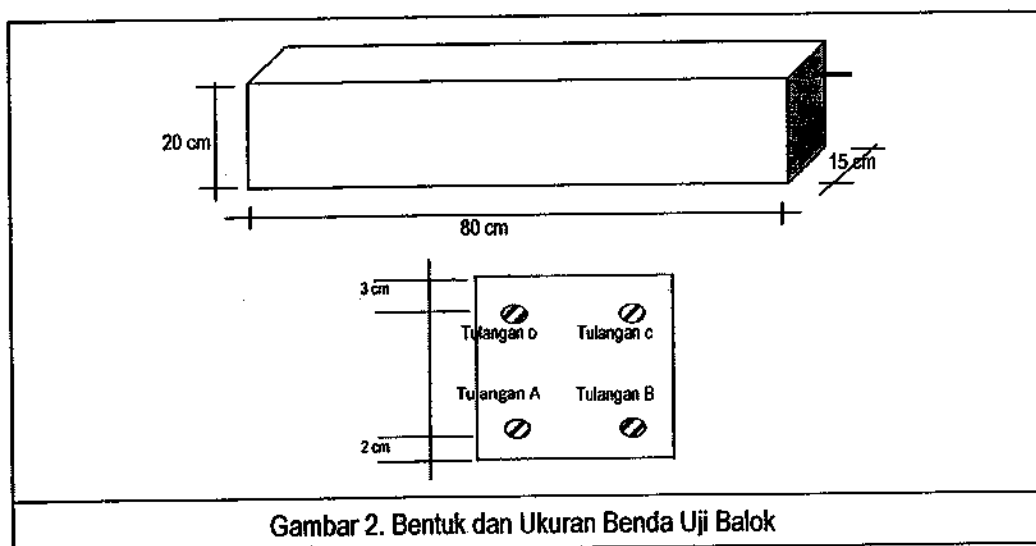
METODOLOGI

Risiko korosi pada tulangan beton dideteksi dengan menghitung laju korosi sesaat dengan menggunakan metode *Linear Polarisation Resistance*. Pengukuran nilai laju korosi tulangan dilakukan akibat pengaruh lingkungan perendaman, yang dalam penelitian ini digunakan air laut buatan dengan

metode
metode
e baja
1 baja,
100).

ubahan
kiraan
tensial
i sama

kandungan 3,5 % NaCl. Benda yang digunakan terdiri dari beton busa Pozzolan dan beton normal. Pada beton busa dilakukan penambahan pozzolan alam sebesar 10 % sebagai bahan pengganti semen. Benda uji berupa balok beton seperti pada gambar 2, dibuat dengan kuat tekan rencana f_c 25 MPa, FAS 0,4 dan SG 1,6. Ukuran benda uji dibuat 15 cm x 20 cm x 80 cm. Digunakan 4 tulangan utama $\varnothing 10$ mm dan 7 tulangan sengkang $\varnothing 6$ mm dengan jarak per 10 cm.



Gambar 2. Bentuk dan Ukuran Benda Uji Balok

Peralatan yang Digunakan

Beberapa jenis peralatan digunakan dalam penelitian ini diantaranya *profometer* buatan swiss, *Digital Half Cell Meter* merek *SCRIBE DHC (PC1018)*, elektroda baku sebagai acuan jenis *SCE (Saturated Colomel Elektrode)* dan serangkaian peralatan yang digunakan untuk mengukur tahanan polarisasi serta peralatan pelengkap lainnya seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. peralatan yang digunakan

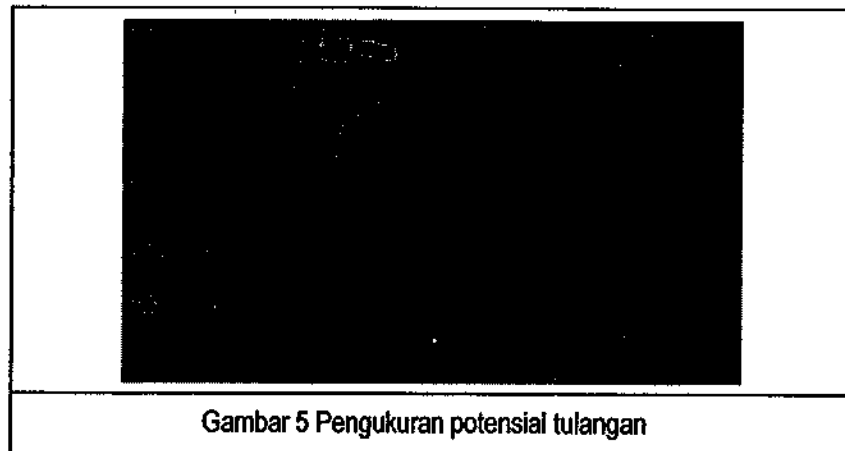
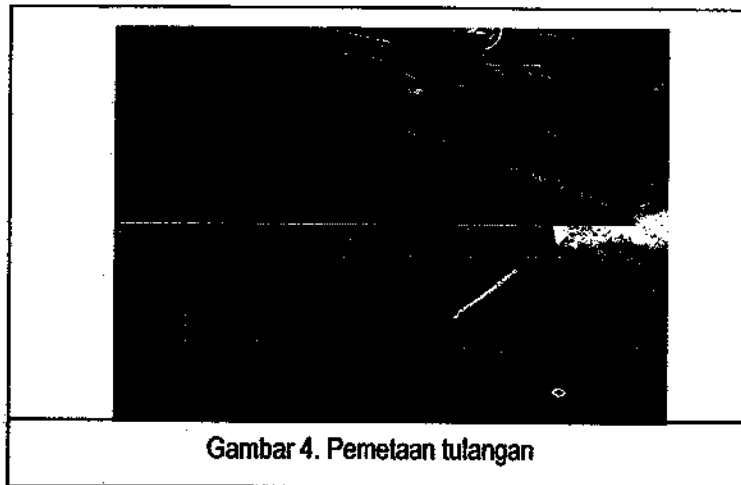
Profometer digunakan dalam penelitian ini untuk mendeteksi baja tulangan dan sengkang di dalam beton. *Digital Half Cell Meter* digunakan untuk pengukuran nilai potensial tulangan. elektroda baku jenis SCE digunakan sebagai sensor pembaca selisih nilai potensial tulangan. Serangkaian alat yang digunakan untuk pengukuran tahanan polarisasi terdiri dari gabungan beberapa alat yaitu *Galvanostat*,

. Pada
emen.
a, FAS
10 mm

Oscilloscopes, Reference Electrode Saturated Calomel (SCE), Counter Electrode, dan pemegang reference electrode.

Prosedur Penelitian

Terlebih dahulu dilakukan pemetaan tulangan (Gambar 3.) pada kedua sisi benda uji menggunakan alat profometer, selanjutnya dilakukan pengukuran potensial menggunakan *digital half cell meter*. seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil uji potensial korosi menggunakan *teknik half-cell potential mapping* akan memberikan gambaran lokasi yang mempunyai resiko tinggi terkorosi. Pada lokasi yang beresiko tinggi terkorosi ini akan dilakukan pengukuran laju korosi dengan metode tahanan polarisasi linier untuk penentuan laju korosi.



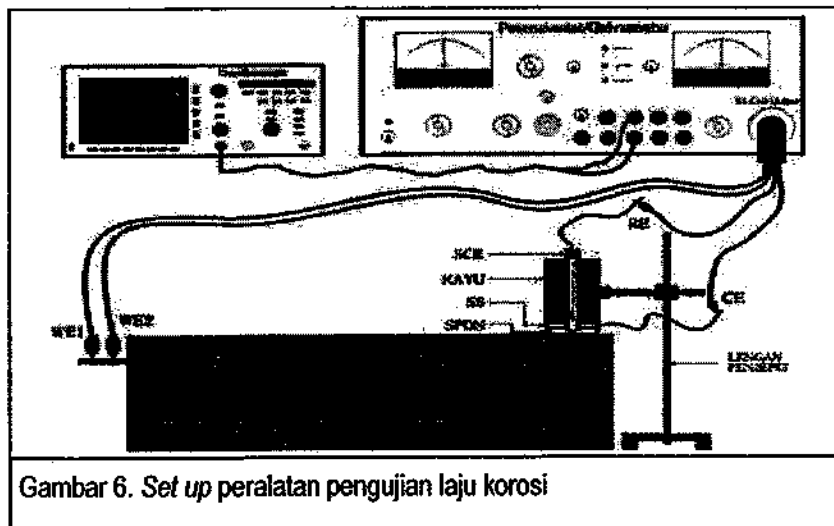
Pengukuran laju korosi dengan metode tahanan polarisasi linier menggunakan fungsi galvanostatik dimana arus sebagai variabel yang dikontrol dan potensial sebagai variabel yang di ukur. Set up peralatan pengukuran seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Data nilai potensial anodik dan katodik dituliskan dalam bentuk tabel. Selanjutnya arus korosi anodik dan katodik dibagi dengan luas permukaan pengukuran untuk mendapatkan densitas arus. Data potensial hasil pengukuran, arus yang diberikan dan densitas arus hasil perhitungan dituliskan dalam bentuk tabel untuk setiap pengukuran. Dari data potensial hasil pengukuran diplot kedalam bentuk kurva. Kurva ini diplot dengan sumbu x adalah nilai

Digital
tuated
si serta

i dalam
ku jenis
it yang
anostat,

an: 26

densitas arus (i) dan sumbu y adalah nilai potensial yang terukur, kurva ini dinamakan dengan kurva polarisasi. Kurva tersebut kemudian dilinierkan untuk mendapatkan suatu pola kemiringan (*slope*), dari kemiringan tersebut selanjutnya kita dapat menentukan tahanan polarisasi (R_p) dan lebih lanjut dapat menghitung laju korosi (CR).



Gambar 6. Set up peralatan pengujian laju korosi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju Korosi

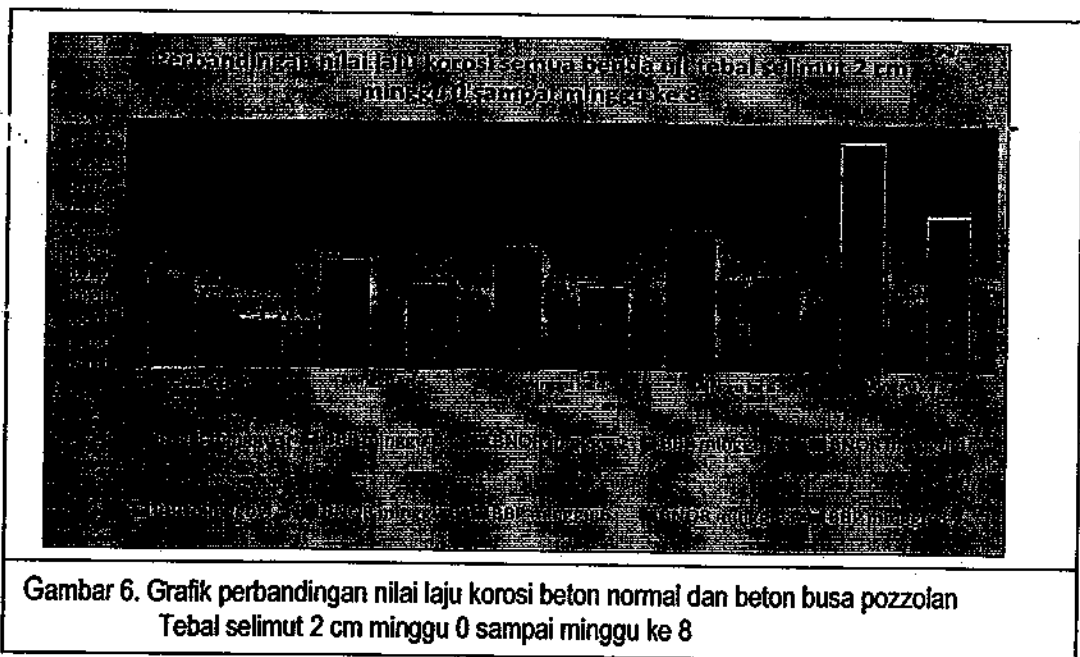
Berdasarkan data hasil perhitungan nilai laju korosi, beton normal memiliki nilai laju korosi yang berkisar antara 0,00664 mpy sampai dengan 0,01172 mpy, sedangkan nilai laju korosi pada beton busa pozzolan berkisar antara 0,00770 mpy sampai dengan 0,01490 mpy. Semakin bertambahnya waktu dari perendaman benda uji, maka nilai laju korosi dari kedua jenis benda uji menunjukkan perubahan yang cenderung meningkat pada setiap minggu pengukuran, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Abdullah (2007), menyatakan bahwa penggunaan busa dalam pembuatan beton busa menyebabkan pembentukan pori-pori beton berupa balon-balon udara, yang tidak saling berhubungan dan terdistribusi merata. Fajri (2012), dalam penelitiannya juga mendapati hal yang sama dimana sifat pori beton busa yang tidak kapiler menyebabkan air dari media rendaman tidak mudah berdifusi dan menyerap ke dalam beton busa. Sementara Neville (1999), menyebutkan bahwa kerusakan utama akibat air asin pada beton disebabkan oleh adanya ikatan antara Mg dan SO_4 membentuk Magnesium Sulfat ($MgSO_4$), Senyawa-senyawa sulfat menyerang $Ca(OH)_2$ bebas yang dihasilkan dari proses hidrasi pada semen.

Berdas
yang le
korosi
Gamba
nilai laju
peneliti
semakin
mengha

Tabel 2. Data hasil perhitungan nilai laju korosi

Tipe Beton	Tebal Selimut (cm)	Nilai Laju Korosi (mm/tahun)			
		A6	B12	C15	D26
Normal	2	0,01201	0,01105	0,01164	0,01092
	3	0,01201	0,01105	0,01164	0,01092
	4	0,01201	0,01105	0,01164	0,01092
	5	0,01201	0,01105	0,01164	0,01092
Busa	2	0,01287	0,01279	0,01170	0,01151
	3	0,01287	0,01279	0,01170	0,01151
	4	0,01287	0,01279	0,01170	0,01151
	5	0,01287	0,01279	0,01170	0,01151
Pozzolan	2	0,01332	0,01339	0,01183	0,01163
	3	0,01332	0,01339	0,01183	0,01163
	4	0,01332	0,01339	0,01183	0,01163
	5	0,01332	0,01339	0,01183	0,01163
Baja	2	0,01729	0,01720	0,01553	0,01537
	3	0,01729	0,01720	0,01553	0,01537
	4	0,01729	0,01720	0,01553	0,01537
	5	0,01729	0,01720	0,01553	0,01537



Gambar 6. Grafik perbandingan nilai laju korosi beton normal dan beton busa pozzolan Tebal selimut 2 cm minggu 0 sampai minggu ke 8

Berdasarkan hasil perhitungan nilai laju korosi seperti yang terlihat pada Tabel 2., maka resiko korosi yang lebih tinggi ditunjukkan oleh beton normal konvensional yang direndam air laut buatan dan resiko korosi yang rendah ditunjukkan pada beton busa pozzolan. Fenomena yang serupa juga terlihat pada Gambar 6 dan 7. Perbedaan tebal selimut beton 2 cm dan 3 cm terlihat memberikan pengaruh terhadap nilai laju korosi pada kedua benda uji, walaupun terlihat tidak terlalu jauh berbeda. Millard (2001) dalam penelitiannya menemukan bahwa, tahanan listrik (*electrical resistivity*) beton meningkat seiring dengan semakin tebalnya selimut beton. Tahanan listrik beton berfungsi mengurangi laju korosi dengan menghambat arus listrik dalam beton akibat korosi yang terjadi secara elektro-kimia.

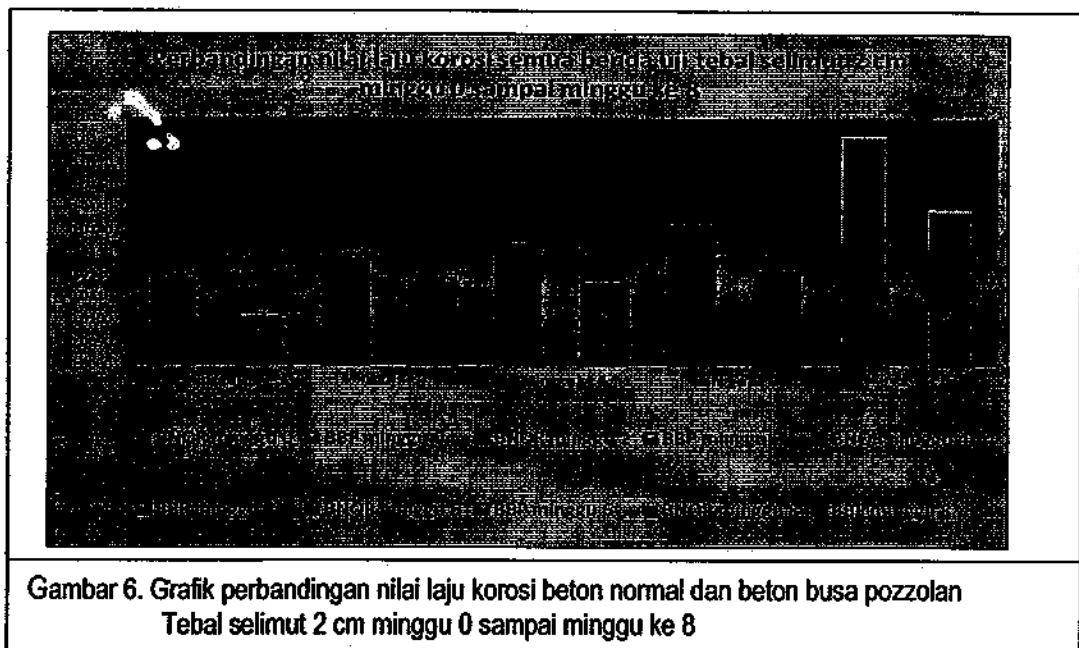
kurva
, dari
dapat

Tabel 2. Data hasil perhitungan nilai laju korosi

Benda Uji	Beton Normal		Beton Buisa Pozzolan	
	0 minggu	8 minggu	0 minggu	8 minggu
Benda Uji 1	A6	0,01201	A3	0,01831
	B12	0,01433	B14	0,01023
	C15	0,01013	C20	0,01116
Benda Uji 2	D26	0,00992	B22	0,00992
	A6	0,01337	A3	0,01151
	B12	0,01281	B14	0,01181
Benda Uji 3	C15	0,01011	C20	0,00770
	D26	0,01052	D22	0,01116
	A6	0,01332	A3	0,01172
Benda Uji 4	B12	0,01303	B14	0,01192
	C15	0,01201	C20	0,01162
	D26	0,01201	D22	0,01172
Benda Uji 5	A6	0,01221	A3	0,01221
	B12	0,01181	B14	0,01181
	C15	0,01276	C20	0,01181
Benda Uji 6	D26	0,01276	D22	0,01276
	A6	0,01729	A3	0,01790
	B12	0,01820	B14	0,01650
Benda Uji 7	C15	0,01650	C20	0,01332
	D26	0,01587	D22	0,01332

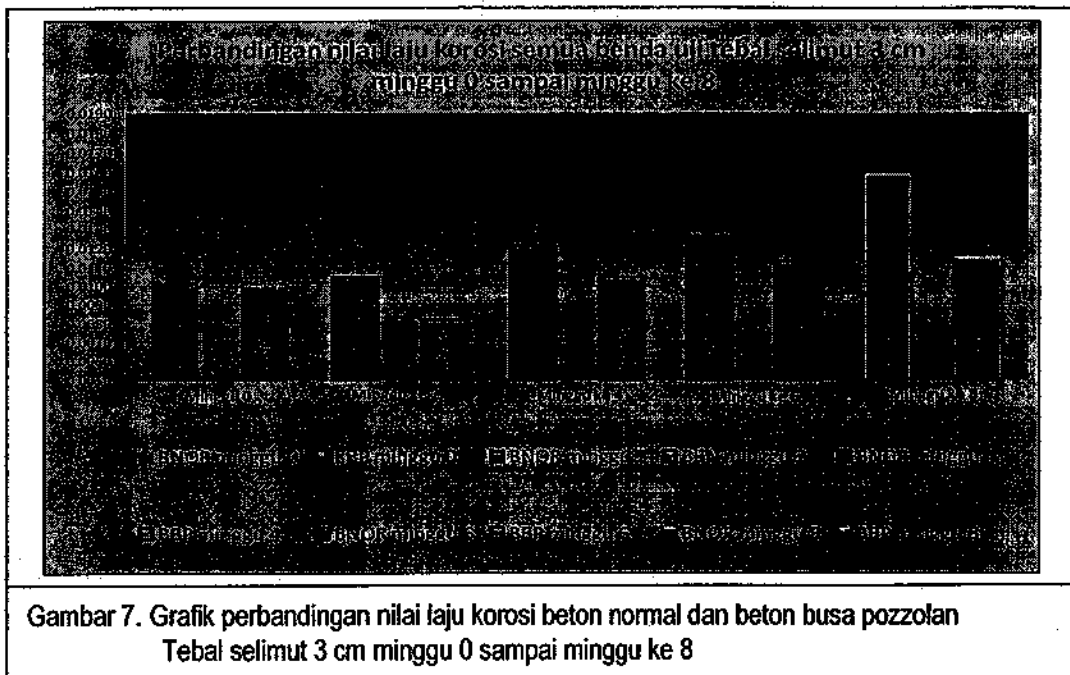
arkisar
zzolan
u dari
i yang

abkan
tribusi
i busa
dalam
beton
yawa-



Gambar 6. Grafik perbandingan nilai laju korosi beton normal dan beton busa pozzolan
Tebal selimut 2 cm minggu 0 sampai minggu ke 8

Berdasarkan hasil perhitungan nilai laju korosi seperti yang terlihat pada Tabel 2., maka resiko korosi yang lebih tinggi ditunjukkan oleh beton normal konvensional yang direndam air laut buatan dan resiko korosi yang rendah ditunjukkan pada beton busa pozzolan. Fenomena yang serupa juga terlihat pada Gambar 6 dan 7. Perbedaan tebal selimut beton 2 cm dan 3 cm terlihat memberikan pengaruh terhadap nilai laju korosi pada kedua benda uji, walaupun terlihat tidak terlalu jauh berbeda. Millard (2001) dalam penelitiannya menemukan bahwa, tahanan listrik (*electrical resistivity*) beton meningkat seiring dengan semakin tebalnya selimut beton. Tahanan listrik beton berfungsi mengurangi laju korosi dengan menghambat arus listrik dalam beton akibat korosi yang terjadi secara elektro-kimia.



Berdasarkan hasil pengukuran nilai potensial dan serangkaian perhitungan laju korosi, maka dapat dikatakan bahwa resiko korosi yang lebih tinggi ditunjukkan oleh beton normal yang direndam air laut buatan dan resiko korosi yang rendah ditunjukkan pada beton busa pozzolan. Ditinjau dari aspek ketahanannya terhadap korosi, beton busa pozzolan sangat layak apabila digunakan sebagai elemen bangunan.

KESIMPULAN

1. Nilai laju korosi pada beton normal berkisar antara 0,0099 mpy sampai dengan 0,0182 mpy. Nilai laju korosi pada beton busa normal berkisar antara 0,00770 mpy sampai dengan 0,01490 mpy.
2. Laju korosi tulangan beton busa pozzolan dalam lingkungan yang korosif lebih rendah dibandingkan dengan laju korosi tulangan dalam beton normal.
3. Tebal selimut beton 2 cm dan 3 cm terlihat memberikan pengaruh terhadap nilai laju korosi pada kedua benda uji.
4. Dengan bertambahnya waktu perendaman, nilai laju korosi yang diperoleh untuk kedua jenis benda uji menunjukkan perubahan dan cenderung meningkat pada setiap minggu pengukuran.
5. Ditinjau dari perilaku korosi pada tulangannya, beton busa layak dijadikan sebagai elemen struktural bangunan.

DAFTAR
Abdul
Amri,
Anoni
Anoni
ASTM
Broor
Dobro
Fajri.,
Fontar
G. Bat
Law, [
M. Nut
Millard,
Mulyon
Neil G.
Neville,
Winner

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Abdullah, Affuddin, Moch, Huzaim., 2007, *Beton Busa Sebagai Bahan Konstruksi Bangunan Teknik Sipil*, Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh
- Amri, Sjafei., 2005, *Teknologi Beton A-Z*, Yayasan John Hi-Tech IDETAMA, Jakarta.
- Anonim., 1999, ACI Committee, *Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*.
- Anonim., 2004, *Annual Book of American Society for Testing and Materials Standard (ASTM)*, New York, USA.
- ASTM C876-91., *Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*, Vol. 03.02., Current Edition Approved March 11, 1991, Published May 1991
- Broomfield, J.P., 2007, *Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair* 2nd edition, Tylor&Francis, New York.
- Dobrowolski, A.J., 1998, *Concrete Construction Hand Book*, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- Fajri., 2012, *Studi Perilaku Korosi Tulangan Pada Beton Busa Dengan Pozzolan Sebagai Pengganti Semen Dalam Kondisi Terendam*. Tesis, Magister Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh.
- Fontana M. G, and N. G. Greene., 1987, *Corrosion Engineering*, Mc. Graw-Hill, New York.
- G. Batis, 2004, *Corrosion Protection of Steel in Pumice Lightweight Mortar by Coating*, Department of Materials Science and Engineering, School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, Athens, Greece.
- Law, D., Millard, S.G., Bungey, J.H, 2000, *Linear Polarisation Resistance Measurements Using a Potentiostatically Controlled Guard Ring*, NTD&E International, Vol. 33, hlm 15 – 21
- M. Nuh dan Sunara Purwadaria., 1994, *Pengembangan Metoda Tahanan Polarisasi, Tinjauan Teori Dan Aplikasinya*, Modul Laboratorium Elektro metalurgi dan Rekayasa Korosi TA-ITB.
- Millard, S.G., Law, D., Bungey, J.H., Cairns, J., 2001, *Environmental Influence on Linear Polarization Corrosion Rate Measurement in Reinforced Concrete*, NTD&E International, Vol. 34, hlm 409 – 417.
- Mulyono, Tri., 2004, *Teknologi Beton*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Neil G. Thompson., and Joe H. Payer, *DC Electrochemical Test Method*, Barry C. Syrett, Series Editor.
- Neville, A.M., 1999, *Properties of Concrete*, Longman, London.
- Winner and Architecture's Life, 2010, *Beton Ringan*, Support Material.