

PERBANDINGAN LAJU KOROSI PADA TULANGAN BETON BUSA NORMAL DAN BETON BUSA POZZOLAN

Zubaidi Amri¹, Abdullah², Syarizal Fonna³

- ¹) Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,
²) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,
³) Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,

Abstract: Reinforced concrete foam is one alternative to replace conventional reinforced concrete on structural elements. This study aims to measure the media immersion and variation of specific gravity (SG) is a variable of interest in this study. The specimen type used is Normal foamed concrete (BB) and pozzolan foamed concrete (BBP). The test specimens used were 8 x 8 x 50 cm, with single reinforcement Ø10 mm in it. Reinforced placement of the reinforcement so that the test specimen has a thickness of 4 cm concrete cover. The specimen was immersed in freshwater and artificial seawater in the form of a 3.5% sodium chloride solution. The measurements results using half-cell potential mapping (HCPM) technique described the highest corrosion risk location. At this location corrosion rate measurement performed using linear polarization resistance (LPR) method. The corrosion rate calculation result of normal foamed concrete SG 1,2, 1,4, 1,6 with NaCl 3.5% and fresh water immersion medium ranged from 0,621 mpy up to 0,854 mpy and 0,194 mpy up to 0,304 mpy. The corrosion rate value of pozzolan foamed concrete SG 1,2, 1,4,1,6 with 3.5% NaCl and fresh water immersion media ranges from 0,429 mpy up to 0,545 mpy and 0,072 mpy up to 0,120 mpy. The larger SG value of the foamed concrete specimen used, the less corrosion rate occurs. Corrosion behavior of pozzolan foamed concrete is better than normal foam concrete, this phenomenon occurs due to the effect of adding 10% pozzolan which causes better foamed concrete permeability, so that the resistance of concrete against corrosion increased. In general the corrosion rate of pozzolan foamed concrete in the freshwater environment and corrosive environment (artificial seawaters of NaCl 3.5%) is smaller than the corrosion rate of normal foamed concrete.

Keywords : Normal foamed concrete, pozzolan foamed concrete, corrosion rate, specific gravity, half-cell potential mapping, linear polarization resistance

Abstrak: Beton busa bertulang merupakan salah satu alternatif untuk menggantikan beton bertulang konvensional pada elemen struktural. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur laju korosi pada beton busa bertulang. Media rendaman dan variasi berat jenis (SG) merupakan variabel yang ditinjau dalam penelitian ini. Jenis benda uji yang digunakan berupa beton busa normal (BB) dan beton busa pozzolan (BBP). Benda uji yang digunakan berbentuk balok 8 x 8 x 50 cm, dengan tulangan tunggal Ø10 mm didalamnya. Dilakukan penempatan tulangan sehingga benda uji memiliki ketebalan selimut 4 cm. Benda uji direndam menggunakan air tawar dan air laut buatan berupa larutan Natrium Clorida 3,5%. Hasil pengukuran menggunakan teknik *half-cell potential mapping* (HCPM) menggambarkan lokasi yang memiliki resiko tertinggi terkorosi. Pada lokasi ini dilakukan pengukuran laju korosi dengan menggunakan metode *linear polarization resistance* (LPR). Hasil perhitungan laju korosi pada beton busa normal SG 1,2 sampai 1,6 dengan media rendaman larutan NaCl 3,5% dan air tawar berkisar antara 0,621 mpy sampai dengan 0,854 mpy dan 0,194 mpy sampai dengan 0,304 mpy. Nilai laju korosi pada beton busa pozzolan SG 1,2, 1,4, 1,6 dengan media rendaman NaCl 3,5% dan air tawar berkisar antara 0,429 mpy sampai dengan 0,545 mpy dan 0,072 mpy sampai dengan 0,120 mpy. Semakin besar nilai SG benda uji beton busa yang digunakan, maka laju korosi yang terjadi semakin kecil. Perilaku korosi beton busa pozzolan lebih baik dari pada beton busa normal, fenomena ini terjadi akibat pengaruh penambahan 10%

pozzolan yang menyebabkan permeabilitas beton busa semakin baik sehingga ketahanan beton terhadap korosipun semakin meningkat. Secara umum laju korosi pada beton busa pozzolan dilingkungan air tawar dan lingkungan korosif (air laut buatan NaCl 3,5%) lebih kecil dibandingkan laju korosi beton busa normal.

Kata kunci : Beton busa normal, beton busa pozzoan, laju korosi, berat jenis, half-cell potential mapping, linear polarization resistance.

Beton bertulang adalah suatu material komposit yang terdiri dari beton dan tulangan baja di dalamnya. Selain beton normal salah satu jenis beton yang dapat digunakan pada konstruksi bangunan adalah beton ringan. Penggunaan beton ringan pada daerah rawan gempa sangat menguntungkan karena mengurangi berat konstruksi.

Beton busa adalah satu dari sekian banyak beton ringan yang mudah untuk diproduksi. Penggunaan bahan tambah seperti pozzolan merupakan sebuah terobosan untuk membuat beton ringan yg lebih ekonomis. Salah satu penyebab utama korosi adalah penetrasi ion klorida ke dalam beton, Penggunaan pozzolan dapat meningkatkan kinerja dan permeabilitas beton, dalam mengantisipasi serangan korosi.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku korosi pada beton busa normal dan beton busa dengan penambahan 10% pozzolan. Tujuan utamanya adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh variasi mutu beton berdasarkan variasi berat jenis beton busa dan beton busa pozzolan terhadap laju korosinya. Sehingga nantinya dapat dipastikan kelayakan beton busa pozzolan apabila digunakan sebagai elemen struktural pada lingkungan yang korosif.

KAJIAN PUSTAKA

Konsep Beton Ringan

Menurut Murdock dan Brook (1999), berat volume sebesar 1850 kg/cm³ dapat dianggap sebagai batasan dari berat beton ringan. Beton ringan sudah digunakan secara luas dengan tujuan mengurangi beban pada struktur bangunan, di negara maju beton ringan dikembangkan sebagai upaya untuk memanfaatkan limbah industri agar tidak merusak lingkungan. Beberapa negara lainnya dikembangkan untuk memanfaatkan material setempat yang berlimpah, (ACI Committee 1999).

Beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan. Dalam keadaan kering dan gembur agregat ringan mempunyai berat isi < 1100 kg/m³ dan mempunyai kepadatan sekitar 300 – 1850 kg/m³, berat jenis yang ringan dan porositas yang tinggi, material ini dapat dihasilkan dari agregat alam maupun hasil buatan, (Mulyono 2004).

Konsep Beton Busa

Menurut Neville and Brooks (1997), beton busa merupakan salah satu jenis beton ringan yang dibuat dengan gelembung-gelembung udara di dalam adukan semen. Ukuran gelembung udara (busa) dalam beton busa sangat kecil kira-kira 0,1~1,0 mm dan tersebar merata menjadikan sifat beton lebih baik untuk menghambat panas dan lebih kedap suara

Beton busa merupakan jenis beton ringan yang paling mudah diproduksi. Abdullah, (2010) 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.

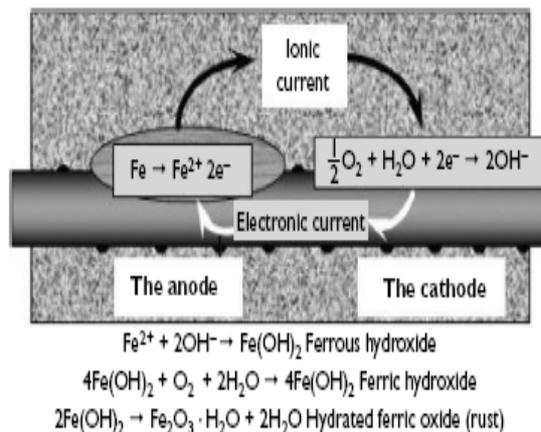
Campuran beton busa terdiri dari semen, air dan foam. Porositas yang terjadi di dalam beton busa sebenarnya tidak membentuk jaringan kapiler, tetapi berupa balon-balon udara yang tidak saling berhubungan., (Swamy,1984).

Korosi Baja Tulangan dalam Beton

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).

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 berupa Fe(OH)₂. Jika konsentrasi O₂ tinggi, maka akan terbentuk Fe(OH)₃. Mekanisme korosi pada tulangan dalam beton seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 1. Rreaksi oksidasi dan hidrasi korosi tulangan

Sumber : Broomfield (2007).

Laju Korosi

Laju korosi dapat didefinisikan sebagai besarnya kehilangan berat bahan persatuan waktu. Laju korosi dapat juga didefinisikan sebagai besarnya kehilangan elektrokimia, yaitu laju korosi pada waktu pengukuran. Laju korosi saat pengukuran didefinisikan sebagai besarnya kehilangan berat bahan persatuan waktu, satuan laju korosi yang digunakan adalah *mils per years* (mpy), *millimeter per years* (mmpy) dan *micrometer per years* (µmpy), maka laju korosi dapat dinyatakan sebagai laju penetrasi atau kehilangan ketebalan per satuan waktu (Broomfield, 2007).

Untuk menentukan laju korosi (CR) pada pengukuran laju korosi dapat dilakukan berdasarkan hukum Faraday, (Fontana 1987) :

$$CR(mpy) = K \frac{ai}{nD}$$

Dimana,

- a = berat atom logam Fe
- i = densitas arus (µA/cm²)
- D = densitas logam Fe (g/cm³)
- K = konstanta (0,129 mpy)
- n = nomor elektron yang hilang.

Metode Pengujian Korosi Beton Bertulang

Ada dua metode yang umum digunakan dalam memonitoring korosi pada beton bertulang. Selain tidak merusak, kedua metode ini juga dikenal cepat dan efisien dalam penggunaannya. Adapun kedua metode tersebut adalah *Half-cell potential technique* dan *Linear polarization resistance method* (LPR).

Teknik *Half-cell potential mapping*

merupakan suatu metode awal mendeteksi korosi tulangan dalam beton. Dengan teknik ini hanya dapat mendeteksi letak 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.

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

No	Cu/CuSO ₄	Ag/AgCl	Standar Hidrogen	Calomel	Kondisi korosi
1	> -200 mV	>-106 mV	>+116 mV	>-126 mV	Rendah (10% resiko korosi)
2	-200 to -350 mV	-106 to -256 mV	+116 to -34 Mv	-126 to -276 mV	Resiko korosi menengah
3	< -350 mV	< -256 mV	< - 34 mV	< -276 mV	Tinggi (<90% resiko korosi)
4	< -500 mV	< -406 mV	< -184 mV	< -426 mV	Tingkat korosi sangat tinggi

Sumber : Broomfield (2007)

Metode tahanan polarisasi linier atau disebut juga *Linear Polarization Resistance* (LPR) adalah metode pengukuran laju korosi berdasarkan fenomena elektrokimia. Teknik pengukuran korosi dengan metode *Linear Polarization Resistance* ini cepat dan tidak mengganggu, hanya membutuhkan koneksi ke baja tulangan, data yang dihasilkan dapat memberikan informasi tentang laju korosi pada tulangan baja, dan nilai potensial korosi 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 menghasilkan perkiraan laju korosi yang lebih baik, apabila dilakukan perhitungan dengan

rentang perubahan nilai potensial korosi 10 sampai 20 mV. Besarnya kemiringan dari kurva polarisasi ini sama dengan tahanan polarisasi

Berikut ini diperlihatkan tabel kriteria laju korosi pada baja tulangan

Tabel 2. Kriteria laju korosi beton bertulang

Level korosi	Rp (Ω cm ²)	i_{corr} (μ A/cm ²)	CR (μ m/tahun)
Sangat tinggi	2,5 – 0,25	10 – 100	100 – 1000
Tinggi	25 – 2,5	1 – 10	10 – 100
Ren-dah/ sedang	250 – 25	0,1 – 1	1 – 10
Pasif	> 250	< 0,1	< 1

Sumber : Law (2000)

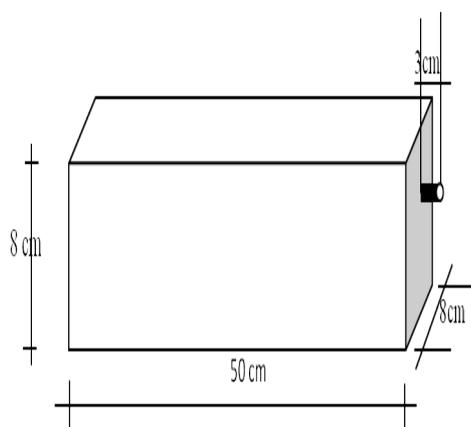
METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Subjek utama dari penelitian ini berupa pengukuran nilai laju korosi tulangan, yang direndam dalam air tawar dan air laut buatan

dengan kandungan 3,5 % NaCl. Jumlah benda yang digunakan dua belas buah, terdiri dari beton busa normal dan beton busa pozzolan.

Benda uji berupa balok beton seperti pada gambar 2, dibuat dengan *specific gravity* (SG) rencana 1,2, 1,4 dan 1,6. Ukuran benda uji dibuat 8 cm x 8 cm x 50 cm, dengan tulangan tunggal Ø10 mm.



Gambar 2. Bentuk dan Ukuran Benda Uji

Alat dan Media yang Digunakan

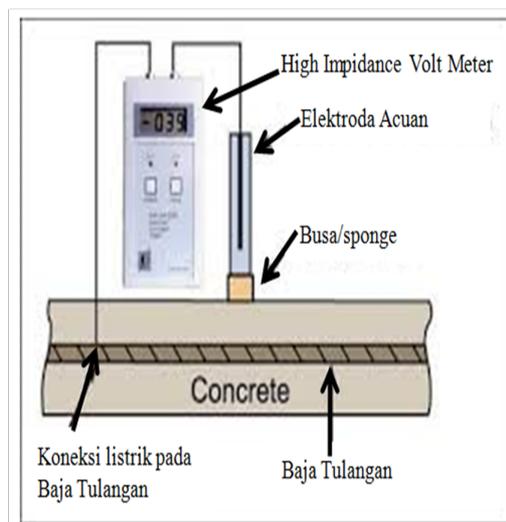
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peralatan untuk mendeteksi baja tulangan dan sengkang di dalam beton, digunakan *profometer* 3 buatan swiss.



Gambar 3. *Set Up* pemetaan tulangan dalam beton
Sumber : Raden (2013)

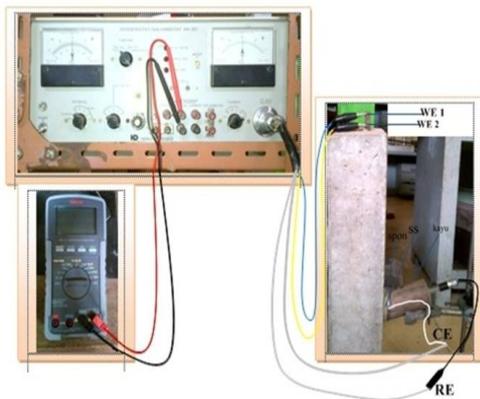
Pengukuran nilai potensial korosi menggunakan *half cell potential mapping*

merek *SCRIBE DHC Digital Half Cell Meter (PC1018)*. Alat ini terdiri dari Multi Tester yang memiliki sensor berupa elektroda baku kolomel jenis SCE (*Saturated Colomel Elektrode*), dan sebuah kabel konektor. Metode yang digunakan untuk pengujian potensial korosi adalah sesuai standar ASTM C876.



Gambar 4. pengukuran potensial korosi beton
Sumber : <http://civil-online2010.blogspot.co.id/2010/09/half-cell-electrical-potential-method.html>. (diakses 17 juni 2017)

Rangkaian peralatan yang digunakan untuk mengukur tahanan polarisasi seperti pada gambar 5, adalah Galvanostat, merek: Hokuto Denko, tipe: HA – 301, Multimeter Digital, alat pengukur arus listrik, Reference Electrode, Saturated Calomel Electrode (SCE) merek: TOA, tipe: HC-205C, Counter Electrode, stainless steel type AISI 304. Pemegang reference elektrode (sce), berfungsi untuk memegang elektroda agar tetap stabil. Bahan kayu yang digunakan juga tidak menghantar arus listrik, dengan demikian pengukuran terhindar dari kesalahan manusia.



Gambar 5. Rangkaian Linear Polarization Resistance (LPR)

Langkah – Langkah Penelitian

Sebelum direndam dilakukan pemetaan tulangan benda uji pada beberapa sisi menggunakan alat profometer, seperti ditunjukkan pada gambar 4. Untuk selanjutnya dilakukan pengukuran potensial menggunakan *digital half cell meter*.

Hasil uji potensial korosi menggunakan teknik *half-cell potential mapping* akan memberikan gambaran lokasi pada permukaan benda uji 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.

Fungsi alat yang digunakan adalah galvanostatik dimana arus sebagai variabel yang dikontrol dan potensial sebagai variabel yang di ukur.

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 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).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju korosi

Hasil perhitungan nilai laju korosi pada beton busa normal SG 1,2, 1,4, 1,6 dengan media rendaman NaCl 3,5% berkisar antara 0,621 mpy sampai dengan 0,854 mpy. Nilai laju korosi pada beton busa normal SG 1,2, 1,4, 1,6 dengan media rendaman air Tawar berkisar antara 0,194 mpy sampai dengan 0,304 mpy.

Tabel 3. Data hasil perhitungan nilai laju korosi BB dan BBP tebal selimut 4 cm media rendaman NaCl 3,5%.

Nilai Laju Korosi Tebal Selimut 4 cm pada Media Rendaman NaCl 3,5%						
	Minggu - 0	Minggu - 2	Minggu - 4	Minggu - 6	Minggu - 8	Minggu - 10
BNOR	1.069	1.079	1.089	1.060	1.109	1.099
BB SG 1,2	0.873	0.886	0.893	0.860	0.854	0.899
BB SG 1,4	0.698	0.702	0.719	0.707	0.711	0.715
BB SG 1,6	0.618	0.612	0.621	0.609	0.606	0.615
BBP SG 1,2	0.532	0.547	0.535	0.545	0.540	0.542
BBP SG 1,4	0.475	0.479	0.471	0.483	0.473	0.477
BBP SG 1,6	0.425	0.429	0.427	0.419	0.422	0.424

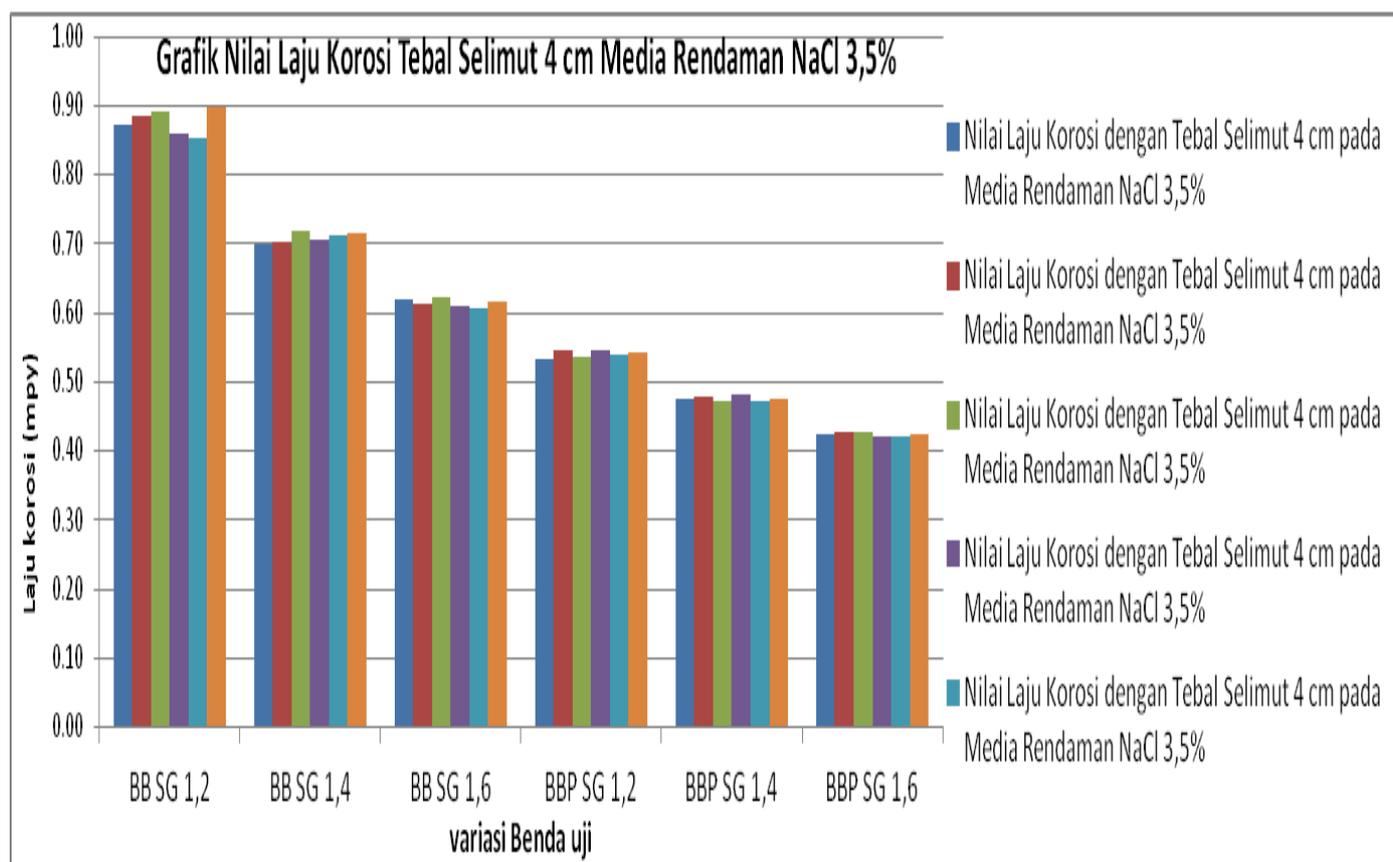
Tabel 4. Data hasil perhitungan nilai laju korosi BB dan BBP tebal selimut 4 cm media rendaman air tawar.

Nilai Laju Korosi Tebal Selimut 4 cm pada Media Rendaman AirTawar						
	Minggu - 0	Minggu - 2	Minggu - 4	Minggu - 6	Minggu - 8	Minggu - 10
BNOR	0.368	0.362	0.364	0.366	0.373	0.376
BB SG 1,2	0.308	0.304	0.308	0.312	0.306	0.314
BB SG 1,4	0.237	0.236	0.238	0.239	0.241	0.242
BB SG 1,6	0.192	0.180	0.189	0.190	0.194	0.193
BBP SG 1,2	0.127	0.120	0.124	0.121	0.124	0.131
BBP SG 1,4	0.087	0.088	0.088	0.089	0.088	0.091
BBP SG 1,6	0.066	0.063	0.067	0.066	0.071	0.072

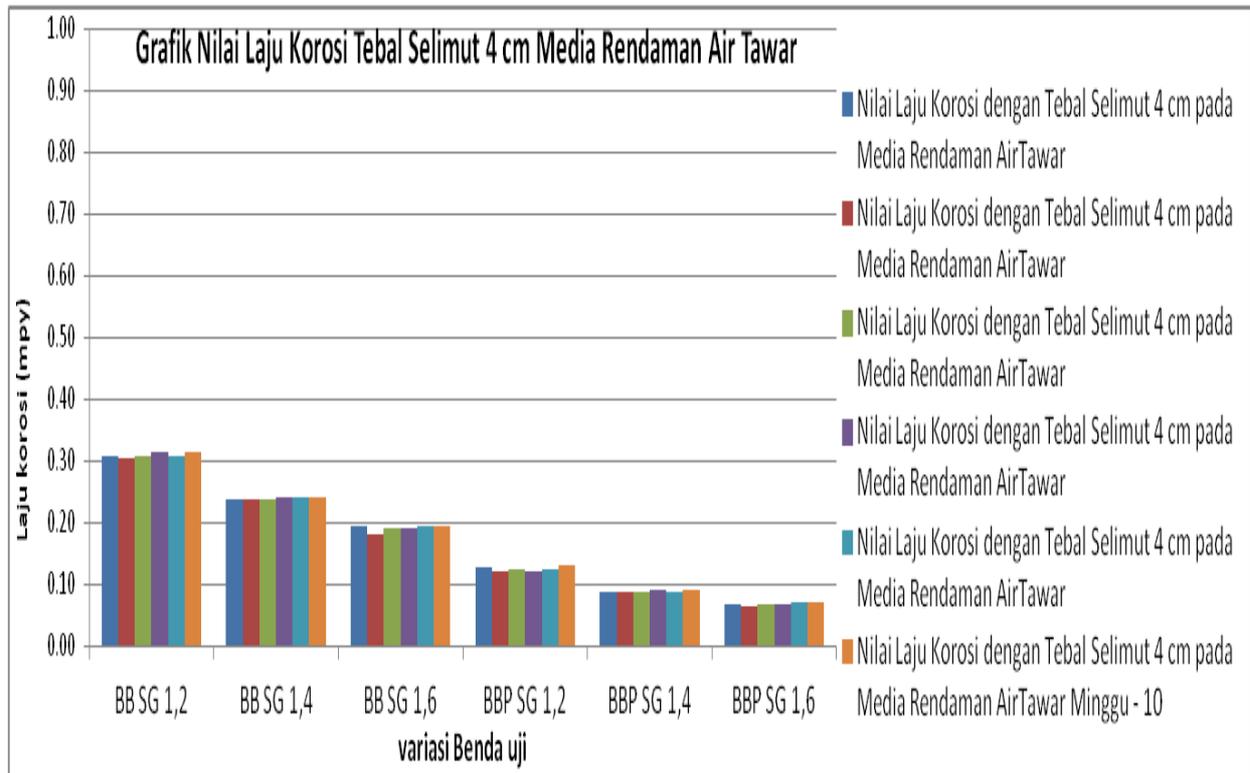
Nilai laju korosi pada beton busa pozzolan SG 1,2, 1,4, 1,6 dengan media rendaman NaCl 3,5% berkisar antara 0,429 mpy sampai dengan 0,545 mpy. Nilai laju korosi pada beton busa pozzolan SG 1,2, 1,4 1,6, dengan media rendaman Air Tawar berkisar

antara 0,072 mpy sampai dengan 0,120 mpy.

Seiring bertambah besarnya nilai SG dari benda uji, nilai laju korosi untuk setiap variasi benda uji menunjukkan perubahan dan cenderung menjadi lebih kecil pada setiap minggu pengukuran.



Gambar 6. Grafik perbandingan laju korosi BB dan BBP tebal selimut 4 cm media rendaman air tawar.



Gambar 7. Grafik perbandingan laju korosi BB dan BBP tebal selimut 4 cm media rendaman NaCl 3,5%.

Dari Gambar 6 dan 7, terlihat bahwa laju korosi pada beton busa normal lebih tinggi dibandingkan dengan laju korosi pada beton busa pozzolan untuk setiap beda media rendaman. Berdasarkan beda variasi jenis benda uji, maka nilai laju korosi pada beton busa normal lebih besar dibandingkan nilai laju korosi pada beton busa pozzolan baik untuk media rendaman air tawar maupun rendaman NaCl 3,5%.

Salah satu indikator penyebabnya adalah pengaruh kemampuan absorbsi benda uji yang beragam. Secara umum semakin besar nilai SG dari benda uji maka kemampuan permeabilitas dari setiap benda uji menjadi semakin baik, dimana persentase absorpsinya semakin kecil. Fenomena ini mengakibatkan penetsi yang terjadi kedalam beton semakin kecil, sehingga resiko dan laju korosi yang

terjadi semakin kecil.

Abdullah (2010), 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.

Berdasarkan hasil pengukuran data dan perhitungan laju korosi, maka resiko dan laju korosi yang lebih tinggi ditunjukkan oleh beton busa normal sementara resiko korosi yang lebih rendah ditunjukkan oleh beton busa pozzolan. Hal ini terjadi baik pada media rendaman air tawar maupun pada lingkungan yang korosif dengan perendaman dalam air

laut buatan dengan kandungan NaCl 3,5%. Apabila ditinjau dari segi perilaku ketahanan terhadap korosi, maka beton busa pozzolan lebih baik digunakan sebagai bahan elemen struktural dibandingkan beton busa normal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian adalah sebagai berikut :

1. Semakin besar nilai SG benda uji beton busa dan beton busa pozzolan yang digunakan, maka laju korosi pada tulangan yang terjadi semakin kecil untuk setiap variasi benda uji.
2. Perilaku korosi beton busa pozzolan lebih baik dari pada beton busa normal, fenomena ini terjadi akibat pengaruh penambahan 10% pozzolan yang menyebabkan permeabilitas beton busa semakin baik sehingga ketahanan beton terhadap korosipun semakin meningkat.
3. Secara umum laju korosi baja tulangan dalam beton busa pozzolan pada lingkungan air tawar dan lingkungan yang korosif (air laut buatan NaCl 3,5%) lebih kecil dibandingkan laju korosi tulangan dalam beton busa normal dan beton normal.

Saran

Penelitian ini diharapkan dapat dilanjutkan oleh peneliti lain, dengan memperhatikan beberapa variabel sebagai isu utama antara lain dengan memakai dan menyempurnakan peralatan yang telah dibuat dalam penelitian ini. Melakukan penelitian

dengan rentang waktu yang lebih lama, menggunakan variasi media rendaman berupa unsur yang bersifat korosif lain seperti sulfat.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Abdullah, Afifuddin, Moch, Huzaim , 2010, *Beton Busa Sebagai Bahan Konstruksi Bangunan Teknik Sipil*, Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh.
- ACI Committee 213., 1999, *Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*.
- Anonim, 2011, *Data Teknis*, PT. Sika Indonesia, Jakarta.
- ASTM C876-91, *Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*, Vol. 03.02., Current Edition Approved March 11, 1991, Published May 1991, *Original Published as C 876-77. Last Previous Edition C876-87*.
- Broomfield, J.P., 2007, *Corrosion of Steel in Concrete (Understanding, Investigation and Repair)* 2nd edition, Tylor&Francis, 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.
- 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.

Mulyono, T., 2004, *Teknologi Beton*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.

Murdock, L.J., dan K.M., Brook, 1999, *Bahan dan Praktek Beton*, terjemahan Stephanus Hendarko, Erlangga, Jakarta.

Neville, A. M., dan Brooks, J. J., 1997, *Concrete Technology*, Longman, London.

Swamy, R.N., 1984, *Fly Ash Utilization in Concrete Construction, Proceeding Second International Conference on Ash Technology and Marketing*, London.