



## Analisis Prediksi Korosi Tulangan pada Beton Busa Bertulang dengan Metode *Half Cell Potential Mapping*

Fajri\*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Lhokseumawe, 24301, Indonesia.

<sup>2</sup>*Geopolymer and Green Technology Research Center*, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Lhokseumawe, 24301, Indonesia.

\*Email korespondensi: [fajri@pnl.ac.id](mailto:fajri@pnl.ac.id)<sup>1</sup>

Diterima Desember 2020; Disetujui Januari 2021; Dipublikasi Januari 2021

**Abstract:** *Half-cell potential mapping is a simple non-destructive test method for the corrosion of reinforcing steel. This study aim to analyze the prediction of reinforcing corrosion in reinforced foam concrete using the Haf-Cell Potential Mapping method. The test includes mapping of reinforcing steel and measuring corrosion potential. The specimen is beam of 15cm x 20cm x 80cm size. The main reinforcement is 4Ø10mm and stirrup Ø6-10cm, and concrete cover thickness of 20mm. Cement water ratio is 0,4; specific gravity 1,6 and compressive strength of 25MPa. The specimens were immersed in a 3,5% sodium chloride solution and in well water as a control. Corrosion potential measurements were carried out every 2 weeks for 16 weeks. The results showed that the corrosion potential value increased due to the duration of immersion. The corrosion potential value of the specimen immersed in NaCl solution is -300mV, the risk of corrosion is 90%. The corrosion potential value of the specimen immersed in well water is -200mV, the risk of corrosion is at 50%. Foam concrete soaked in seawater has a greater risk of corrosion than in well water. But the risk of foam concrete submerged in seawater is still smaller than conventional concrete submerged in seawater.*

**Keywords:** *foam concrete, corrosion, half-cell potential.*

**Abstrak:** *Half cell potential mapping merupakan salah satu metode sederhana untuk pengujian korosi baja tulangan tanpa merusak beton. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis prediksi korosi tulangan dalam beton busa bertulang dengan menggunakan metode haf cell potential mapping. Pengujian meliputi mapping baja tulangan dari permukaan beton dan pengukuran potensial korosi. Benda uji dibuat berbentuk balok dengan ukuran 15cm x 20cm x 80cm. Tulangan utama digunakan 4Ø10mm dan sengkang Ø6 – 10cm dengan tebal selimut beton 20mm. Menggunakan beton dengan faktor air semen 0,4; specific gravity 1,6 dan kuat tekan rata-rata 25 MPa. Benda uji direndam dalam larutan natrium klorida 3,5% dan dalam air sumur sebagai kontrol. Pengukuran potensial korosi dilakukan setiap 2 (dua) minggu sekali selama 16 minggu. Hasil penelitian menunjukkan nilai potensial korosi semakin meningkat sebanding dengan lamanya perendaman. Nilai potensial korosi benda uji yang direndam dengan larutan NaCl adalah sebesar -300mV, risiko korosi sebesar 90%. Nilai potensial korosi benda uji yang direndam air sumur sebesar -200mV, risiko korosi berada pada posisi 50%. Beton busa yang direndam media air laut memiliki risiko korosi lebih besar dibandingkan yang direndam dalam air sumur. Tetapi risiko korosi beton busa terendam air laut tetap lebih kecil dibanding beton konvensional terendam air laut..*

**Kata kunci :** *beton busa, korosi, half-cell potential.*

Wilayah Indonesia pada umumnya dan wilayah Aceh pada khususnya terletak di daerah patahan lempengan bumi. Kondisi demikian menyebabkan wilayah tersebut rawan terhadap gempa, baik kecil maupun besar. Selain itu sebagian besar wilayah Aceh dikelilingi oleh pantai, yang merupakan lingkungan penyebab korosi pada bangunan (Siddiq, 2008). Salah satu cara untuk mengurangi beban gempa pada bangunan adalah dengan mengurangi massa (berat) bangunan tersebut, sehingga gaya gempa yang bekerja menjadi lebih kecil (Amran et al., 2015). Apabila struktur bangunan dibuat dari konstruksi beton bertulang, maka penggunaan elemen bangunan dari beton ringan menjadi suatu alternatif, terutama untuk bangunan rumah tinggal atau struktur sederhana.

Salah satu jenis beton ringan adalah beton busa. Beton busa relatif mudah diproduksi, sehingga dapat terus dikembangkan untuk penggunaan yang lebih luas. Penelitian beton busa yang telah dilakukan di antaranya adalah melihat pengaruh perubahan faktor air semen dan penambahan bahan pengisi, serat, maupun pengganti semen (Rahmawati & Meliyana, 2019), seperti kelapa (Palanisamy et al., 2020), batu apung (Kurt et al., 2016), cangkang kelapa sawit (Oyejobi et al., 2020), karbit (Rahmawati et al., 2020), dan *fly ash* (Gopalakrishnan et al., 2020). Semua penambahan tersebut dimaksudkan untuk memperbaiki sifat mekanis beton busa. Seperti pencapaian penelitian bahwa beton ringan busa dapat diproduksi dengan mutu struktural, yaitu  $f'c > 17$  MPa (Riadi & Abdullah, 2015).

Beton busa yang terus dikembangkan untuk digunakan sebagai elemen struktural perlu dikaji

lebih dalam ketahanannya terhadap korosi, sehingga layak digunakan sebagai elemen struktural, terutama untuk kawasan yang rentan terhadap korosi, seperti di pinggir pantai, rawa dan lain-lain. Dalam penelitian ini yang dipelajari adalah penggunaan metode *half cell potensial corrosion* untuk mengukur kemungkinan korosi pada tulangan dalam beton busa. Untuk mempercepat proses korosi dalam tulangan, beton direndam dalam air laut buatan, berupa larutan NaCl 3,5% dan juga dibuat benda uji lain yang direndam dalam air sumur sebagai benda uji kontrol.

#### KAJIAN PUSTAKA

Beton busa diharapkan dapat dijadikan alternatif kedepan sebagai pengganti material beton konvensional, untuk mengurangi berat sendiri beberapa elemen pada konstruksi. Terutama di wilayah yang rawan gempa.

#### Beton Busa

Beton busa merupakan jenis beton ringan yang paling mudah diproduksi. 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 (Riadi & Abdullah, 2015). Material pembentuk beton ini adalah Semen atau pengganti semen, air, pasir atau agregat pengganti pasir dan busa.

Beton busa sudah mulai digunakan sebagai isolasi terhadap panas karena konduktivitas termalnya yang rendah, dan lebih tahan api. Secara struktural, beton busa dapat digunakan sebagai bahan konstruksi untuk lantai dan balok. Kelebihan lain dari beton busa adalah dapat digergaji atau dipotong sesuai ukuran yang diinginkan, dapat dipaku dan lebih awet. Penelitian balok beton busa bertulang yang telah dilakukan menunjukkan bahwa balok beton tersebut layak digunakan sebagai elemen struktural (Rommel et al., 2018). Tetapi perilaku elemen struktural tersebut ketika berinteraksi dengan lingkungan belum diteliti, terutama perilaku korosi tulangnya ketika terpapar dengan lingkungan yang korosif.

### Baja tulangan beton

Baja adalah logam campuran yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C). Baja berbeda dengan besi, aluminium (Al), seng (Zn), tembaga (Cu) dan titanium (Ti) yang merupakan logam murni. Dalam senyawa antara besi dan karbon, yang merupakan unsur nonlogam, tersebut besi menjadi unsur yang lebih dominan. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2 – 2,1% dari berat baja, tergantung mutu baja. Secara sederhana, fungsi karbon adalah meningkatkan kualitas baja, berupa daya tarik (*tensile strenght*) dan kekerasan (*hardness*) baja. Selain karbon, sering juga ditambahkan unsur chrom (Cr), nikel (Ni), vanadium (V), molybdaen (Mo) untuk mendapatkan sifat lain sesuai aplikasi di lapangan. Seperti anti korosi, tahan api dan tahan temperatur tinggi (ASTM A 751-07a, 2007).

Berdasarkan SNI 2052:2017 baja yang

digunakan sebagai tulangan dalam beton berbentuk lingkara dan dibagi menjadi 2 jenis, yaitu baja tulangan polos (BJTP) dan baja tulangan sirip/ ulir (BJTS). Baja tulangan sirip dimaksudkan untuk menambah lekatan antar baja dan beton. Kelas dan sifat mekanis baja yang digunakan sebagai tulangan beton seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1. Kelas dan Sifat Mekanis Baja Tulangan Beton**

Kelas baja tulangan	Uji tarik			Uji lengkung		Rasio TS/YS (Hasil Uji)
	Kuat luluh/leleh (YS) MPa	kuat tarik (TS) MPa	Regangan dalam 200 mm, Min. %	sudut lengkung	diagram	
					pelengkung	
BJTP 280	Min. 280 Maks. 405	Min. 350	11 (d ≤ 10 mm)	180°	3,5d (d ≤ 16 mm)	-
			12 (d ≥ 12 mm)	180°	5d (d ≥ 19 mm)	
BJTS 280	Min. 280 Maks. 405	Min. 350	11 (d ≤ 10 mm)	180°	3,5d (d ≤ 16 mm)	Min. 1,25
			12 (d ≥ 13 mm)	180°	5d (d ≥ 19 mm)	
BJTS 420A	Min. 420 Maks. 545	Min. 525	9 (d ≤ 19 mm)	180°	3,5d (d ≤ 16 mm)	Min. 1,25
			8 (22 ≤ d ≤ 25 mm)	180°	5d (19 ≤ d ≤ 25 mm)	
			7 (d ≥ 29 mm)	180°	7d (29 ≤ d ≤ 36 mm)	
BJTS 420B	Min. 420 Maks. 545	Min. 525	14 (d ≤ 19 mm)	180°	3,5d (d ≤ 16 mm)	Min. 1,25
			12 (22 ≤ d ≤ 36 mm)	180°	5d (19 ≤ d ≤ 25 mm)	
			10 (d > 36 mm)	180°	7d (29 ≤ d ≤ 36 mm)	
				90°	9d (d > 36 mm)	
BJTS 520	Min. 520 Maks. 645	Min. 650	7 (d ≤ 25 mm)	180°	5d (d ≤ 25 mm)	Min. 1,25
			6 (d ≥ 29 mm)	180°	7d (29 ≤ d ≤ 36 mm)	
				90°	9d (d > 36 mm)	
BJTS 550	Min. 550 Maks. 675	Min. 687,5	7 (d ≤ 25 mm)	180°	5d (d ≤ 25 mm)	Min. 1,25
			6 (d ≥ 29 mm)	180°	7d (29 ≤ d ≤ 36 mm)	
				90°	9d (d > 36 mm)	
BJTS 700	Min. 700 Maks. 825	Min. 805	7 (d ≤ 25 mm)	180°	5d (d ≤ 25 mm)	Min. 1,15
			6 (d ≥ 29 mm)	180°	7d (29 ≤ d ≤ 36 mm)	
				90°	9d (d > 36 mm)	

**Keterangan:**  
1. d adalah diameter nominal baja tulangan beton  
2. hasil uji lengkung tidak boleh menunjukkan retak pada sisi luar lengkung benda uji lengkung

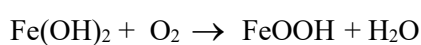
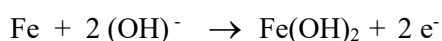
Sumber : SNI 2052:2017

Baja memiliki kelebihan berupa kekuatan tarik yang tinggi dan daktilitas yang baik, berbeda dengan beton yang memiliki kekuatan tarik yang sangat rendah dan bersifat getas. Sehingga perpaduan antara beton dengan baja di dalamnya, merupakan material komposit yang saling mendukung dalam menahan beban luar yang bekerja. Tetapi kelemahan baja salah satunya adalah mudah terkorosi bila berhubungan langsung dengan lingkungannya tanpa terlindungi. Beton dapat berfungsi sebagai *coating* atau pelindung baja dari kontaminasi langsung dengan lingkungan.

### Proses korosi baja tulangan beton

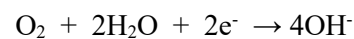
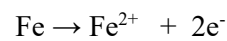
Broomfield, mendefinisikan korosi sebagai kerusakan atau penurunan mutu suatu material yang diakibatkan oleh reaksi antar lingkungan dan material itu sendiri. Serangan ion klorida dan karbonasi merupakan penyebab korosi yang paling utama (Claisse, 2008). Pori-pori pada beton normal pada umumnya menerus (kapiler) dengan diameter 3nm – 2µm. Ukuran diameter pori kapiler tersebut memungkinkan senyawa sekitar beton untuk berinfiltrasi ke dalam beton dengan cara berdifusi, permeasi atau penyerapan kapiler yang dapat menyebabkan lapisan pasif rusak (Wasserman & Bentur, 1997).

Lapisan pasif adalah lapisan yang terbentuk secara alami saat proses hidrasi semen yang juga berinteraksi dengan baja tulangan saat proses pengecoran beton. Kalsium hidroksida yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen akan menyebabkan larutan pori beton memiliki pH 12,5. Namun jika dalam semen juga ada K<sub>2</sub>O dan Na<sub>2</sub>O, produk hidrasi semen juga akan mengandung NaOH dan KOH yang menyebabkan pH larutan naik sampai 13,8 (Schwalm & Schütze, 2000). Dalam lingkungan dengan pH yang tinggi tersebut, baja tulangan akan pasif dan terbentuk selaput pasif protektif berupa senyawa besi oksida (γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) atau senyawa besi hidroksida (γ-FeOOH). Proses reaksinya sebagai berikut (Wasserman & Bentur, 1997) :

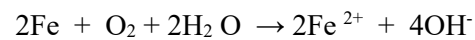


Selaput pasif ini merata dan melekat kuat pada permukaan baja tulangan, sehingga menghalangi kontak antar baja tulangan dengan lingkungannya dan menghambat pelarutan baja. Ketebalan selaput ini 10<sup>-1</sup>µm dan dapat melindungi tulangan beton dari korosi selama larutan pori beton tetap bersifat basa dan tidak terkontaminasi dengan ion-ion klorida (Nugraha, 2007).

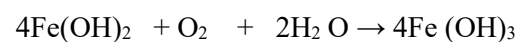
Permukaan baja yang lapisan pasifnya hilang, menjadi anoda dari reaksi korosi baja tulangan. Persamaan reaksi anoda dan katoda adalah (Claisse, 2008):



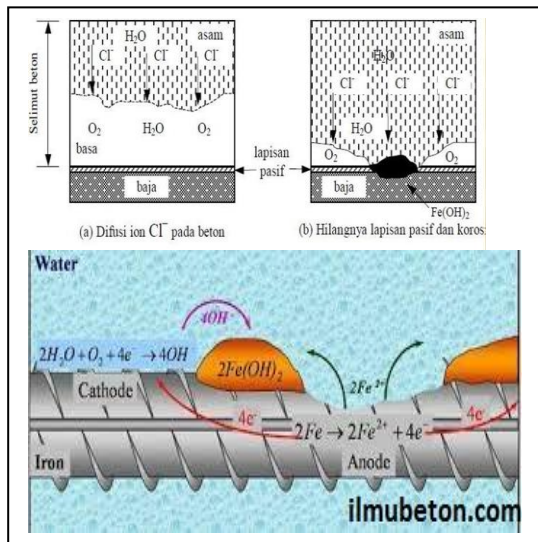
Kedua ion yang terbentuk pada anoda dan katoda bergabung membentuk senyawa hasil korosi. Persamaan reaksi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:



Fe(OH)<sub>2</sub> sebagai bentuk awal senyawa hasil korosi akan berada di permukaan baja yang mengalami korosi. Jika konsentrasi O<sub>2</sub> tinggi, maka akan terbentuk Fe(OH)<sub>3</sub>. Dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Mekanisme korosi pada tulangan dalam beton seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Mekanisme korosi pada baja Tulangan beton

Sumber : Brommfield (2008)

### Pengukuran Korosi dengan Metode Half Cell Potential Mapping

Korosi merupakan peristiwa elektrokimia, dimana terjadi aliran elektron dari anoda menuju katoda atau pengaruh derajat keasaman (pH). 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. Korosi akan terjadi bila ada perbedaan potensial listrik antara anoda dan katoda. Nilai potensial suatu bahan diperoleh dengan mengukur selisih potensial dari bahan tersebut dengan suatu elektroda baku seperti elektroda kolomel jenis SCE (*Saturated Colomel Elektrode*) dan SHE (*Standar Hydrogen Elektrode*) dan *Agcl*, semakin negatif (aktif) potensial bahan semakin besar kecenderungan untuk terjadi korosi (Fontana, 1986). Beberapa nilai potensial bahan diperlihatkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Deret Galvanik

Reaksi elektroda		Potensial, E(Volt)
Nobel atau Katodik	Au - Au <sup>-3</sup>	+ 1,498
	Pt - Pt <sup>-2</sup>	+ 1,2
	Pd - Pd <sup>-2</sup>	+ 0,987
	Ag - Ag <sup>-</sup>	+ 799
	Hg - Hg <sup>+</sup>	+ 0,788
	Cu - Cu <sup>-2</sup>	+ 0,337
	H <sub>2</sub> - H <sup>-</sup>	0,000
	Pb - Pb <sup>-</sup>	- 0,126
	Sn - Sn <sup>-2</sup>	- 0,136
	Ni - Ni <sup>-2</sup>	- 0,250
Aktif atau Anodik	CO - CO <sup>-2</sup>	- 0,277
	Cd - Cd <sup>-2</sup>	- 0,403
	Fe - Fe <sup>-2</sup>	- 0,440
	Cr - Cr <sup>-3</sup>	- 0,744
	Zn - Zn <sup>-2</sup>	- 0,763
	Al - Al <sup>-3</sup>	- 1,662
	Mg - Mg <sup>-2</sup>	- 2,363
	Na - Na <sup>-</sup>	- 2,714
	K - K <sup>-</sup>	- 2,925

Sumber: Fontana (1987)

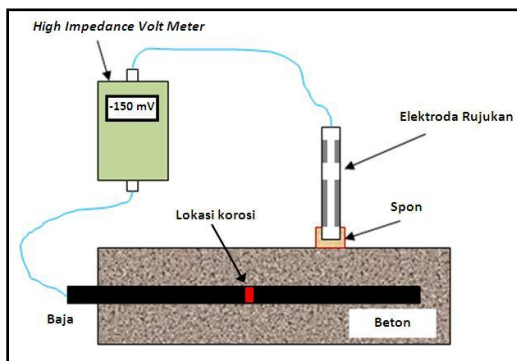
*Half-cell potential mapping* atau disebut juga *half-cell potential technique* merupakan metode untuk survey awal mendeteksi korosi tulangan dalam beton, yang diukur dari permukaan beton tanpa merusak. Dengan teknik ini dapat diprediksi letak daerah risiko tinggi dan risiko rendah korosi, tetapi tidak dapat digunakan untuk mengukur laju korosi (Broomfield, 2011). Berikut tabel nilai potensial pada permukaan tulangan baja untuk beberapa standar *half-cell*.

Tabel 3. ASTM kriteria korosi tulangan baja untuk beberapa standar half-cell

No	Copper copper sulphate	Silver silver chloride	Hydrogen Electrode	Calomel Electrode	Corrosion Condition
1	>-200 mV	>-106 mV	>+116 mV	>-126 mV	Low risk (10%)
2	-200 to-350 mV	-106 to-256 mV	+116 to-34 mV	-126 to-276 mV	Intermediate risk (50%)
3	<-350 mV	<-256 mV	<- 34 mV	<-276 mV	High risk (90%)
4	<-500 mV	<-406 mV	<-184 mV	<-426 mV	Severe corrosion

Sumber : Broomfield (2011)

*Half-cell potential* adalah potensial dari separuh potensial sel reduksi atau oksidasi pada daerah katoda dan anoda. Nilai potensial yang terukur dianggap mewakili nilai sebenarnya pada permukaan baja tulangan. Hasil pembacaan berupa beda potensial (mV), semakin tinggi beda potensial, maka semakin tinggi indikasi korosi tulangan di dalam beton. Pengukuran didasarkan pada ASTM C876 – 91 *Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete* (Assouli et al., 2008). Gambar 2 menunjukkan metode *half-cell potential mapping*.



Gambar 2. Mekanisme pengukuran dengan half cell potential mapping

## METODE PENELITIAN

### Persiapan alat dan bahan

Peralatan utama yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah: peralatan persiapan dan pembuatan benda uji berupa alat ukur, alat pengaduk beton (molen), *foam generator*, cetakan benda uji, *hydraulic jack*, dan perangkat komputer untuk pengolahan data. Peralatan untuk pengujian benda uji adalah *profometer-3* buatan swiss untuk mendeteksi dan *mapping* baja tulangan dan sengkang di dalam beton, sebagai ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Profometer-3

Pengukuran nilai potensial korosi menggunakan *half cell potential mapping* merek *SCRIBE DHC Digital Half Cell Meter (PC1018)*, alat ini menggunakan elektroda baku kolomel jenis SCE (*Saturated Colomel Elektrode*), seperti ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.

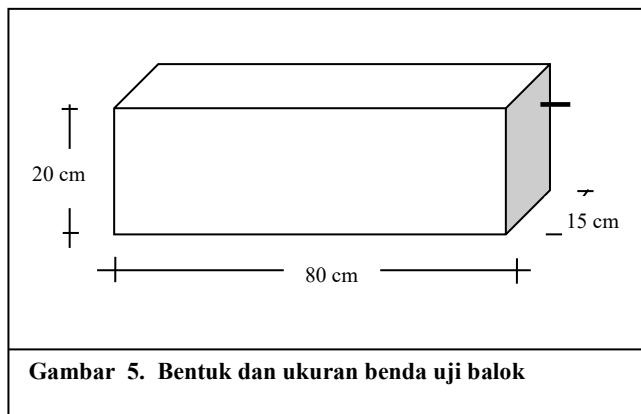


Gambar 4. Digital half cell potential

Bahan yang dipakai untuk pembuatan benda uji terdiri dari baja tulangan, air, semen, *foam agent*, *Superplasticizer Type B* dan larutan NaCl 3,5 %. Baja tulangan yang digunakan adalah tulangan polos Ø 10 mm mutu U 32 untuk tulangan utama dan Ø 6 mm mutu U 24 untuk sengkang. Semen digunakan semen Portland tipe I produksi PT Semen Andalas Indonesia (PT. SAI) yang telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-2049-1994 dan SNI 03-2847-2002. *Foam agent* berasal dari busa sintetik yang telah diolah dengan menggunakan bahan kimia untuk menghasilkan busa yang sejenis busa sabun sehingga dapat digunakan sebagai pengisi campuran beton.

### Rancangan penelitian

Benda uji berupa balok beton busa dibuat dengan kuat tekan rencana  $f'_c$  25MPa, FAS 0,4 dan SG 1,6. Ukuran benda uji dibuat 15cm x 20cm x 80cm, dibuat sebanyak 2 buah, 1 untuk benda uji kontrol direndam dalam air sumur dan 1 direndam dalam larutan NaCl 3,4%. Bentuk dan dimensi benda uji diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk dan ukuran benda uji balok

Pekerjaan dimulai dengan perencanaan proporsi campuran, pengukuran volume material, pengadukan, pengecoran dan perawatan benda uji. Pencampuran dilakukan dengan memasukkan secara berurutan air, semen dan bahan tambah sambil diaduk di dalam molen. Selanjutnya dilakukan *flow test* pada pasta semen, sampai mencapai diameter  $\geq 20$ cm, apabila tidak tercapai ditambahkan *Superplasticizer*. Kemudian dimasukkan *foam agent* dan di aduk lebih kurang 3 menit dengan kemiringan sumbu molen  $45^\circ$ . *Foam agent* dibuat dari busa sintetis yang dicampur dengan air menggunakan generator.

Adukan mortar dituang ke dalam cetakan tanpa perlu dipadatkan dan beberapa saat kemudian ditutup dengan goni basah. Setelah 24 jam cetakan dapat dibuka pada satu sisi dan setelah 2 hari cetakan dapat dibuka seluruhnya. Benda uji

kemudian direndam dalam air sumur. Setelah 6 hari benda uji diangkat dan dianginkan di tempat yang teduh sampai mencapai umur 28 hari. Kemudian di rendam dalam media perendaman air laut buatan, larutan NaCl 3,5%, dan air sumur. Pengambilan data dilakukan setiap dua minggu sekali selama 16 minggu.

### Prosedur pengujian *half cell potential*

Sebelum benda uji direndam, dilakukan pemetaan tulangan dengan alat *profometer-3* dan digambar letak tulangan, baik tulangan utama maupun tulangan sengkang dengan spidol permanen seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Sebelum benda uji direndam dalam media perendaman, dilakukan pengukuran potensial awal (minggu 0).



Gambar 6. Pemetaan tulangan dengan Profometer-3

Pengukuran selanjutnya dilakukan setiap 2 minggu sekali. Pengukuran dilakukan pada setiap titik pertemuan tulangan utama dan sengkang dengan alat *half cell potential mapping*. Pada saat pengukuran benda uji dikeluarkan dari bak rendaman dan dianginkan di bawah tempat yang teduh selama 5 jam, agar pembacaan nilai potensial stabil.

Cara pengukuran dengan *half cell potential mapping* adalah pertama ujung besi tulangan yang dilebihkan dibersihkan dengan kertas amplas.

Kemudian kabel penghubung dari elektroda acuan dihubungkan ke bagian tulangan besi. Tunggu beberapa detik hingga angka pada *digital half cell* stabil biasanya ditandai dengan angka mendekati angka nol. Setelah itu masukkan busa penghubung ke ujung elektroda acuan setelah terlebih dahulu dibasahi dengan aquades dan elektroda acuan digunakan dengan meletakkan bagian busa ke permukaan beton bertulang secara vertikal.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari pengujian half cell potential mapping berupa tabel pengukuran rata-rata potensial per titik pada permukaan balok berbanding waktu pengujian. Hasilnya seperti diperlihatkan pada Tabel 4 dan 5 berikut ini.

**Tabel 4. Nilai potensial korosi beton busa normal terendam air sumur.**

Titik Pengukuran	Minggu 0	Minggu 2	Minggu 4	Minggu 6	Minggu 8	Minggu 10	Minggu 12	Minggu 14	Minggu 16
A1	-108.33	-170.33	-126.33	-159.00	-157.67	-87.33	-133.00	-132.67	-201.6
A2	-115.67	-178.00	-126.33	-133.67	-143.33	-78.00	-127.00	-134.67	-204.6
A3	-100.67	-165.00	-121.00	-144.33	-147.33	-97.67	-119.67	-124.33	-179.3
A4	-90.33	-156.33	-119.67	-123.67	-125.00	-65.67	-107.67	-128.67	-176.6
A5	-131.00	-174.33	-142.00	-164.67	-164.00	-81.67	-130.00	-149.33	-186.6
A6	-119.00	-175.33	-128.67	-161.00	-163.00	-86.33	-124.33	-145.00	-173.6
A7	-138.00	-173.33	-140.67	-144.67	-162.00	-84.00	-111.00	-120.00	-159.0
B1	-119.00	-172.00	-150.00	-179.33	-166.00	-104.67	-155.00	-162.67	-217.3
B2	-90.67	-147.33	-112.67	-158.67	-155.67	-90.33	-141.00	-152.67	-190.0
B3	-94.67	-151.33	-126.67	-156.33	-141.67	-78.00	-128.67	-128.00	-166.3
B4	-97.33	-162.33	-137.00	-160.00	-157.00	-87.67	-133.67	-139.67	-172.0
B5	-94.67	-156.67	-127.00	-161.67	-154.67	-94.33	-135.33	-152.00	-185.3
B6	-80.33	-138.33	-115.67	-119.33	-118.33	-66.67	-89.00	-110.00	-154.3
B7	-99.33	-151.33	-132.33	-142.67	-142.67	-67.67	-118.33	-122.33	-155.0

**Tabel 5. Nilai potensial korosi beton busa normal terendam air larutan NaCl 3,5%.**

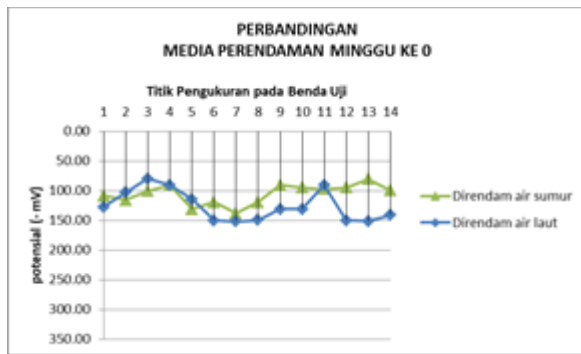
Titik Pengukuran	Minggu 0	Minggu 2	Minggu 4	Minggu 6	Minggu 8	Minggu 10	Minggu 12	Minggu 14	Minggu 16
A1	-127.67	-340.00	-279.67	-209.67	-351.00	-268.67	-306.67	-266.00	-302.0
A2	-103.00	-329.00	-273.67	-214.33	-343.33	-261.00	-292.00	-254.33	-276.0
A3	-79.67	-320.33	-280.33	-223.67	-356.67	-273.00	-289.33	-273.67	-304.6
A4	-90.67	-309.67	-267.33	-205.33	-355.33	-268.00	-294.00	-243.00	-285.6
A5	-114.67	-311.33	-268.67	-193.33	-347.67	-259.67	-302.67	-250.33	-274.6
A6	-150.00	-325.67	-280.67	-191.33	-327.33	-255.33	-287.67	-224.00	-236.6
A7	-152.00	-318.00	-287.00	-202.67	-352.67	-253.00	-281.67	-225.33	-237.3
B1	-149.67	-309.67	-278.00	-210.33	-341.67	-271.67	-287.00	-257.67	-308.0
B2	-131.00	-307.33	-264.33	-200.67	-330.00	-258.33	-290.67	-250.67	-324.0
B3	-131.33	-297.33	-263.67	-197.33	-341.67	-259.33	-290.33	-256.67	-308.0
B4	-90.33	-288.33	-262.33	-194.00	-343.33	-252.00	-297.33	-251.00	-276.0
B5	-150.33	-268.33	-274.67	-190.00	-343.00	-265.00	-310.33	-266.00	-276.0
B6	-151.33	-318.00	-283.33	-198.33	-326.67	-254.67	-309.67	-256.67	-284.6
B7	-141.33	-319.33	-284.67	-207.00	-345.33	-265.00	-310.67	-255.67	-275.0

Pada Tabel 4 terlihat pembacaan alat *half cell potential mapping* belum stabil di minggu awal pengukuran. Nilai potensial mulai stabil pada saat pengukuran minggu ke 12. Nilai potensial meningkat ke arah negatif sampai mencapai minggu ke 16. Nilai tertinggi pada titik B1, titik paling luar tulangan, yaitu sebesar -217.33mV. Berdasarkan tabel 1.2 nilai tersebut (-126 to -276mV) memiliki kemungkinan korosi sebesar 50%. Disemua titik yang lain pada benda uji ini berada pada kondisi kemungkinan korosi sebesar 10% sampai dengan 50%.

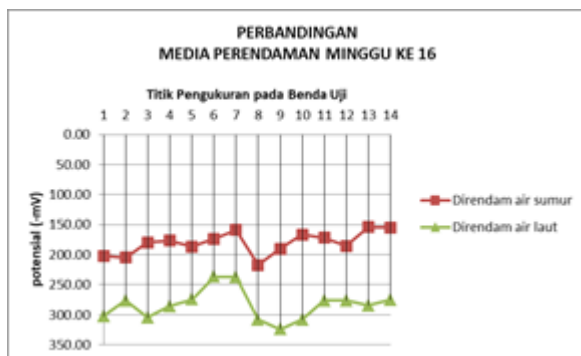
Sementara, pada Tabel 5 terlihat pembacaan alat *half cell potential mapping* pada pengukuran minggu ke 12, tertinggi pada titik B2, juga merupakan titik paling luar tulangan, yaitu sebesar -324.00mV. Berdasarkan tabel 1.2 nilai tersebut (>-276mV) memiliki kemungkinan korosi sebesar 90%. Disemua titik yang lain pada benda uji ini berada memiliki kemungkinan terkorosi yang bervariasi, antara 10%, 50% dan 90%. Hal ini terjadi karena media perendaman air larutan NaCl merupakan media air laut buatan yang banyak mengandung materi korosif ion klorida.

Perbandingan hasil pengukuran dengan half cell potential mapping dapat ditampilkan dalam bentuk grafik kontur warna atau grafik linier. Perbandingan nilai potensial antar benda uji yang direndam dalam air laut buatan dan benda uji kontrol yang direndam dalam air sumur ditampilkan pada grafik Gambar 7 dan 8 di bawah ini.





Gambar 7. Perbandingan nilai potensial benda uji sebelum direndam



Gambar 8 Perbandingan nilai potensial benda uji pada minggu ke 16

Dari Gambar 7 dan 8 di atas terlihat bahwa sebelum direndam dalam air, kedua benda uji memiliki nilai potensial yang hampir sama. Berkisar antara  $-70\text{mV}$  sampai dengan  $-150\text{mV}$ , dimana kemungkinan terkorosi tidak sampai 10%. Tetapi setelah dilakukan perendaman sampai mencapai 16 minggu, grafik nilai potensial korosi mulai bergerak menurun. Grafik benda uji yang direndam dengan air sumur menurun hanya sampai berkisar diantar  $-200\text{mV}$ , sementara grafik benda uji yang direndam dengan air laut buatan bergerak turun sampai mencapai kisaran  $-300\text{mV}$ . Sehingga benda uji yang terendam air sumur kemungkinan terkorosi tulangnya diprediksi pada angka 50% dan benda uji terendam air laut buatan pada angka 90%. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya nilai potensial korosi balok beton busa

masih lebih kecil dibanding dengan beton normal konvensional.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Pengujian potensial korosi dengan metode *half-cell potential mapping*, dapat memprediksi titik terlemah pada permukaan beton yang berisiko terkorosi. Potensial korosi tulangan balok beton busa yang direndam dengan air sumur sebesar 50%. Potensial korosi tulangan balok beton busa yang direndam dengan air lautan NaCl 3,5% sebesar 90%. Nilai potensial korosi balok beton busa lebih kecil dari beton konvensional.

### Saran

Sebaiknya pengukuran potensial korosi dengan metode *half-cell potential mapping* dikombinasikan dengan pengukuran laju korosi, untuk mendapatkan titik potensial korosi dan data kecepatan korosi di titik tersebut, sehingga data titik korosi lebih akurat dan lengkap.

Kondisi cuaca dan kelembaban udara akan mempengaruhi pembacaan hasil potensial korosi, sehingga ke depan kestabilan kondisi lingkungan perlu diperhitungkan

## DAFTAR PUSTAKA

- Amran, Y. H. M., Farzadnia, N., & Ali, A. A. A. (2015). Properties and applications of foamed concrete; A review. In *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112>
- Assouli, B., Ballivy, G., & Rivard, P. (2008). Influence of environmental parameters on

- application of standard ASTM C876-91: Half cell potential measurements. In *Corrosion Engineering Science and Technology*.  
<https://doi.org/10.1179/174327807X214572>
- ASTM A 751-07a. (2007). Standard Test Methods , Practices , and Terminology for Chemical Analysis of Steel Products. *Standards*.
- Broomfield, J. P. (2011). Corrosion of Steel in Concrete. In *Uhlig's Corrosion Handbook: Third Edition*.  
<https://doi.org/10.1002/9780470872864.ch49>
- Claisse, P. A. (2008). Corrosion of steel in concrete – understanding, investigation and repair 2nd edn. *Broomfield J. P. , Taylor & Francis, London,.*
- Fontana, M. G. (1986). *Corrosion engineering. Third edition*.
- Gopalakrishnan, R., Sounthararajan, V., Mohan, A., & Tholkapiyan, M. (2020). The strength and durability of fly ash and quarry dust light weight foam concrete. *Materials Today: Proceedings*, 22(3), 1117–1124.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.317>
- Kurt, M., Gül, M. S., Gül, R., Aydin, A. C., & Kotan, T. (2016). The effect of pumice powder on the self-compactability of pumice aggregate lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 103, 36–46.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.co>
- nbuidmat.2015.11.043
- Nugraha, P. (2007). Antoni. In *Teknologi Beton*.
- Oyejobi, D. O., Jameel, M., Sulong, N. H. R., Raji, S. A., & Ibrahim, H. A. (2020). Prediction of optimum compressive strength of light-weight concrete containing Nigerian palm kernel shells. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 32(5), 303–309.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.04.001>
- Palanisamy, M., Kolandasamy, P., Awoyera, P., Gobinath, R., Muthusamy, S., Krishnasamy, T. R., & Vilorina, A. (2020). Permeability properties of lightweight self-consolidating concrete made with coconut shell aggregate. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 3547–3557.
- Rahmawati, C., & Meliyana, M. (2019). Potensi Limbah Karbit Sebagai Pengganti Semen Pada Bata Ringan. *Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu Universitas Asahan*, 627–635.
- Rahmawati, C., Meliyana, M., Thufail, I., Muhtadin, M., & Faisal, M. (2020). Impact of Fire on Mechanical Properties of Lightweight Bricks Containing Calcium Carbide Residue. *Jurnal Inotera*, 5(2), 129–138.
- Riadi, H., & Abdullah. (2015). Kajian Perilaku Geser Balok Beton Ringan Busa Dengan Penambahan Agregat Pasir Pozzolan . *EMARA Indonesian Journal of Architecture*.
- Rommel, E., Karimah, R., & Ningsih, P. A. W.

- (2018). Pengaruh Pemakaian Serat Ijuk Dan Foam Agent Terhadap Sifat Mekanik Beton Busa. *Seminar Nasional Teknologi Dan Rekayasa (SENTRA) 2018*.
- Schwalm, C., & Schütze, M. (2000). The corrosion behavior of several heat resistant materials in air + 2% Cl<sub>2</sub> at 300 to 800 °C Part 2 - Nickel base alloys. *Werkstoffe Und Korrosion*. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-4176\(200002\)51:2<73::aid-maco73>3.0.co;2-v](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-4176(200002)51:2<73::aid-maco73>3.0.co;2-v)
- Siddiq, S. (2008). BANGUNAN TAHAN GEMPA BERBASIS STANDAR NASIONAL INDONESIA. *Jurnal Standardisasi*. <https://doi.org/10.31153/js.v8i2.664>
- Wasserman, R., & Bentur, A. (1997). Effect of lightweight fly ash aggregate microstructure on the strength of concretes. *Cement and Concrete Research*. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00019-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00019-7)