

# Durabilitas Baja Tulangan pada Beton Menggunakan Material Batu Gamping, Pasir Laut dan Air Laut dalam Campuran Beton

\*Dahlia Patah, Amry Dasar, Amalia Nurdin

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat, Majene

\*)[dahliapatah@unsulbar.ac.id](mailto:dahliapatah@unsulbar.ac.id)

Received: 15 Desember 2021 Revised: 15 Juli 2022 Accepted: 27 Juli 2022

## Abstract

*Seawater and sea sand have potential used in concrete. The use of limestone in the concrete has been increasing due to benefits as aggregate include good strength and low possibility of alkali-silica reaction. Hence, it is imperative to exploit seawater, sea sand and limestone in concrete particularly corrosion issues follow it. This study aims to evaluate the effect of limestone, seawater, and sea-sand for mixing concrete on the corrosion of reinforcing bar. The specimen used in this study was a concrete block with strength design of 25 MPa and plain reinforcing bar with 10 mm in diameter was embedded. The result of half-cell potential (HCP) will be compared with the result of visual observations for actual corrosion after HCP readings indicates the specimens has been corroded. The results showed that reinforcing bar in all specimens mixed with seawater and using 100% limestone mixed with plain water using sea-sand is estimated to be corroded and corresponding with the actual corrosion. Further, it can be observed the use of washed sea-sand combine with 50% of limestone and mixed with seawater potentially increase the strength of concrete up to 50%, however, the risk of corrosion as well.*

**Keywords:** Concrete, corrosion, half-cell potential, actual corrosion, limestone, sea sand, seawater

## Abstrak

*Air laut dan pasir laut memiliki potensi untuk digunakan dalam beton. Penggunaan batu kapur dalam beton semakin meningkat karena manfaatnya sebagai agregat memiliki kekuatan yang baik dan kemungkinan reaksi alkali-silika yang rendah. Oleh karena itu, sangat penting untuk memanfaatkan air laut, pasir laut dan batu kapur dalam beton terutama masalah korosi yang mengikutinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pencampuran air laut, batu gamping dan pasir laut yang digunakan secara bersamaan terhadap korosi baja tulangan beton. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah balok beton dengan diameter tulangan 10 mm dengan mutu beton 25 MPa. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah baja tulangan pada semua benda uji yang dicampur dengan air laut, dan benda uji yang hanya menggunakan 100% batu gamping yang dicampur air tawar dengan menggunakan pasir laut diestimasi mengalami korosi dengan metode pengukuran half-cell potensial dan dibuktikan dengan pengukuran aktual korosi. Selanjutnya, penggunaan pasir laut yang dicuci dengan menggunakan batu gamping 50% dan dicampur air laut dapat meningkatkan kekuatan hingga 50% dari beton normal dan resiko korosi sama dengan beton normal.*

**Kata kunci:** Beton, korosi, half-cell potential, aktual korosi, batu gamping, pasir laut, air laut

## Pendahuluan

Kemajuan teknologi beton yang pesat menuntut penggunaan bahan maupun agregat alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Di seluruh dunia, setiap tahunnya air tawar dalam jumlah besar digunakan untuk pencampuran, perawatan dan pembersihan dalam industri beton. Selain itu, pasir

sungai juga digunakan dalam jumlah yang besar untuk pembuatan beton. Air tawar dan pasir sungai yang menjadi bahan bangunan utama dalam konstruksi, mengakibatkan produksi beton mengkonsumsi beberapa miliar ton air tawar dan pasir sungai setiap tahun yang menyebabkan peningkatan sumber daya air tawar dan pasir sungai menjadi terbatas. Untuk meminimalisir penggunaan

air tawar dan pasir sungai dalam konstruksi, peneliti terus menyelidiki alternatif lain untuk air tawar dan pasir sungai untuk digunakan dalam beton dan kemungkinan menggunakan air laut dan pasir laut dalam beton campuran harus diselidiki secara komprehensif sebagai bahan alternatif.

Selanjutnya, jika penggunaan air laut sebagai air pencampur dan pasir laut sebagai pengganti agregat halus beton dapat diandalkan, maka akan sangat efisien dan ekonomis dalam konstruksi, terutama pada pekerjaan konstruksi di pesisir dan pulau terpencil. Untuk penggunaan pasir laut sebagai pengganti agregat halus telah digunakan pada penelitian dan konstruksi di Jepang bahkan telah dikomersilkan dimana pasir laut ini harus dicuci bersih sebelum digunakan.

Berdasarkan ASTM (2013), untuk penggunaan air laut sebagai air pencampur harus dihindari untuk digunakan dalam struktur beton bertulang karena risiko korosi awal tulangan yang disebabkan oleh klorida dalam senyawa air laut. Namun, dalam kasus situasi yang tidak dapat dihindari, air laut sebagai air pencampur dianjurkan hanya untuk beton polos. Secara umum dipercaya bahwa nilai pH air yang dapat dipengaruhi oleh tingginya kandungan  $Cl^-$  dan  $SO_4^{2-}$  dalam air laut memiliki dampak yang signifikan terhadap kekuatan beton (Kucche *et al.*, 2015).

Mengenai efek pasir laut dan air laut pada kemampuan kerja beton, kesimpulan yang berbeda telah dicapai oleh peneliti yang berbeda. Limeira *et al.* (2012) menyimpulkan bahwa nilai *slump* mortar menurun dengan meningkatnya kandungan pasir laut. Sebagian besar peneliti telah sepakat bahwa usia dini kuat tekan beton pasir laut sedikit lebih tinggi dari beton biasa (Ramaswamy *et al.*, 1982), meskipun beberapa penelitian telah mencapai kesimpulan yang berbeda: Chandrakeerthy *et al.* (1994) mengamati bahwa kuat tekan beton dengan pasir laut mirip dengan beton biasa.

Girish *et al.* (2015) menemukan bahwa beton pasir laut memiliki kuat tekan 28 hari yang lebih rendah daripada beton biasa. Mirip dengan situasi untuk beton pasir laut, sebagian besar percobaan telah menunjukkan bahwa beton air laut memiliki kekuatan usia dini yang lebih tinggi (Griffin *et al.*, 1962; Kaushik *et al.*, 1995; Etxeberria *et al.*, 2016; Mohammed *et al.* 2004). Islam *et al.* (2012) menyimpulkan bahwa kekuatan awal yang lebih tinggi dari beton air laut dibandingkan dengan beton biasa pada dasarnya disebabkan oleh penyumbatan pori-pori oleh produk hidrasi dan kekuatan jangka panjang yang lebih rendah adalah karena pencucian produk hidrasi lunak. Wegian *et al.* (2010) menghubungkan kekuatan beton air laut yang lebih

rendah antara 28-90 hari dengan kemungkinan kristalisasi garam. Sedangkan Nishida *et al.* (2015) memberikan pendapat positif terkait beton yang dicampur dengan air laut dengan menambahkan mineral admixture seperti BFS. Selain itu Katano *et al.* (2013) juga memberikan pendapat positif bahwa penggunaan air laut dan pasir laut dapat mengurangi emisi  $CO_2$ .

Penggunaan air laut dan pasir laut dalam beton telah menarik perhatian, namun juga menimbulkan pertanyaan terkait durabilitas khususnya beton bertulang. Hal ini dikarenakan besarnya kandungan klorida yang terdapat dalam pasir laut dan air laut yang dapat menjadi pemicu terjadinya percepatan reaksi korosi. Studi sebelumnya menggunakan pasir laut dan air laut dalam pembuatan beton dan melaporkan evaluasi korosi air laut yang dicampur dalam beton dimana air laut memberikan dampak positif pada kekuatan beton dan durabilitas terhadap korosi baja tulangan lebih baik dibandingkan dengan beton yang dicampur dengan air tawar (Dasar *et al.*, 2013; Dasar *et al.*, 2016; Dasar *et al.*, 2020). Disisi lain Liu *et al.* (2016) menunjukkan bahwa karbonasi beton menggunakan pasir laut dapat dikurangi 20-50% oleh ion klorida yang dimasukkan oleh pasir laut di beton. Selanjutnya, pencampuran air laut menyebabkan peningkatan kekuatan lebih awal dan memperbaiki struktur mikro beton dibandingkan dengan pencampuran air dari keran.

Dalam penelitiannya Mohammed *et al.* (2001) melaporkan penurunan kekuatan beton tidak ditemui karena percepatan proses hidrasi dengan adanya klorida dalam air laut bekas setelah 15 tahun terpapar di pasang surut air laut. Fukute *et al.* (1992) melaporkan hasil benda uji yang terekspos jangka panjang yang dilakukan oleh Port and Airport Research Institute (PARI) di Jepang menunjukkan bahwa jumlah klorida yang diukur dalam beton setelah berumur 20 tahun tidak terpengaruh oleh air pencampuran dan pengaruh negatif air laut yang digunakan sebagai air pencampur relatif menurun seiring bertambahnya usia (Otsuki, 1985). Selain itu, mutu beton dengan pencampuran air laut menunjukkan 10 MPa lebih besar dari beton normal pencampuran air tawar, dengan rasio peningkatan kekuatan tekan air laut terhadap air tawar adalah 1,2 setelah pada beton bertulang yang berumur 36 tahun (Patah, 2019).

Ketergantungan pada batu sungai ataupun batu gunung sebagai bahan konstruksi beton dengan sumber material yang terbatas akan menimbulkan masalah dikemudian hari. Untuk itu pemanfaatan sumber daya alam yang tersedia secara optimal merupakan salah satu upaya yang tepat untuk mewujudkan pemenuhan kebutuhan tersebut. Salah

satunya adalah batu gamping terdapat di Kabupaten Majene. Batu gamping ini merupakan material lokal yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat daerah tersebut sebagai pondasi rumah maupun untuk perkerasan jalan, sehingga perlu dilakukan penelitian penggunaan batu gamping sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beton.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa investigasi pada beton yang dicampur dengan air laut dan menggunakan agregat berupa pasir laut sebagai agregat halus dan batu gamping sebagai agregat kasar. Sebanyak dua belas benda uji telah dievaluasi. Benda uji diekspos di luar laboratorium dimana benda uji terkena panas dan hujan secara langsung. Variabel utama dalam pengujian ini yaitu jenis pencampuran air, variasi jumlah batu gamping, dan jenis pasir yang digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh pencampuran air laut, batu gamping dan pasir laut sebagai material beton yang digunakan secara bersamaan terhadap korosi baja tulangan beton. Selain itu, juga untuk mengetahui sejauh mana kontribusi pencampuran air laut dan batu gamping terhadap durabilitas beton setelah diekspos beberapa bulan pada kondisi lingkungan yang terkena panas dan hujan. Penelitian ini telah mengevaluasi pengukuran korosi baja tulangan secara elektrokimia dengan metode *half-cell potential*, pengujian kekuatan beton dengan *hammer test* dan pengamatan secara visual dari aktual korosi baja tulangan.

## Metode

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode eksperimental, yaitu dengan melakukan percobaan pengujian elektrokimia dengan metode *half-cell potential* (HCP), pengujian *hammer test* dan pengecekan secara visual aktual korosi pada beton normal yang menggunakan substitusi batu gamping terhadap kerikil sebesar 0%, 50% dan 100% dari berat kerikil. Pasir laut dan air laut juga digunakan dalam pencampuran beton. Untuk waktu pengujian korosi baja tulangan dengan HCP dilakukan pada umur 1 – 189 hari. Pengujian HCP dihentikan ketika beton telah terdeteksi korosi sesuai ASTM C876-15. pada umur 189 hari dilakukan pengujian mutu beton dengan menggunakan *hammer test*, selanjutnya dilakukan pengecekan aktual korosi dengan cara ekstraksi baja tulangan dari benda uji di umur 190 hari.

## Material dan mix proporsi

Semen yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 15-7064-2004 yaitu Semen Portland Komposit (PCC) Tipe 1 yang diproduksi oleh pabrik semen Indonesia dan tersedia banyak di

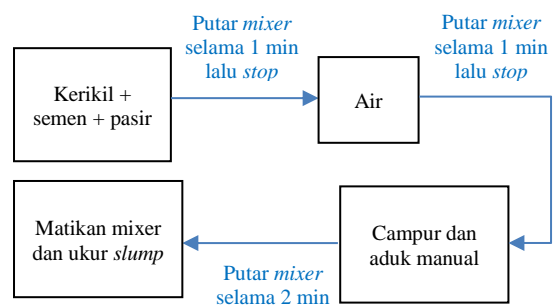
pasaran. Agregat halus/pasir yang digunakan ada dua jenis yaitu pasir sungai dari Mappili dan pasir laut dari Pamboang di Kabupaten Majene. Pasir sungai dan pasir laut yang lolos saringan 5 mm dipilih untuk digunakan sebagai agregat halus dalam campuran beton. Agregat kasar/kerikil yang digunakan yaitu batu pecah dan batu gamping yang memiliki ukuran maksimum 20 mm. Batu pecah diambil dari sungai Laliko dan batu gamping diambil dari Kabupaten Majene. Batas klasifikasi untuk agregat halus dan agregat kasar ini sesuai dengan SNI 03-1968-1990. *Properties* material ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Properti material

| Properties                    | Pasir        |            | Kerikil    |              |
|-------------------------------|--------------|------------|------------|--------------|
|                               | Pasir sungai | Pasir laut | Batu pecah | Batu gamping |
| Kadar lumpur, %               | 0,49         | 0,6        | 0,55       | 0,42         |
| Kadar organis                 | No.2         | No.2       | No.2       | No.2         |
| Kadar air, %                  | 7,22         | 10,88      | 0,64       | 0,99         |
| Berat jenis, g/m <sup>3</sup> | 2,46         | 2,61       | 2,62       | 2,48         |
| penyerapan air, %             | 1,69         | 1,75       | 0,64       | 1,98         |
| Modulus kehalusan             | 3,39         | 2,77       | 7,82       | -            |

## Pembuatan benda uji

Sebanyak 12 benda uji berbentuk segi empat dengan dimensi 40x40x15cm disiapkan dalam penelitian ini. Sebanyak 4 buah baja tulangan polos diameter 10 mm tertanam dalam beton dengan variasi selimut beton 2, 3, 4, dan 5 cm. Pada penelitian ini hanya fokus pada selimut beton 2 cm (ST<sub>2</sub>) dari permukaan beton. Kabel sepanjang 5 cm disambungkan ke baja tulangan untuk pengukuran korosi. Semua agregat halus dan kasar yang digunakan dalam kondisi kering permukaan jenuh sehingga selama proses pencampuran tidak mempengaruhi rasio air terhadap pengikat. Faktor air semen (FAS) yang digunakan adalah 50%. Prosedur pencampuran beton sebagai Gambar 1. Benda uji dibungkus plastik selama 20-24 jam agar tidak terjadi evaporasi, kemudian cetakan dibuka dan benda uji dirawat dengan perendaman air tawar dengan kondisi ruang laboratorium yang tidak terkontrol selama 28 hari.

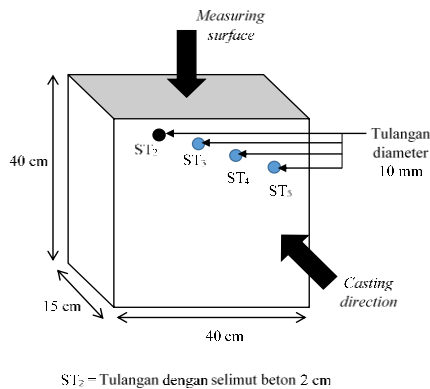


Gambar 1. Prosedur pencampuran beton

Tabel 2. Desain benda uji

| Tipe       | Pasir        | Kerikil                             | Pencampuran | Jumlah benda uji |
|------------|--------------|-------------------------------------|-------------|------------------|
| RS-G0-SW   | Pasir sungai | Batu pecah 100% dan batu gamping 0% | Air laut    | 1                |
| RS-G0-TW   | Pasir sungai | Batu pecah 100% dan batu gamping 0% | Air tawar   | 1                |
| RS-G50-SW  | Pasir sungai | Batu pecah 50% dan batu gamping 50% | Air laut    | 1                |
| RS-G50-TW  | Pasir sungai | Batu pecah 50% dan batu gamping 50% | Air tawar   | 1                |
| RS-G100-SW | Pasir sungai | Batu pecah 0% dan batu gamping 100% | Air laut    | 1                |
| RS-G100-TW | Pasir sungai | Batu pecah 0% dan batu gamping 100% | Air tawar   | 1                |
| SS-G0-SW   | Pasir laut   | Batu pecah 100% dan batu gamping 0% | Air laut    | 1                |
| SS-G0-TW   | Pasir laut   | Batu pecah 100% dan batu gamping 0% | Air tawar   | 1                |
| SS-G50-SW  | Pasir laut   | Batu pecah 50% dan batu gamping 50% | Air laut    | 1                |
| SS-G50-TW  | Pasir laut   | Batu pecah 50% dan batu gamping 50% | Air tawar   | 1                |
| SS-G100-SW | Pasir laut   | Batu pecah 0% dan batu gamping 100% | Air laut    | 1                |
| SS-G100-TW | Pasir laut   | Batu pecah 0% dan batu gamping 100% | Air tawar   | 1                |

Pada umur 28 hari tersebut, benda uji dikeluarkan dari bak perendaman seanjutnya disimpan di luar ruangan yang terkena langsung panas dan hujan. Desain benda uji dengan berbagai tipe dan campuran dapat dilihat pada Tabel 2. Bentuk dan ukuran benda uji dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk dan ukuran benda uji

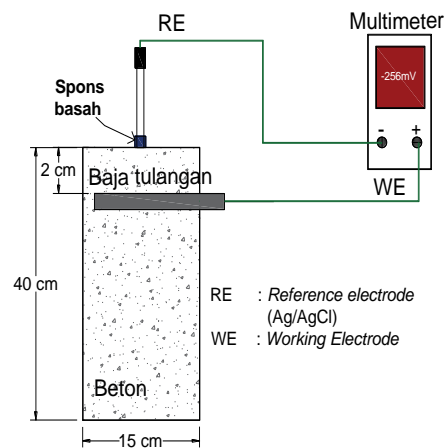
### Metode pengujian

#### Pengujian *Half-cell potential* (HCP)

Pengujian korosi dilakukan dengan metode *Half-Cell Potential* (HCP) dimana metode ini menggunakan alat berupa Referensi Elektroda berbahan Ag/AgCl. Nilai HCP diambil dari rata-rata 3 kali pengambilan data yang diukur menggunakan multimeter dan Referensi Elektroda (RE) yang disambungkan ke benda uji. Detail pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.

Pengukuran HCP dilakukan setelah *pre-wetting* selama 30 menit dengan kain basah pada sisi permukaan pengukuran pada benda uji. Hal ini dilakukan untuk mengurangi potensi fluktuasi nilai HCP. Pengujian ini mengacu pada ASTM C876-15

dimana apabila nilai HCP < -256 mV menunjukkan 90% kemungkinan telah korosi seperti pada Tabel 3.



Gambar 3. Detail pengukuran HCP

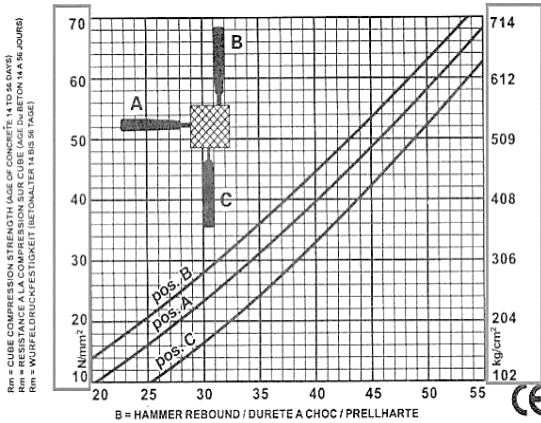
Tabel 3. Prediksi kemungkinan korosi

| <i>Half-cell potential</i> (mV) |                   | Resiko kemungkinan korosi    |
|---------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Elektroda Cu/CuSO <sub>4</sub>  | Elektroda Ag/AgCl |                              |
| > -200                          | > -106            | Rendah (10% resiko korosi)   |
| -200 ke -350                    | -106 ke -256      | Menengah                     |
| < -350                          | < -256            | Tinggi (> 90% resiko korosi) |
| < -500                          | < -406            | Sangat tinggi                |

#### Pengujian *hammer test*

Pengujian kuat tekan beton dengan *hammer test* dilaksanakan pada umur 189 hari. Persiapan pengujian dengan metode *hammer test* berdasarkan SNI-03-4430-1997. Pengujian dilakukan pada sisi lebar 40x40 cm dari beton. Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu permukaan beton di

ratakan. Data diperoleh dari tekanan ke permukaan benda uji yang menghasilkan nilai lenting (R) di setiap titik pengujian sebanyak 10 titik yang dicatat dan dihitung nilai rata-ratanya. Nilai terkoreksi juga diambil sesuai dengan factor kalibrasi alat. Perkiraan nilai kuat tekan menggunakan kurva korelasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva hubungan nilai pantul dengan kuat tekan beton



Gambar 5. Pemisahan baja tulangan dari beton

Pengecekan aktual korosi

Untuk evaluasi aktual atau inspeksi visual, korosi area baja tulangan dilakukan dengan mengekstraksi tulangan baja dari beton dengan cara mengupas selimut beton seperti terlihat pada Gambar 5.

Setelah baja tulangan diekstraksi, digunakan sebuah kertas transparan lalu baja tulangan dibungkus dengan hati-hati pada permukaan melingkar dari batang baja berkarat. Kemudian menggunakan spidol hitam permanen daerah yang berkarat itu dibuat sketsa mengikuti daerah yang korosi/karat. Kemudian luas baja tulangan yang terkorosi dihitung dengan menggunakan perangkat lunak analisis citra komputer (Image J v1.49).

## Hasil dan Pembahasan

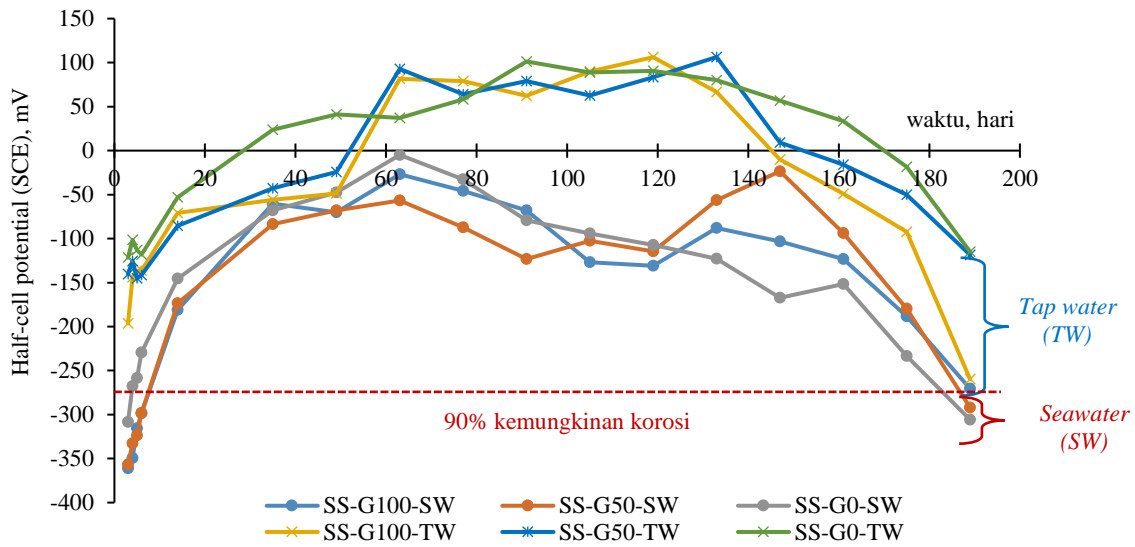
### Half-cell potential (HCP)

Hasil pengukuran nilai *half-cell potential* terhadap perubahan waktu dari umur 1 hari hingga 189 hari untuk benda uji menggunakan pasir laut (SS) dan pasir sungai (RS) dapat dilihat pada masing-masing Gambar 6 dan Gambar 7. Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7, pada hari pertama setelah cetakan dibuka, nilai HCP untuk semua benda uji yang di campur dengan air tawar berada antara -100mV hingga -200 mV. Untuk semua benda uji yang dicampur dengan air laut memiliki nilai potential yang lebih negatif yaitu mulai -250 hingga -400mV.

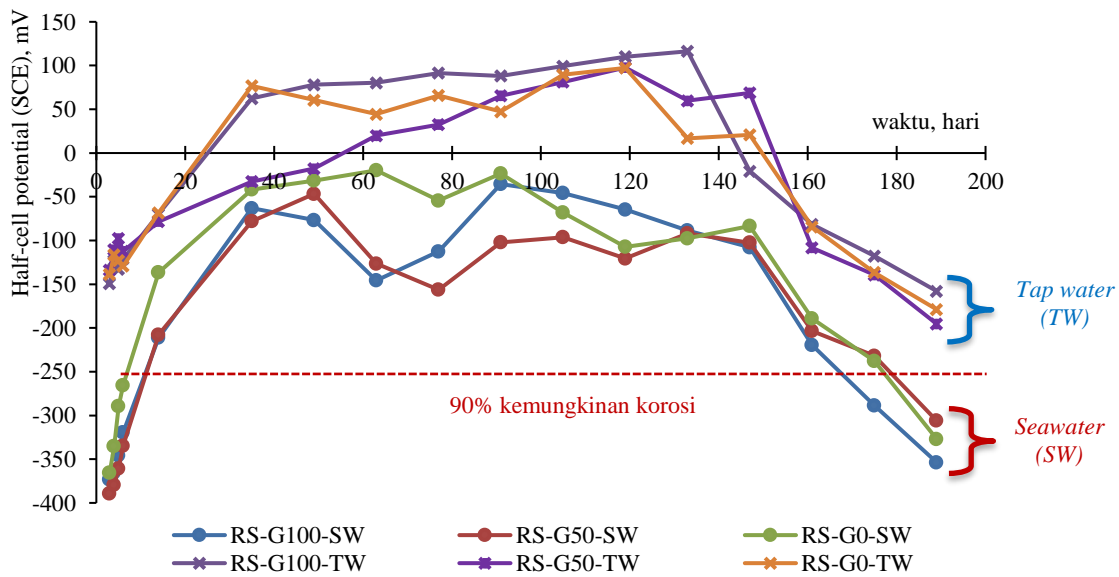
Hal ini dikarenakan beton masih basah dan semen masih belum mengikat secara sempurna sehingga potential yang terbaca ini akibat pengaruh basahnya beton (Dasar *et al.* 2016). Akan tetapi, nilai potential ini berangsur-angsur menjadi lebih positif berdasarkan waktu. Bahkan hingga melewati masa hidrasi semen diumur 28 hari, nilai HCP terus pulih menjadi lebih positif dan dikategorikan 90% tidak mengalami korosi. Hal ini menandakan semen telah terikat secara sempurna.

Pada umur mulai dari 137 hari, didapatkan nilai potential perlahan-lahan menjadi negatif seiring waktu hingga di umur 189 hari, nilai potential semua benda uji menjadi lebih negatif. Secara terperinci, nilai potential semua benda uji di umur 189 hari dapat dilihat pada Gambar 9. Berdasarkan Gambar 8 didapatkan bahwa semua benda uji yang dicampur dengan air tawar baik itu menggunakan pasir laut ataupun pasir sungai pada umur 189 hari masih dalam kategori menengah atau 50% kemungkinan korosinya, kecuali pada benda uji SS-G100 dimana nilai HCP nya mencapai -259mV yang dikategorikan 90% kemungkinan resiko korosi.

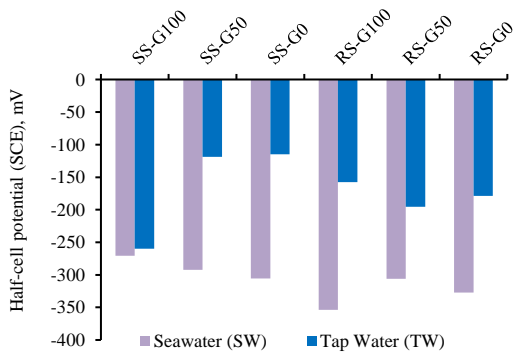
Untuk benda uji yang dicampur dengan air laut baik itu menggunakan pasir laut ataupun pasir sungai, nilai HCP semua benda uji sangat negatif dari -256mV dan dikategorikan 90% resiko korosi. Selain itu, nilai HCP untuk benda uji RS-G100-SW lebih negatif yaitu -356mV dari pada penggunaan pasir laut SS-G100-SW yaitu -259mV.



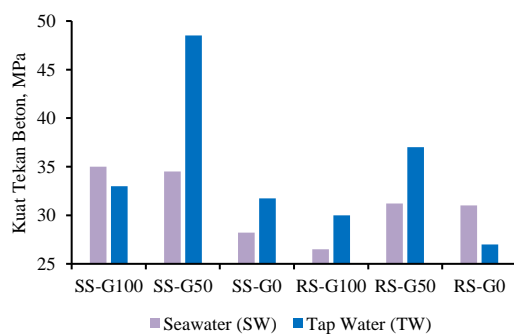
Gambar 6. Nilai half-cell potensial benda uji menggunakan pasir laut (SS)



Gambar 7. Nilai half-cell potensial benda uji menggunakan pasir sungai (RS)



Gambar 7. Nilai half-cell potensial benda uji pada umur 189 hari



Gambar 8. Kuat tekan beton dengan menggunakan hammer test umur 189 hari

### Kuat tekan beton dengan *hammer test*

Pengujian hammer ini dilakukan pada umur 189 hari bersamaan dimana beberapa benda uji terdeteksi korosi berdasarkan elektrokimia dengan menggunakan metode HCP. Hasil pengukuran kuat tekan beton dengan menggunakan uji hammer pada umur 189 hari untuk tiap persentasi penambahan batu gamping dan benda uji beton dicampur air laut dan air tawar dengan menggunakan pasir laut ataupun pasir sungai diperlihatkan pada Gambar 9. Berdasarkan Gambar 9 didapatkan bahwa akibat pencampuran air laut, nilai kuat tekan benda uji SS-G100 dan RS-G0 lebih tinggi dari pencampuran air tawar. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton dengan pencampuran air laut membutuhkan jangka panjang untuk meningkat.

Otsuki *et al.* (2011) menemukan bahwa kuat tekan jangka panjang beton air laut sedikit lebih tinggi daripada beton air tawar. Hal ini mengindikasikan bahwa beton dengan pencampuran air laut berpotensi menunda reaksi hidrasi semen sehingga perkembangan kuat tekan beton membutuhkan waktu. Untuk pengaruh penggunaan pasir laut, benda uji dengan penggunaan batu gamping sebesar 100% dan 50% memiliki kuat tekan lebih tinggi dari benda uji dengan penggunaan pasir sungai.

### Aktual korosi

Penampakan aktual korosi pada baja tulangan yang telah diekstraksi dari beton dapat dilihat pada Gambar 10. Semua baja tulangan yang telah diekstraksi lalu dihitung area yang telah korosi. Hasil pengecekan aktual korosi pada umur 189 hari untuk tiap persentasi penambahan batu gamping dimana benda uji dicampur air laut dan air tawar

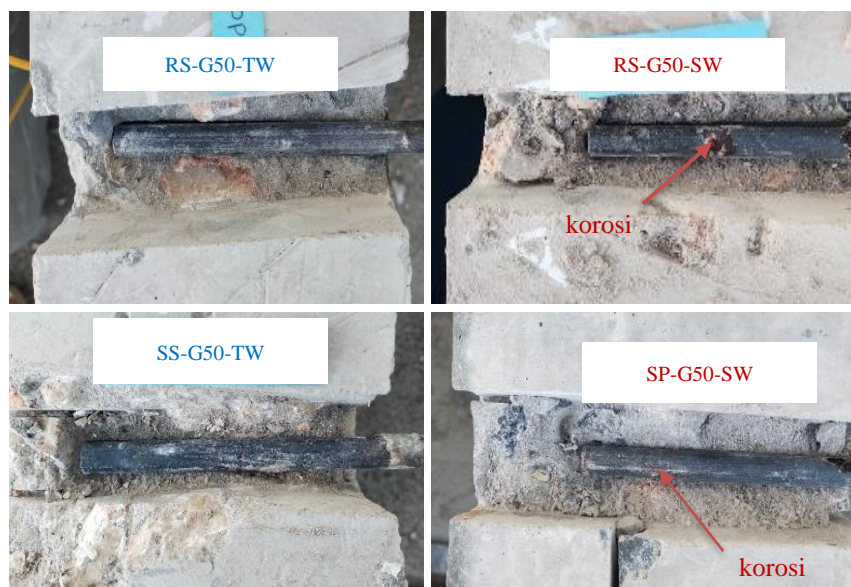
dengan menggunakan pasir laut ataupun pasir sungai diperlihatkan pada Gambar 11.

Berdasarkan Gambar 11 dapat dilihat bahwa semua benda uji yang dicampur dengan air laut telah mengalami korosi dengan nilai korosi area sebesar 9-15%. Sedangkan benda uji yang dicampur dengan air tawar, hanya benda uji yang memakai batu gamping 100% yang mengalami korosi baik itu memakai pasir laut maupun pasir sungai dengan nilai korosi area SS-G100 sebesar 7.41% dan RS-G100 sebesar 5.26%.

Benda uji lainnya yang dicampur dengan air tawar masih tidak terdeteksi korosi, hal ini didukung oleh nilai HCP pada masing-masing benda uji dimana nilai HCPnya menunjukkan kategori resiko korosi menengah atau 50% kemungkinan korosi. Dari hasil pengecekan secara visual, benda uji dengan menggunakan air tawar dan batu gamping hingga 50% dengan kombinasi pasir laut belum terjadi korosi. Berbeda halnya jika menggunakan batu gamping hingga 100%, baja tulangan telah mengalami korosi. Berdasarkan penelitian ini, batu gamping tidak bisa digunakan secara bersamaan dengan air laut dalam pencampuran beton.

### Hubungan *half-cell potential* dengan aktual korosi

Hubungan antara nilai HCP dengan aktual korosi baja tulangan dapat dilihat pada Gambar 12. Berdasarkan Gambar 12, terdapat hubungan linear antara pengujian elektrokimia untuk mengukur resiko korosi tulangan baja dengan metode HCP dengan aktual korosi. Persamaan yang didapatkan dari hubungan HCP dengan aktual korosi ditunjukkan oleh Persamaan 1.

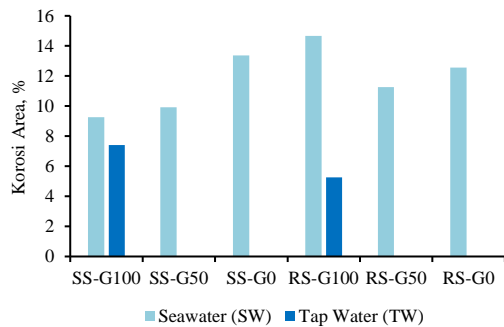


Gambar 9. Penampakan aktual korosi baja tulangan

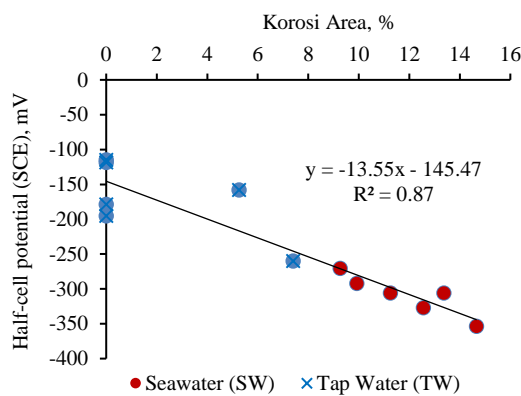
$$y = -13.55x - 145.47 \quad (1)$$

dimana nilai y adalah korosi area dalam % dan x adalah nilai HCP dalam mV.

Hubungan  $R^2$  dari hubungan linear ini didapatkan sebesar 0.87. Ini menandakan bahwa pemeriksaan dengan metode HCP dapat diandalkan dan relevan untuk mendeteksi kemungkinan korosi tanpa harus dilakukan pemeriksaan secara visual pada baja tulangan beton.



Gambar 10. Korosi area



Gambar 11. Hubungan actual korosi dan Half-cell potential

## Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran elektrokimia, baja tulangan pada pada semua benda uji yang dicampur dengan air laut dan benda uji yang menggunakan 100% batu gamping yang dicampur air tawar dengan menggunakan pasir laut diestimasi mengalami korosi. Berdasarkan observasi aktual korosi, semua benda uji terdeteksi korosi selaras dengan pengukuran elektrokimia dan didapatkan hubungan linear antara aktual korosi dengan pengukuran nilai HCP.

Penggunaan batu gamping sebesar 50% dapat digunakan untuk menggantikan agregat kasar dimana memiliki kekuatan yang lebih tinggi dan resiko korosi juga tidak terdeteksi dibandingkan

dengan beton normal. Penggunaan pasir laut yang dicuci dengan menggunakan batu gamping 50% dan dicampur air laut dapat meningkatkan kekuatan hingga 50% dari beton normal dan resiko korosi sama dengan beton normal. Lebih lanjut, penggunaan air laut menurunkan nilai kuat tekan beton pada banyak kondisi, namun dapat meningkatkan kuat tekan pada penggunaan batu gamping 100%.

## Daftar Pustaka

American Society for Testing Materials. (2013). *Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water*. America: ASTM International.

American Society for Testing and Materials. (1991). *Standard Method for Half Cell Potential of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete: ASTM C876*. America: Annual book of ASTM Standards.

Chandrakeerthy, S. D. S. (1994). *Suitability of sea sand as a fine aggregate for concrete production*.

Dasar, A., Hamada, H., Sagawa, Y., & Irmawaty, R. (2013). Corrosion evaluation of reinforcing bar in sea water mixed mortar by electrochemical method. *Proceedings of the Japan Concrete Institute At: Nagoya, JAPAN Volume, 35(1)*, 889-894.

Dasar, A., Hamada, H., Sagawa, Y., & Irmawaty, R. (2013). Corrosion evaluation of reinforcing bar in sea water mixed mortar by electrochemical method. *Proceedings of the Japan Concrete Institute At: Nagoya, JAPAN Volume, 35(1)*, 889-894.

Dasar, A., Hamada, H., Sagawa, Y., & Yamamoto, D. (2016). Recovery In Mix Potential And Polarization Resistance Of Steel Bar In Cement Hardened Matrix During Early Age Of 6 Months-Sea-Water Mixed Mortar And Cracked Concrete. *Proceedings of the Japan Concrete Institute At: Fukuoka, Volume, 38(1)*, 1203-1208.

Dasar, A., Patah, D., Hamada, H., Sagawa, Y., & Yamamoto, D. (2020). Applicability of seawater as a mixing and curing agent in 4-year-old concrete. *Construction and Building Materials, 59*, 119692.

Etxeberria, M., Fernandez, J. M., & Limeira, J. (2016). Secondary aggregates and seawater employment for sustainable concrete dyke blocks production: Case study. *Construction and Building Materials, 113*, 586-595.

Fukute, T., Hamada, H., & Yamamoto, K. (1992). A Study On The Durability Of Concrete Exposed In Marine Environment For 20 YearS. *Doboku Gakkai Ronbunshu, 1992(442)*, 43-52.



- Girish, C. G., Tensing, D., & Priya, K. L. (2015). Dredged offshore sand as a replacement for fine aggregate in concrete. *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, 8(3), 88-95.
- Griffin, D. F., & Henry, R. L. (1962). *The effect of salt in concrete on compressive strength, water vapor transmission, and corrosion of reinforcing steel*. Naval Civil Engineering Lab Port Hueneme CA.
- Indonesia National Standard (SNI 03-4430-1997). *Metode Pengujian Kuat Tekan Elemen Struktur Beton dengan Alat Palu Beton Tipe N dan NR*
- Islam, M. M., Islam, M. S., Al-Amin, M., & Islam, M. M. (2012). Suitability of sea water on curing and compressive strength of structural concrete. *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 40(1), 37-45.
- Katano, K., Takeda, N., Ishizeki, Y., & Iriya, K. (2013). Properties and application of concrete made with sea water and un-washed sea sand. In *Proceedings of Third International conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*.
- Kaushik, S. K., & Islam, S. (1995). Suitability of sea water for mixing structural concrete exposed to a marine environment. *Cement and Concrete Composites*, 17(3), 177-185.
- Kucche, K. J., Jamkar, S. S., & Sadgir, P. A. (2015). Quality of water for making concrete: a review of literature. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(1), 1-10.
- Limeira, J., Agulló, L., & Etxeberria, M. (2012). Dredged marine sand as a new source for construction materials. *Materiales de Construcción*, 62(305), 7-24.
- Liu, W., Cui, H., Dong, Z., Xing, F., Zhang, H., & Lo, T. Y. (2016). Carbonation of concrete made with dredged marine sand and its effect on chloride binding. *Construction and Building Materials*, 120, 1-9.
- Nishida, T., Otsuki, N., Ohara, H., Garba-Say, Z. M., & Nagata, T. (2015). Some considerations for applicability of seawater as mixing water in concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(7), B4014004.
- Mohammed, T. U., Yamaji, T., Aoyama, T., & Hamada, H. (2001). Marine durability of 15-year old concrete specimens made with ordinary portland, slag, and fly ash cements. *Special Publication*, 199, 541-560.
- Mohammed, T. U., Hamada, H., & Yamaji, T. (2004). Performance of seawater-mixed concrete in the tidal environment. *Cement and concrete research*, 34(4), 593-601.
- Otsuki, N. (1985). A study of effectiveness of Chloride on Corrosion of Steel Bar in Concrete. *Report of Port and Harbor Research Institute*, 127-134.
- Otsuki, N., Furuya, D., Saito, T. and Tadokoro, Y., 2011, August. Possibility of sea water as mixing water in concrete. In *36th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore* (Vol. 36, pp. 131-138).
- Patah, D., Hamada, H., Sagawa, Y., & Yamamoto, D. (2019). The Effect of Seawater Mixing On Corrosion of Steel Bar in 36-Years Old RC Beams under Marine Tidal Environment. *At Hokaido*, 41(1), 791-796.
- Ramaswamy, S., Aziz, M., & Murthy, C. (1982). Sea dredged sand for concrete. *Extending Aggregate Resources. West Conshohocken, PA: ASTM International*, 167-177.
- Wegian, F. M. (2010). Effect of seawater for mixing and curing on structural concrete. *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 3(4), 235-243.