

## **PENGARUH AIR LAUT PADA MASA PERENDAMAN TERHADAP INFILTRASI ION KLOORIDA PADA BETON DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND TIPE V**

**Aldilla Arifatunurrillah<sup>1</sup>, Ashar Saputra<sup>2</sup> dan Djoko Sulisty<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia*  
Email: aldillaa@ugm.ac.id

<sup>2</sup>*Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia*  
Email: saputra@ugm.ac.id

<sup>3</sup>*Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia*  
Email: djokosulistyo@ugm.ac.id

### **ABSTRACT**

*The use of concrete materials that dominated the Indonesian construction industry was not only due to the fact that concrete materials are easily available, especially in Indonesia, but also because concrete has a high durability. But the concrete structure can have a high level of risk of damage in aggressive areas and open environments. The sulfate attack occurs will form calcium sulfoaluminate, where the volume of calcium aluminate which is greater than the volume of solid concrete makes the concrete increase in volume, thus damaging the bond between aggregate and cement as a binding material. One of the technologies that is applicable and easily obtained in the prevention of the effects of sulfate attack is the use of type V portland cement, therefore this study aims to determine the effect of seawater during immersion and variations in age of immersion on compressive strength, split tensile strength, flexural tensile strength, and concrete permeability as well as the infiltration of chloride ions that occur in normal concrete with the use of Portland V type cement. This study used an experimental method with cylindrical specimens measuring 300x150 mm for testing compressive strength with reference to SNI 03-1974-2011 and the infiltration depth of chloride ion test by spraying a solution of silver nitrate (AgNO<sub>3</sub>) 0.1 mol/L on the sliced concrete according to the age of treatment determined by the dimensions of concrete 15x15x15 cm. The comparison was carried out using a type I Portland cement mixture in concrete formation. The effect of using type V Portland cement on seawater treatment provides an average value of 3 compressive strength specimens is 10.8% higher compared to the use of OPC as a concrete mixture material at 28 days old. With the use of type V Portland cement the depth of infiltration of chloride ions is 62.7% smaller compared to the use of type I Portland cement at the age of 90 days of immersion.*

*Keywords: Effect of seawater on concrete, type V portland cement, compressive strength, infiltration of chloride ions in concrete.*

### **ABSTRAK**

Penggunaan material beton yang mendominasi industri konstruksi Indonesia, tidak hanya dikarenakan material penyusun beton yang mudah didapatkan, melainkan juga karena beton memiliki durabilitas yang tinggi. Namun struktur beton bisa memiliki tingkat resiko kerusakan yang tinggi pula pada daerah agresif dan lingkungan yang terbuka. Terjadinya suatu serangan sulfat akan membentuk kalsium sulfoaluminat, dimana volume kalsium aluminat yang lebih besar daripada volume beton solid membuat beton mengalami peningkatan volume, sehingga merusak ikatan antara agregat dan semen sebagai bahan pengikat. Salah satu teknologi aplikatif dan mudah diperoleh dalam pencegahan dampak serangan sulfat adalah penggunaan semen portland tipe V, oleh karenanya penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh air laut pada masa perendaman dan variasi umur perendaman terhadap nilai kuat tekan dan kedalaman infiltrasi ion klorida yang terjadi pada beton normal dengan penggunaan semen Portland tipe V. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan benda uji silinder berukuran 300x150 mm untuk pengujian kuat tekan dengan acuan SNI 03-1974-2011 dan pengujian kedalaman infiltrasi ion klorida dilakukan dengan menyemprotkan larutan perak nitrat (AgNO<sub>3</sub>) 0,1mol/L pada beton yang dibelah sesuai umur perawatan yang ditentukan dengan dimensi beton 15x15x15 cm. Pembanding dilakukan dengan menggunakan campuran semen Portland tipe I pada pembentukan beton lainnya. Pengaruh penggunaan semen Portland tipe V pada perendaman air laut memberikan nilai rerata dari 3 benda uji kuat tekan sebesar 10,8% lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan semen Portland tipe I sebagai bahan campuran beton pada umur 28 hari. Dengan penggunaan semen Portland tipe V kedalaman

infiltrasi ion klorida lebih kecil 62,7% dibandingkan dengan penggunaan semen Portland tipe I pada umur 90 hari masa perendammannya.

Kata kunci: pengaruh air laut pada beton, semen Portland tipe V, kuat tekan, infiltrasi ion klorida,

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan material beton yang mendominasi industri konstruksi Indonesia tidak hanya dikarenakan material penyusun beton yang mudah didapatkan terutama di Indonesia, melainkan juga karena beton memiliki durabilitas yang tinggi. Namun struktur beton bisa memiliki tingkat resiko kerusakan yang tinggi pula pada daerah agresif dan lingkungan yang terbuka.

Serangan sulfat terjadi ketika sulfat bereaksi dengan kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) pada semen terhidrasi, sehingga membentuk kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) dan kalsium aluminat hidrat ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ ) yang kemudian membentuk kalsium sulfoaluminat. Volume kalsium aluminat yang lebih besar daripada volume beton solid membuat beton mengalami peningkatan volume, sehingga merusak ikatan antar agregat dan semen sebagai bahan pengikat. Hal ini dapat mengurangi kekuatan struktur beton serta memperpendek umur beton.

Salah satu teknologi yang aplikatif dan mudah diperoleh dalam pencegahan dampak serangan sulfat adalah penggunaan semen portland tipe V atau biasa disebut *sulfate resisting cement*. Semen portland tipe V memiliki kadar  $\text{C}_3\text{A}$  dan  $\text{C}_4\text{AF}$  yang lebih rendah daripada semen Portland tipe I, sehingga mengurangi kalsium aluminat hidrat yang terbentuk pada reaksi hidrasi semen, yang dapat mengurangi terbentuknya kalsium sulfoaluminat sebagai salah satu unsur yang merupakan indikator terjadinya serangan sulfat.

Pada penelitian ini akan dikaji lebih dalam mengenai bagaimana pengaruh penggunaan semen portland tipe V pada variasi waktu perendaman air laut terhadap kuat tekan dan kedalaman infiltrasi ion klorida pada beton. Dengan adanya penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk memberikan wawasan kepada masyarakat sekitar, khususnya bagi perencana bangunan pada daerah agresif mengenai hubungan air laut dengan penggunaan semen khusus untuk pencegahan serangan akibat komposisi yang terdapat pada lingkungan yang agresif yaitu semen Portland tipe V terhadap kuat tekan beton dan kedalaman infiltrasi ion klorida pada beton.

## 2. LANDASAN TEORI

### Hubungan Air Laut Dengan Semen Tipe V

Neville [1] menyatakan bahwa kandungan garam pada air laut terdiri atas beberapa komponen, yaitu  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$  dan  $\text{MgSO}_4$ . Kontak air laut dengan beton pada masa perawatan beton sangat berbahaya karena beton akan mengalami absorpsi, garam laut akan menyerap ke dalam beton sebagai aksi kapiler untuk mengisi pori pada beton.

Menurut Shetty, [2] serangan sulfat terjadi ketika sulfat bereaksi dengan kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) pada semen terhidrasi sehingga membentuk kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), dan dengan kalsium aluminat hidrat ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ ) yang kemudian membentuk kalsium sulfoaluminat. Kalsium sulfoaluminat ini memiliki volume yang sangat besar, yaitu diperkirakan 227% dari volume beton normal.

Dalam penelitian yang dilakukan Santhanam, [3] pada mortar semen Portland yang direndam dalam sodium sulfat didapatkan bahwa terdapat dua tahapan ekspansi sempel mortar dalam sodium sulfat dimana terjadi tahapan awal (*initial stage*) dengan tingkat ekspansi yang rendah yang diikuti oleh ekspansi yang tiba-tiba meningkat secara drastis (*second stage*) akibat meningkatnya jumlah *gypsum* dan *ettringite* lebih dari yang dapat diakomodir oleh struktur mortar. Pada tahapan kedua ini laju ekspansi berjalan relatif konstan sehingga terjadi keruntuhan. Dalam reaksi antara magnesium sulfat dengan hasil hidrasi semen akan terbentuk *brucite* ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ). *Brucite* ini menciptakan suatu lapisan penghalang pada daerah yang dekat dengan permukaan beton yang menghambat difusi sulfat kedalam beton. Kemudian sulfat secara perlahan akan berdifusi ke dalam lapisan *brucite* hingga *brucite* retak. Setelah *brucite* retak, maka agresi sulfat kedalam beton akan berlangsung secara cepat. Ekspansi mortar dalam magnesium sulfat terjadi dengan kecepatan yang relative konstan yang menggambarkan difusi sulfat melalui lapisan *brucite*.

Semen tipe V merupakan semen yang tahan sulfat ASTM C 150-94 membatasi kadar  $\text{C}_3\text{A}$  pada semen tipe V dengan batas maksimum 5% dan jumlah kadar  $\text{C}_4\text{AF}$  ditambah 2 kali kadar  $\text{C}_3\text{A}$  memiliki batas maksimum sebesar 25%.

Tabel 2.1. Pembatasan kadar senyawa kimia pada semua tipe semen Portland

Senyawa	Tipe Semen				
	I	II	III	IV	V
C <sub>3</sub> A maksimum	-	-	-	35	-
C <sub>3</sub> A minimum	-	-	-	40	-
C <sub>3</sub> A maksimum	-	8	15	7	5
C <sub>4</sub> AF + 2 (C <sub>3</sub> A) maksimum	-	-	-	-	25

Pembatasan kadar C<sub>3</sub>A bertujuan agar mengurangi dampak serangan sulfat pada beton. Hidrasi C<sub>3</sub>A menghasilkan produk berupa kalsium aluminat hidrat, yang rawan terhadap serangan sulfat. Reaksi sulfat dengan kalsium aluminat hidrat menghasilkan produk berupa kalsium sulfoaluminat yang biasa disebut ettringite (3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3CaSO<sub>4</sub> + 32H<sub>2</sub>O; dengan notasi singkat C<sub>6</sub>AFS<sub>3</sub>H<sub>32</sub>) yang mengakibatkan peningkatan volume beton. Sementara, pembatasan kadar C<sub>4</sub>AF dimaksudkan mengurangi dampak serangan kalsium sulfat. Hal ini dikarenakan aksi kalsium sulfat terhadap semen yang terhidrasi semakin kecil seiring dengan rendahnya rasio Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Selain itu, C<sub>4</sub>AF dapat melindungi kalsium aluminat bebas dengan cara membentuk lapisan protektif disekitar kalsium aluminat bebas. Sementara, pembatasan kadar C<sub>4</sub>AF dan C<sub>3</sub>AF juga bertujuan agar mengurangi serangan sulfat secara internal. Pembatasan kadar C<sub>3</sub>A dan C<sub>4</sub>F pada semen Portland tipe V menjadikan C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S senyawa yang dominan dalam semen, sehingga kadar silikat pada semen Portland tipe V tergolong tinggi. Karena itulah, semen Portland tipe V memiliki kekuatan yang relative tinggi, namun kekuatan awalnya tergolong rendah. Panas hidrasi yang dihasilkan oleh semen Portland tipe V tidak jauh berbeda dengan semen Portland tipe IV yang memiliki panas hidrasi rendah.

Wegian [4] telah mengamati tentang pengaruh efek campuran dan pengawetan beton menggunakan air laut terhadap kekuatan tekan, kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan kekuatan ikatan pada beton. Hasil percobaan yang diperoleh dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *Sulphate-Resisting Cement* (SRC) meningkatkan kemampuan kerja dalam keadaan segar dan campuran dengan *Sulphate-Resisting Cement* (SRC) memiliki kekuatan yang lebih baik daripada campuran *Ordinary Portland Cement* (OPC) pada semua umur. Selain itu, penguatan kekuatan campuran *Sulphate-Resisting Cement* (SRC) juga lebih besar dari campuran *Ordinary Portland Cement* (OPC) setelah 28 hari.

### Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu yang dibutuhkan. Berdasarkan SNI 1974-2011 nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan

$$f'_c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

Dengan:

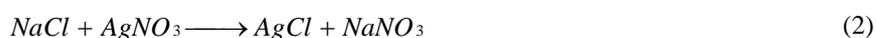
- f'<sub>c</sub> : Kuat tekan beton (MPa)
- P : Beban tekan maksimum (N)
- A : Luas penampang silinder (mm<sup>2</sup>)

### Infiltrasi Ion Klorida Dengan Larutan AgNO<sub>3</sub>

UNI (Standar Italia) telah merekomendasikan metode kolorimetri untuk konten klorida menggunakan solusi AgNO<sub>3</sub>. Para penulis telah memeriksa kandungan klorida pada batas perubahan warna dan mengukur sifat elektrokimia batang baja di daerah yang berubah warna untuk mengklarifikasi signifikansi teknik metode ini.

Otsuki [5] menyelidiki berbagai indikator kimia berupa konsentrasi pada batas perubahan warna, dan keakuratan metode AgNO<sub>3</sub>. Mereka menemukan bahwa di antara larutan perak nitrat, timbal nitrat dan talium nitrat, perak nitrat yang menunjukkan batas perubahan warna paling jelas. Empat larutan perak nitrat dengan konsentrasi yang berbeda, yaitu 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, dan 0,4 mol / L, disemprotkan ke permukaan yang baru retak dari sampel beton yang mengandung klorida. Berdasarkan kecerahan warna yang muncul di permukaan beton, mereka merekomendasikan penggunaan larutan perak nitrat 0,1 mol / L.

Dengan mereaksikan NaCl dengan larutan AgNO<sub>3</sub> akan menghasilkan endapan putih AgCl.



Dari endapan putih yang dihasilkan maka dapat diketahui adanya ion klorida dalam suatu larutan tersebut. Hal ini yang mendasari penggunaan larutan  $\text{AgNO}_3$  yang disemprotkan pada benda uji setelah waktu perendaman sesuai variasi waktu yang direncanakan, guna mendapatkan besar laju infiltrasi ion klorida pada beton karena pengaruh perendaman air laut.

### 3. METODE PENELITIAN

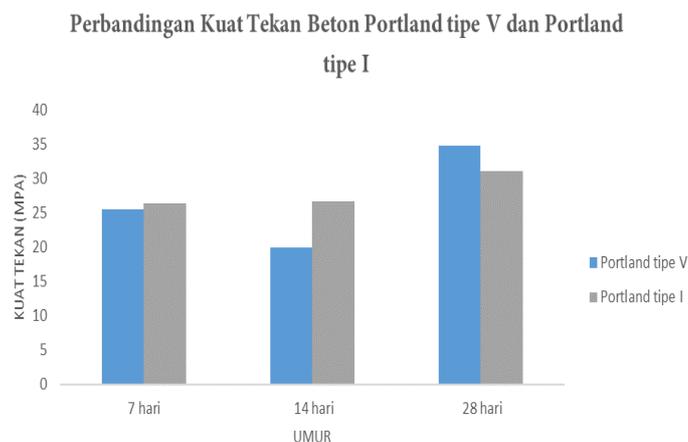
Penelitian ini menggunakan metode ekperimental yang dilakukan di Laboratorium Teknik Bahan Bangunan, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan berupa silinder beton dengan dimensi 300 x 150 mm dan benda uji yang digunakan untuk pengujian kedalaman infiltrasi ion klorida pada beton berupa kubus beton dengan dimensi 150 x 150 x 150 mm. Pada masing-masing benda uji diberikan variasi campuran beton menggunakan semen Portland tipe V dan semen Portland tipe I dengan masa perawatan menggunakan air laut 7, 14, dan 28 hari untuk pengujian kuat tekan serta 28, 60, dan 90 hari untuk pengujian kedalaman infiltrasi ion klorida pada beton.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan mesin *Compression Testing Machine (CTM)* untuk mengetahui besarnya kuat tekan sesuai dengan SNI 1974-2011. Pengujian kedalaman infiltrasi ion klorida pada beton dilakukan dengan membelah benda uji sesuai umur yang direncanakan, kemudian menyemprotkan larutan  $\text{AgNO}_3$  0,1mol/L pada satu profil benda uji yang terbelah, untuk mendapatkan perubahan warna yang stabil dilakukan pengambilan gambar setelah 20 detik dilakukannya penyemprotan tersebut, gambar dari hasil pengujian infiltrasi kemudian di *sketch* ulang pada *software Autocad* dan mengukur beberapa titik yang terlihat secara visual perubahan warna yang terjadi pada beton tersebut.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Membandingkan nilai pengujian kuat tekan beton antara benda uji dengan penggunaan semen Portland tipe V dan benda uji dengan semen Portland tipe I dilakukan untuk mengetahui manfaat dari jenis semen diantara keduanya terhadap ketahanan beton dengan serangan air laut.



Gambar 1. Grafik kuat tekan rata-rata beton

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa benda uji dengan penggunaan semen Portland tipe V pada umur 7 dan 14 hari memiliki nilai kuat tekan 3% dan 24,9% lebih rendah dari nilai kuat tekan beton dengan penggunaan semen Portland tipe I. Namun pada umur 28 hari, nilai kuat tekan dengan penggunaan semen Portland tipe V justru memberikan nilai kuat tekan 10,8% lebih tinggi ketimbang nilai kuat tekan dengan penggunaan semen Portland tipe I.

Dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan penelitian Wegian, [4] dimana dalam penelitiannya disimpulkan bahwa penggunaan *Sulphate-Resisting Cement (SRC)* atau semen Portland tipe V meningkatkan kemampuan kerja dalam keadaan segar dan penguatan kekuatan campuran *Sulphate-Resisting Cement (SRC)* juga lebih besar dari campuran *Ordinary Portland Cement (OPC)* setelah 28 hari.

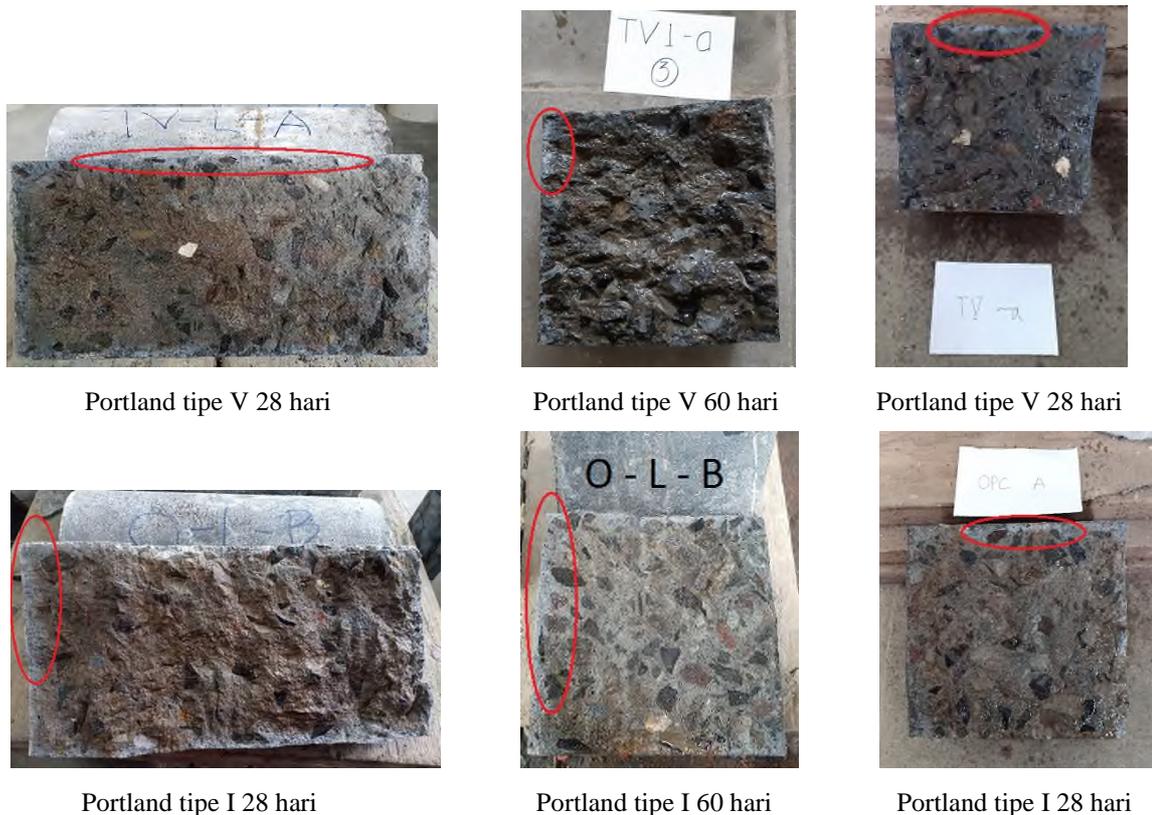
Pembatasan kadar  $\text{C}_3\text{A}$  dan  $\text{C}_4\text{F}$  pada semen Portland tipe V menjadikan  $\text{C}_3\text{S}$  dan  $\text{C}_2\text{S}$  senyawa yang dominan dalam semen, sehingga kadar silikat pada semen Portland tipe V tergolong tinggi. Oleh karena itulah, penggunaan semen Portland tipe V memiliki kekuatan yang relatif tinggi, namun kekuatan awalnya tergolong rendah dibandingkan

dengan penggunaan semen Portland tipe I. Penggunaan semen Portland tipe I memberikan kekuatan awal terlihat lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji yang menggunakan semen Portland tipe V.

Hal tersebut membenarkan pernyataan Santhanam, [3] bahwa pada awal serangan sulfat dapat terjadi pembentukan *brucite* yang memiliki karakteristik memperlambat terjadinya efek dari serangan sulfat pada beton, sehingga kuat tekan pada awal terlihat lebih tinggi, namun dengan berjalannya waktu kekuatan tersebut akan menurun dikarenakan serangan sulfat yang terjadi pada beton.

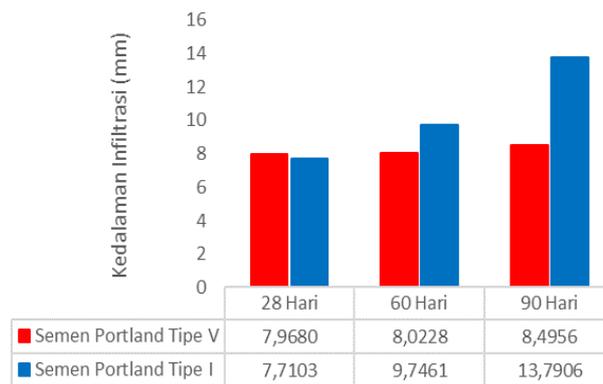
### **Pengujian Kedalaman Infiltrasi Ion Klorida**

Sesuai dengan pernyataan Otsuki, [5] pada pengujian ini disemprotkan kadar konsentrasi larutan  $\text{AgNO}_3$  sebesar 0,1 mol/L. Perubahan warna yang dijelaskan terjadi pada beton yang mengandung adanya ion klorida, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil penyemprotan larutan  $\text{AgNO}_3$  pada beton

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa hasil pengujian kedalaman infiltrasi ion klorida beton terjadi pada kedalaman antara 0-1,4 cm hingga umur perendaman 90 hari. Dengan penggunaan semen Portland Tipe V kedalaman infiltrasi ion klorida lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan semen Portland tipe I pada masing-masing variasi umur perendamannya. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan semen Portland Tipe V dapat menghambat laju infiltrasi air laut yang terjadi pada beton. Semakin kecil laju infiltrasi yang diberikan pada beton, maka diharapkan semakin kecil bahaya dari serangan sulfat pada beton yang dapat merusak kekuatan beton.



Gambar 3. Grafik rata-rata pengujian infiltrasi ion klorida

Teori mengenai komposisi kadar  $C_3A$  dan  $C_4AF$  yang kecil pada semen Portland tipe V memang berpengaruh terhadap perawatan air laut, karenanya serangan sulfat yang terjadi pada beton kecil. Hal ini dibuktikan dengan laju air laut yang berdifusi pada beton tidak besar, maka serangan sulfat yang mengakibatkan kerusakan pada beton lebih kecil, sehingga beton lebih awet dan lebih kuat berada pada lingkungan yang agresif.

## 5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pengaruh penggunaan semen Portland tipe V pada perendaman air laut memberikan nilai kuat tekan 10,8%, lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan semen Portland tipe I sebagai bahan campuran beton pada umur 28 hari.
2. Waktu perendaman beton sebanding dengan nilai kuat tekan yang diberikan oleh penggunaan semen Portland Tipe V dan semen Portland tipe I dimana semakin lama waktu perendaman yang diberikan pada beton maka semakin tinggi nilai kuat tekannya hingga umur 28 hari. Pada awal masa perawatan, nilai kuat tekan beton yang diberikan oleh semen Portland tipe V memberikan nilai yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan semen Portland tipe I, kemudian setelah umur 28 hari, nilai kuat tekan beton tersebut menunjukkan nilai yang lebih tinggi pada penggunaan semen Portland tipe V dibandingkan dengan penggunaan semen Portland tipe I.
3. Infiltrasi ion klorida beton dengan perendaman air laut terjadi pada kedalaman antara 0-1,4 cm hingga umur perawatan 90 hari. Dengan penggunaan semen Portland tipe V kedalaman infiltrasi ion klorida lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan semen Portland tipe I pada masing-masing variasi umur perendamannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Neville, A.M. (2011). *Properties of Concrete Fifth Edition*. England: Pitman Publishing Limited, Edinburgh Gate.
- [2] Shetty, M.S. *Concrete Technology*. New Delhi: S. Chand and Company Ltd, (2005).
- [3] Santhanam Manu; Cohen Menashi D.; Olek J. (2001). "Mechanism of Sulfat attack. Summary of experimental results, *Cement and Concrete Research*". 32: 915-921.
- [4] Wegian, Falah M. (2010). *Effect of Seawater for Mixing and Curing on Structure Concrete*. IES Journal Part A. Civil and Structure Engineering. Taylor & Francis Group.
- [5] Otsuki N; Nagataki S; Nakashita K. "Evaluation of  $AgNO_3$  solution spray method for measurement of chloride penetration into hardened cementations matrix materials". *ACI Materials Journal* 1992; 89 (6): 587-592.
- [6] ASTM International. *Standard Specification for Portland Cement, ASTM C 150-94*. United Stated: ASTM International.
- [7] Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder, SNI 1974-2011*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.