

PENGARUH AIR LAUT PADA MASA PERAWATAN TERHADAP INFILTRASI ION KLOORIDA PADA BETON DENGAN PENAMBAHAN *FLY ASH* 12,5%

Laras Ari Indriyanto¹, Ashar Saputra² dan Djoko Sulisty³

¹*Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia*
Email: larasari@ugm.ac.id

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

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

ABSTRACT

The use of concrete material which dominates Indonesian construction industry is not only because its compilers are easy to get, but also because it has high durability. Anyhow, concrete structure might have high risk of damage in aggressive region and open space. Sulfate attack will form calcium sulfoaluminate where the volume of calcium aluminate is higher than concrete's, so its volume increases and damages the connection between aggregate and cement which work as bonding. One of applicative and easy-to-get technology in preventing the effect of sulfate attack is by using additional material, pozzolan. It consists of fly ash and Blast Furnace Cement BFC which come from iron ore refining process. This research aims at finding out the effect of sea water in immersion phase and age variation towards compressive strength, split strength, flexural tensile strength and concrete permeability as well as the depth of chloride ion infiltration in normal concrete by adding fly ash. Chloride ion infiltration testing is done by soaking 150x150x150 mm cube using sea water with various period for 28, 60 and 90 days and then it will be sprayed by AgNO₃ solution to know the depth of absorbed chloride ion infiltration. Chloride ion infiltration of concrete using sea water happens in 0-1.4 cm depth up to 90 days management. The addition of fly ash 12.5% makes the depth of chloride ion infiltration become smaller than using OPC for each immersion age variation.

Keywords: Sea water's effect towards concrete, fly ash, compressive strength, concrete's chloride ion infiltration.

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 memiliki tingkat risiko kerusakan yang tinggi 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 yang aplikatif dan mudah diperoleh dalam pencegahan dampak serangan sulfat adalah penggunaan bahan tambah berupa pozzolan, yaitu *fly ash*, oleh karenanya penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh air laut pada masa perawatan dengan variasi umur 28, 60, dan 90 hari terhadap kedalaman infiltrasi ion klorida yang terjadi pada beton dengan penambahan *fly ash* 12,5%. Pengujian kedalaman infiltrasi ion klorida dilakukan dengan menyemprotkan larutan perak nitrat (AgNO₃) 0,1mol/L pada beton yang dibelah sesuai umur perawatan yang ditentukan dengan dimensi beton 15x15x15 cm. Laju infiltrasi ion klorida beton dengan perawatan air laut terjadi pada kedalaman antara 0-1,4 cm hingga umur perawatan 90 hari. Dengan penambahan *fly ash* 12,5% laju infiltrasi ion klorida lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan semen Portland tipe I pada masing-masing variasi umur perendamannya.

Kata kunci: pengaruh air laut pada beton, *fly ash*, kuat tekan, infiltrasi ion klorida,

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, banyak dilakukan pembangunan di kawasan laut, contohnya pembangunan jembatan, pelabuhan (*harbour*), dermaga, bangunan lepas pantai (*offshore structures*), dan bangunan di laut lainnya. Bangunan di air laut banyak ditemukan di lapangan, namun penelitian tentang pengaruh air laut terhadap bangunan tersebut masih sedikit dilakukan. Pengaruh lingkungan agresif yang terdiri dari pengaruh air laut, udara, dan larutan yang mengandung garam sulfat, klorida, asam sulfat, dan zat lainnya yang bersifat agresif tentunya akan mempengaruhi sifat-sifat fisik dan mekanik dari bangunan tersebut, khususnya pada bahan bangunan yang berupa beton.

Penggunaan material beton yang mendominasi industri konstruksi Indonesia sejak tahun 1965 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.

Beton yang digunakan untuk material struktur bangunan dituntut memiliki sifat yang kuat dalam menahan beban atau gaya-gaya bekerja. Selain itu, beton juga harus memiliki durabilitas tinggi agar beton tidak cepat rusak dan dapat bekerja sebagai struktur untuk jangka waktu lama. Durabilitas suatu beton dapat berkurang, menurut Murdock (1991), antara lain disebabkan akibat polusi atmosfer di kota besar, akibat serangan air laut, serangan sulfat, erosi gerakan air, atau terbentuknya retak rambut. Karena itu, terhadap bangunan-bangunan yang menggunakan struktur beton bertulang yang berada di lingkungan air laut perlu mendapat perhatian khusus. Seperti pada dermaga struktur beton bertulang yang telah lama dibangun, pada bagian pondasi yang terkena pasang-surut air laut, warna betonnya berubah menjadi putih. Hal ini menunjukkan telah terjadi kerusakan pada beton akibat pengaruh air laut. Menurut Neville (1981) kerusakan beton di air laut disebabkan klorida yang terkandung di air laut, yaitu NaCl dan MgCl. Senyawa ini bila bertemu senyawa semen menyebabkan gypsum dan kalsium sulfoaluminat (*ettringite*) dalam semen mudah larut.

Serangan sulfat terjadi ketika sulfat bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) pada semen terhidrasi, sehingga membentuk kalsium sulfat (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 penambahan *fly ash* (abu batu bara) 12,5%. Secara mekanik ukuran butiran *fly ash* yang lebih halus akan meningkatkan kerapatan mortar, yang pada akhirnya meningkatkan kuat tekan mortar. *fly ash* lebih tepat berfungsi sebagai filler atau pengisi. Dimana pori yang diisi oleh *fly ash* akan menambah kedekatan beton yang akan berbanding lurus dengan kuat tekan beton.

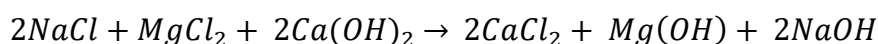
Pada penelitian ini akan dikaji lebih dalam mengenai pengaruh air laut terhadap kuat tekan dan kedalaman infiltrasi ion klorida pada beton dengan penambahan *fly ash* 12,5% sebagai campuran material penyusun beton.

2. LANDASAN TEORI

Pengaruh Kimia Air Laut Terhadap Semen Portland dan Peran *Fly Ash*

Pengalaman dan rekomendasi oleh sejumlah besar peneliti mengenai penggunaan air laut untuk perawatan beton saling bertentangan, beberapa melaporkan hasil yang menyatakan akibat buruk, sedang yang lain menyatakan tidak ada pengaruh yang merugikan.

Kerusakan beton di air laut disebabkan klorida yang terkandung di air laut, yaitu NaCl dan MgCl. Kemungkinan reaksi yang terjadi antara NaCl dan MgCl dengan hidrasi semen (Rena, 2012):



Dari hasil reaksi di atas, beton mengalami pelepasan kalsium dan hal ini menyebabkan porositas beton meningkat, ekspansi dan keretakan yang terjadi oleh karena penambahan hidrat menyebabkan daya tahan beton menurun.

Untuk itu, untuk meningkatkan mutu dan ketahanan beton di daerah agresif, dapat digunakan bahan tambah yaitu abu terbang (*fly ash*), karena *fly ash* mengandung Oksida Silika (SiO_2) yang secara kimia akan bereaksi dengan Kalsium Hidroksida (Ca(OH)_2) yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan akan menghasilkan Kalsium Silikat Hidrat ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) yang memiliki kemampuan mengikat.

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 03-1974-2002 nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dengan:

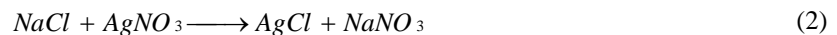
- f'_c : Kuat tekan beton (MPa)
- P : Beban tekan maksimum (N)
- A : Luas penampang silinder (mm²)

Infiltrasi Ion Klorida Dengan Larutan AgNO₃

UNI (Standar Italia) telah merekomendasikan metode kolorimetri untuk konten klorida menggunakan solusi AgNO₃. 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, dkk (1992) menyelidiki berbagai indikator kimia berupa konsentrasi pada batas perubahan warna, dan keakuratan metode AgNO₃. 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 AgNO₃ 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 AgNO₃ 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

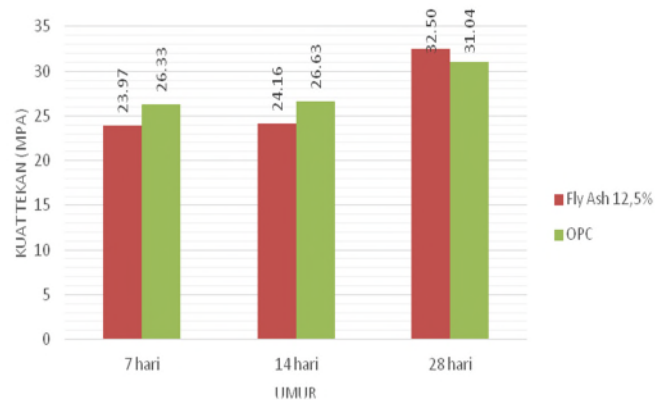
Penelitian ini menggunakan metode ekperimental yang dilakukan di Laboratorium Teknik Bahan Bangunan, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan berupa silinder beton dengan dimensi 300 x 150 mm dan benda uji yang 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. Berikut adalah tahapan pengujian kedalaman infiltrasi ion klorida yang dilakukan.

- a. Membelah benda uji sesuai umur yang direncanakan menjadi 2 (dua) bagian menggunakan CTM
- b. Melakukan penyemprotan larutan AgNO₃ 0,1mol/L pada satu profil benda uji terbelah
- c. Mengambil foto/ dokumentasi benda uji yang telah disemprot setelah 20 detik untuk mendapatkan perubahan warna yang stabil
- d. Mengukur kedalaman infiltrasi ion klorida pada beton yang secara visual terlihat perubahan warna menjadi lebih putih, menggunakan software Autocad, dengan cara melakukan import foto ke lembar kerja Autocad kemudian diukur kedalaman terbesar pada setiap sisinya masing-masing 4 titik.
- e. Menghitung rata-rata kedalaman infiltrasi ion klorida dari 16 titik pengukuran untuk setiap benda uji .

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

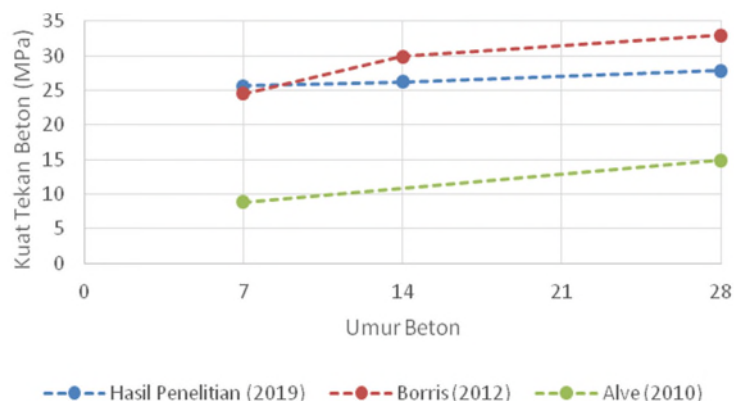
Membandingkan nilai pengujian kuat tekan beton antara benda uji dengan penambahan *fly ash* 12,5% dan benda uji dengan semen Portland tipe I (OPC) dilakukan untuk mengetahui manfaat dari jenis semen diantara keduanya terhadap ketahanan beton dengan serangan air laut.



Gambar 1. Grafik kuat tekan rata-rata beton

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa benda uji dengan penambahan *fly ash* 12,5% memberikan nilai kuat tekan 8,9% dan 9,3% lebih rendah dari nilai kuat tekan beton dengan penggunaan semen Portland tipe I. Namun pada umur 28 hari, nilai kuat tekan dengan penambahan *fly ash* 12,5% justru memberikan nilai kuat tekan 4,5% lebih tinggi ketimbang nilai kuat tekan dengan penggunaan semen Portland tipe I. Hal yang menyebabkan lambatnya pengaruh penggunaan *fly ash* disebabkan reaksi senyawa kalsium hidroksida, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan produk hidrasi dengan senyawa silika yang ada pada *fly ash* berlangsung lambat sehingga terbentuknya calcium silica hidrat (CSH) lebih lama (di atas 28 hari), selanjutnya senyawa CSH ini yang memberikan kekuatan tambahan pada beton. Secara mekanik ukuran butiran *fly ash* yang lebih halus akan meningkatkan kerapatan mortar, yang pada akhirnya meningkatkan kuat tekan mortar.

Dibandingkan dengan hasil yang diberikan oleh pengujian kuat tekan memiliki *trend line* yang sama dengan penelitian Borris (2012) dan Alve (2010), dapat dilihat pada Gambar 5.4 dimana pada penggunaan *fly ash* kadar tertentu mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya umur beton tersebut.

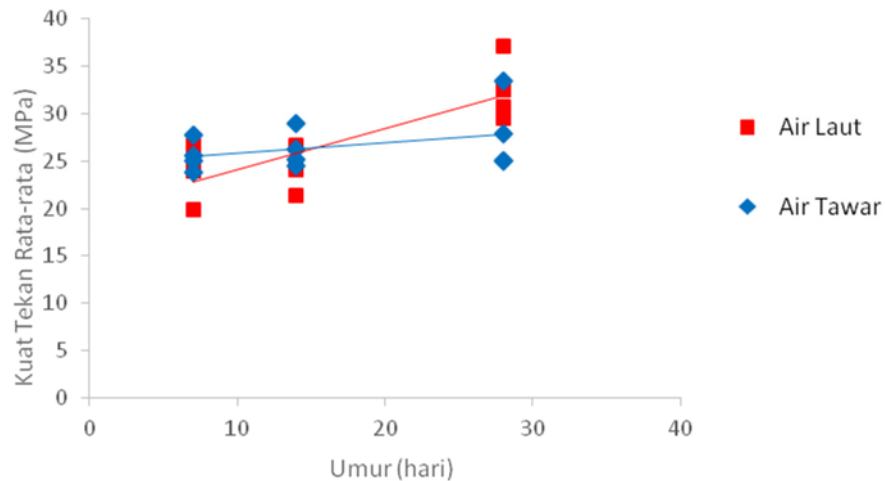


Gambar 2. Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton dengan Penambahan *Fly Ash*

Dilain sisi, kuat tekan benda uji dengan perawatan air laut pada umur 28 hari mengalami kenaikan cukup signifikan sebesar 34,53% terhadap kuat tekan pada benda uji umur 14 hari dengan perawatan yang sama. Hal yang menyebabkan lambatnya pengaruh penggunaan *fly ash* disebabkan reaksi senyawa kalsium hidroksida, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan produk hidrasi dengan senyawa silika yang ada pada *fly ash* berlangsung lambat sehingga terbentuknya calcium silica hidrat (CSH) lebih lama (di atas 28 hari), selanjutnya senyawa CSH ini

yang memberikan kekuatan tambahan pada mortar. Secara mekanik ukuran butiran *fly ash* yang lebih halus akan meningkatkan kerapatan mortar, yang pada akhirnya meningkatkan kuat tekan mortar.

Dari hasil tersebut maka dapat dilihat kesinambungan hasil penelitian yang dilakukan dengan hasil penelitian oleh Borris (2012) dan Alve (2010), bahwa kuat tekan beton dengan penambahan *fly ash* dengan perendaman air laut didapatkan nilai yang lebih tinggi untuk waktu perendaman 28 hari ke atas.



Gambar 3. Grafik Distribusi dan Tren Kuat Tekan Pada Benda Uji Dengan Penambahan *Fly Ash* 12,5%

Berdasarkan *trendline* kuat tekan pada Gambar 5.5 dapat dikatakan bahwa secara umum kuat tekan pada setiap variasi perendaman akan mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya umur beton. Pada perawatan air laut hasil kuat tekan di umur beton yang masih muda, cenderung lebih rendah dibandingkan dengan perawatan air tawar, hal ini menunjukkan bahwa rendahnya kuat tekan yang direndam dalam air laut disebabkan karena adanya serangan sulfat dan diperburuk dengan adanya ion klorida yang terdapat dalam air laut. Ion klorida dapat masuk ke dalam beton melalui pori-pori yang terbentuk akibat keluarnya senyawa kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang merupakan hasil reaksi hidrasi antara semen dengan air. Reaksinya akan menghambat perkembangan kuat tekan beton, dan mengakibatkan beton akan mengembang, selanjutnya terjadi *spalling* dan retak. Akhirnya pada bagian beton yang terserang oleh sulfat dan chlorida akan menjadi rapuh.

Pengujian Kedalaman Infiltrasi Ion Klorida

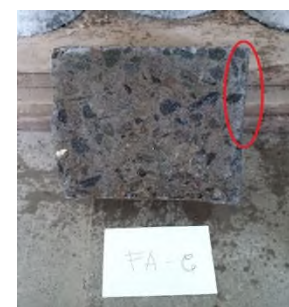
Penyemprotan larutan AgNO_3 pada beton yang didalamnya terdapat kandungan klorida, maka akan ada reaksi diantaranya dan menimbulkan perubahan warna keputihan pada beton. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 yang memperlihatkan salah satu benda uji dari masing-masing variasi penambahan *fly ash* 12,5% dan semen Portland tipe I pada masing-masing umur perendaman yang dilakukan.



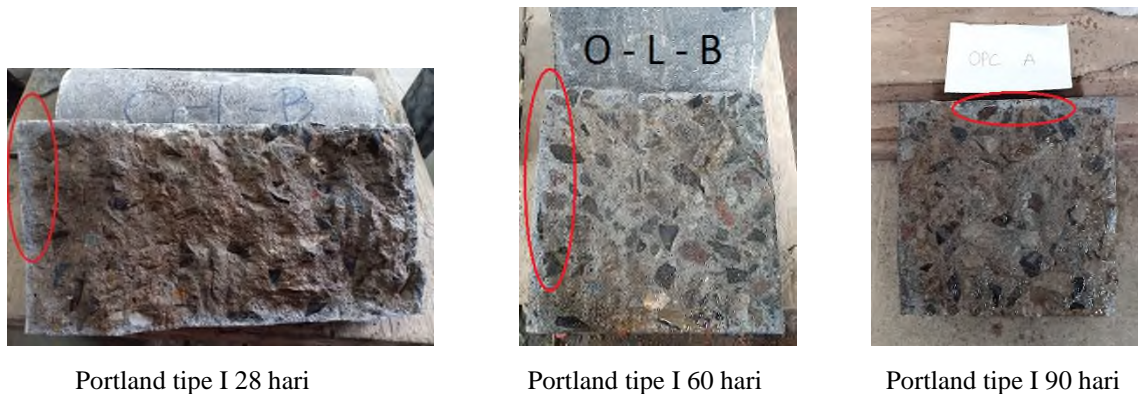
Fly Ash 12,5% 28 hari



Fly Ash 12,5% 60 hari

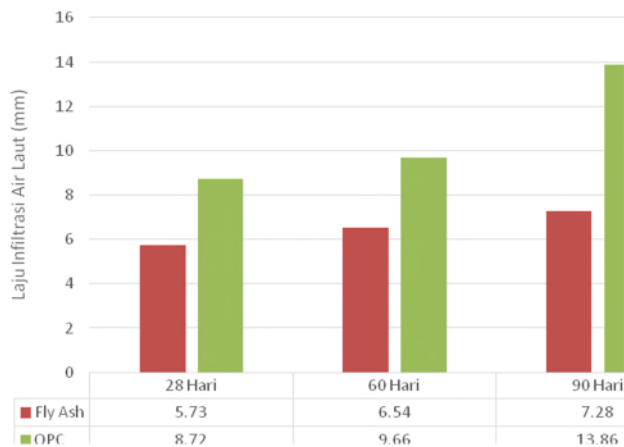


Fly Ash 12,5% 90 hari



Gambar 4. Hasil penyemprotan larutan AgNO₃ pada beton

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa hasil pengujian laju infiltrasi ion klorida beton terjadi pada kedalaman antara 0-1,4 cm hingga umur perawatan 90 hari. Dengan penambahan *fly ash* 12,5% laju infiltrasi ion klorida lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan semen Portland tipe I pada masing-masing variasi umur perendamannya. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan *fly ash* 12,5% 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 5. Grafik Rata-rata Pengujian Infiltrasi Ion Klorida

Teori mengenai terbentuknya calcium silica hidrat (CSH) yang memberikan kekuatan tambahan pada beton, dan ukuran butiran *fly ash* yang lebih halus akan meningkatkan kerapatan mortar, yang pada akhirnya meningkatkan kuat tekan mortar 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 penambahan *fly ash* 12,5% pada perawatan air laut memberikan nilai kuat tekan 4,5%, lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan semen Portland tipe I sebagai bahan campuran beton pada umur 28 hari.
2. Waktu perawatan beton berbanding lurus dengan nilai kuat tekan yang diberikan oleh penambahan *fly ash* 12,5% dan penggunaan semen Portland tipe I. Namun pada awal masa perawatan, nilai kuat tekan beton yang diberikan oleh *fly ash* 12,5% 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 penambahan *fly ash* 12,5% dibandingkan dengan penggunaan semen Portland tipe I.

3. Laju infiltrasi ion klorida beton dengan perawatan air laut terjadi pada kedalaman antara 0-1,4 cm hingga umur perawatan 90 hari. Dengan penambahan *fly ash* 12,5% laju infiltrasi ion klorida lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan semen Portland tipe I pada masing-masing variasi umur perendamannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Borris. 2012. Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* pada Beton Mutu Normal dan Mutu Tinggi Ditinjau dari Kuat Tekan dan Absorpsi. *Media Teknik Sipil* vol. 10 no. 1.
- Neville, A.M. 2011. *Properties of Concrete Fifth Edition*. England: Pitman Publishing Limited, Edinburgh Gate.
- Otsuki N; Nagataki S; Nakashita K. *Evaluation of AgNO₃ solution spray method for measurement of chloride penetration into hardened cementations matrix materials, ACI Materials Journal* 1992; 89 (6): 587-592.
- Yunus, Alve., 2010, "Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash sebagai Bahan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)", Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta.