

ABSTRAK

PENGARUH KERETAKAN BETON DENGAN CAMPURAN *FLY ASH* TERHADAP LAJU DIFUSI KLORIDA

Bryandi Iqbal¹ dan Sri Murti Adiyastuti, Ph.D²

Program Magister Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

¹bryandi.iqbal@students.itb.ac.id dan ²adiyastuti@ocean.itb.ac.id

Studi ini mempelajari tentang pengaruh keretakan beton dengan campuran *Fly Ash* terhadap laju difusi klorida. Penelitian dimulai dengan pengambilan sampel Data lapangan di PT. Pelabuhan Indonesia II Cabang Cirebon dan PT. Cirebon Power berupa serbuk beton. Setelah mendapatkan nilai Laju difusi klorida pada kedua lokasi tersebut, dilanjutkan pembuatan beton dan percobaan *Steady State Migration*. Hasil dari penelitian ini adalah membandingkan laju difusi klorida pada PT. Cirebon Power dan PT. Pelindo II Cabang Cirebon dengan sampel beton yang dibuat di laboratorium Struktur ITB. Setelah sampel beton dibuat, dilakukan Uji *Steady State Migration* untuk mengetahui laju difusi klorida pada sampel tersebut. Sehingga bisa dibandingkan dengan sampel yang didapat dari lapangan. Penelitian ini juga mempelajari laju difusi klorida pada retakan.

Kata kunci : Laju Difusi Klorida, *Fly Ash*, *Steady State Migration*

PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan struktur yang banyak ditemui dalam kehidupan sehari-hari. Rumah, dermaga, dan pemecah gelombang merupakan salah satu contohnya. Tulangan pada beton bertulang pada umumnya terbuat dari besi, sedangkan besi adalah logam yang rawan terhadap korosi. Tulangan yang terkorosi merupakan awal kerusakan beton yang secara keseluruhan akan memperpendek umur struktur. Bila beton sudah tidak dalam kondisi baik akan mengalami keretakan. Laju korosi pada beton yang mengalami retak, akan meningkat seiring dengan besaran dari retak yang terjadi pada beton dikarenakan ion Cl^- akan lebih mudah masuk ke dalam pori-pori beton. Dalam penelitian ini akan dilakukan eksperimen untuk dapat menentukan laju difusi klorida pada beton dengan campuran *Fly Ash* yang telah mengalami keretakan.

TEORI DASAR DAN METODOLOGI

Djerbi et. al. (Djerbi, Bonnet, Khelidj, & Baroghel-bouny, 2008) melakukan penelitian tentang pengaruh retakan pada beton terhadap difusi klorida. Beton dibuat menjadi tiga tipe, yakni OC, HPC, dan HPCSF. Beton dalam bentuk silinder ukuran 110 x 220 mm dan dipotong dengan ketebalan 50 mm. Pada beton dibuat retakan dengan ukuran 200, 300, 400, 500, 600, dan 700 μm . Untuk mempercepat penetrasi klorida digunakan *steady-state migration test*. Dari penelitian tersebut dapat dipelajari bahwa semakin besar retakan maka laju difusi klorida menjadi lebih cepat untuk seluruh tipe beton.

Heirman (Heirman, 2006) melakukan pengujian steady state migration test sesuai dengan NT 355 dengan variasi perendaman beton dilakukan setelah curing 28 hari hingga beton berumur 89 hari. Hasil dari pengujian menjelaskan semakin besar mutu dan kualitas beton, semakin lama pengujian untuk steady state migration test.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap beton yang mengalami keretakan dengan menggunakan *splitting test* sehingga didapatkan beberapa lebar retakan. Dan diatur sedemikian rupa sehingga terdapat satu sampel yang memiliki lebar retakan dan komposisi beton yang sama dengan data yang didapatkan dari lapangan. Selain itu akan dilakukan juga pengujian terhadap beberapa jenis beton dengan perbedaan kadar campuran *Fly Ash* pada semen untuk mendapatkan formasi terbaik yang dapat diaplikasikan. Dilakukan percepatan penetrasi klorida menggunakan *steady-state migration test*. Dari hasil tersebut dapat dihitung Laju difusi dengan menggunakan hubungan Nernst-Planck,

$$J(x) = -D_e \frac{\partial c}{\partial x} + D_e \frac{zFE}{RTL} c + cv(x) \quad (1)$$

Dimana D_e adalah Laju difusi beton (m^2/s), c adalah konsentrasi klorida (mol/m^3), $J(x)$ adalah fluks ion klorida (mol/m^2s), z adalah valensi ion klorida ($z=1$), F adalah konstanta Faraday ($F= 96480 \text{ J/(V mol)}$), E adalah beda potensial (V), R adalah konstanta gas ($R = 8.3144 \text{ J/(mol K)}$), T adalah temperatur (K), L adalah ketebalan sampel (m), dan $v(x)$ adalah kecepatan zat terlarut (m/s). Jika beton adalah campuran, maka kecepatan zat terlarut dapat diabaikan. Dan dengan mengabaikan arus difusi, Persamaan 1 dapat disederhanakan menjadi Persamaan 2,

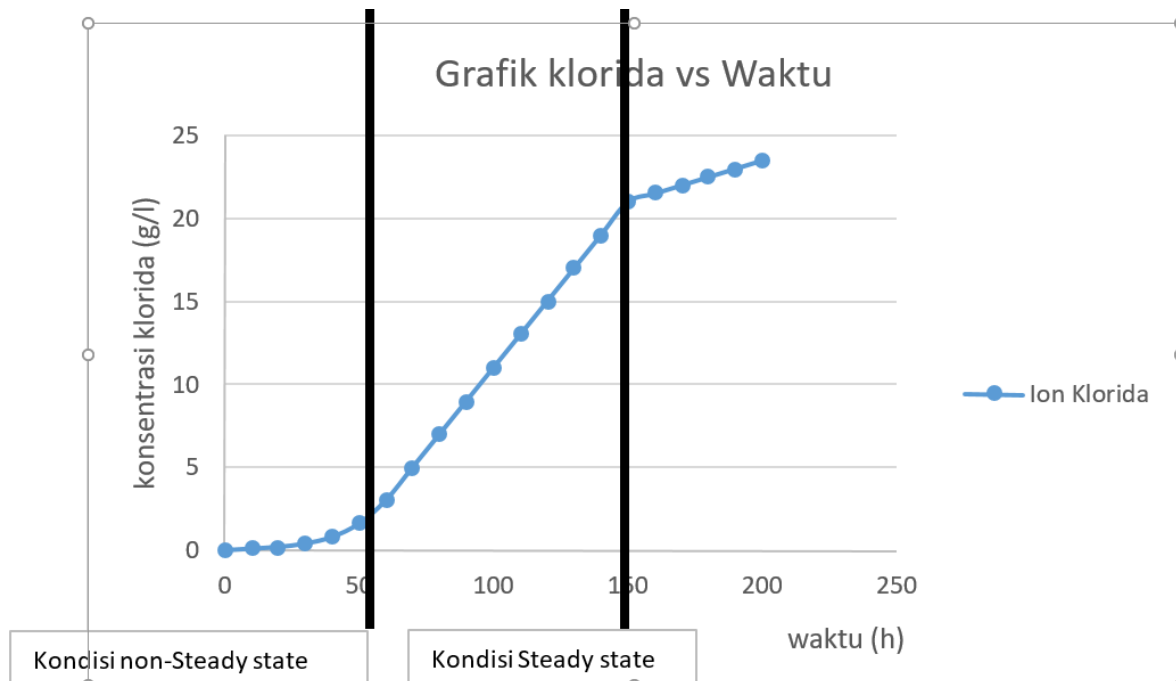
$$D_e = \frac{LRT}{czFE} J \quad (2)$$

Agar didapatkan kondisi *steady state*, gradien konsentrasi harus dijaga konstan selama pengujian. Sehingga kita harus melakukan pembaharuan terhadap larutan secara teratur.

Kemudian fluks J dapat dihitung dengan menggunakan regresi kemiringan yang konstan (Persamaan 3).

$$J = \frac{V \Delta C_{Cl^-}}{A t} \quad (3)$$

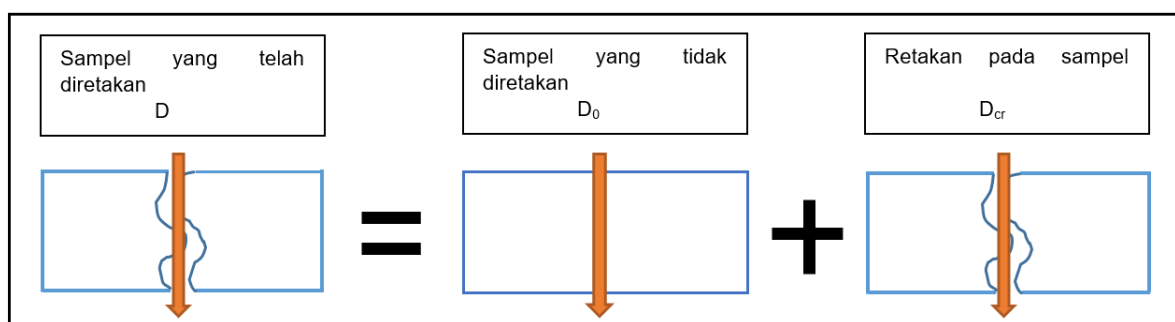
Dimana V adalah volume larutan di anoda (m^3), A adalah luasan potongan dari beton (m^2), ΔC_{Cl^-} adalah kenaikan konsentrasi klorida di anoda (mol/m^3), dan t adalah waktu yang diperlukan (s), memberikan $\frac{\Delta C_{Cl^-}}{t}$ sebagai kemiringan (lihat Gambar 1). Waktu penetrasi ke dalam benda uji coba disebut *lag time* (T_{lag}).



Gambar 1 Representasi Skema Migrasi Klorida Non-Steady Stae dan Steady State

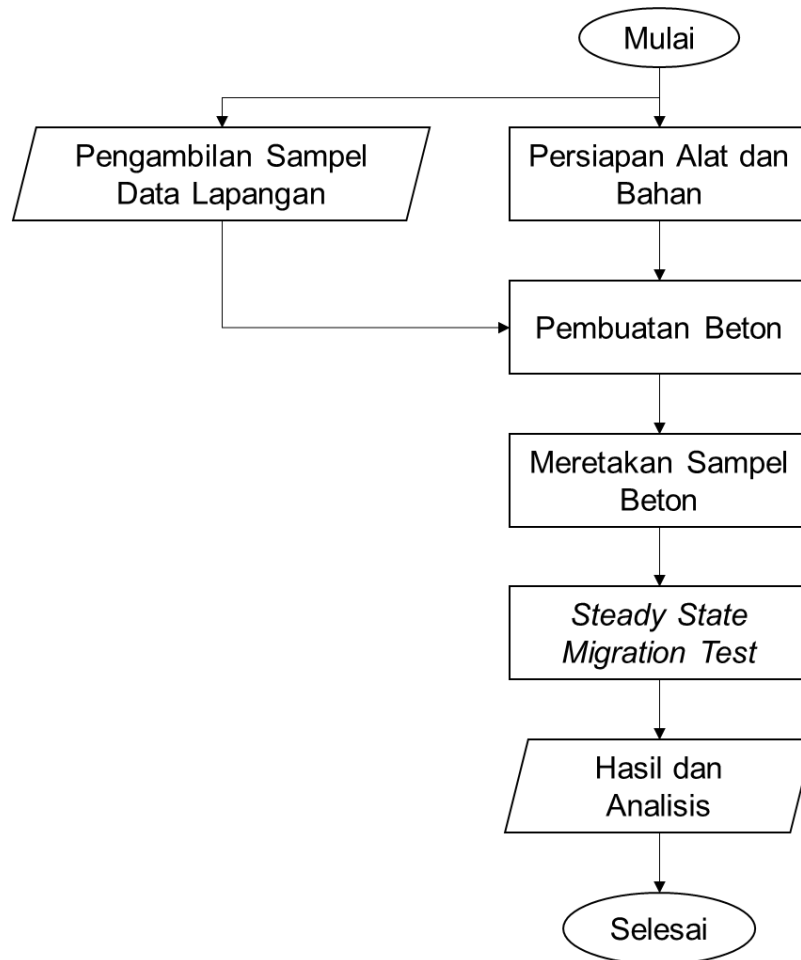
(Djerbi, Bonnet, Khelidj, & Baroghel-bouny, 2008) juga meneliti tentang laju difusi pada celah retakan (D_{cr}). Celah retakan ini memiliki nilai laju difusi seperti pada Gambar 2 dengan semakin besar lebar celah pada retakan beton, nilai laju difusi klorida akan selalu konstan seperti pada persamaan (4) dan Gambar 2.

$$D_{cr} = \frac{A(D - D_0) + A_{cr}D}{A_{cr}} \quad (4)$$



Gambar 2 Penyederhanaan Proses Difusi pada Beton Retak

Penelitian dimulai dengan pengambilan sampel Data lapangan di PT. Pelabuhan Indonesia II Cabang Cirebon dan PT. Cirebon Power berupa serbuk beton. Setelah mendapatkan nilai Laju difusi klorida pada kedua lokasi tersebut, dilanjutkan pembuatan beton dan percobaan *Steady State Migration*. Berikut Gambar 3 berupa diagram alur penelitian.



Gambar 3 Diagram Alur Penelitian

Berikut Tabel 1 Daftar Campuran Beton yang digunakan

Tabel 1 Daftar Campuran Beton

No.	Campuran	Jumlah
1	Semen Tipe I K-250	2 Silinder
2	Semen Tipe I K-400	4 Silinder
3	Semen Tipe I K-400 + <i>Fly Ash P.T. Cirebon Power</i> 30%	3 Silinder

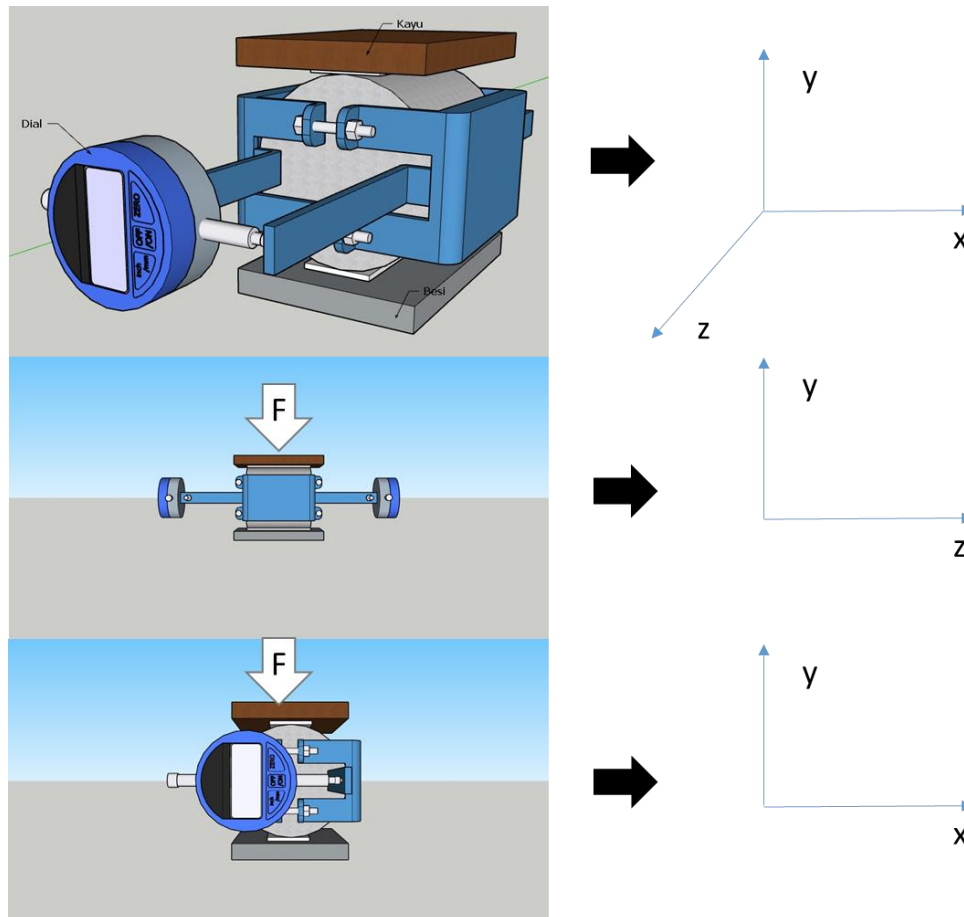
Pada eksperimen ini pembuatan beton sampai dilakukan sebanyak 4 kali. Hal tersebut dikarenakan tidak didapatkannya kekuatan yang diinginkan. Adapun faktor yang menyebabkan hal tersebut dikarenakan agregat yang digunakan pada percobaan 1 dan 2 tidak memiliki kualitas yang baik. Dan pada percobaan ketiga dilakukan perbandingan perhitungan mix design menggunakan (SNI 03-6468, 2000) dan (ACI 211.1-91, 2002).

Setelah beton dibuat tahap, berikutnya pemotongan beton sepanjang 5 cm dan dilanjutkan peretakan beton, ilustrasi peretakan beton seperti pada Gambar 4.

Alat yang dibutuhkan antara lain:

- Alat Splitting Test
- Dial Digital

Piringan beton yang telah ditutup sisi lateral oleh epoxy resin ditempatkan dalam alat *splitting test* yang telah terpasang sensor Dial Digital. Instalasi pada alat *splitting test* terlihat pada Gambar 4. Peretakan sampel beton akan dilakukan di Laboratorium Struktur Beton ITB. Dua Dial Digital dengan jangkauan hingga 800 μm digunakan untuk mengukur *lateral displacement*. Rata-rata dari retakan kedua sisi piringan beton disebut dengan *Crack Opening Displacement* (COD). Beban akan diberikan oleh alat *splitting test* hingga mencapai retakan dengan lebar 200, 400, 600, dan 800 μm .

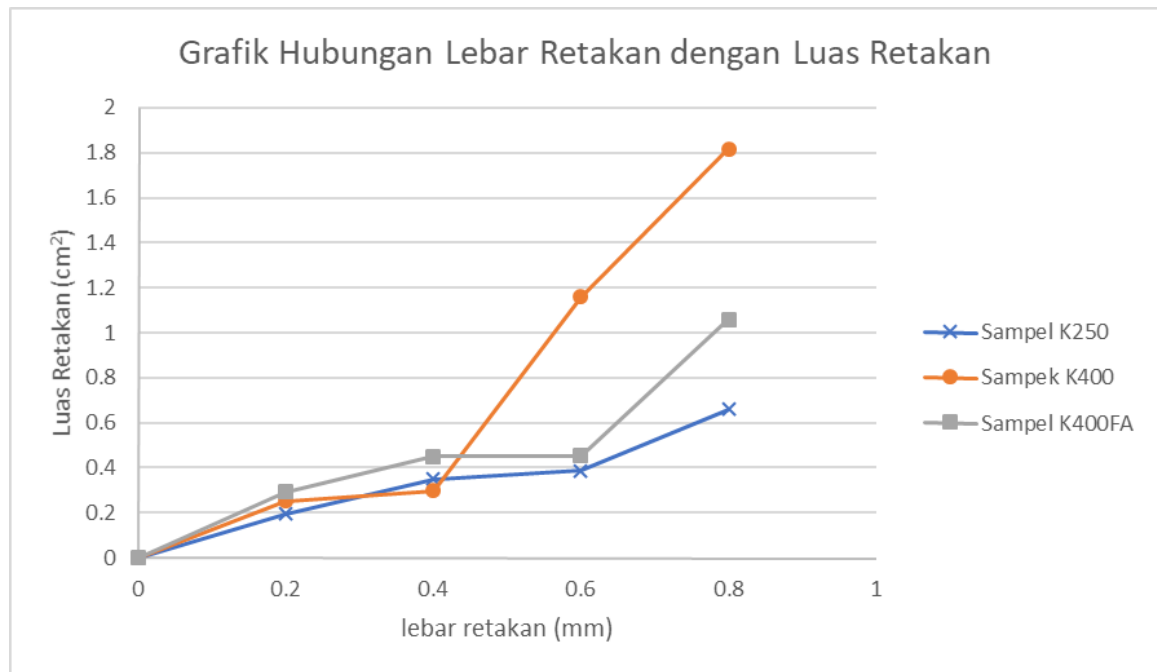


Gambar 4 Ilustrasi peretakan menggunakan Dial Digital

Pada Tabel 2 dan Gambar 5 dapat dilihat bila lebar retakan semakin besar, maka luas retakan pada sampel beton akan semakin besar. Nilai luas retakan masih stabil hingga retakan 0.4 mm untuk seluruh sampel. Pada sampel K250 dan K400FA, perubahan lebar retakan tidak mengalami perubahan luas yang besar. Tetapi pada beton K400 perubahan luas retakan mengalami kenaikan yang signifikan pada retakan 0.6 mm dan 0.8 mm. Dari proses peretakan ini, tidak dapat diambil hubungan antara lebar retakan dan luas retakan yang telah dilakukan dengan menggunakan alat *splitting test* dan dial digital.

Tabel 2 Luas Retakan pada Permukaan sampel Beton

Beton	Lebar Retakan (mm)	Luas Retakan (cm ²)
A.1.2	0.2	0.1949
A.1.3	0.4	0.3487
A.1.4	0.6	0.3871
A.1.5	0.8	0.6598
B.1.2	0.2	0.2509
B.1.3	0.4	0.2987
B.1.4	0.6	1.1603
B.1.5	0.8	1.816
C.1.2	0.2	0.2915
C.1.3	0.4	0.4505
C.1.4	0.6	0.4523
C.1.5	0.8	1.059



Gambar 5 Grafik hubungan lebar retakan dengan luas retakan pada sampel beton

HASIL DAN PEMBAHASAN DATA LAPANGAN

Hasil dari pengambilan data dari PT. Pelabuhan Indonesia II Cabang Cirebon dan PT. Cirebon Power seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengambilan dan Pengolahan sampel dari Lapangan

No	Lokasi	Laju Difusi Klorida (m ² /s)
1	Long Beam PT. Cirebon Power	2.134×10^{-12}
2	Cross Beam PT.Cirebon Power	8.507×10^{-12}
3	Muara Jati III PT. Pelindo II Cabang Cirebon	6.462×10^{-12}
4	Pelita II PT, Pelindo II Cabang Cirebon	20.670×10^{-12}

Berdasarkan (Habuchi, 2001) batas nilai konsentrasi klorida di permukaan adalah 1% - 1.1% dengan syarat sampel diambil kurang dari 3 meter diatas permukaan air laut. Laju difusi klorida terkecil berada di Long Beam PT. Cirebon Power. Karena lokasi pengambilan sampel serbuk beton berada 3 meter dari permukaan laut. Sehingga penetrasi klorida hanya dari proses penguapan berbeda dengan pengambilan sampel serbuk beton di PT. Pelindo II Cabang Cirebon.

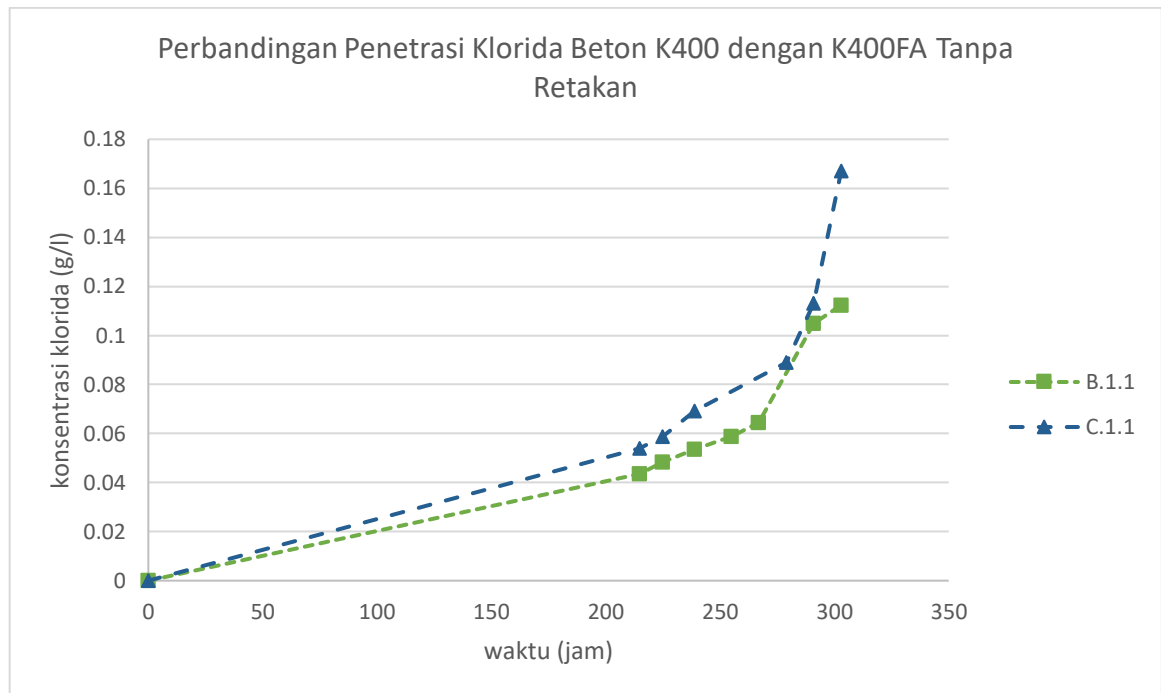
Sedangkan konsentrasi klorida yang diambil pada di dermaga Pelita 2 (PL) sebesar $20,6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Hal ini dikarenakan selimut beton pada dermaga tersebut sudah rusak.

HASIL DAN PEMBAHASAN PERHITUNGAN *STEADY STATE MIGRATION TEST*

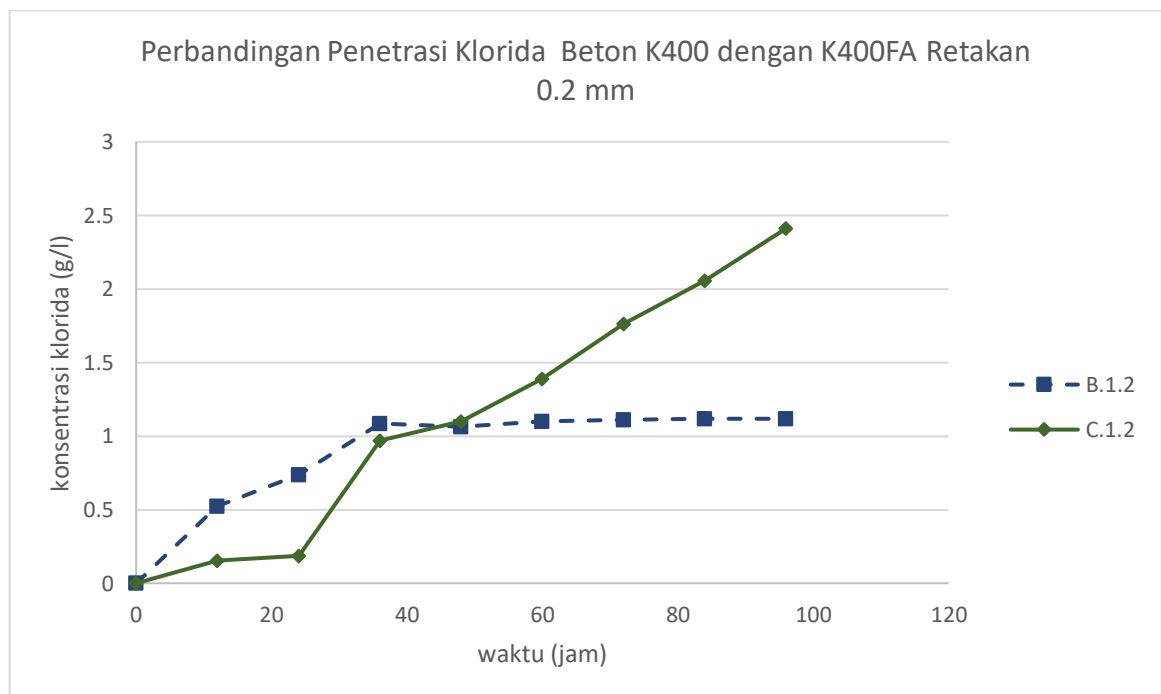
Pada percobaan untuk beton K250 tidak berhasil dengan metode Steady state migration karena banyaknya kesalahan dan data yang tidak sesuai. Semakin tinggi lebar retakan maka semakin besar pula penetrasi klorida yang terjadi. Hal ini tidak dapat dilihat pada sampel Beton K250, khususnya pada sampel A.1.1, A.1.2, A.1.3, dan A.1.4.

Untuk sampel larutan A.1.5, B.1.5 dan C.1.5 dengan retakan 0.8 mm, diperlukan perlakuan khusus yaitu pengambilan sampel harus kurang dari 12 jam. Karena kondisi retakan sudah besar dan larutan NaCl dan NaOH sudah bertemu atau bercampur. Mengakibatkan hanya mendapatkan data yang sudah jenuh dan tidak mendapatkan proses penambahan klorida pada sampel larutan tersebut sehingga data 0.8 mm tidak digunakan.

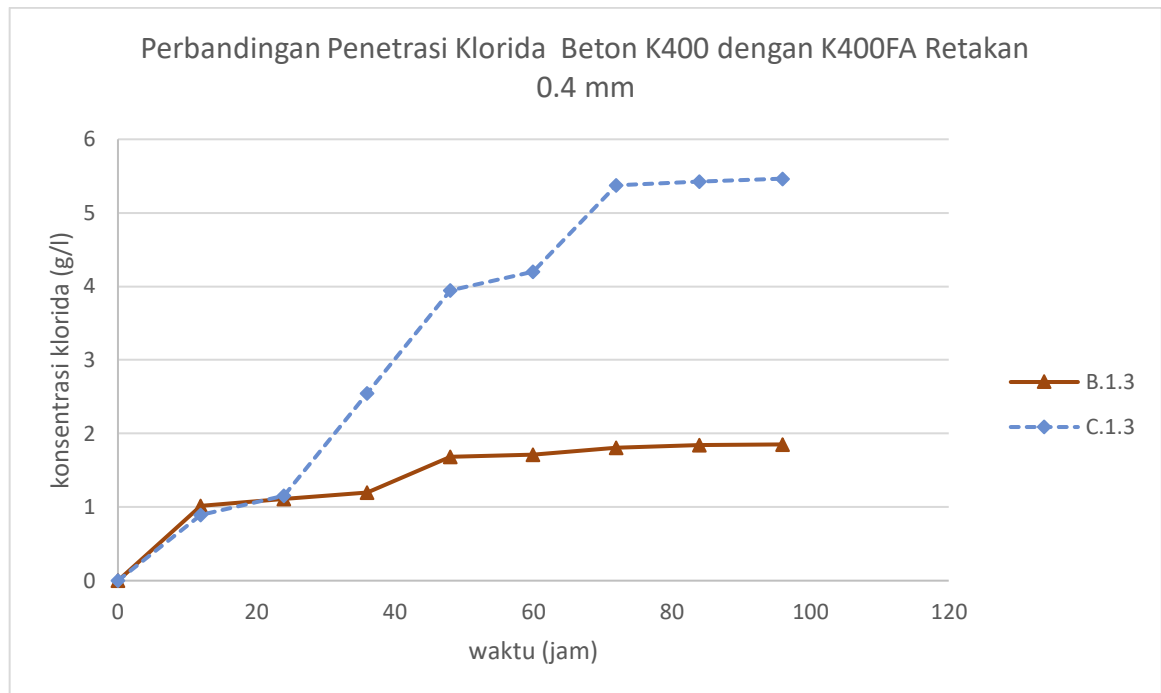
Pada Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8, penetrasi klorida beton K400FA lebih besar daripada beton K400. Namun pada Gambar 9 dan Gambar 10, penetrasi klorida beton K400 lebih besar daripada K400FA. Dapat disimpulkan luas retakan Beton K400 yang membesar ketika retakan 0.6 mm dan 0.8 mm mempengaruhi penetrasi klorida pada sampel beton seperti pada Gambar 5.



Gambar 6 Perbandingan penetrasi klorida beton K400 dengan K400FA tanpa retakan



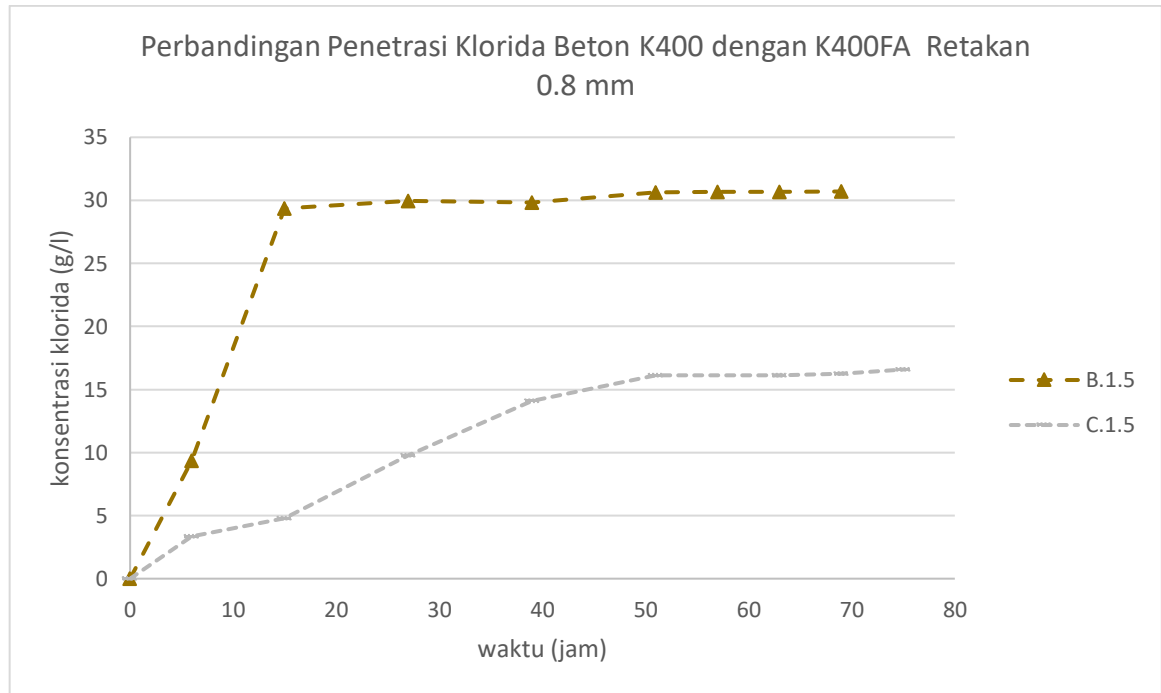
Gambar 7 Perbandingan penetrasi klorida beton K400 dengan K400FA retakan 0.2 mm



Gambar 8 Perbandingan penetrasi klorida beton K400 dengan K400FA retakan 0.4 mm



Gambar 9 Perbandingan penetrasi klorida beton K400 dengan K400FA retakan 0.6 mm

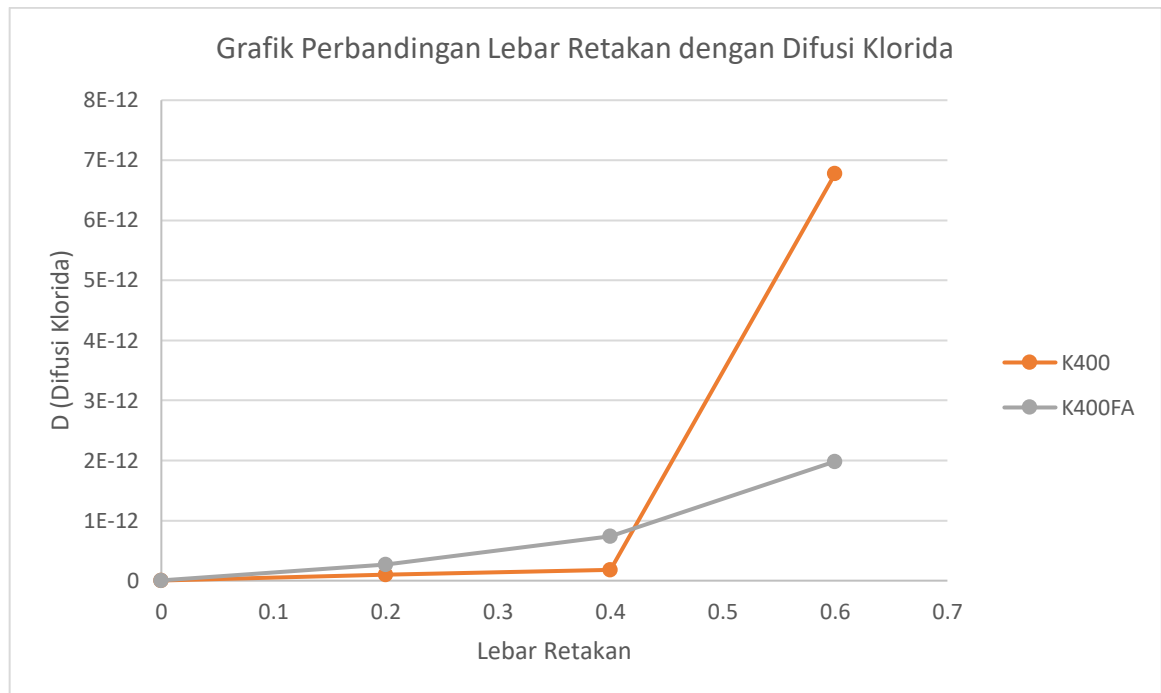


Gambar 10 Perbandingan penetrasi klorida beton K400 dengan K400FA retakan 0.8 mm

Berikut Tabel 4 dan Gambar 11 adalah rekap difusi klorida yang telah dihitung dengan langkah yang sudah dijelaskan sebelumnya. Sampel beton A.1.1 tidak bisa digunakan karena data yang diambil, data yang sudah tidak ideal karena ion klorida sudah mendekati titik jenuh dan sudah tidak dalam kondisi *steady-state*.

Tabel 4 Hasil laju Difusi Klorida dari sampel Laboratorium

BETON	Tanpa Retakan m^2/s	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm
		m^2/s	m^2/s	m^2/s
K400	2.44745E-15	9.77E-14	1.84E-13	6.78E-12
K400FA	4.2952E-15	2.66E-13	7.43E-13	1.99E-12



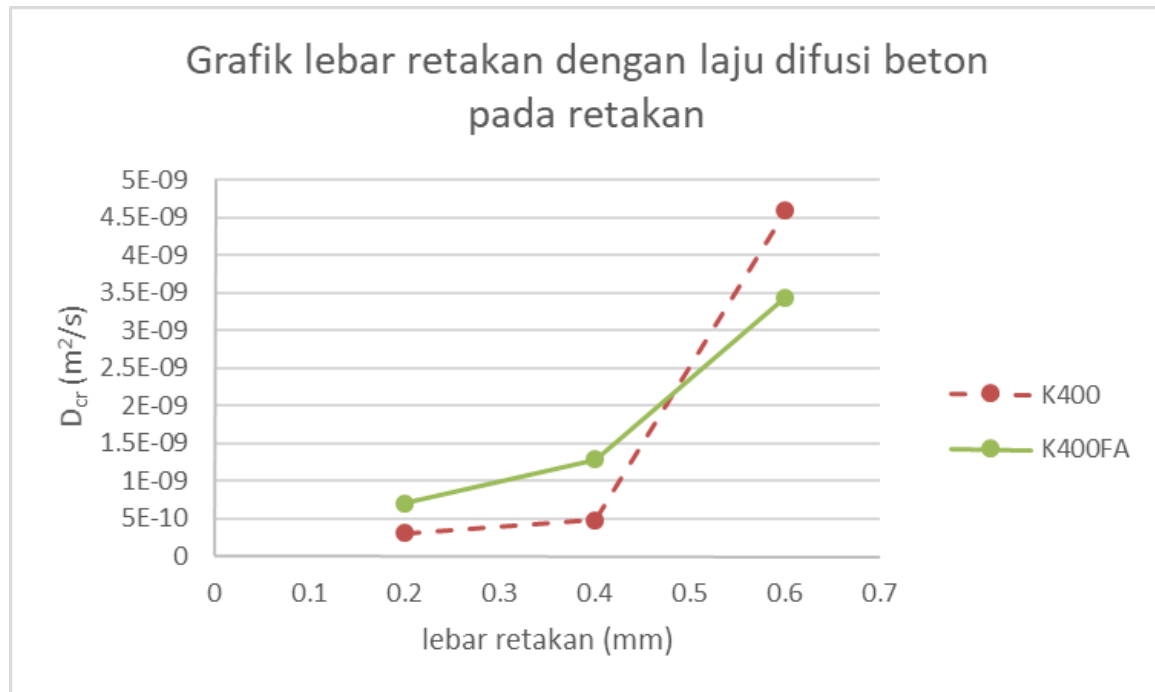
Gambar 11 Grafik Perbandingan lebar retakan dengan Difusi Klorida

Bila nilai laju difusi beton dengan retakan dibandingkan dengan sampel beton tanpa retakan, maka akan terlihat seberapa besar pengaruh lebar retakan dengan Laju difusi klorida seperti pada Gambar 11. D_x adalah laju difusi sampel beton dengan besar retakan sampel beton (0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm) dan D laju difusi beton tanpa retakan. Pada Gambar 12, dapat dilihat bahwa Beton B (K-400) memiliki pengaruh terbesar terhadap lebar retakan. Sebaliknya Beton C (K400+FA) memiliki pengaruh yang kecil terhadap lebar retakan.



Gambar 12 Grafik Perbandingan lebar retakan dengan D_x/D

Dapat dilihat pada Gambar 13, pada retakan 0.2 mm hingga 0.4 mm laju difusi klorida beton pada retakan konstan dan naik diantara retakan 0.4 mm dan 0.6 mm. Berbeda dengan Hipotesis awal bahwa semakin tinggi retakan nilai laju difusi klorida pada retakan akan konstan. Beton A (K250) tidak dapat dianalisis laju difusi beton pada retakan karena sampel tanpa retakan tidak bisa dihitung laju difusi klorida.



Gambar 13 Grafik lebar retakan dengan laju difusi beton pada retakan

KESIMPULAN

Hasil yang didapat pada penelitian akan di jelaskan sebagai berikut;

1. Nilai laju difusi klorida tertinggi dimiliki oleh beton K400FA dan yang terendah adalah K400.
2. Pada retakan 0.2 mm dan 0.4 mm, K400FA masih memiliki nilai laju difusi klorida terbesar dan K400 yang terkecil. Ketika sudah mencapai retakan 0.6 mm, K400FA memiliki nilai laju difusi klorida terkecil.
3. Beton B (K400) memiliki ketahanan terbesar terhadap serangan klorida, tapi ketahananya hilang bila ada retakan lebih besar dari 0.6 mm.
4. Dapat disimpulkan beton K400 dan K400FA masih lebih tahan dengan serangan klorida daripada sampel yang diambil di lapangan. (lihat Tabel 2 dan Tabel 3)
5. Beton C (K400FA) memiliki ketahanan dari serangan penetrasi klorida air laut daripada sampel beton yang lain bahkan dari sampel di lapangan.
6. Komposisi *Mix Design* dan kualitas material pembentuk beton sangat mempengaruhi ketahanan terhadap klorida terutama bila ditambahkan dengan *Fly Ash*.

SARAN

1. Dalam pembuatan beton, kadar lumpur pada agregat halus sangat mempengaruhi mutu beton. Sehingga diperlukan penyucian terhadap agregat halus.
2. Penambahan *superplasticizer* sangat membantu untuk membuat beton K-400 karena kecilnya kadar air yang dibutuhkan.
3. Untuk retakan lebih dari 0.6 mm, dibutuhkan kondisi pengambilan data yang berbeda. Diharapkan pengambilan data harus setiap kurang dari 6 jam.
4. Untuk penelitian selanjutnya bisa menggunakan pozolan jenis lain seperti *silica fume* untuk dibandingkan dengan *fly ash*.
5. Untuk desain bangunan pantai atau lepas pantai sangat dianjurkan menggunakan fly ash karena lebih kuat dari serangan klorida.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 211.1-91. (2002). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. ACI Committee 211.
- Aldea, C.-M., Shah, S. P., Member, ASCE, & Karr, a. A. (1999). Effect of cracking on water and chloride permeability of concrete. *Journal of Material in Civil Engineering*, 181-197.
- ASTM C618 - 05. (2019). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. West Conshohocken: ASTM International.
- Bamforth, P. a. (1997). AN INTERNATIONAL REVIEW OF CHLORIDE INGRESS INTO STRUCTURAL CONCRETE. Edinburgh: TRANSPORT RESEARCH LABORATORY.
- Budiono, B., Sugin, S., Munaf, D. R., & Henry, H. (2000). Pengaruh Korosi Baja Tulangan pada Kekuatan Balok Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil* 7 (1), 21-28.
- Djerbi, A., Bonnet, S., Khelidj, A., & Baroghel-bouny, V. (2008). Influence of traversing crack on chloride diffusion into concrete. *Cement and Concrete Research* 38, 877-883.
- Fahirah. (2007). Korosi pada beton bertulang dan pencegahannya. SMARTek.
- Habuchi. (2001). Evaluation on Saline Environment of Concrete Jetty Using Surface Chloride Concentration. *Concrete Under Severe Condition International Conference*, 214-221.
- Heirman, G. (2006). Chloride Penetration and Carbonation in Self- Compacting Concrete. Belgium: KU LEUVEN.
- Indonesia, S. N. (1993). Indonesia Paten No. 03-2834.
- NT. (1999). Finland Paten No. 355.
- P.B. Bamforth. (1996). Corrosion of reinforcement in concrete construction. ISBN 0-85404-731-X, 669.
- Siregar, A. P. (2007). Laju korosi tulangan pada mutu beton yang berbeda. SMARTek.

SNI 03-2834. (2000). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Standar Nasional Indonesia.

SNI 03-6468. (2000). Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang. Jakarta: Standar Nasional Indonesia.

Sugiyama, T., Bremner, T. W., & Tsuji, Y. (1996). Determination of chloride diffusion coefficient and gas permeability of concrete and their relationship. *Cement and Concrete Research* 26 (5), 781-790.

Sugiyama, T., Tsuji, Y., & Bremner, T. W. (2001). Relationship between coulomb and migration coefficient of chloride ions for concrete in a steady-state chloride migration test. *Magazine of Concrete Research* 53 (1), 13-24.

Zhang, W. M., & Ba, H. J. (2012). Corrosion behaviour of electrode materials in chloride migration test. *Corrosion Engineering Science and Technology* 47 (6), 421-424.