

DESAIN BENDA UJI DAN PEMBUATAN ALAT *MIGRATION CELL* UNTUK PENGUJIAN PERMEABILITAS KLORIDA PADA BETON RETAK DENGAN METODE *STEADY-STATE MIGRATION*

Design of Concrete and Migration Cell Block for Testing Chloride Permeability in Cracked Concrete Using Steady-State Migration Test

Fadhilah Nur Muhammad¹ dan Sri Murti Adiyastuti²

Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil Dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganeca No 10 Bandung 40132

¹fadhel.nm@gmail.com dan ²murtia704@gmail.com

Abstrak: Dampak ion klorida sangat berbahaya terhadap beton yang berada di daerah laut, apalagi jika beton mengalami keretakan, karena tulangan pada beton akan lebih terekspos dengan air laut. Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan eksperimen untuk mengetahui pengaruh retakan beton terhadap penetrasi ion klorida pada beton dengan kuat tekan yang berbeda dengan metode *steady-state migration*. Selain itu, pada penelitian ini juga akan dilihat apakah ada pengaruh kuat tekan beton serta penambahan zat aditif pada penetrasi ion klorida.

Pada tugas akhir ini dilakukan eksperimen pembuatan sampel uji berupa beton dengan diameter 10 cm dan panjang 20 cm dengan mutu K-250, K-400, dan K-400 + *fly ash*, yang kemudian dipotong menjadi piringan beton dengan tebal 5 cm, selanjutnya dilakukan peretakan pada sampel uji, dengan rentang lebar retakan dari 0,2 mm hingga 0,8 mm. Pembuatan alat untuk pengujian dengan metode *steady-state migration* disesuaikan dengan standar yang telah ada yaitu kode NT-355.

Pengujian rata-rata dilakukan selama empat hari dengan menggunakan tegangan 10V dan temperatur dibawah 40°C. Data diambil setiap 12 jam untuk beton retakan kecil, dan 6 jam untuk beton dengan retakan besar. Hipotesis dari penelitian ini adalah semakin besar lebar retakan, semakin besar pengaruh penetrasi ion klorida, yang berarti konsentrasi ion klorida semakin besar.

Kata kunci : beton, retakan, *steady-state migration*, penetrasi, ion klorida

Abstract: The impact of chloride ions is very dangerous for concrete in the sea area, especially if the concrete is cracked, because the reinforcement in the concrete will be more exposed to sea water. In this final project, an experiment was carried out to determine the effect of concrete cracks on the penetration of chloride ions on concrete with different compressive strengths with the steady-state migration method. In addition, this research will also see whether there is an effect of the compressive strength of concrete and the addition of additives on the penetration of chloride ions.

In this final project an experiment is made in the form of concrete samples with a diameter of 10 cm and a length of 20 cm with the quality of K-250, K-400, and K-400 + fly ash, which are then cut into concrete slabs with a thickness of 5 cm, then performed cracking in the test sample, with a crack width range from 0.2 mm to 0.8 mm. The making of tools for testing using the steady-state migration method is adjusted to the existing standard, namely the NT-355 code.

The average test is carried out for four days using 10V voltage and temperatures below 40°C. Data is taken every 12 hours for small cracks, and 6 hours for large cracks. The hypothesis of this research is that the greater the width of the crack, the greater the effect of chloride ion penetration, which means the greater the concentration of chloride ions.

Keywords: concrete, cracks, steady-state migration, penetration, chloride ions

PENDAHULUAN

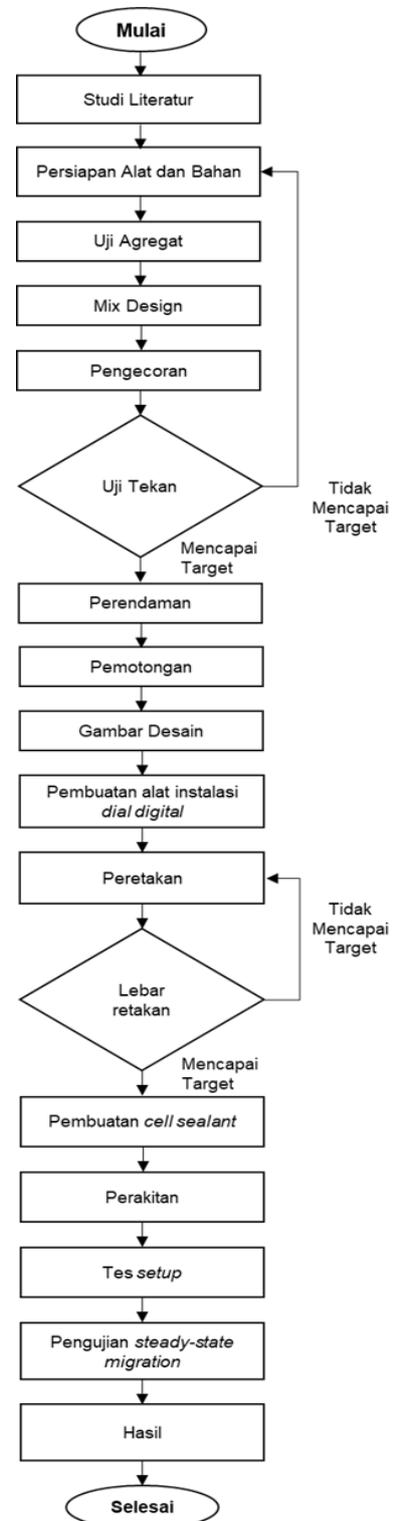
Beton bertulang sangat umum digunakan pada struktur-struktur penahan beban tarik seperti gedung bertingkat, jembatan, dermaga dan lain-lain. Tulangan pada beton bertulang pada umumnya terbuat dari baja, yang merupakan campuran besi dan karbon, sedangkan besi adalah logam yang rawan terhadap korosi. Korosi dapat didefinisikan sebagai kerusakan material oleh reaksi terhadap lingkungannya, dan terjadi karena kecenderungan alami dari kebanyakan logam untuk kembali ke keadaan alami mereka, misalnya besi dengan adanya udara lembab akan kembali ke keadaan aslinya, yaitu oksida besi. Tulangan yang terkorosi merupakan awal kerusakan beton yang secara keseluruhan akan memperpendek usia konstruksi. Air laut adalah penyebab korosi yang paling agresif karena memiliki ion Cl^- .

Serangan klorida pada beton dimulai dari penetrasi klorida ke dalam beton, namun hanya menyerang atau menimbulkan korosi pada tulangan dan relatif tidak menyebabkan kerusakan pada material betonnya. Ion klorida (Cl^-) yang terpenetrasi ke dalam struktur beton akan menyerang lapisan pasif (ion hidroksida / OH^-), kemudian ketika konsentrasi ion klorida tersebut pada permukaan tulangan sudah mencapai konsentrasinya (C_{cr}) atau pH yang tinggi, ion klorida dapat menghancurkan lapisan pasif pada tulangan tersebut.

Karena dampak yang berbahaya dan tidak tampak dari luar, maka dibuatlah tugas akhir ini dengan tujuan untuk mendesain beton dengan kuat tekan seperti beton dermaga (K-250 dan K-400) serta membuat alat untuk menguji penetrasi ion klorida ke dalam beton dengan metode *steady-state migration*.

TEORI DAN METODOLOGI

Secara umum metodologi yang digunakan dalam penelitian ini terdapat pada Gambar 1



Gambar 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Beton adalah suatu campuran yang berisi pasir, kerikil atau batu pecah atau agregat lain, yang dicampurkan menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air yang membentuk suatu masa yang sangat mirip seperti batu. Beton dibagi menjadi berbagai jenis berdasarkan karakteristik yang dimiliki oleh beton. Dalam Peraturan Beton Indonesia (PBI 1971 N.I.-2), beton dibagi beton tiga kelas yaitu kelas I, kelas II, dan kelas III dimana semakin tinggi kelas semakin besar nilai kuat tekan karakteristik beton (dalam bentuk K). Dalam SNI 03-2847-2002, beton dibagi menjadi tiga tipe yaitu beton ringan, beton normal, dan beton berat yang dikelompokkan berdasarkan massa jenisnya. Berdasarkan SNI 03-6468-2000, ACI 318, dan ACI 363R-92, beton dibagi menjadi tiga tipe, yaitu beton mutu rendah, mutu sedang, dan mutu tinggi, yang dikelompokkan berdasarkan kuat tekan dalam satuan fc' .

Komponen penyusun beton antara lain agregat kasar, agregat halus, semen, dan air. Menurut SNI 1970-2008, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci). Namun berdasarkan ASTM C33, Agregat kasar terdiri dari kerikil atau batu pecah dengan partikel butir lebih besar dari 5 mm atau antara 9,5 mm dan 37,5 mm. Berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi.

Semen berasal dari bahasa latin *caementum* yang berarti bahan perekat. Secara sederhana, Definisi semen adalah bahan perekat atau lem, yang bisa merekatkan bahan – bahan material lain seperti batu bata dan batu koral hingga bisa membentuk sebuah bangunan. Selain itu, Menurut SNI-15-2049-2004, terdapat 5 tipe semen portland biasa yaitu dari tipe I hingga tipe V yang memiliki karakteristik unik pada masing-masing tipe. Kemudian ada juga semen portland campur yang dibagi lagi menjadi 3 jenis yaitu semen *Portland Composite Cement* (PCC) yang merupakan campuran semen dengan dari satu atau lebih bahan anorganik, *Portland Pozzolan Cement* (PPC) yang merupakan campuran homogen antara semen portland dengan pozzolan halus. Selain itu ada bahan tambahan atau *admixtures* yang dapat memberikan sifat khusus pada beton. Beberapa *admixtures* yang sering digunakan adalah *fly ash* yang juga digunakan pada penelitian tugas akhir ini. *Fly ash* adalah bahan yang mengandung senyawa silika yang secara independen sangat sedikit atau tidak mempunyai kemampuan mengikat (*non-cementitious*). Dalam bentuk yang sangat halus dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida (dengan kelembaban yang cukup & dalam suhu kamar) untuk membentuk suatu bahan yang mempunyai sifat mengikat (*cementitious*). *Fly ash* sendiri juga diklasifikasikan oleh Canadian Standard CSA A-23.5 menjadi tiga yaitu tipe F, C, dan N yang masing-masing dikelompokkan berdasarkan persentase kandungan senyawa CaO.

Komponen lainnya yang sangat berpengaruh juga adalah air. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen sehingga terjadi reaksi kimia yang menyebabkan

pengikatan dan berlangsungnya proses pengerasan pada beton, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Proporsi air dinyatakan dalam rasio air-semen, yaitu angka yang menyatakan perbandingan antar berat air dibagi dengan berat semen dalam adukan beton tersebut, pada umumnya dipakai 0,4 - 0,6 tergantung mutu beton yang hendak dicapai. Beton yang paling padat dan kuat diperoleh dengan menggunakan jumlah air yang minimal konsisten dan derajat workabilitas yang maksimal.

Dalam proses pembuatan beton hal yang harus diperhatikan yaitu ketika menghitung proporsi campuran (*mix design*). Standard yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ACI 211.1-91 “*Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete*”

PEMBUATAN BENDA UJI

Pembuatan benda uji yang berupa beton terbagi menjadi 3 tahapan, yaitu tahap persiapan, tahap pembuatan, dan tahap perawatan (*curing*).

Tahap persiapan dilakukan dengan menguji material yang akan digunakan dalam pembuatan beton. Uji material terdiri dari uji kadar lumpur, uji berat volume, uji berat jenis, uji kadar air, dan uji gradasi agregat. Setelah pengujian material selesai dilakukan dan sesuai dengan ketentuan, tahap selanjutnya yaitu tahap pembuatan.

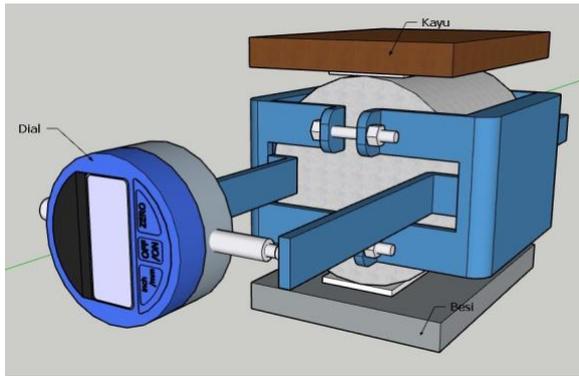
Pada tahap pembuatan, perhitungan *mix design* disesuaikan dengan mutu beton yang akan dicapai. Berbagai macam standar seperti SNI 03-2834-2000, ACI 211.1-91, dan perhitungan dari laboratorium struktur ITB digunakan, dalam rangka mencari *mix design* yang terbaik. Setelahnya

mempersiapkan peralatan dan material yang akan digunakan guna kelancaran dalam proses pengecoran. Dalam pengecoran ini terdapat 4 macam sampel beton yang dibuat, sampel A, B, C, dan D. Tiap sampel terdapat 7 silinder beton dengan dimensi diameter 10 cm dan tinggi 20cm.

Tahap perawatan yaitu setelah pengecoran selesai dan campuran beton telah dimasukkan kedalam bekisting. Perawatan beton atau *curing* dilakukan pada saat beton mulai mengeras atau 24 jam setelah pengecoran. Perawatan bertujuan agar beton tidak cepat kehilangan air dan sebagai tindakan menjaga kelembaban/suhu beton sehingga dapat mencapai mutu beton yang diinginkan. Namun sebaliknya jika beton terlalu cepat direndam akan menyebabkan beton melunak. Untuk percobaan *steady-state migration*, perendaman tambahan perlu dilakukan sesuai dengan kode NT BUILD 355 pada larutan yang mengandung Ca(OH)_2 hingga penambahan massa beton kurang dari 0,1% per hari.

PERETAKAN

Piringan beton yang telah kering ditempatkan dalam alat *splitting test* yang telah terpasang sensor Dial. Cara yang digunakan untuk melakukan peretakan pada beton disebut dengan *Brazilian splitting test controlled* atau *The feedback controlled splitting test*. Instalasi pada alat *splitting test* terlihat pada Gambar 2



Gambar 2 Peretakan beton dengan menggunakan alat sensor dial digital

Dua Dial 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 rata-rata 200, 400, 600, dan 800 μm .

Penamaan untuk masing-masing sampel beton dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Penamaan sampel beton untuk pengujian *Steady-State Migration*

Indeks	Campuran Beton	Metode Pengujian	Lebar Retakan (μm)
A.1.1	K250	<i>steady-state migration</i>	0
A.1.2			200
A.1.3			400
A.1.4			600
A.1.5			800
B.1.1	K400		0
B.1.2			200
B.1.3			400
B.1.4			600
B.1.5			800
C.1.1	K400 + FA 30%		0
C.1.2			200
C.1.3			400
C.1.4			600
C.1.5			800

PEMBUATAN ALAT

Terdapat dua tahap pembuatan alat dalam penelitian ini yaitu *Dial Digital Installator* dan *Migration Cell*. *Installator*. *Dial Digital* digunakan sebagai alat bantu dalam proses peretakan dengan menahan *dial* agar bisa presisi dalam membaca retakan, sedangkan *migration cell* merupakan alat yang digunakan dalam pengujian *steady-state migration*. Terdapat 5 alat *migration cell* yang dibuat.

a. Pembuatan Alat Instalasi *Dial*

Dial indicator atau yang sering disebut dengan *Dial Gauge* ialah alat ukur yang digunakan untuk mengukur dan memeriksa defleksi dengan skala pengukuran yang sangat kecil. *Dial Indicator* ini merupakan suatu alat ukur yang tidak dapat berdiri sendiri, alat ini memiliki alat bantu sendiri yang disebut sebagai "*Magnetic Base*". Fungsi dari *magnetic base* ini adalah sebagai pemegang *dial indicator*.

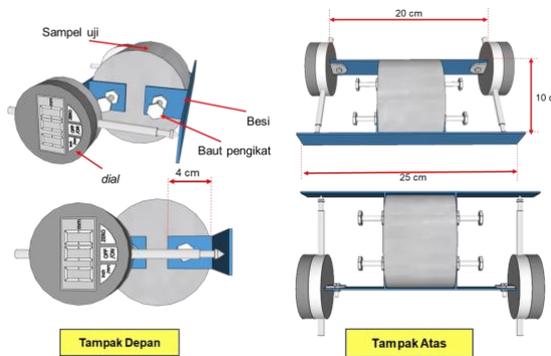


Gambar 3 Dial Gauge Indicator

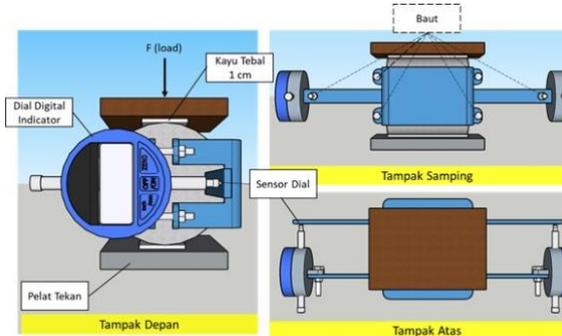
Terdapat 2 model instalator yang dibuat, model pertama ditunjukkan pada Gambar 4 dan model kedua ditunjukkan pada Gambar 5

Model *installator dial* pertama gagal dikarenakan tidak dapat menjaga *dial* agar tetap diam, dikarenakan bertumpu pada beton benda uji, sehingga pada proses peretakan beton data yang dihasilkan tidak presisi.

Oleh karena itu dibuat model *installator dial* kedua yang lebih dapat menjaga *dial* agar tidak bergerak, sehingga dalam proses peretakan beton data yang dihasilkan lebih presisi.

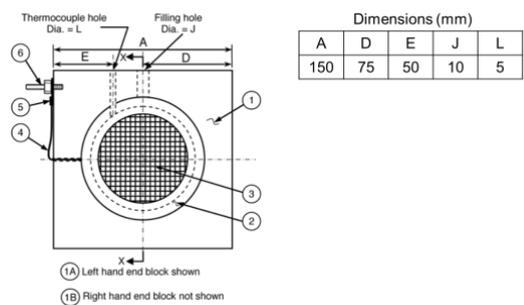
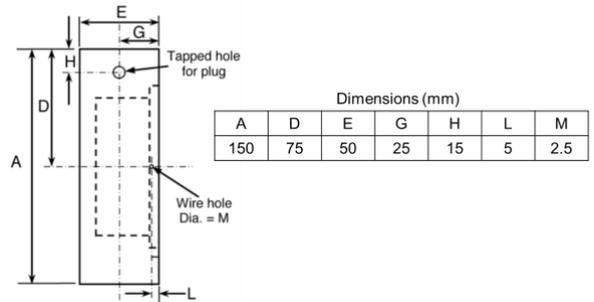
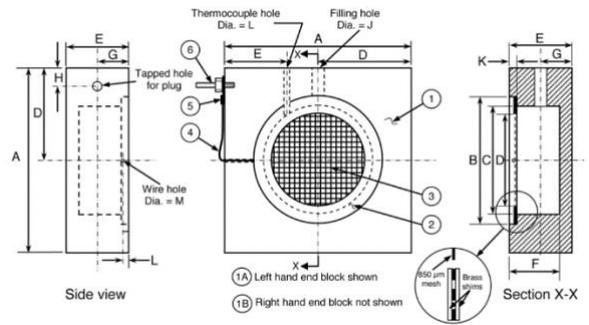


Gambar 4 Model Instalator Dial Digital 1



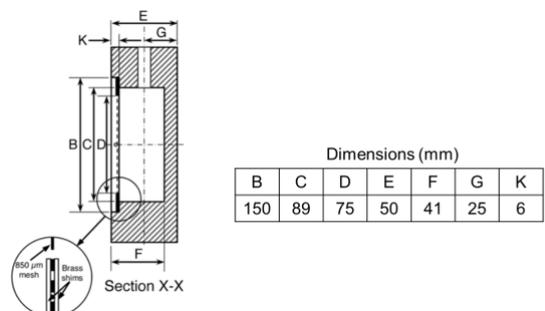
Gambar 5 Model Instalator Dial Digital 2

b. Pembuatan Alat *Migration Cell*
 Pembuatan alat *migration cell* sesuai dengan standard ASTM C-1202 *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*. Gambar model alat *migration cell* ditunjukkan pada Gambar 6 dan tahapan perangkaian alat *migration cell* ditunjukkan pada Gambar 7.

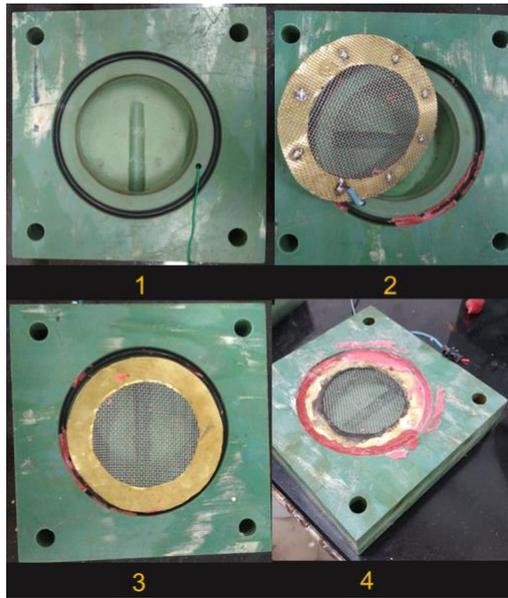


Parts List

Item No.	Quantity	Description	Specification
1A 1B	1	Cell block end	Poly (methyl methacrylate)
2	4	Brass shim	0.5 mm thick
3	2	Brass screen	850 µm (No. 20) mesh
4	2	Solid copper wire	2 mm (14 gauge) nylon cladding
5	2	Ring terminal	For 2 mm (14 gauge) wire
6	2	Banana plug	6.4 mm with threaded stud



Gambar 6 Model Alat Migration Cell



Gambar 7 Tahapan perangkaian Alat Migration Cell

c. Pengecekan Alat *Migration Cell* dan *Power Supply*

Pengecekan alat dilakukan dengan menggunakan benda uji berupa karet silinder. Karet silinder diperoleh dengan melakukan coring pada karet pejal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



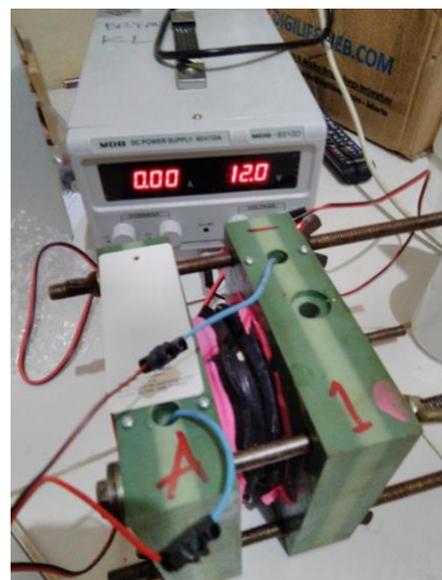
Gambar 8 Proses Coring pada Karet Pejal

Prosedur pengujian sama seperti prosedur percobaan *steady-state migration* dimana benda uji dijepit diantara *migraton cell* seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Karet Dijepit diantara Migration Cell

Apabila pembacaan arus pada power supply bernilai nol, maka alat *migration cell* telah bekerja dengan benar yang berarti tidak terjadi pergerakan arus pada benda uji, yang di sisi lain juga menandakan bahwa power supply bekerja dengan baik. Pengecekan alat *migration cell* dan *power supply* ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Pengecekan Alat *Migration Cell*

STEADY-STATE MIGRATION

Metode ini digunakan untuk memperlihatkan penetrasi ion Cl^- berdasarkan nilai konsentrasi ion klorida pada kompartemen positif atau kompartemen 2 yang berisi larutan NaOH. Percobaan dilakukan dengan menghubungkan *migration cell* yang telah dirangkai bersama beton benda uji, dengan *power supply* bertegangan 10-15 V selama beberapa hari. Saat pengujian temperatur larutan dijaga agar tidak sampai melebihi 40°C , kemudian ukur beda potensial yang terjadi menggunakan elektroda referensi Ag/AgCl.

Larutan yang diisikan ke kompartemen negatif adalah larutan NaCl 5% dan pada kompartemen positif larutan NaOH 1,2%. Dikarenakan pengujian ini dalam kondisi steady state maka konsentrasi larutan NaCl harus dijaga agar tidak kurang dari 95%..

a. Alat dan Bahan

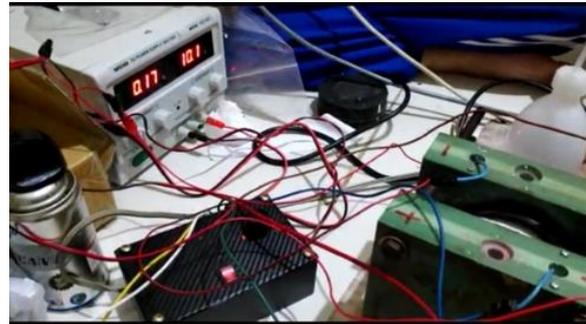
Alat-alat yang dibutuhkan untuk pengujian *steady-state migration* yaitu, *migration cell*, Larutan NaOH 1,2%, Larutan NaCl 5%, power supply DC 10-15V, *reference electrode*, PH-016 Bench Ph Meter.

b. Pengujian

Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

1. Pada *migration cell* yang telah dirangkai dengan beton uji, isi kompartemen negatif dengan larutan NaCl 5% dan kompartemen positif dengan NaOH 1,2% sampai penuh.
2. Rangkai *migration cell* dengan *power supply*. Nyalakan *power supply* kemudian atur pada tegangan 10 Volt.
3. Ambil sampel pada kompartemen positif setiap 12 jam.
4. Lakukan pengurasan pada kompartemen negatif setiap 24 jam sekali.

Proses pengujian *steady-state migration* ditunjukkan pada



Gambar 11 Proses Percobaan *steady-state migration*

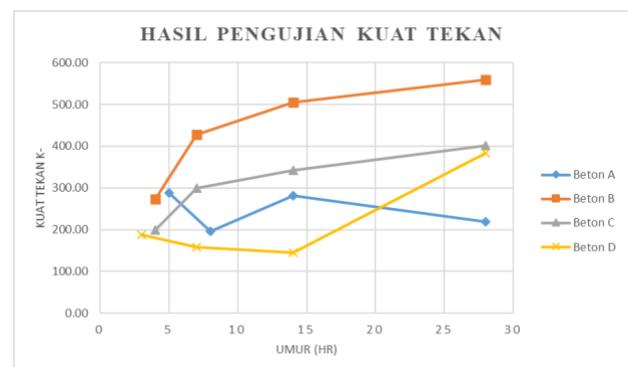
c. Hipotesis

Berdasarkan pustaka yang dijadikan acuan, semakin besar retakan pada beton, maka semakin cepat penambahan konsentrasi klorida teradap waktu, yang ditandai dengan perbedaan jumlah ion klorida pada larutan NaOH, pada tiap jenis beton dan tiap lebar retakan. (Djerbi, 2006)

HASIL

1. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan pada sampel beton dilakukan 4 kali, yaitu pada umur 4 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan ditunjukkan pada Gambar 12



Gambar 12 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Terlihat beton D menghasilkan grafik yang menurun, hal ini menjadikan beton D tidak dimasukkan dalam pengujian *steady-state migration*.

2. Peretakan

Hubungan lebar retakan dengan luas retakan ditampilkan pada Tabel 2 dan

Tabel 2 Tabel Hubungan Lebar Retakan dengan Luas Retakan

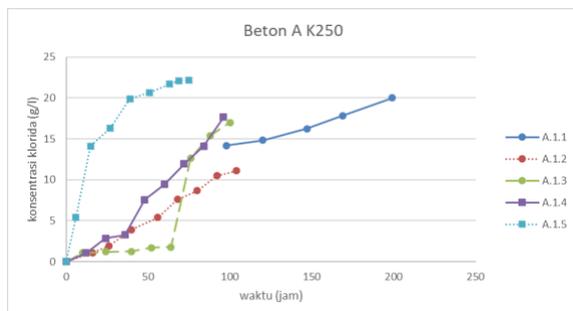
Beton	Lebar Retakan (mm)	Luas Retakan (cm ²)
A.1.2	0.2	0.1949
A.1.3	0.4	0.3487
A.1.4	0.6	0.3871
A.1.5	0.8	0.6598
B.1.2	0.2	0.2509
B.1.3	0.4	0.2987
B.1.4	0.6	1.1444
B.1.5	0.8	1.1603
C.1.2	0.2	0.4039
C.1.3	0.4	0.4523
C.1.4	0.6	0.5644
C.1.5	0.8	1.059



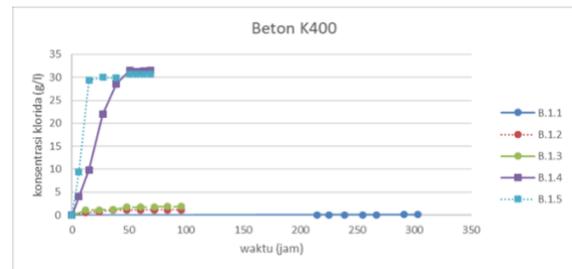
Gambar 13 Grafik Hubungan Lebar Retakan dengan Luas Retakan

3. Pengujian *Steady-State Migration*

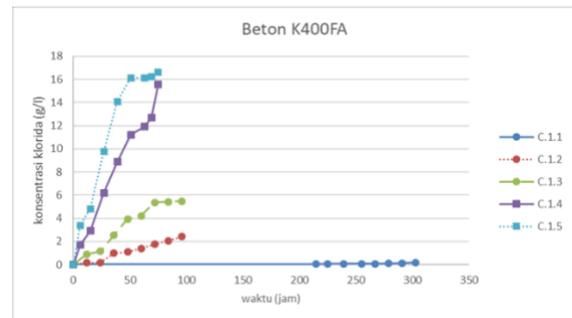
Hasil pengujian *Steady-State Migration* pada tiap-tiap sampelbeton A, B, dan C tersaji pada Gambar 14 hingga Gambar 16.



Gambar 14 Grafik konsentrasi ion klorida pada beton A keseluruhan

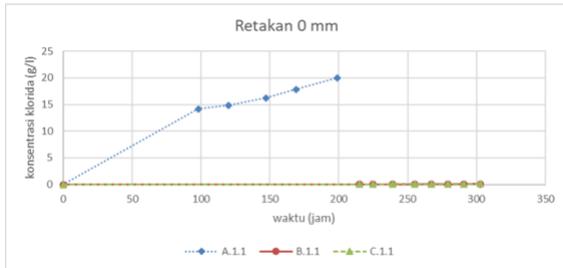


Gambar 15 Grafik konsentrasi ion klorida pada beton B keseluruhan

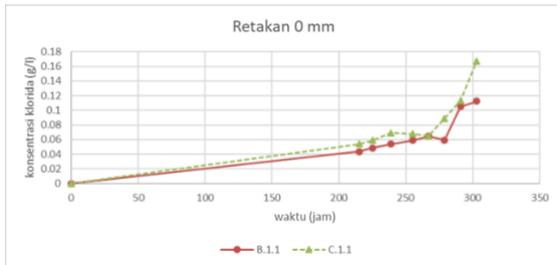


Gambar 16 Grafik konsentrasi ion klorida pada beton C keseluruhan

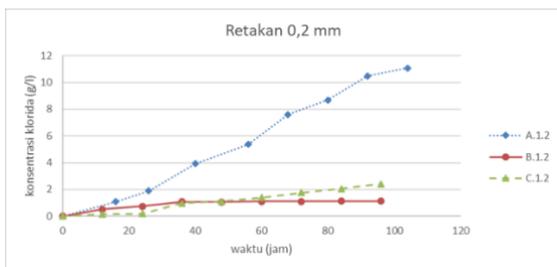
Dari gambar - gambar yang telah ditampilkam, pada **Error! Reference source not found.**, tidak dapat diambil kesimpulan karena perbedaan hipotesis awal dengan hasil yang diperoleh pada percobaan beton A. Sedangkan pada Beton B dan C, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar retakan, konsentrasi ion klorida pada larutan NaOH semakin besar. Selanjutnya pada Gambar 17 hingga Gambar 22 disajikan grafik perbandingan antara sampel beton yang berbeda dengan retakan yang sama.



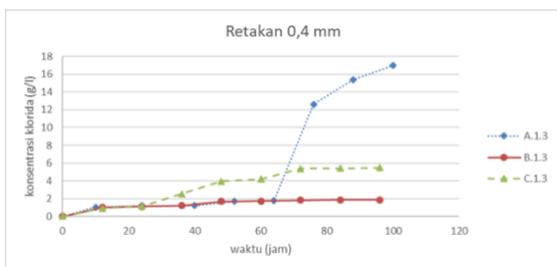
Gambar 17 Grafik konsentrasi ion klorida beton A, B, dan C pada retakan 0 mm



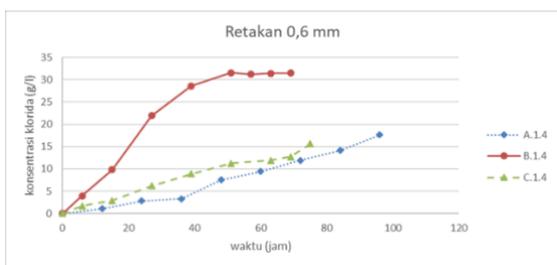
Gambar 18 Grafik konsentrasi ion klorida beton B dan C pada retakan 0 mm



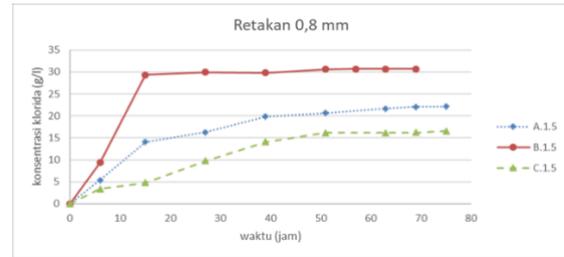
Gambar 19 Grafik konsentrasi ion klorida beton A, B, dan C pada retakan 0,2 mm



Gambar 20 Grafik konsentrasi ion klorida beton A, B, dan C pada retakan 0,4 mm



Gambar 21 Grafik konsentrasi ion klorida beton A, B, dan C pada retakan 0,6 mm



Gambar 22 Grafik konsentrasi ion klorida beton A, B, dan C pada retakan 0,8 mm

Dari grafik yang telah disajikan, pada beton retakan 0 mm hingga 0,4 mm konsentrasi ion klorida yang melalui beton B paling kecil, jadi dapat disimpulkan bahwa beton B menahan penetrasi ion klorida paling baik diantara sampel beton yang lain, untuk retakan 0 mm hingga 0,4 mm. Namun pada retakan 0,6 mm hingga 0,8 mm, nilai konsentrasi ion klorida pada beton B malah menunjukkan nilai paling tinggi. Kondisi ini dapat dihubungkan dengan perbandingan lebar retakan dengan luas retakan pada Gambar 13, dimana walaupun lebar retakan sama, ternyata luas retakan pada sampel beton berbeda. Diperkirakan ada pengaruh luas retakan dengan tingginya konsentrasi ion klorida yang melalui beton B, karena luas retakan beton B pada retakan 0,6 mm dan 0,8 mm. Selain itu, beton C meskipun luas retakan mendekati luas retakan beton B, nilai konsentrasi ion klorida cukup stabil dimana pada retakan kecil mendekati nilai konsentrasi ion klorida beton B dan untuk retakan besar bisa lebih rendah dari beton B. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh zat aditif *fly ash* terhadap penetrasi ion klorida.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah disajikan maka kesimpulan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dalam pembuatan beton ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap mutu beton yang direncanakan, yaitu kualitas material yang digunakan, perencanaan campuran, pengecoran, dan perawatan.
2. Alat *migration cell* bekerja dengan baik, dimana telah dipastikandengan cara melakukan kalibrasi yang

menggunakan benda uji berupa silinder karet pejal dengan ketebalan 4 cm dan menunjukkan pembacaan arus bernilai nol ampere.

3. Beton B (K400) memiliki ketahanan terbesar terhadap penetrasi ion klorida pada retakan rendah, tapi ketahanannya menurun bila ada retakan lebih besar dari 0.6 mm.
4. Luas retakan berpengaruh pada penetrasi klorida, sehingga pada lebar yang retakan yang sama belum tentu nilai konsentrasi ion klorida sama.
5. Beton C (K400FA) secara keseluruhan memiliki ketahanan paling baik terhadap penetrasi klorida air laut daripada sampel beton yang lain.
6. Komposisi Mix Design dan kualitas material pembentuk beton sangat mempengaruhi ketahanan terhadap klorida terutama bila ditambahkan dengan Fly Ash

Saran yang diberikan pada penelitian ini untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

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 pembaca yang akan melanjutkan penelitian, pelaksanaan peretakan sebaiknya menggunakan LVDT karena lebih akurat dalam pembacaan lebar retakan.
4. Untuk retakan lebih dari 0.6 mm, dibutuhkan kondisi pengambilan data yang berbeda. Diharapkan pengambilan data harus setiap kurang dari 6 jam.

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.
- 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.
- Heirman, G., Vandewalle, L., Boel, V., Audenaert, K., & Schutter, G. D. (2006). Chloride Penetration and Carbonation in Self-Compacting Concrete. 11.
- Indonesia, S. N. (1993). *Indonesia Paten No. 03-2834*.

- NT. (1999). *Finland Patent 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.
- Wang, K., Jansen, D. C., & Shah, S. P. (n.d.). Permeability Study of Cracked Concrete.
- 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.