

# **DESAIN BENDA UJI DAN PEMBUATAN ALAT *MIGRATION CELL* UNTUK PENGUJIAN PERMEABILITAS Klorida PADA BETON RETAK DENGAN METODE *RAPID CHLORIDE PERMEABILITY TEST***

---

## **Design of Concrete and Manufacture Migration Cell Block for Testing Chloride Permeability in Cracked Concrete Using Rapid Chloride Permeability Test**

**Fajar Nur Rohman<sup>1</sup> dan Sri Murti Adiyastuti<sup>2</sup>**

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

<sup>1</sup>[fajarnurrohman46@gmail.com](mailto:fajarnurrohman46@gmail.com) dan <sup>2</sup>[murtia704@gmail.com](mailto:murtia704@gmail.com)

**Abstrak:** Keretakan beton bertulang pada lingkungan yang korosif akan mempercepat kerusakan pada struktur. Laju korosi pada beton yang mengalami keretakan akan meningkat seiring dengan besaran dari keretakan pada beton dikarenakan ion  $\text{Cl}^-$  akan lebih mudah masuk ke dalam pori-pori beton. Pada penelitian ini dilakukan eksperimen untuk dapat mengelompokkan beton sesuai dengan permeabilitas ion  $\text{Cl}^-$  dengan atau tanpa campuran abu terbang yang telah mengalami keretakan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *rapid chloride permeability test (RCPT)*. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan sampel uji berupa beton dengan diameter 10 cm dan panjang 20 cm dengan mutu K-250, K-400, dan K-400 + *fly ash*. Kemudian dilakukan pemotongan pada sampel uji menjadi piringan beton dengan tebal 5 cm, selanjutnya dilakukan peretakan pada sampel uji dengan lebar retak tertentu. Pembuatan alat untuk pengujian dengan metode RCPT disesuaikan dengan standar yang telah ada yaitu ASTM C-1202. Pengujian dilakukan selama enam jam dengan mengalirkan arus searah 60V terhadap piringan beton dan pengambilan data arus dilakukan setiap 30 menit. Pengelompokan beton sesuai dengan permeabilitas ion  $\text{Cl}^-$  berdasarkan muatan listrik. Selanjutnya dilakukan perhitungan muatan listrik untuk mengetahui klasifikasi beton yang diuji.

**Kata Kunci :** Beton, Korosi, RCPT, Permeabilitas Klorida

**Abstract:** *Cracked reinforced concrete in a corrosive environment will accelerate damage to the structure. The rate of corrosion in cracks concrete will increase along with the magnitude of the crack in concrete, because the chloride will more easily enter the concrete pores. In this study, an experiment was carried out to classify concrete with Cl ions permeability with or without a mixture of flying ash that has undergone cracks. The method used in this study is the rapid chloride permeability test (RCPT). In this study, a sample of concrete in the form of 10 cm in diameter and 20 cm in length was made in the quality of K-250, K-400, and K-400 + fly ash. Then cut the test sample into a concrete plate with a thickness of 5 cm, then do the cracking on the test sample with a certain crack width. The making of tools for testing with the RCPT method is adjusted to the existing standards, namely ASTM C-1202. Testing is carried out for six hours by flowing 60V direct current to a concrete dish and current data collection is done every 30 minutes. Concrete grouping according to Cl<sup>-</sup> permeability based on electric charge. Then the electric charge is calculated to determine the concrete classification being tested.*

**Keyword :** *Concrete, Corrothion, RCPT, Permeabilitas Klorida, Chloride Penetrated*

## PENDAHULUAN

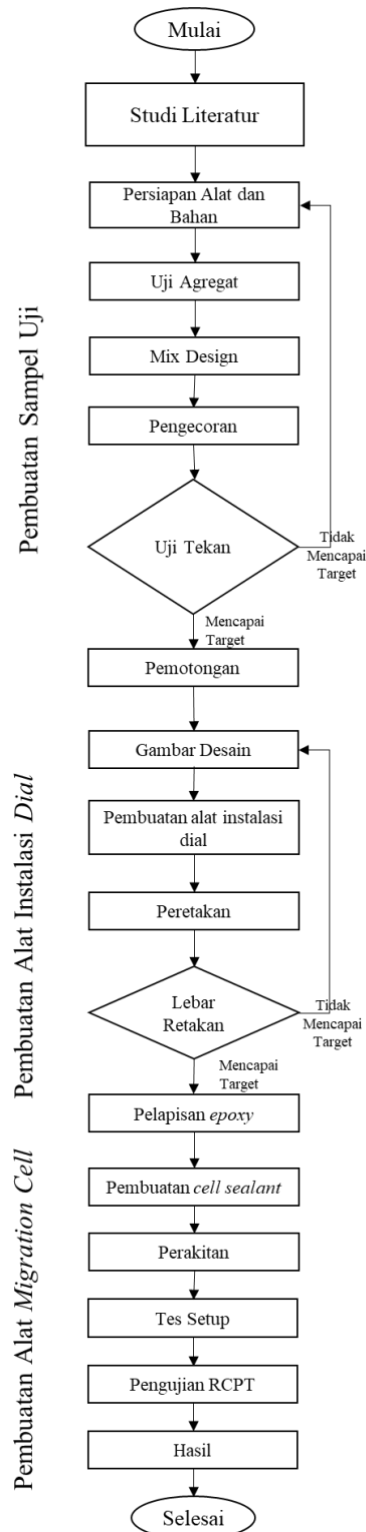
Beton bertulang (*reinforced concrete*) adalah suatu bahan bangunan yang kuat terhadap tekan dan dapat dibentuk dalam berbagai bentuk serta ukuran. Beton bertulang adalah bahan komposit yang merupakan gabungan dari dua jenis bahan, yaitu beton (*concrete*) dan tulangan baja (*steel*). Tulangan pada beton umumnya terbuat dari besi, sedangkan besi adalah logam yang rawan terhadap korosi yang dapat menyebabkan kerusakan pada beton dan memperpendek usia konstruksi.

Air laut adalah penyebab korosi yang paling agresif karena memiliki ion  $\text{Cl}^-$ . Oleh sebab itu korosi adalah faktor yang diperhitungkan pada saat melakukan perencanaan umur layan bangunan yang menggunakan logam besi sebagai bahan dasar konstruksi.

Penelitian dalam penanggulangan sifat korosif dari air laut dapat ditemui dengan mudah. Penggunaan anoda korban dan *Impress Current Cathode Protection* (ICCP) adalah dua diantaranya. Tetapi penelitian-penelitian tersebut terjadi pada beton bertulang dengan kondisi baik. Pada aplikasinya, ketika 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  $\text{Cl}^-$  akan lebih mudah masuk ke dalam pori-pori beton. Dalam penelitian ini akan dilakukan eksperimen untuk dapat mengelompokkan beton sesuai dengan permeabilitas ion  $\text{Cl}^-$  dengan campuran abu terbang yang telah mengalami keretakan. Dan untuk mempercepat penetrasi ion  $\text{Cl}^-$  ke dalam beton digunakan metode *rapid chloride permeability test* (RCPT).

## TEORI DAN METODOLOGI

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



Gambar 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Beton merupakan suatu material komposit yang terdiri dari campuran semen, air, agregrat kasar, agregrat halus, dan bahan tambahan (bila diperlukan). Beton dengan kualitas baik (beton mutu tinggi) yaitu beton yang mampu menahan kuat tekan tinggi. Pembuatan beton mutu tinggi dipengaruhi beberapa faktor yaitu material pembentuk yang baik, kemudahan pengerjaan (*workability*), faktor air semen, dan bahan tambahan (*admixture*).

Menurut SNI semen portland dibagi menjadi empat tipe, yaitu semen portland, semen portland pozolan, semen portland komposit, dan semen portland campuran. Kekuatan semen bergantung pada jumlah kandungan  $C_3S$ . Agregrat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% - 80% volume agregrat. Agregrat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregrat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregrat yang berukuran besar. Sifat yang terpenting dari agregrat adalah kuat terhadap tekan, bentuk yang bersudut (tidak pipih) agar tidak slip dan berpengaruh pada ikatan dengan pasta semen, dan porositas. Agregrat yang dapat digunakan dalam pembuatan beton harus memenuhi persyaratan yaitu, agregrat harus bersih, agregrat harus keras, bebas penyerapan bahan kimia, tidak tercampur dengan tanah, dan distribusi ukuran harus memenuhi ketentuan yang berlaku.

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 agregrat 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 BETON**

Pembuatan beton terbagi menjadi 3 tahapan, yaitu tahap persiapan, tahap pembuatan, dan tahap perawatan.

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

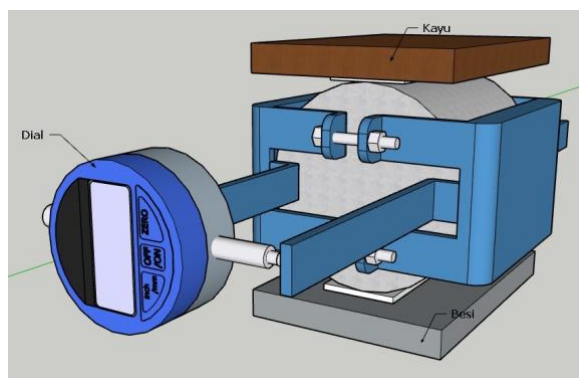
Pada tahap pembuatan, perhitungan *mix design* disesuaikan dengan mutu beton yang akan dicapai. Setelahnya mempersiapkan peralatan dan material yang akan digunakan guna kelancaran dalam proses pengecoran. Dalam pengecoran ini terdapat 4 macam sampel

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 dimasukan kedalam bekisting. Perawatan beton atau *curing* dilakukan pada saat beton mulai mengeras atau 24 jam setelah pengecoran. Bertujuan agar beton tidak cepat kehilangan air dan sebagai tindakan menjaga kelembaban/suhu beton sehingga dapat mencapai mutu beton yang diinginkan.

## **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  $\mu\text{m}$  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  $\mu\text{m}$ .

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

Tabel 1 Penamaan sampel beton untuk pengujian RCPT

| Indeks | Campuran Beton | Metode Pengujian | Lebar Retakan ( $\mu\text{m}$ ) |
|--------|----------------|------------------|---------------------------------|
| A.2.1  | K250           | RCPT             | 0                               |
| A.2.2  |                |                  | 200                             |
| A.2.3  |                |                  | 400                             |
| A.2.4  |                |                  | 600                             |
| A.2.5  |                |                  | 800                             |
| B.2.1  | K400           | RCPT             | 0                               |
| B.2.2  |                |                  | 200                             |
| B.2.3  |                |                  | 400                             |
| B.2.4  |                |                  | 600                             |
| B.2.5  |                |                  | 800                             |
| C.2.1  | K400 + FA 30%  | RCPT             | 0                               |
| C.2.2  |                |                  | 200                             |
| C.2.3  |                |                  | 400                             |
| C.2.4  |                |                  | 600                             |
| C.2.5  |                |                  | 800                             |

## **PEMBUATAN ALAT**

Terdapat dua Pembuatan alat dalam penelitian ini yaitu *Installator Dial Digital* dan *Migration Cell*. *Installator Dial Digital* digunakan sebagai alat bantu dalam proses peretakan, sedangkan *migration cell* merupakan alat yang digunakan dalam pengujian RCPT. Terdapat 5 alat *migration cell* yang dibuat.

- 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*.

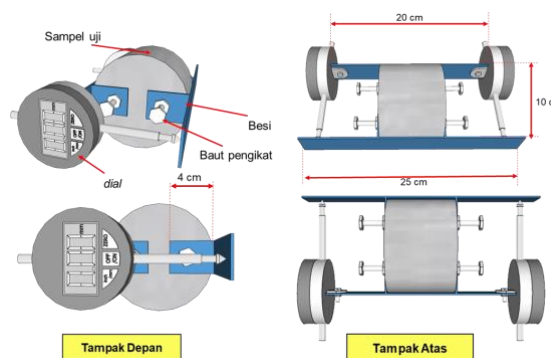


Gambar 3 Dial Gauge Indicator

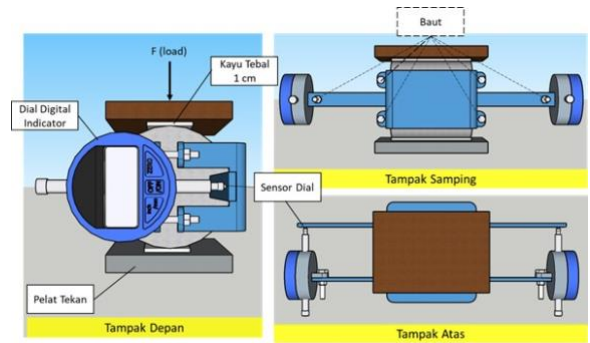
Terdapat 2 model instalator yang dibuat, model pertama ditunjukkan pada **Gambar 4** dan model kedua ditunjukkan pada **Gambar 5**.

Model *installator dial* pertama gagal dikarenakan tidak dapat menjaga *dial* agar tetap diam. 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.



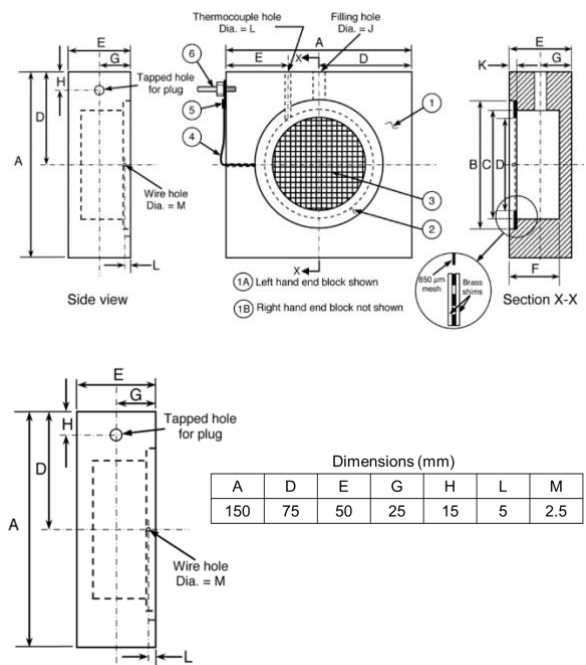
Gambar 4 Model Instalator Dial Digital 1

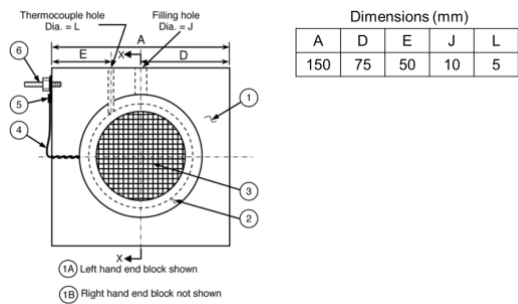


Gambar 5 Model Instalator Dial Digital 2

## 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**.

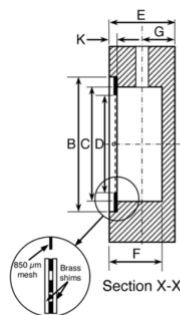




| Dimensions (mm) |    |    |    |   |
|-----------------|----|----|----|---|
| A               | D  | E  | J  | L |
| 150             | 75 | 50 | 10 | 5 |

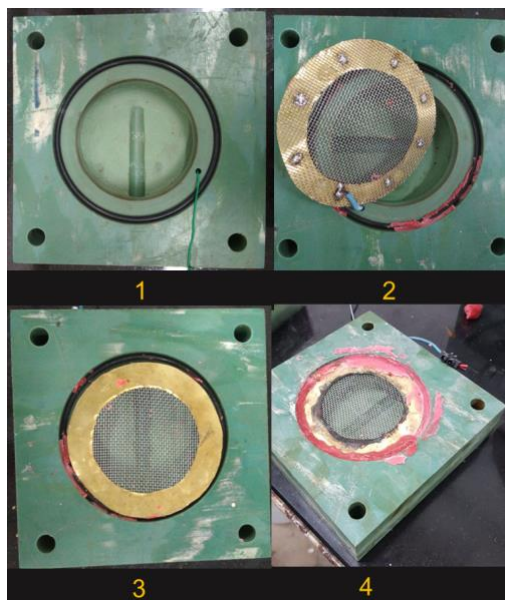
Parts List

| Item No. | Quantity | Description       | Specification                  |
|----------|----------|-------------------|--------------------------------|
| 1A<br>1B | 1        | Cell block end    | Poly (methyl methacrylate)     |
| 2        | 4        | Brass shim        | 0.5 mm thick                   |
| 3        | 2        | Brass screen      | 850 $\mu$ m (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      |



| Dimensions (mm) |    |    |    |    |    |   |
|-----------------|----|----|----|----|----|---|
| B               | C  | D  | E  | F  | G  | K |
| 150             | 89 | 75 | 50 | 41 | 25 | 6 |

Gambar 6 Model Alat Migration Cell



Gambar 7 Tahapan perangkaian Alat Migration Cell

c. Pengecekan Alat *Migration Cell*  
Pengecekan alat dilakukan dengan menggunakan benda uji berupa karet silinder. Apabila pembacaan arus pada shunt resistor bernilai nol, maka alat *migration cell* telah bekerja dengan benar yang berarti tidak terjadi pergerakan arus pada benda uji. Pengecekan alat *migration cell* ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8 Pengecekan Alat *Migration Cell*

Pada pengecekan alat pertama terbaca nilai arus pada shunt resistor sebesar 0 A, hal itu menunjukkan bahwa alat *migration cell* telah bekerja dengan benar. Begitupun juga untuk 4 alat lainnya.

## RCPT

Metode ini digunakan untuk memperlihatkan laju penetrasi ion  $\text{Cl}^-$  berdasarkan nilai muatan listrik yang dihasilkan. Pengukuran dilakukan dengan memonitor selama 6 jam dengan mengalirkan arus searah 60 V terhadap piringan beton dengan ketebalan 50 mm dan diameter 100 mm.

Beda potensial 60 V diukur pada ujung-ujung benda uji, salah satunya dicelupkan dalam larutan natrium klorida ( $\text{NaCl}$ ) 3%

dan ujung lainnya dicelupkan pada larutan natrium hidroksida (NaOH) 0.3 M. Total muatan listrik yang terhitung dapat diklasifikasikan dengan ketahanan benda uji terhadap ion klorida.

#### a. Alat dan Bahan

Alat-alat yang dibutuhkan untuk pengujian RCPT yaitu, *migration cell*, *vacum saturation apparatus*, larutan NaOH 0.3 M, larutan NaCl 3%, power supply DC 60V, multimeter, *shunt resistor*.

#### b. Pengujian

Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

1. Siapkan *form* pengujian
2. Nyalakan *power supply* kemudian atur pada tegangan 60 Volt.
3. Aktifkan *shunt resistor* untuk pembacaan arus awal ( $I_0$ ) setiap benda uji.
4. Pengambilan data dilakukan setiap 30 menit selama 6 jam.

Proses pengujian RCPT ditunjukkan pada **Gambar 9**.



Gambar 9 Pengujian RCPT

#### c. Pengklasifikasian

Total muatan listrik dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360})$$

Dimana :

$Q$  = Muatan listrik (Coulomb)

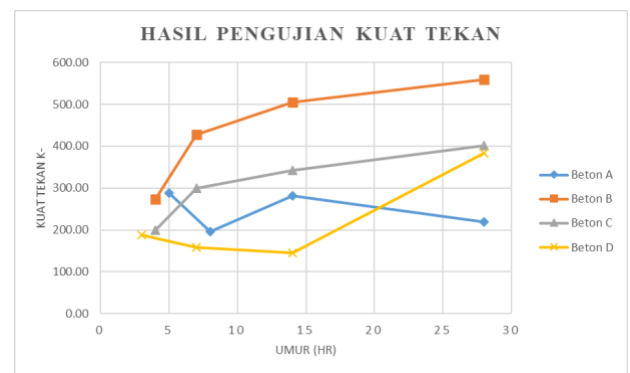
$I_0$  = Arus (Ampere) sesaat setelah tegangan dinyalakan

$I_t$  = Arus (Ampere) pada  $t$  menit setelah tegangan dinyalakan

## HASIL

#### a. 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 10**.



Gambar 10 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Terlihat beton D menghasilkan grafik yang menurun, hal ini menjadikan beton D tidak dimasukkan dalam pengujian RCPT.

#### b. Peretakan

Hasil peretakan beton untuk pengujian RCPT ditampilkan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 2 Form Keretakan Beton

| Kode  | Diameter <sup>*)</sup> | Tebal <sup>*)</sup> | Crack on Loading     |                      |                             | Crack on unloaded    |                      |                       | Beban yang Bekerja (kN) |
|-------|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|
|       |                        |                     | Sisi 1 <sup>*)</sup> | Sisi 2 <sup>*)</sup> | Average (COD) <sup>*)</sup> | Sisi 1 <sup>*)</sup> | Sisi 2 <sup>*)</sup> | Average <sup>*)</sup> |                         |
| A.2.2 | 100                    | 50                  | 0.36                 | 0.04                 | <b>0.2</b>                  | 0.21                 | 0.14                 | 0.175                 | 16.1                    |
| A.2.3 |                        |                     | 0.39                 | 0.4                  | <b>0.395</b>                | 0.39                 | 0.3                  | 0.345                 | 25.8                    |
| A.2.4 |                        |                     | 0.62                 | 0.52                 | <b>0.57</b>                 | 0.51                 | 0.52                 | 0.515                 | 24.5                    |
| A.2.5 |                        |                     | 0.66                 | 0.82                 | <b>0.74</b>                 | 0.66                 | 0.82                 | 0.74                  | 25                      |
| B.2.2 |                        |                     | 0                    | 0.39                 | <b>0.195</b>                | 0                    | 0.4                  | 0.2                   | > 33                    |
| B.2.3 |                        |                     | 0.67                 | 0.59                 | <b>0.63</b>                 | 0.07                 | 0.59                 | 0.33                  | > 33                    |
| B.2.4 |                        |                     | 0.6                  | 0.26                 | <b>0.43</b>                 | 0.64                 | 0.28                 | 0.46                  | 30                      |
| B.2.5 |                        |                     | 1                    | 0.8                  | <b>0.9</b>                  | 1                    | 0.8                  | 0.9                   | 28.75                   |
| C.2.2 |                        |                     | 0.4                  | 0.01                 | <b>0.205</b>                | 1.04                 | 0.01                 | 0.525                 | 23.6                    |
| C.2.3 |                        |                     | 0.34                 | 0.71                 | <b>0.525</b>                | 0.34                 | 0.71                 | 0.525                 | 18.7                    |
| C.2.4 |                        |                     | 1.3                  | 0.44                 | <b>0.87</b>                 | 1.3                  | 0.44                 | 0.87                  | 24.5                    |
| C.2.5 |                        |                     | 0.97                 | 0                    | <b>0.485</b>                | 0.83                 | 0                    | 0.415                 | 30.3                    |

\*) Satuan dalam mm

Tabel 3 Luas Retakan Beton

| Benda Uji | Lebar Retakan (μm) | Luas Retakan (mm <sup>2</sup> ) |
|-----------|--------------------|---------------------------------|
| A.2.1     | 0                  | 0                               |
| A.2.2     | 200                | 11.01                           |
| A.2.3     | 400                | 24                              |
| A.2.4     | 600                | 170.19                          |
| A.2.5     | 800                | 152.06                          |
| B.2.1     | 0                  | 0                               |
| B.2.2     | 200                | 7.33                            |
| B.2.3     | 400                | 52.27                           |
| B.2.4     | 600                | 248.32                          |
| B.2.5     | 800                | 122.02                          |
| C.2.1     | 0                  | 0                               |
| C.2.2     | 200                | 17.12                           |
| C.2.3     | 400                | 22.63                           |
| C.2.4     | 600                | 120.71                          |
| C.2.5     | 800                | 26.17                           |

## c. Pengujian RCPT

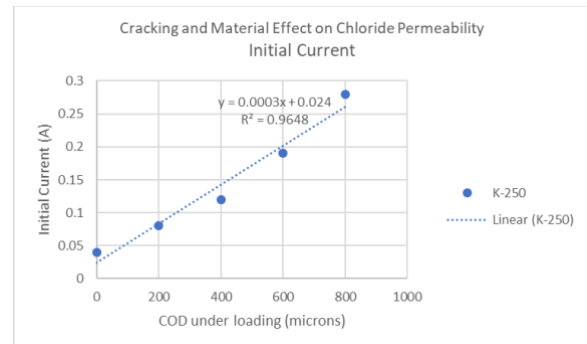
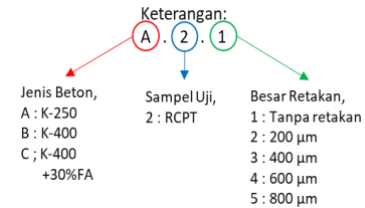
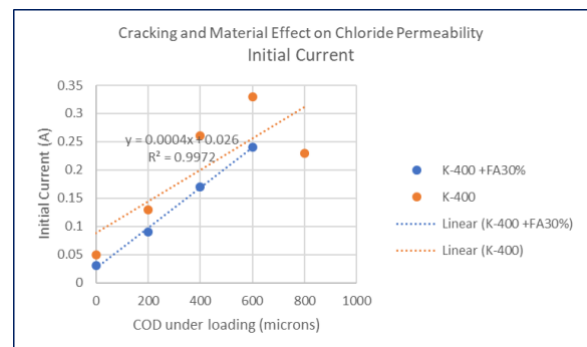
Hasil pengujian RCPT tersaji pada **Tabel 4**. Terlihat bahwa semakin besar retakan pada beton, maka tingkat penetrasi ion chlorida akan meningkat. Hal ini sesuai dengan grafik pada **Gambar 11** dan **Gambar 12** yaitu pembacaan nilai arus awal terhadap lebar retakan meningkat.

Tabel 4 Hasil pengujian RCPT

| Waktu (min.)<br>Benda uji | Arus (Ampere) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  | Q (Coulombs) | Chloride Ion Penetrabilit |
|---------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|--------------|---------------------------|
|                           | 0             | 30   | 60   | 90   | 120  | 150  | 180  | 210  | 240  | 270  | 300  | 330  | 360  |      |  |  |              |                           |
| A.2.1                     | 0.04          | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 1575 |  |  | Low          |                           |
| A.2.2                     | 0.08          | 0.09 | 0.1  | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 2466 |  |  | Moderate     |                           |
| A.2.3                     | 0.12          | 0.12 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 2727 |  |  | Moderate     |                           |
| A.2.4                     | 0.19          | 0.2  | 0.17 | 0.19 | 0.2  | 0.22 | 0.22 | 0.23 | 0.24 | 0.25 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 4797 |  |  | High         |                           |
| A.2.5                     | 0.28          | 0.29 | 0.26 | 0.27 | 0.27 | 0.29 | 0.28 | 0.3  | 0.31 | 0.31 | 0.3  | 0.29 | 0.29 | 6219 |  |  | High         |                           |
| B.2.1                     | 0.05          | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 1422 |  |  | Low          |                           |
| B.2.2                     | 0.13          | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 2961 |  |  | Moderate     |                           |
| B.2.3                     | 0.26          | 0.28 | 0.3  | 0.33 | 0.34 | 0.33 | 0.32 | 0.33 | 0.33 | 0.32 | 0.28 | 0.3  | 0.29 | 6723 |  |  | High         |                           |
| B.2.4                     | 0.33          | 0.39 | 0.41 | 0.44 | 0.45 | 0.44 | 0.48 | 0.47 | 0.49 | 0.5  | 0.46 | 0.48 | 0.5  | 9765 |  |  | High         |                           |
| B.2.5                     | 0.23          | 0.26 | 0.26 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.28 | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.29 | 0.3  | 0.3  | 6003 |  |  | High         |                           |
| C.2.1                     | 0.03          | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 1278 |  |  | Low          |                           |
| C.2.2                     | 0.09          | 0.1  | 0.1  | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 2097 |  |  | Moderate     |                           |
| C.2.3                     | 0.17          | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 4221 |  |  | High         |                           |
| C.2.4                     | 0.24          | 0.28 | 0.29 | 0.31 | 0.31 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.27 | 0.28 | 0.27 | 0.26 | 6084 |  |  | High         |                           |

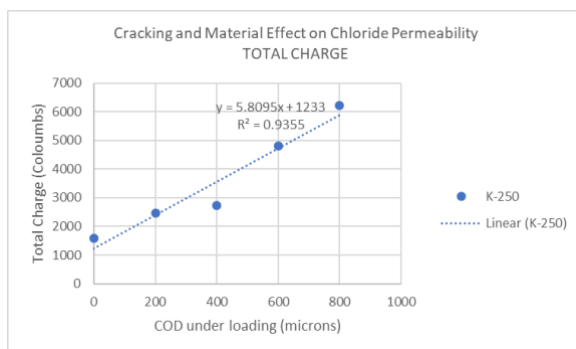
RCPT Rating (ASTM C1202)

| Charge Passed (Coulombs) | Chloride Ion Penetrability |
|--------------------------|----------------------------|
| > 4000                   | High                       |
| 2000 - 4000              | Moderate                   |
| 1000 - 2000              | Low                        |
| 100 - 1000               | Very Low                   |
| < 100                    | Negligible                 |

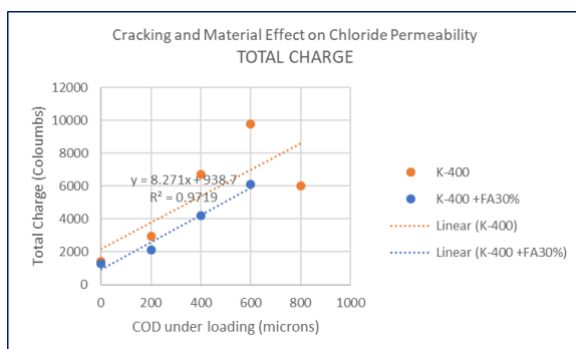
Gambar 11 Grafik hubungan  $I_0$  dengan lebar retakan pada beton K-250Gambar 12 Grafik hubungan  $I_0$  dengan lebar retakan pada beton K-400 dan K-400 + FA30%

Pada grafik hubungan antara total muatan listrik dan lebar retakan, terlihat beton K-250 pada **Gambar 13** sesuai dengan rencana, bahwa untuk lebar keretakan semakin besar maka didapatkan nilai

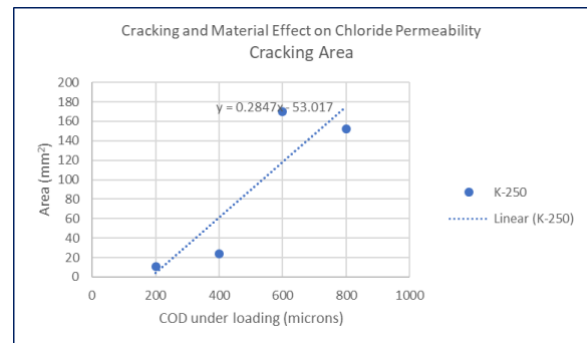
muatan listrik yang besar pula. Sedangkan pada **Gambar 14** **Error! Reference source not found.** terlihat bahwa beton B.2.5 mengalami penurunan nilai muatan listrik yang terbaca dibandingkan dengan beton B.2.4. Hal ini diperkuat dengan grafik hubungan antara luas retakan dengan lebar retakan pada **Gambar 16** yang menunjukkan bahwa nilai luas retakan pada beton B.2.5 lebih kecil daripada nilai luas retakan pada beton B.2.4.



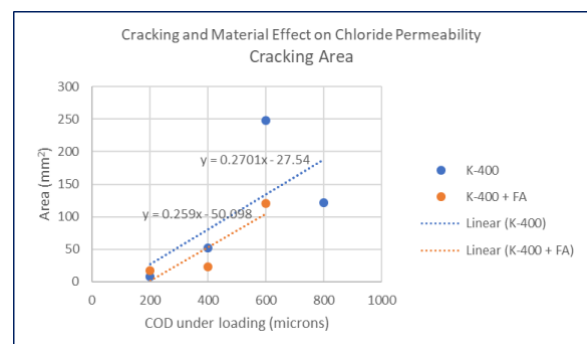
Gambar 13 Grafik hubungan total Coulomb dengan COD pada beton K-250



Gambar 14 Grafik hubungan total Coulomb dengan COD pada beton K-400 dan K-400 + FA30%



Gambar 15 Grafik hubungan luas retakan terhadap lebar retakan pada beton K-250



Gambar 16 Grafik hubungan luas retakan terhadap lebar retakan pada beton K-400 dan K-400 + FA30%

Berdasarkan grafik pada **Gambar 12**, **Gambar 14**, dan **Gambar 16** terdapat suatu irisan bahwa besar nilai arus awal dan total muatan listrik bergantung dengan luas keretakan yang terjadi pada beton uji sesuai dengan **Tabel 3**. Hal ini terjadi karena pada proses peretakan benda uji, lebar keretakan dengan luas retakan tidak linear. Sehingga pada saat pengujian beton yang memiliki luas retakan yang besar, ion klorida akan cepat masuk menembus beton uji.

## KESIMPULAN 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 tervalidasi dengan cara melakukan pengujian yang menggunakan benda uji berupa silinder karet pejal dengan ketebalan 4 cm dan menunjukkan pembacaan arus bernilai nol ampere.
3. Pengklasifikasian penetrasi ion klorida untuk beton dengan mutu K-250, K-400, dan K-400 + FA 30% dan dengan lebar retakan 0, 200  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$ , dan 800  $\mu\text{m}$  adalah sebagai berikut.
  - Beton K-250 dengan lebar retakan 0  $\mu\text{m}$  termasuk dalam "*low chloride ion penetrability*" dengan nilai muatan listrik 1575 Coloumbs.
  - Beton K-250 dengan lebar retakan 200 dan 400  $\mu\text{m}$  termasuk dalam "*moderate chloride ion penetrability*" dengan nilai muatan listrik 2466 Coloumbs dan 2727 Coloumbs.
  - Beton K-250 dengan lebar retakan 600 dan 800  $\mu\text{m}$  termasuk dalam "*high chloride ion penetrability*" dengan nilai muatan listrik 4797 Coloumbs dan 6219 Coloumbs.
  - Beton K-400 dengan lebar retakan 0  $\mu\text{m}$  termasuk dalam "*low chloride ion penetrability*" dengan nilai muatan listrik 1422 Coloumbs.
  - Beton K-400 dengan lebar retakan 200  $\mu\text{m}$  termasuk dalam "*moderate chloride ion penetrability*" dengan nilai muatan listrik 2961 Coloumbs.
  - Beton K-400 dengan lebar retakan 400, 600, dan 800  $\mu\text{m}$  termasuk dalam "*high chloride ion penetrability*" dengan nilai muatan

listrik 6723, 9765, dan 6003 Coloumbs.

- Beton K-400 + FA 30% dengan lebar retakan 0  $\mu\text{m}$  termasuk dalam "*low chloride ion penetrability*" dengan nilai muatan listrik 1278 Coloumbs.
- Beton K-400 + FA 30% dengan lebar retakan 200  $\mu\text{m}$  termasuk dalam "*moderate chloride ion penetrability*" dengan nilai muatan listrik 2097 Coloumbs.
- Beton K-400 + FA 30% dengan lebar retakan 400 dan 600  $\mu\text{m}$  termasuk dalam "*high chloride ion penetrability*" dengan nilai muatan listrik 4221 dan 6084 Coloumbs.

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

1. Teliti kualitas material yang akan digunakan sebelum melakukan pengecoran.
2. Gunakan alat sensor LVDT sebagai alat untuk mengukur lebar retakan agar lebih presisi pada proses peretakan beton.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- AASHTO T277-07. (2008). *Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*. United States of America: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- 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.

: *A Literature Review*. Toronto:  
University of Toronto.

ASTM C1202-12. (2012). *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*. Philadelphia, United States of America: American Society for Testing and Materials.

Wang, K., Jansen, D. C., & Shah, S. P. (n.d.). Permeability Study of Cracked Concrete.

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.

Gengerly, J., Bledsoe, J. E., Tempest, B. Q., & Szabo, I. F. (2006). *Concrete Diffusion Coefficients and Existing Chloride Exposure in North Carolina*. Charlotte: University of North Carolina.

Saito, M., & Ishimori, H. (1995). Chloride permeability of concrete under static and repeated compressive loading. *Cement and Concrete Research* 25 (4), 803-808.

Siregar, A. P. (2007). Laju korosi tulangan pada mutu beton yang berbeda. *SMARTek*.

SNI 15-2049-2004 . (2004). *Semen Portland*.

SNI 15-7064-2004. (2004). *Semen Portland Komposit*.

Stanish, K. D., Hooton, R. D., & Thomas, M. D. (1997). *Testing the Chloride Penetration Resistance of Concrete*