

DESAIN BENDA UJI BETON DENGAN CAMPURAN FLY ASH YANG DIBERI BEBAN UNTUK MENENTUKAN KONSENTRASI KLOORIDA MENGGUNAKAN STEADY STATE MIGRATION TEST

Design of Concrete Specimens with A Load of Fly Ash Mixture to Determine Chloride Concentration Using Steady State Migration Test

William Gunawan¹ dan Ir. Sri Murti Adiyastuti, Ph.D.²

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10 Bandung 40312
william.gunawan09@gmail.com¹ dan murtia704@gmail.com²

Abstrak

Salah satu penyebab suatu tulangan dapat terkorosi ialah air laut, yang mengandung klorida. Klorida ini berpenetrasi ke dalam beton hingga mengenai tulangan. Hal tersebut yang menyebabkan kerusakan pada beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji suatu permasalahan mengenai bagaimana pengaruh pembebanan beton terhadap konsentrasi klorida, dimana beton tersebut dibuat dengan campuran *fly ash*. Penelitian dimulai dengan pembuatan sampel penelitian. Tahapan pembuatan sampel tersebut terdiri atas persiapan alat dan bahan, penentuan parameter dari material beton, penetapan variabel perencanaan, pelaksanaan campuran beton, perawatan (*curing*) dan *capping* beton, serta pemeriksaan kekuatan hancur beton. Setelah itu, pengujian *steady state migration* dilakukan. Metode tersebut dilakukan guna mendapatkan konsentrasi klorida dari masing-masing beton dan analisisnya. Berdasarkan pengujian *steady state migration*, didapatkan beton K400 dengan pembebanan mempunyai nilai konsentrasi klorida tertinggi bila dibandingkan dengan beton komposisi lain, baik tanpa pembebanan maupun dengan pembebanan. Hal ini dikarenakan tanpa adanya campuran *fly ash*, beton sulit menahan serangan klorida. Sedangkan dalam hal pembebanan, beton-beton dengan pembebanan memiliki nilai konsentrasi klorida lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton tanpa pembebanan, disebabkan pembebanan tersebut menciptakan celah yang membuat klorida dapat berpenetrasi lebih mudah.

Kata Kunci: *Fly Ash, Konsentrasi Klorida, Steady State Migration*

Abstract

One of the causes of corrosion of reinforcement is sea water, which contains chloride. This chloride penetrates into the concrete until it hits the reinforcement. This is what causes damage to the concrete. This research was conducted to examine a problem regarding how the effect of concrete loading on chloride concentration, where the concrete is made with a mixture of fly ash. The research began with making research samples. The stages of making the sample consist of preparing the tools and materials, determining the parameters of the concrete material, determining the planning variables, implementing the concrete mixture, treating (curing) and capping the concrete, and checking the crush strength of the concrete. After that, the steady state migration test was carried out. This method is used to obtain the chloride concentration of each concrete and its analysis. Based on the steady state migration test, it was found that K400 concrete with loading had the highest chloride concentration value when compared to concrete with other compositions, either without loading or under loading. This is because without the fly ash mixture, it is difficult for concrete to resist chloride attack. Whereas in terms of loading, the concrete with loading has a higher chloride

concentration value when compared to concrete without loading, because the loading creates gaps that allow chloride to penetrate more easily.

Keywords: Fly Ash, Chloride Concentration, Steady State Migration

PENDAHULUAN

Beton adalah salah satu bahan bangunan laut yang bersifat komposit karena terdiri dari empat komponen utama. Keempat komponen tersebut yaitu agregat kasar berupa batu, agregat halus berupa pasir, semen, dan air. Beton juga merupakan bahan konstruksi yang paling umum digunakan. Hal itu disebabkan oleh kelebihan-kelebihan yang dimiliki beton itu sendiri. Salah satu kelebihan dari beton ialah biaya pembuatan dan pemeliharaan yang murah. Selain itu, beton dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan konstruksi. Kekuatan beton yang diinginkan dapat direncanakan karena hanya bergantung pada komposisi komponennya.

Sedangkan kekurangan dari beton salah satunya adalah memiliki kekuatan tarik yang lemah. Oleh sebab itu, suatu struktur akan mudah gagal bila tidak diperkuat dari sisi kekuatan tariknya. Penguatan beton yang umum digunakan yaitu dengan memadukan tulangan baja dalam pembuatannya, atau dikenal dengan istilah beton bertulang. Dengan adanya tulangan tersebut, beton menjadi beresiko rusak karena besi ataupun baja rentan terhadap korosi. Tulangan yang terkorosi merupakan tahapan awal dari kerusakan beton dimana akan memperpendek umur strukturnya. Salah satu penyebab suatu tulangan dapat terkorosi ialah air laut, yang mengandung klorida. Klorida ini berpenetrasi ke dalam beton hingga mengenai tulangan.

TEORI DAN METODOLOGI

Beton

Beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen portland dan air. Tetapi belakangan ini definisi dari beton sudah

semakin luas, dimana beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan, abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain.

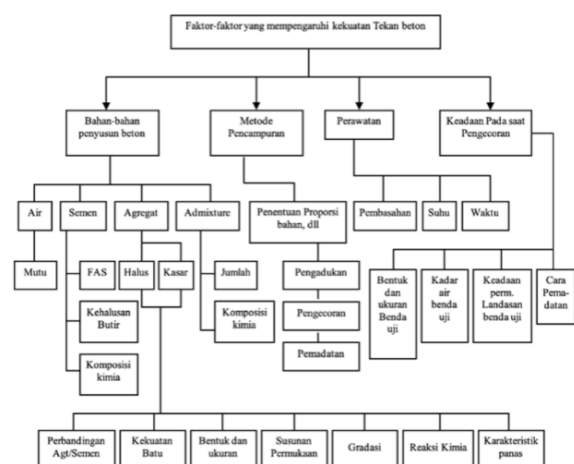
Perancangan beton harus memenuhi kriteria perancangan yang berlaku. Perancangan sendiri dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang baik dimana harus memenuhi kriteria dua kinerja yang utamanya, yaitu kuat tekan (*strength*) dan pengerjaan yang mudah (*workability*). Selain itu juga harus memenuhi kriteria antara lain, tahan lama (*durability*), murah (*aspect economic cost*) dan tahan aus.

Karakteristik Beton

Karakteristik beton terbagi menjadi tiga bagian diantaranya adalah kuat tekan beton, workabilitas beton, susut beton, serta rongga udara (*air content*) pada beton.

1. Kuat Tekan Beton

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Faktor Kekuatan Beton

2. Workabilitas Beton

Workabilitas adalah bahwa bahan-bahan beton setelah diaduk bersama, menghasilkan adukan yang bersifat sedemikian rupa sehingga adukan mudah diangkut, dituang/dicetak, dan dipadatkan menurut tujuan pekerjaannya tanpa terjadi perubahan yang menimbulkan kesukaran atau penurunan mutu. Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari nilai *slump* yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton semakin mudah pengerjaannya.

3. Susut Beton

Susut didefinisikan sebagai perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Jika dihalangi secara merata proses susut dalam beton akan menimbulkan deformasi yang umumnya bersifat menambah deformasi rangkak. Rangkak (*creep*) adalah sifat dimana beton mengalami perubahan bentuk atau deformasi permanen akibat beban tetap yang bekerja padanya. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang untuk selang waktu tertentu dan akan berakhir setelah beberapa tahun berjalan. Besarnya deformasi yang ditahan dan juga jangka waktu pembebanan. Pada umumnya, rangkak tidak mengakibatkan dampak langsung terhadap kekuatan struktur, tetapi akan mengakibatkan timbulnya redistribusi tegangan pada beban kerja dan kemudian mengakibatkan terjadinya peningkatan lendutan (defleksi).

4. Rongga Udara pada Beton

Pada umumnya beton mengandung rongga udara sekitar 1% hingga 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% hingga 40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% hingga 75%. Dengan banyaknya pori-pori yang mengandung udara tersebut, maka akan mengakibatkan kekuatan beton semakin menurun. Dengan penambahan bahan tertentu yang bersifat sebagai *filler* akan mengisi rongga-rongga udara sehingga beton lebih kedap air.

Semen

Semen adalah perekat hidrolik yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari bahan utama silikat-silikat kalsium dan bahan tambahan batu gypsum dimana senyawa-senyawa tersebut dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru bersifat perekat pada bebatuan. Semen dalam pengertian umum adalah bahan yang mempunyai sifat *adhesive* dan *cohesive*, digunakan sebagai bahan pengikat (*bonding material*), yang dipakai bersama-sama dengan batu kerikil dan pasir.

Agregat Halus dan Kasar

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Kira-kira 60-75% volume mortar atau beton diisi oleh agregat. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. Dari segi ekonomis lebih menguntungkan jika digunakan campuran beton dengan sebanyak mungkin bahan pengisi dan sedikit mungkin jumlah semen. Namun keuntungan dari segi ekonomis harus diseimbangkan dengan kinerja beton baik dalam keadaan segar maupun setelah mengeras.

Pengaruh kekuatan agregat terhadap beton begitu besar, karena umumnya kekuatan agregat lebih besar dari kekuatan pasta semennya. Namun kekasaran permukaan agregat berpengaruh terhadap kekuatan beton. Agregat dapat dibedakan berdasarkan ukuran butiran. Agregat yang mempunyai ukuran butiran besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berbutir kecil disebut agregat halus. Dalam bidang teknologi beton nilai batas daerah agregat kasar dan agregat halus adalah 4,75 mm atau 4,80 mm. Agregat yang butirannya lebih kecil dari 4,80 mm disebut agregat halus. Secara umum agregat kasar sering disebut kerikil, kerikak, batu pecah atau

split. Adapun agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai, tanah galian atau dari hasil pemecahan batu. Agregat yang butirannya lebih kecil dari 1,20 mm disebut pasir halus, sedangkan butiran yang lebih kecil dari 0,08 mm disebut lanau, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut lempung.

Air Campuran Beton

Fungsi air di dalam adukan beton adalah untuk memicu proses kimiawi semen sebagai bahan perekat dan melumasi agregat agar mudah dikerjakan. Kualitas air yang digunakan untuk mencampur beton sangat berpengaruh terhadap kualitas beton itu sendiri. Air yang mengandung zat-zat kimia berbahaya, mengandung garam, minyak, dan lain-lain akan menyebabkan kekuatan beton turun. Pada umumnya air yang dapat diminum dapat digunakan sebagai campuran beton.

Bahan Tambahan (Admixture)

Admixture adalah material tambahan pengadukan beton yang diolah sebelum atau selama proses *mixing* berjalan. Fungsi *admixture* adalah untuk memodifikasi karakteristik beton dengan tujuan sebagai berikut:

1. Memperbaiki workabilitas beton.
2. Mengatur faktor air semen pada beton segar.
3. Mengurangi penggunaan semen.
4. Mencegah terjadinya segregasi dan bleeding.
5. Mengatur waktu pengikatan aduk beton.
6. Meningkatkan kekuatan beton keras.
7. Meningkatkan sifat kedap air pada beton keras.

Secara umum *admixture* terdiri dari dua jenis bahan tambah, yaitu bahan tambah yang berupa mineral (*additive*) dan bahan tambah kimiawi (*chemical admixture*). Bahan tambah *admixture* ditambahkan pada saat pengadukan atau pada saat pengecoran. Sedangkan bahan tambah *additive* ditambahkan pada saat

pengadukan. Bahan tambah *admixture* biasanya dimaksudkan untuk mengubah perilaku beton pada saat pelaksanaan atau untuk meningkatkan kinerja beton pada saat pelaksanaan. Untuk bahan tambah *additive* lebih banyak bersifat penyemenan sehingga digunakan dengan tujuan perbaikan kinerja kekuatannya.

1. Tipe A: *Water Reducing Admixture* (WRA)

Bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi penggunaan air pengaduk untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

2. Tipe B: *Retarding Admixture*

Bahan tambah yang berfungsi untuk memperlambat proses waktu pengikatan beton. Biasanya digunakan pada saat kondisi cuaca panas, memperpanjang waktu untuk pemadatan, pengangkutan dan pengecoran.

3. Tipe C: *Accelerating Admixture*

Jenis bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat proses pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk memperpendek waktu pengikatan semen sehingga mempercepat pencapaian kekuatan beton. Yang termasuk jenis *accelerator* adalah kalsium klorida, bromida, karbonar, dan silikat. Pada daerah-daerah yang menyebabkan korosi tinggi tidak dianjurkan menggunakan *accelerator* jenis kalsium klorida. Dosis maksimum yang dapat ditambahkan pada beton adalah sebesar 2% dari berat semen.

4. Tipe D: *Water Reducing and Retarding Admixture*

Jenis bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi jumlah air pengaduk yang diperlukan pada beton tetapi tetap memperoleh adukan dengan konsistensi tertentu sekaligus memperlambat proses pengikatan awal dan pengerasan beton. Dengan menambahkan

bahan ini ke dalam beton, maka jumlah semen dapat dikurangi sebanding dengan jumlah air yang dikurangi. Bahan ini berbentuk cair sehingga dalam perencanaan jumlah air pengaduk beton, berat *admixture* ini harus ditambahkan sebagai berat air total pada beton.

5. Tipe E: *Water Reducing and Accelerating Admixture*

Jenis bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi jumlah air pengaduk yang diperlukan pada beton tetapi tetap memperoleh adukan dengan konsistensi tertentu sekaligus mempercepat proses pengikatan awal dan pengerasan beton. Beton yang ditambah dengan bahan tambah jenis ini akan dihasilkan beton dengan waktu pengikatan yang cepat serta kadar air yang rendah tetapi tetap *workable*. Dengan menggunakan bahan ini diinginkan beton yang mempunyai kuat tekan tinggi dengan waktu pengikatan yang lebih cepat (beton mempunyai kekuatan awal yang tinggi).

6. Tipe F: *Water Reducing, High Range Admixture*

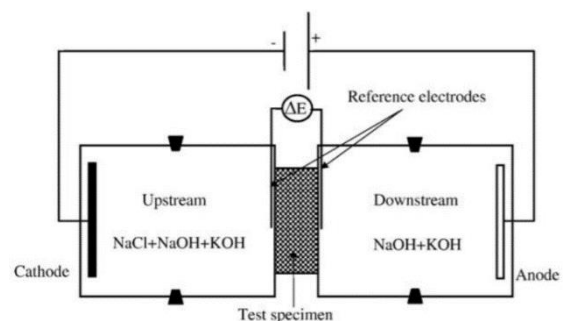
Jenis bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Dengan memberikan bahan ini ke dalam beton, diinginkan untuk mengurangi jumlah air pengaduk dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan tinggi dengan jumlah air sedikit, tetapi tingkat kemudahan pekerjaan (*workabilitas* beton) juga lebih tinggi. Bahan tambah jenis ini berupa *superplasticizer*. Yang termasuk jenis *superplasticizer* adalah kondensi *sulfonate melamine formaldehyde* dengan kandungan klorida sebesar 0,005%, *sulfonate naphthalene formaldehyde*, modifikasi lignosulfonat tanpa kandungan klorida. Jenis bahan ini mengurangi jumlah air pada campuran beton dan meningkatkan *slump* beton sampai 208 mm. Dosis yang dianjurkan adalah 1-2% dari berat semen.

7. Tipe G: *Water Reducing, High Range Retarding Admixture*

Jenis bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih sekaligus menghambat pengikatan dan pengerasan beton. Bahan ini merupakan gabungan *superplasticizer* dengan memperlambat waktu ikat beton. Digunakan apabila pekerjaan sempit karena keterbatasan sumberdaya dan ruang kerja.

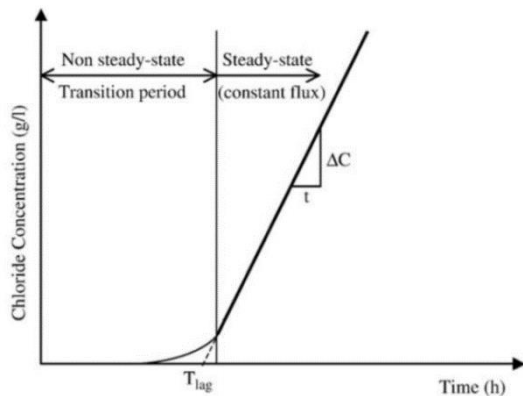
Steady State Migration Test

Untuk mempercepat penetrasi klorida, pengujian dilakukan dengan menggunakan metoda *steady state migration*. Setiap piringan beton diletakkan diantara dua bilik kompartemen sel yang telah disegel silikon untuk memastikan bahwa rangkaian tersebut tidak bocor. Larutan itu dibuat dari NaCl (0,513 mol/L), NaOH (0,025 mol/L), serta KOH (0,083 mol/L) untuk bagian *upstream*, lalu NaOH (0,025 mol/L) dan KOH (0,083 mol/L) untuk *downstream*. Rangkaian tersebut diberi tegangan listrik sebesar 12 Volt serta pengujiannya dilakukan pada suhu $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Kemudian, larutan pada bagian *downstream* akan diambil sampelnya untuk dititrasi dengan AgNO_3 (0,05 M). Ilustrasi *steady state migration cell* dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Ilustrasi *Steady State Migration Cell*

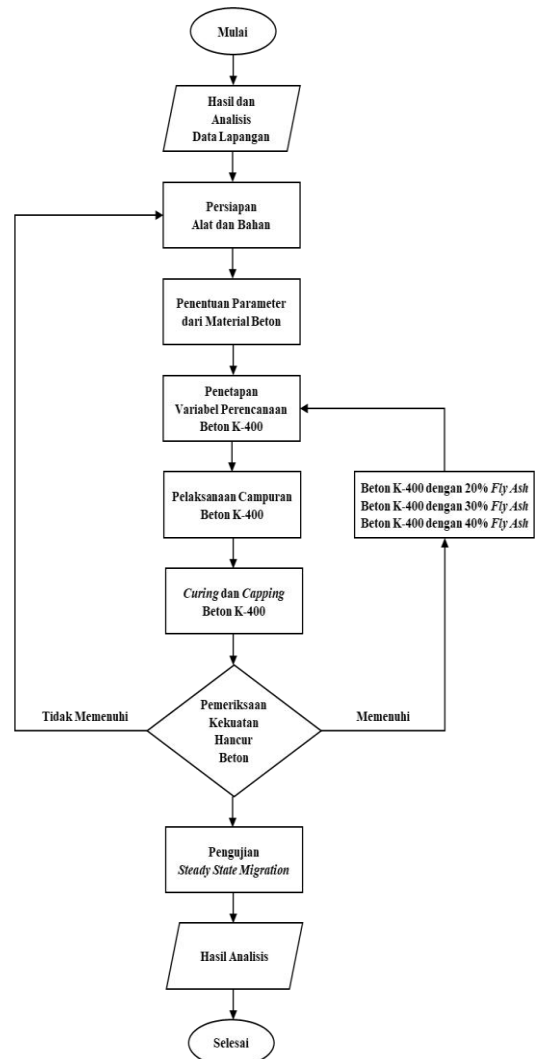
Pada saat pengujian, terdapat dua fasa yang menunjukkan hubungan antara penetrasi klorida terhadap waktu. Fasa pertama adalah fasa dimana ion klorida sedang dalam proses migrasi melalui pori-pori beton sehingga belum mencapai kompartemen tempat adanya anoda. Fasa ini biasanya disebut periode transisi dan migrasi ion klorida dalam kondisi *non steady state*. Sedangkan fasa kedua dikenal periode *steady state* dimana peningkatan konsentrasi klorida menjadi konstan seiring dengan berjalannya waktu serta menghasilkan fluks ion klorida yang konstan pula. Selain itu, akan ada dua fasa dalam *steady state migration test* yang dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Dua Fasa dalam Steady State Migration Test

Metodologi

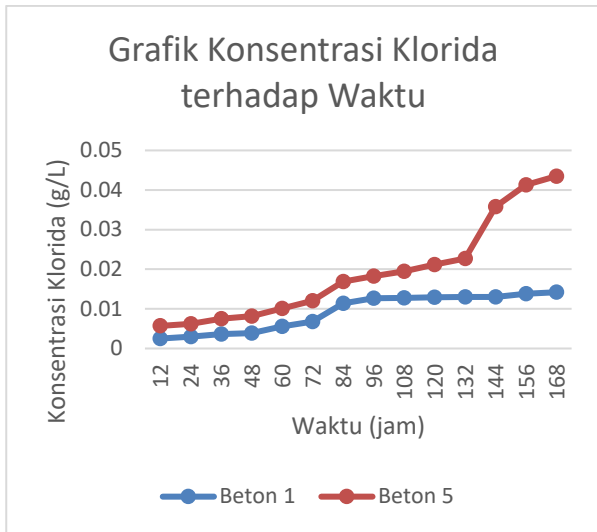
Metodologi pengerjaan tugas akhir secara keseluruhan dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Metodologi Penelitian

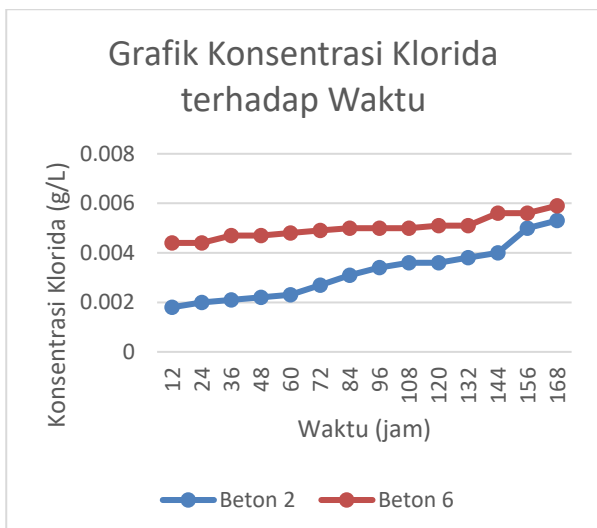
HASIL DAN ANALISIS

Hasil dari pengujian *steady state migration* dapat dilihat pada gambar-gambar di bawah ini beserta analisisnya.



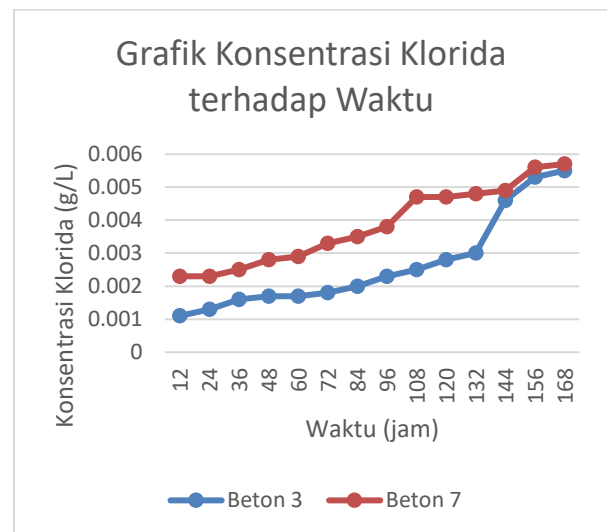
Gambar 5 Beton K400 Tanpa Pembebanan (Beton 1) dan Dengan Pembebanan (Beton 5)

Berdasarkan grafik konsentrasi klorida terhadap waktu di atas, dapat diketahui bahwa kedua beton K400, baik tanpa pembebanan maupun dengan pembebanan, terjadi kenaikan konsentrasi klorida. Namun, beton 5 atau beton K400 dengan pembebanan 2000 kg mempunyai nilai lebih tinggi. Hal ini dikarenakan pembebanan tersebut membuat celah pada beton sehingga klorida lebih dapat berpenetrasi dengan mudah.



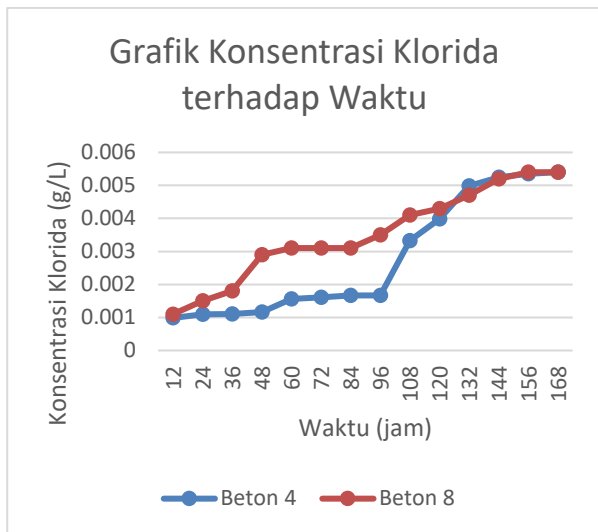
Gambar 6 Beton K400 + 20% Fly Ash Tanpa Pembebanan (Beton 2) dan Dengan Pembebanan (Beton 6)

Berdasarkan grafik konsentrasi klorida terhadap waktu di atas, dapat diketahui bahwa kedua beton K400 yang ditambah 20% *fly ash*, baik tanpa pembebanan maupun dengan pembebanan, terjadi kenaikan konsentrasi klorida. Namun, beton 6 atau beton K400 yang ditambah 20% *fly ash* dengan pembebanan 2000 kg mempunyai nilai lebih tinggi. Hal ini dikarenakan pembebanan tersebut membuat celah pada beton sehingga klorida lebih dapat berpenetrasi dengan mudah.



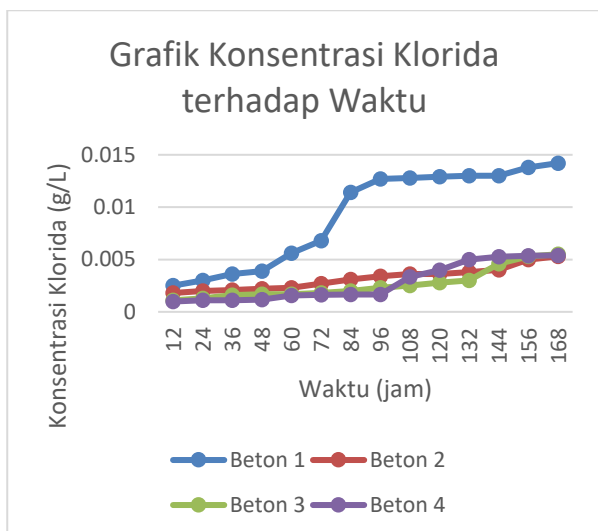
Gambar 7 Beton K400 + 30% Fly Ash Tanpa Pembebanan (Beton 3) dan Dengan Pembebanan (Beton 7)

Berdasarkan grafik konsentrasi klorida terhadap waktu di atas, dapat diketahui bahwa kedua beton K400 yang ditambah 30% *fly ash*, baik tanpa pembebanan maupun dengan pembebanan, terjadi kenaikan konsentrasi klorida. Namun, beton 7 atau beton K400 yang ditambah 30% *fly ash* dengan pembebanan 2000 kg mempunyai nilai lebih tinggi. Hal ini dikarenakan pembebanan tersebut membuat celah pada beton sehingga klorida lebih dapat berpenetrasi dengan mudah.



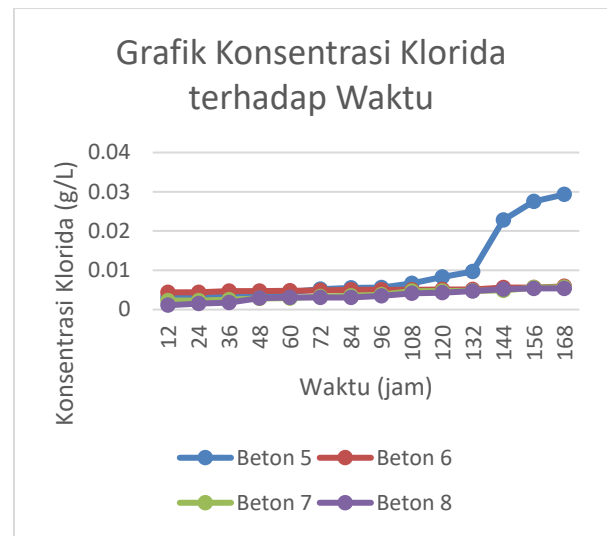
Gambar 8 Beton K400 + 40% Fly Ash Tanpa Pembebanan (Beton 4) dan Dengan Pembebanan (Beton 8)

Berdasarkan grafik konsentrasi klorida terhadap waktu di atas, dapat diketahui bahwa kedua beton K400 yang ditambah 40% *fly ash*, baik tanpa pembebanan maupun dengan pembebanan, terjadi kenaikan konsentrasi klorida. Namun, beton 8 atau beton K400 yang ditambah 40% *fly ash* dengan pembebanan 2000 kg mempunyai nilai lebih tinggi. Hal ini dikarenakan pembebanan tersebut membuat celah pada beton sehingga klorida lebih dapat berpenetrasi dengan mudah.



Gambar 9 Beton-beton Tanpa Pembebanan

Berdasarkan grafik konsentrasi klorida terhadap waktu di atas, dapat diketahui bahwa beton-beton tanpa pembebanan, terjadi kenaikan konsentrasi klorida. Namun, beton 1 atau beton K400 tanpa pembebanan 2000 kg mempunyai nilai paling tinggi. Hal ini dikarenakan beton 1 tidak mengandung *fly ash* sehingga ketahanannya kurang terhadap serangan klorida.



Gambar 10 Beton-beton Dengan Pembebanan

Berdasarkan grafik konsentrasi klorida terhadap waktu di atas, dapat diketahui bahwa beton-beton dengan pembebanan, terjadi kenaikan konsentrasi klorida. Namun, beton 5 atau beton K400 dengan pembebanan 2000 kg mempunyai nilai paling tinggi. Hal ini dikarenakan beton 5 tidak mengandung *fly ash* sehingga ketahanannya kurang terhadap serangan klorida.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian *steady state migration*, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Komposisi dan kualitas dari unsur-unsur campuran beton sangat mempengaruhi ketahanan terhadap klorida.

2. Beton K400 yang diberi beban mempunyai konsentrasi klorida lebih tinggi dibandingkan beton K400 yang tidak diberi beban, berarti ketahanannya terhadap serangan klorida lebih rendah. Kemungkinan penyebabnya adalah terbentuknya retakan-retakan dalam beton akibat pembebanannya, walaupun secara visual tidak terlihat.
3. Beton dengan campuran *fly ash* mempunyai ketahanan terhadap serangan klorida, hal ini ditunjukkan dari hasil pengujian setelah 7 hari, beton dengan campuran *fly ash* memiliki konsentrasi klorida lebih rendah.

SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya, dapat digunakan bahan pozzolan jenis lain dengan tujuan membandingkannya terhadap *fly ash*.
2. Bila menggunakan beton di lingkungan dengan konsentrasi klorida tinggi seperti bangunan pantai, disarankan mencampurnya dengan *fly ash* karena terbukti mampu menahan penetrasi klorida.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. 1993. *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy, Weight, and Mass Concrete*. Washington D.C.: ACI Committee.
- Aldea, C., M., S., and Karr, A. (1999): *Effect of Cracking on Water and Chloride Permeability of Concrete* (Journal of Material in Civil Engineering).
- Djerbi, A., Bonnet, S., Khelidj, and Baroghel-Bouny, V. (2008): *Influence of Traversing Crack on Chloride Diffusion into Concrete* (Cement and Concrete Research).
- Heirman, G. (2006): *Chloride Penetration and Carbonation in Self-Compacting Concrete*, Belgium.

Iqbal, B., and Huda, K. (2019): *Pengaruh Keretakan Beton dengan Campuran Fly Ash terhadap Laju Difusi Klorida*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

NT. 1999. *Finland Paten 355*.

Suarjana, M. (2017): *Modul Praktikum Bahan Bangunan Laut* (2017th ed.), Bandung.

Sugiyama, T., Bremner, and Tsuji (1996): *Determination of Chloride Diffusion Coefficient and Gas Permeability of Concrete and Their Relationship*.

Sujatmiko, B. (2019): *Teknologi Beton dan Bahan Bangunan*.