

Pengaruh Konsentrasi Klorida Terhadap Laju Penetrasi Ion Klorida Ke Dalam Beton *High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete (HVFA-SCC)*

¹⁾ Hilda Hardianti, ²⁾S.A Kristiawan, ³⁾Wibowo,

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

^{2), 3)}Pengajaran Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jln Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126 Email : hildahardian17@gmail.com

Abstract

The building is located in the territorial waters of the sea, especially highly vulnerable to corrosion due to acidic water environment. It affects the life of service life of building structures in terms of both functionality and its ability to meet the service. Based on this background, the purpose of this study was to determine the rate of penetration of chloride ions in the concrete HVFA-SCC. In this research, based on a formula of Law Ficks second and using experimental methods to create 5 test piece with a size of $20 \times 20 \times 10$ cm. Specimen of 5, 4 specimen flooded chloride solution 1% -4% and 1 specimen was also drained chloride solution. Methods used in the chloride ion penetration testing based on the standard AASHTO T 259, ASTM 1556 and X-Ray Fluoresensi (XRF). The results of this test aims to get the parameters influencing the chloride penetration into the concrete at the initiation stage of corrosion, the diffusion coefficients (D), the concentration of chloride in the concrete surface (Cs) and the effect of time of the lifetime service life of the initiation phase. With these parameters can be used to determine the age intellectually with the limit values of critical chloride (C_{cr}) and thick concrete cover. The result of research showed that the environmental chloride concentration of 2% is the most critical attack on concrete. If the concrete continues to be in an acidic environment, the higher the chloride content in the concrete. Age serviceability of concrete in chloride environment 1% -4% of the concrete cover thickness of 5 cm is predicted until the age of ± 37 years. Prediction thickness of concrete cover on environmentally chloride 1% -4% of the lifetime service life of 50 years of ± 6 cm.

Keywords: *chloride diffusion, critical chloride, diffusion coefficient, surface chloride concentration, service life.*

Abstrak

Bangunan yang berada pada wilayah perairan terutama laut sangat rentan terkena korosi akibat lingkungan air yang asam. Hal tersebut mempengaruhi umur layan struktur bangunan baik dari segi fungsi maupun kemampuannya dalam memenuhi layanan. Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui laju penetrasi ion klorida pada beton HVFA-SCC. Pada penelitian ini didasarkan pada rumus Hukum Ficks kedua dan menggunakan metode eksperimental dengan membuat 5 benda uji dengan ukuran $20 \times 20 \times 10$ cm. Dari 5 benda uji, 4 benda uji digenangi larutan klorida 1%-4% dan 1 benda uji tidak digenangi larutan klorida. Metode yang digunakan dalam pengujian penetrasi ion klorida didasarkan pada standar AASHTO T 259, ASTM 1556 dan Uji X-Ray Fluoresensi (XRF). Hasil dari pengujian tersebut bertujuan untuk mendapatkan parameter yang mempengaruhi penetrasi klorida ke dalam beton pada tahap inisiasi korosi, yaitu koefisien difusi (D), konsentrasi klorida di permukaan beton (Cs) dan pengaruh waktu terhadap umur layan tahap inisiasi. Dengan parameter tersebut dapat digunakan untuk menentukan umur layan dengan batasan nilai klorida kritis (C_{cr}) dan tebal selimut beton. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi klorida lingkungan 2% adalah yang paling kritis menyerang pada beton. Jika beton terus berada pada lingkungan asam, akan semakin tinggi kandungan klorida dalam beton. Umur layan beton pada klorida lingkungan 1%-4% terhadap ketebalan selimut beton 5 cm diprediksi sampai umur ± 37 tahun. Prediksi ketebalan selimut beton pada klorida lingkungan 1%-4% terhadap umur layan 50 tahun sebesar ± 6 cm.

Kata Kunci : difusi klorida, klorida kritis, koefisien difusi, konsentrasi klorida permukaan, umur layan.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi beton dalam mencapai tujuan beton ramah lingkungan dengan kapasitas durabilitas yang semakin baik saat ini sedang diupayakan dalam berbagai macam penelitian. Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (SNI 2847-2013). Terkadang, satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas dan waktu pengerasan (McCormac, 2003). Bahan aditif dapat berupa zat-zat kimia tambahan (*chemical additive*) dan mineral/material tambahan. Penambahan zat-zat kimia atau material tambahan ini diharapkan dapat merubah performa dan sifat-sifat campuran beton sesuai dengan kondisi dan tujuan yang diinginkan, serta dapat pula sebagai bahan pengganti sebagian dari material utama penyusun beton. Pada umumnya, konstruksi sebuah bangunan menggunakan beton

dengan tulangan baja didalamnya. Sering sekali dalam pengerjaan pengecoran ditemukan kendala beton sulit mencapai rongga-rongga pada bekisting yang padat tulangan sehingga tidak dapat dicapai dengan alat *vibrator*. Dimana untuk mendapatkan hasil yang baik, dibutuhkan pemadatan beton yang homogen dengan meminimalisir udara yang terjebak di dalam beton segar. Pengecoran yang tidak baik akan menghasilkan beton yang berkualitas jelek, seperti permeabilitas tinggi, beton keropos dan mengalami pemisahan material. Seiring dengan perkembangan zaman dan kemajuan teknologi, ditemukan metode baru yang memungkinkan pengecoran dapat dilakukan dengan merata dan terjaga homogenitas campuran beton. Salah satu solusinya adalah dengan penggunaan beton yang dapat memadat sendiri (*self compacting concrete- SCC*). Beton SCC adalah beton yang memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga mampu mengalir dan mengisi ruang-ruang di dalam cetakan tanpa proses pemadatan. Walaupun sifatnya lebih cair daripada beton konvensional, porositas SCC cenderung lebih kecil daripada beton konvensional pada umumnya karena beton SCC menggunakan bahan tambah (*admixture*) berupa *superplasticizer*. Fungsi bahan tambah ini adalah menambah tingkat *workability* campuran beton tanpa harus menambah nilai faktor air semen (*fas*) campuran beton. Nilai *fas* ini mempengaruhi porositas beton, semakin kecil nilai *fas* maka tingkat porositas beton akan cenderung semakin kecil. Tinggi porositas beton ini yang mempengaruhi nilai kuat tekan dan permeabilitas beton. Pencapaian untuk dihasilkannya beton yang ramah lingkungan adalah dengan menggunakan *fly ash* sebagai bahan campuran pengganti semen. *Fly ash* adalah salah satu bahan tambahan yang berasal dari material sisa pembakaran batu bara yang umumnya terdapat pada pembangkit listrik tenaga uap. Limbah ini dapat dimanfaatkan untuk konstruksi yaitu sebagai pengganti sebagian semen *portland* pada campuran beton. Hal ini dikarenakan industri beton yang menggunakan semen *portland* jika terus meningkat akan menimbulkan efek rumah kaca dan pemanasan global (Davidovits,1994). Dalam penggunaannya sebagai bahan tambah *fly ash* memiliki ukuran butiran yang lebih bulat dan halus dibandingkan semen hal inilah yang dapat dimanfaatkan sebagai *filler*. Konsep penggunaan *fly ash* dalam jumlah tinggi (35%-65%) dari berat semen sebagai *filler* telah dibuktikan pada teknologi beton *high volume fly ash concrete (HVFA)* yang menghasilkan penambahan sifat *flowability* dari campuran. Lingkungan agresif merupakan salah satu faktor dominan yang mempengaruhi laju degradasi beton. Saat beton mengalami kontak dengan ion-ion agresif dari lingkungan tersebut maka akan terjadi proses degradasi baik melalui proses fisik maupun kimiawi. Pada umumnya beton yang memiliki jumlah pori (porositas) rendah akan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan laju penetrasi ion-ion agresif yang masuk ke dalam beton baik melalui salah satu ataupun kombinasi dari mekanisme-mekanisme tersebut. Sementara itu faktor lingkungan yang mempengaruhi laju penetrasi adalah konsentrasi dan jenis ion agresif yang berada pada lingkungan tersebut. Pencegahan terhadap degradasi akibat serangan ion agresif dapat dilakukan dengan membatasi jumlah ion agresif tersebut dengan cara penggunaan *microsilica* agar beton lebih kedap dan pelapisan beton dengan *water proofer* (Zelic et al,2007).. Penggunaan mineral *admixtures* seperti *fly ash* , *microsilica* pada beton SCC diyakini dapat memperbaiki ketahanan beton terhadap serangan sulfat (Senhadji et al 2010, Cizer et al 2011, Siad et al 2010). Pada beton yang *terekspose* lingkungan yang mengandung ion klorida, mekanisme penetrasi ion yang dominan adalah melalui *ion diffusion*.

Proses transportasi ion klorida kedalam beton melalui penetrasi air yang mengandung ion klorida dengan proses difusi. Difusi adalah peristiwa mengalirnya/berpindahannya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian yang berkonsentrasi rendah. Difusi ion Cl^- di dalam beton dapat menyebabkan terjadinya korosi pada beton bertulang sesuai dengan reaksi pada persamaan $Fe + 2 Cl^- \rightarrow FeCl_2 \rightarrow Fe^{2+} + 2 Cl^- + 2e^-$. Hal ini dapat dijelaskan secara teoritis melalui hukum difusi Fick's kedua.

$$C(x,t) - C_0 = (C_s - C_0) \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right) \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- $C(x,t)$ = kosentrasi klorida pada jarak x dan waktu t (kg/m^3)
- C_s = kosentrasi klorida di permukaan beton (kg/m^3)
- C_0 = kosentrasi klorida pada beton (kg/ m^3)
- erf = fungsi *error* (fungsi numerik yang tersedia dalam tabel matematika)
- D = koefisien difusi (m^2/ s)
- x = jarak dari permukaan beton (m)
- t = waktu (s)

Secara umum penetrasi ion klorida melalui proses difusi akan menjadi dasar dalam pemodelan tahap inisiasi. Tahap inisiasi dimulai saat struktur tersebut berdiri hingga korosi tulangan dimulai. Tahap ini berarti tahapan yang diperlukan oleh ion klorida untuk dapat masuk ke dalam beton dan mencapai level tulangan dimana konsentrasi

klorida yang berada pada level tulangan tersebut telah mencapai jumlah yang memadai untuk merusak lapisan pasif dan menginisiasi proses korosi. Bila diasumsikan nilai D dianggap seragam pada berbagai kedalaman dan nilai $C(x,t) = C_{cr}$ maka persamaan (1) dapat dijadikan sebagai dasar dalam pemodelan waktu inisiasi. Dimana T_0 menyatakan waktu inisiasi.

$$T_0 = \frac{d^2 c}{4D} \left[\operatorname{erf}^{-1} \frac{C_s - C_{cr}}{C_s - C_0} \right]^2 \dots\dots\dots (2)$$

Karakteristik Input Parameter Tahap Inisiasi

Parameter yang diperlukan sebagai input ada 2. Parameter pertama yang menggambarkan sifat beton berupa koefisien difusi $D(z)$ dan klorida kritis C_{cr} . Parameter kedua yang mempresentasikan kondisi lingkungan inisiasi berupa klorida permukaan C_s (Kristiawan, S.A). Batasan variasi konsentrasi nilai C_s 1% - 4%. Berikut adalah tabel nilai C_{cr} pada ambang batas klorida kritis yang berbeda kondisi korosi (Larssen,Rolf M).

Tabel 1. Nilai C_{cr} pada ambang batas klorida yang berbeda

Risk Corrosion	Chloride (% wt of concrete)
Possible	0,07 – 0,17
Probable	0,17 – 0,35
Certain	>0,35

METODE PENELITIAN

Bahan dan Proporsi Campuran

Pada penelitian ini bahan-bahan yang digunakan untuk membuat campuran HVFA-SCC antara lain

1. Agregat kasar
Volume agregat kasar sebesar 30% dari volume beton, dengan diameter agregat kasar maksimum 10 mm dan *specific gravity* 2,412 gr/cm³.
2. Agregat halus
Volume agregat halus sebesar 40% dari volume beton, dengan *specific gravity* 2,7174 gr/cm³.
3. Fly ash dengan volume substitusi terhadap semen sebesar 60% dari berat binder.
4. Rasio air semen sebesar 0,4.
5. Bahan campur (*admixture*) yang digunakan adalah *superplasticizer* dengan nama dagang *Sika Visconcrete- 3115N*. Hasil akhir proporsi campuran secara lengkap ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Proporsi Campuran HVFA-SCC Setiap 1 m³

Kadar Fly ash	Semen	Fly Ash	Pasir	Kerikil	Air	Superplasticizer
60 %	294.84	442.26	578.641	703.2	211	7.371

Pengujian Parameter Memadat Mandiri

Pengujian parameter memadat mandiri menggunakan metode *flow table* test.

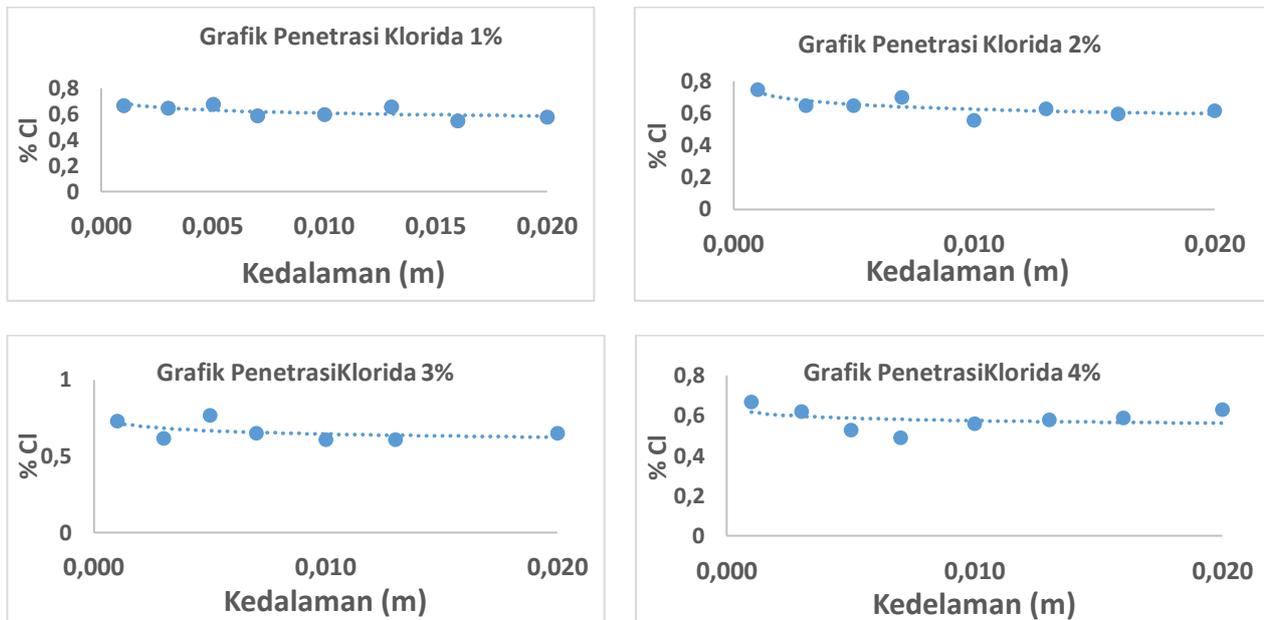
Pengujian Kadar Klorida HVFA-SCC

Pengujian beton dilakukan dengan mengikuti prosedur standar *salt ponding test* AASHTO T 259, ASTM 1556 dan *X-Ray Fluorescence* (XRF).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan Nilai Konsentrasi Klorida Pada Kedalaman Sampai 20 mm Dengan Variasi Klorida Lingkungan Pada Beton *HVFA-SCC*

Hasil penetrasi ion klorida pada kedalaman sampai 20 mm dengan variasi klorida lingkungan 1%-4% pada beton HVFA-SCC dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.

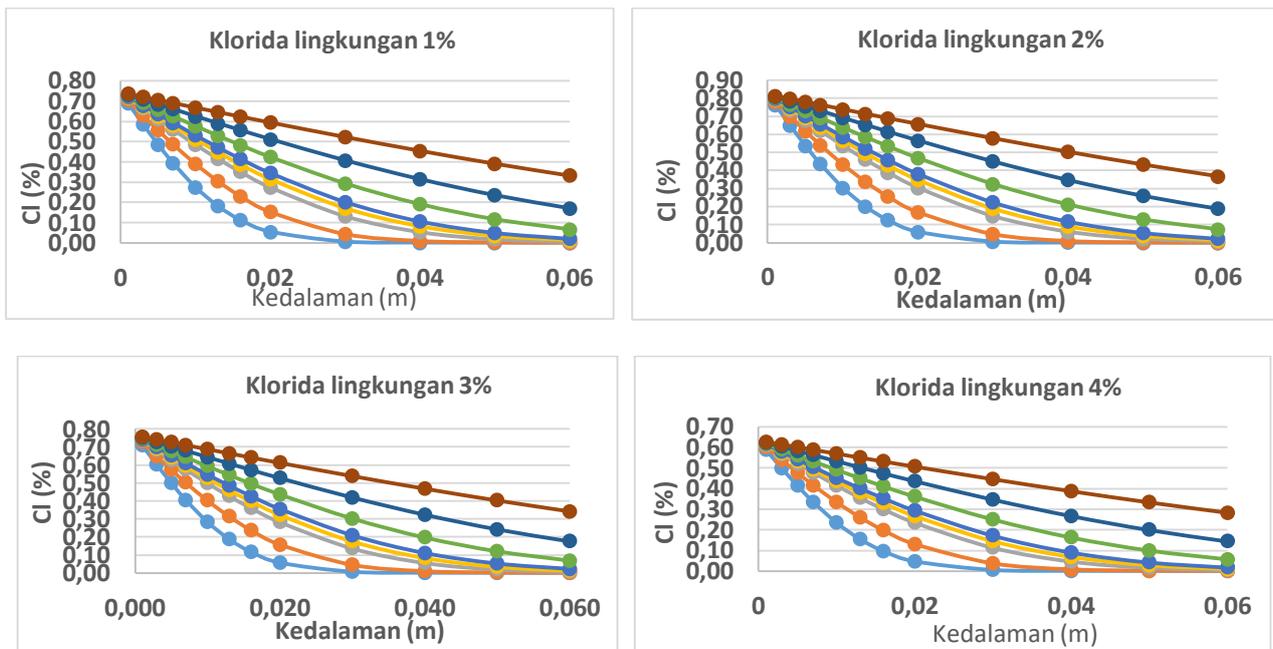


Gambar 1. Grafik Hubungan Nilai Konsentrasi Klorida pada kedalaman sampai 20 mm dengan variasi klorida lingkungan 1%-4% pada beton HVFA-SCC dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.

Gambar diatas memperlihatkan laju penetrasi ion klorida dengan kedalaman mencapai 20 mm pada masing – masing keadaan klorida lingkungan 1% -4%. Dari gambar diatas menunjukkan laju penurunan konsentrasi klorida pada setiap lapisan beton yang semakin dalam. Hal tersebut terjadi karena adanya proses difusi ion klorida masuk ke dalam pori-pori beton dari konsentrasi tinggi ke media dengan konsentrasi rendah yang secara terus menerus jika beton berada pada lingkungan klorida, maka konsentrasi pada setiap lapisan beton tersebut akan terus bertambah. Laju serangan asam tergantung dari jumlah ion hidrogen yang terbentuk dan konsentrasi asam kloridanya. Dari data profil klorida diatas dengan persamaan hukum difusi Fick 2 didapatkan nilai Koefisien Difusi sebesar $2E-12 \pm 0,62$.

Prediksi Kadar Klorida Pada Beton *HVFA-SCC* Terhadap Waktu Sampai 50 Tahun Dengan Kedalaman 6 cm Dengan Variasi Kadar Klorida Lingkungan 1%-4%

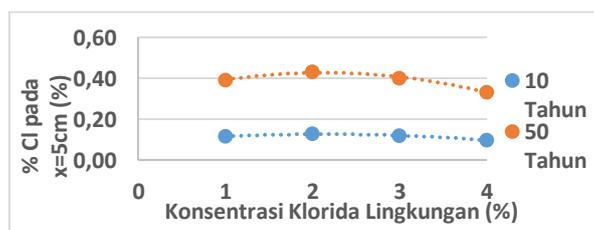
Hasil prediksi kadar klorida pada beton terhadap waktu sampai 50 tahun dengan kedalaman 6 cm dengan variasi kadar klorida lingkungan 1%-4% dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Grafik prediksi kadar klorida pada beton terhadap waktu sampai 50 tahun dengan kedalaman 6 cm dengan variasi kadar klorida lingkungan 1%-4% pada beton HVFA-SCC

Gambar diatas memperlihatkan kenaikan prosentase klorida pada beton yang diprediksi sampai umur layan 50 tahun dengan kedalaman penetrasi 6 cm. Kenaikan prosentase klorida tersebut diakibatkan karena adanya upaya ion klorida masuk ke dalam beton hingga seluruh partikel tersebar luas secara merata atau mencapai keadaan kesetimbangan dimana perpindahan molekul tetap terjadi walaupun tidak ada perbedaan konsentrasi. Difusi dalam beton jenuh tetap terjadi karena adanya upaya untuk mencapai keseimbangan diantara pori-pori. Pori-pori dalam beton umumnya menerus atau pori-pori kapiler. Dengan adanya pori-pori kapiler tersebut memberikan ruangan pada senyawa untuk berdifusi.

Berdasarkan hasil prediksi kadar klorida beton *high volume fly ash- self compacting concrete (HVFA-SCC)*, pengaruh konsentrasi klorida lingkungan 1%-4% dengan membandingkan terhadap waktu 10 dan 50 tahun dengan kedalaman penetrasi klorida 5 cm yang ditentukan menggunakan persamaan difusi Fick 2 ditunjukkan pada gambar 3 dibawah ini.

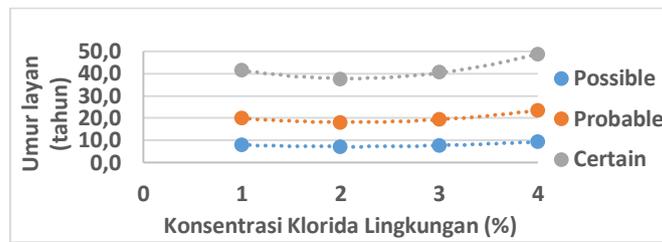


Gambar 3. Pengaruh konsentrasi klorida lingkungan terhadap laju penetrasi pada umur layan 10 dan 50 tahun

Gambar diatas memperlihatkan laju penetrasi kadar konsentrasi klorida pada kedalaman penetrasi 5cm terhadap kondisi konsentrasi klorida lingkungan 1%-4%. Dari gambar grafik tersebut memperlihatkan bahwa pada konsentrasi klorida lingkungan 2% tersebut memiliki tingkat menyerang korosi pada beton paling tinggi diantara 1%-4%.

Prediksi Umur Layan Beton Pada Tahap Inisiasi Dengan Rentang Ccr 0,07 – 0,35 % dari Berat Beton Dengan Kedalaman Penetrasi 5 cm

Hasil prediksi umur layan beton pada tahap inisiasi dengan rentang Ccr 0,07-0,35% dari berat beton pada kedalaman penetrasi 5cm

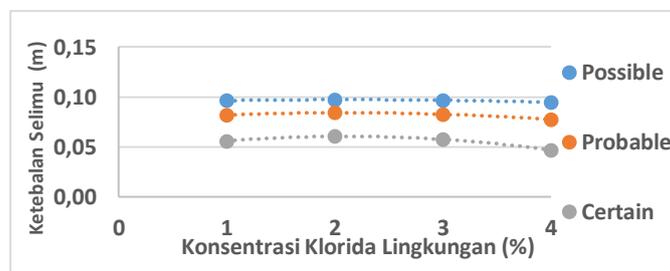


Gambar 4. Pengaruh konsentrasi klorida lingkungan 1%-4% terhadap umur layan dengan 3 klasifikasi nilai klorida kritis

Gambar diatas menunjukkan prediksi umur layan beton dengan batasan C_{cr} 0,07% – 0,35 % dari berta beton pada kondisi klorida lingkungan 1%-4%. Dari gambar diatas menunjukkan bahwa pada beton yang pasti terkena korosi memiliki prediksi umur layan tahap inisiasi sampai umur \pm 37 tahun pada kondisi lingkungan klorida kritis 2%. Hal tersebut terjadi akibat proses difusi pada beton terus berlangsung sampai senyawa klorida akan terus menekan masuk kedalam pori-pori beton hingga mencapai permukaan luar pada tulangan.

Prediksi Ketebalan Selimut Beton Pada Umur Layan 50 Tahun

Hasil prediksi ketebalan selimut beton pada umur layan 50 tahun



Gambar 5. Pengaruh konsentrasi klorida lingkungan 1%-4% terhadap ketebalan selimut beton pada umur layan 50 tahun

Gambar diatas meperlihatkan prediksi ketebalan selimut beton dengan umur layan 50 pada konsetrasi klorida lingkungan 1%-4% dengan batasan C_{cr} 0,07% – 0,35% dari berat beton. Dari gambar tersebut didapatkan prediksi ketebalan selimut beton pada tahap inisiasi dengan kondisi pasti terjadi korosi pada konsentrasi klorida lingkungan kritis 2% sebesar \pm 6cm.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian serta analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada beton *HVFA-SCC* penelitian ini didapatkan konsentrasi klorida lingkungan yang paling kritis menyerang beton pada konsentrasi 2%. Semakin besar nilai D , C_s dan waktu perendaman akan mengakibatkan semakin besar konsentrasi klorida di dalam beton.
2. Beton yang berada pada lingkungan asam akan lebih cepat terkena korosi yang menimbulkan degradasi beton. Semakin tinggi prosentase klorida pada beton, semakin pendek umur layan beton.
3. Pada penelitian ini, prediksi pengaruh konsentrasi klorida lingkungan 1% - 4 % terhadap umur layan pada ketebalan selimut beton 5 cm pada beton *high volume fly ash- self compacting concrete* (HVFA-SCC) pada kondisi lingkungan asam yang pasti terjadi korosi mampu menahan serangan klorida sampai umur \pm 37 tahun.
4. Prediksi pengaruh konsentrasi klorida lingkungan 1% - 4% terhadap ketebalan selimut beton sampai umur layan 50 tahun pada beton *high volume fly ash- self compacting concrete* (HVFA-SCC) pada kondisi lingkungan asam yang pasti terjadi korosi sebesar \pm 6 cm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM UNS yang telah memberikan dana melalui skema PUPIT sehingga penelitian ini dapat terlaksana, dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan dan

membagikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis,serta seluruh rekan yang telah membantu penelitian di laboratorium.

REFERENSI

- AASHTO T259.** “Standard Method of Test for Resistance of Concrete to Chloride Ion Penetration (Salt Pounding Test)”.
- ASTM C1556.** “Standard Test Method for Determining the Apparent Chloride Diffusion Coefficient of Cementitious Mixtures by Bulk Diffusion”. West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- Cizer et al.** 2011. “Microstructural changes in self-compacting concrete by sulphuric acid attack”. Proceeding of the 13th ICC International Congress on the Cemistry of Cement,1-7
- Davidovits, J.** 1994. “Properties of Geopolymer “. France, Geopolimer Institute
- Kristiawan, S.A.** “Proposal Penelitian Service Life of Reinforced Concrete Corrosion”. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Larsen, Rolf.M.** “Cost Optimal Design and Maintenance of Conncrete Strustures in Marine Environments”. Oslo,Norway.
- McCormac,J.C.,** 2003 .“Design of Reinforced Concrete (Fifth editional)(terjemahan) “. Jakarta:Erlangga.
- Senhadji, Y., Mouli, M.,Khelafi, H. And Benosman, A.S.** 2010. “Sulfate attact of Algerian cement-based material with crushed limestone filler cured at different temparature”. Turkish Journal of Environmental Science, Vol.34,131-143
- Siad, H., Mesbah, H.A., and Bernard, S.K.** 2010. “Effect of mineral admixture on resistance to sulphuric and hydrochlorid acid attacks in self-compacting concrete”.The Arabian Journal for Science and Engineering.
- SNI 2847-2013.** 2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Zelic, J., Radovanovic, I. And Jozic, D.** 2007. “The effect of silica fume additions on the durability of portland cement mortars exposed to magnesium sulfate attack”. Materials and Technology, Vol.41 No.2, 91-94.