

Studi Eksperimental Fenomena Kapilaritas pada Beton Bertulang Sehubungan dengan Korosi Baja Tulangan

Helena Carolina Kis Agustin^{a*}, Ika Dewi Wijayanti^b

Teknik Mesin-FTI Institut Teknologi 10 Nopember
Kampus ITS, Jl. Arif Rahman Hakim, Keputih-Sukolilo Surabaya 60111

^akisagust@me.its.ac.id

^bika.dewi.wijayanti@gmail.com

Abstrak

Fenomena kapilaritas pada antarmuka baja tulangan penguat dan beton dipelajari dengan menggunakan satu seri (18 buah) spesimen beton bertulang yang terbuat dari beton berdiameter 50,8 mm serta panjang 120 mm dan baja tulangan berdiameter 12 mm, panjang 120 mm. Spesimen yang digunakan di dalam penelitian ini adalah beton yang berbentuk silinder pejal dengan baja tulangan polos yang dipilih sebagai tulangan beton dengan kekutan tekan 191Kg/cm² dan prosentase porositas sebesar 16,067%. Pengkondisian beton bertulang dilakukan dengan cara merendam beton bertulang ke dalam larutan NaCl 12,5% dengan tinggi perendaman 45 mm dan lama waktu perendaman 60 hari. Pengamatan dilakukan setiap 10 hari secara periodik. Pengujian kuat tekan dan pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui karakteristik beton. Observasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah: perubahan fisik beton bertulang, perubahan kandungan ion klorida di selimut beton, visualisasi penampang vertikal baja tulangan, tinggi korosi yang terlihat pada baja tulangan, dan tebal produk korosi yang terbentuk pada baja tulangan. Hasil yang didapatkan dari studi eksperimental ini adalah bahwa air memasuki beton melalui proses permeasi dan difusi baik ke arah radial yaitu dari selimut beton hingga ke bagian interface maupun ke arah vertikal yaitu dari batas perendaman bergerak ke atas. Setelah air masuk ke dalam interface, akan terjadi penyerapan kapiler pada interface yang menyebabkan air dapat naik di dalam interface dan menyebabkan baja tulangan terkorosi. Kapilaritas menyebabkan adanya perbedaan tebal baja tulangan, baja tulangan yang kontak dengan media korosi terlebih dahulu akan mengalami proses difusi ion media korosi dengan waktu yang lebih lama sehingga mengalami pengurangan ketebalan yang lebih besar.

Kata kunci : Beton bertulang, kapilaritas, korosi baja tulangan

Latar belakang

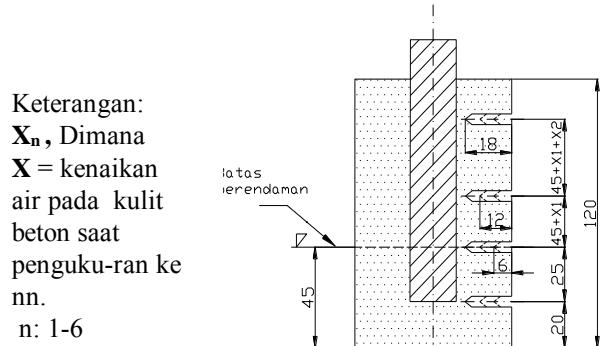
Cairan kecoklatan muncul di permukaan datar atas pada beton bertulang tepat disekeliling baja tulangan, bahkan bagian baja tulangan dalam beton bertulang yang tak terendam dalam media korosif menunjukkan kerusakan akibat korosi [Wirawan; Widyasaputra]. Hal ini menunjukkan bahwa media korosif yang berasal dari luar beton berdifusi masuk ke dalam beton ke arah radial maupun vertical. Masuknya media korosif ini ditentukan oleh karakter beton terutama porositas beton. Merambatnya media korosif, yang telah masuk dalam beton, ke arah vertical lebih popular disebut kapilar. Kapilaritas media korosif tersebut juga ditentukan oleh ketinggian perendaman beton dalam media korosif dan agitasinya [Ass-shiddiqi]. Sementara itu hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa phenomena kapilaritas dalam beton itu sendiri dan kapilaritas pada antarmuka beton-baja tulangan berbeda. Kapilaritas pada antar muka dua material yang berbeda ditentukan juga oleh besarnya celah yg dibentuk oleh kedua

material tersebut [Volkwein; Metals Handbook]. Dalam hal baja bertulang, kapilaritas ini sangat menentukan korosi baja tulangan yg berfungsi sebagai penguat beton. Dalam penelitian ini akan dipelajari korelasi antara difusi meria korosif arah radial dan kapilaritas pada antarmuka baja tulangan-beton sehubungan dengan korosi pada baja tulangan.

Metodologi

Digunakan satu seri (18 buah) spesimen beton (W/C ratio 0,57) bertulang yang terbuat dari beton pejal berdiameter 50,8 mm serta panjang 120 mm, dengan baja tulangan polos (diameter 12 mm, panjang 120 mm) sebagai penguat yang diletakkan ditengah-tengah beton dengan dasar baja tulangan terletak pada ketinggian 20 mm dari dasar beton. Setelah pembuatan, beton bertulang melewati masa perawatan (*curing*) selama 28 hari. Selama perawatan, spesimen disiram tiga kali sehari (pagi, siang, dan sore) selanjutnya dibungkus karung goni basah. Pengkondisian beton

bertulang dilakukan dengan cara merendam beton bertulang ke dalam larutan NaCl 12,5% dengan tinggi perendaman 45 mm dan lama waktu perendaman 60 hari. Pengamatan dilakukan setiap 10 hari pada tiap tiga sample, yang meliputi ketinggian media korosif pada kulit spesimen beton, dan kandungan Chlor pada penampang longitudinal spesimen beton untuk mengetahui distribusi masuknya media korosif dari selimut beton menuju ke pusat, dimana terletak baja tulangan. Gambar 1 menunjukkan skema pengambilan bubuk beton sebagai sampel untuk diuji kandungan chlor-nya.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel untuk test kandungan ion Chlor

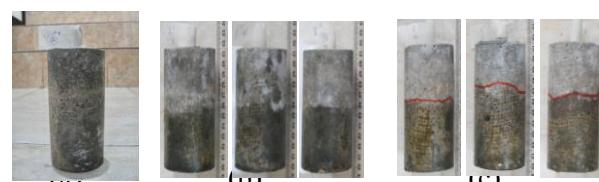
Pembongkaran beton bertulang dilakukan untuk melakukan pengamatan fisik pada baja tulangan akan serangan korosi dan penurunan ketebalan yang diakibatkannya. Sementara itu terhadap tiga replika spesimen beton tanpa tulangan (ASTM C-42) dilakukan pengujian kuat tekan berdasarkan standar ASTM C39-86. Pengujian porositas beton dilakukan menurut ASTM C 642-90.

Hasil dan Pembahasan

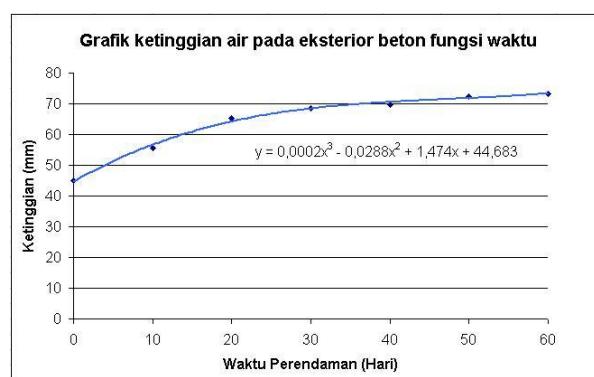
Spesimen beton yang dibuat berdasarkan komposisi untuk memperoleh mutu K225 sesuai dengan standar SNI DT 91-0008-2007, menunjukkan kekuatan tekan sebesar 191Kg/cm^2 . Harga tersebut lebih rendah 14.96% dari besarnya kekuatan tekan yang direncanakan (225Kg/cm^2). Hal ini disebabkan karena kandungan lumpur pada pasir yang digunakan, sebesar 5,8%, lebih besar dari batas standar yang seharusnya (5%, ASTM C33-2003), sehingga menurunkan daya ikat antara pasir dan pasta (campura semen/air).

Dari tiga sampel pengujian porositas beton, diperoleh hasil rata-rata sebesar 16 %. Harga porositas ini terhitung tinggi, dan akan menurunkan besarnya kuat tekan. Selain itu prositas berperan dalam proses difusi meda korosif memasuki beton bertulang.

Pengamatan ketinggian naiknya media korosif pada selimut beton menunjukkan bahwa dari awal pengkondisian hingga hari ke 10, terjadi peningkatan yang sangat signifikan (Gambar 2 dan 3). Peningkatan naiknya media korosif hingga 60 hari tidak terlalu signifikan, ditunjukkan oleh menurunnya gradient (kurva landai). Hal ini mengindikasikan bahwa adanya pori yang cukup banyak (porositas yang cukup besar), media korosif yang berdifusi memasuki beton mencapai jumlah yang besar selama 10 hari pertama. Peningkatan ketinggian air di selimut beton pada setiap 10 hari berikutnya mengalami penurunan.

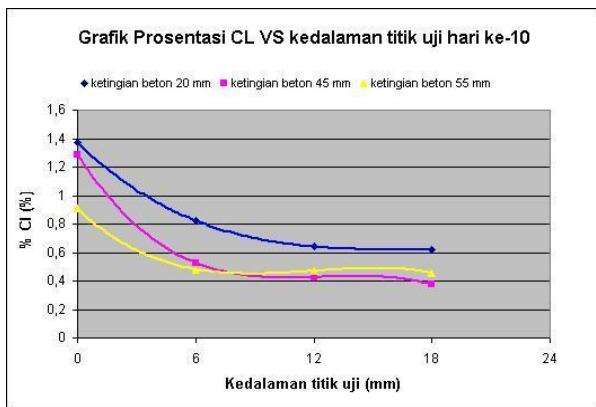


Gambar2. Photo visual kulit beton (a) sebelum, (b) setelah 10 hari, (c) setelah 60 hari pengkondisian beton dalam media korosif.



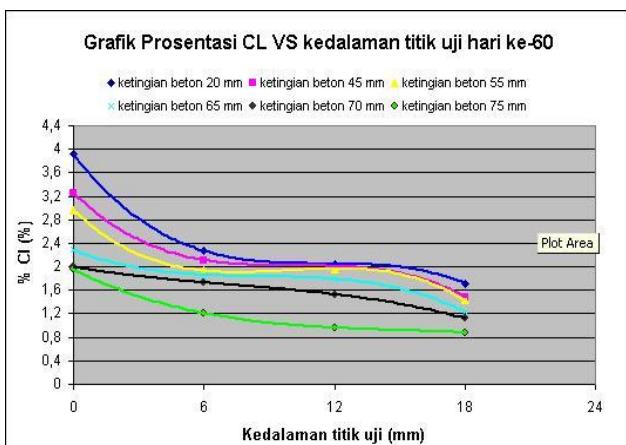
Gambar 3. Grafik ketinggian air pada kulit beton, fungsi waktu pengkondisian.

Pengujian kandungan chlor pada ketinggian tertentu dan kedalaman tertentu, seperti telah ditunjukkan pada gambar 2, digunakan untuk mengetahui sejauh mana media korosif larutan NaCl 12.5% telah berdifusi secara radial dan vertical kedalam penampang beton. Kandungan chlor pada spesimen beton bertulang sebelum pengkondisian sebesar 0,36%. Pada gambar 4, ditunjukkan distribusi ion Chlor pada penampang beton di ketinggian 20 mm, 45 mm, 55 mm, dan pada permukaan, pada kedalaman 8 mm, 12 mm, dan 18 mm.



kedalaman beton, prosentase khlor di dalam beton semakin kecil

Setelah pengkondisian selama 10 hari, media korosif larutan NaCl sudah naik hingga ketinggian 55mm pada kulit beton, dan beridifusi mencapai kedalaman 18 mm, yang berjarak 1,4 mm dari antarmuka baja tulangan/beton. Hasil ekstrapolasi data atau grafik menunjukkan bahwa kandungan ion chlor pada antarmuka baja/beton sudah melebihi 0.36%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa media korosif sudah kontak dengan baja tulangan, dimana dimungkinkan interaksi antara keduanya, yaitu reaksi korosi. Semakin lama perendaman, ketinggian media korosif pada kulit beton meningkat mencapai 77 mm. Berdasar ketinggian inilah uji kandungan chlor dilakukan terhadap sample yang diambil dari bagian beton pada ketinggian 20, 45, 55, 65, dan 75 mm, dan pada kedalaman 0, 8, 12, dan 18 mm untuk masing-masing ketinggian. Gambar 5 menunjukkan distribusi kandungan chlor pada penampang beton bertulang setelah pengkondisian selama 60 hari.



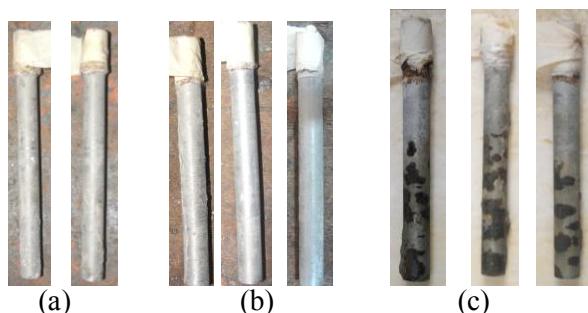
Gambar 5. Grafik prosentase chlor vs kedalaman, hari ke 60.

Kandungan chlor pada ketinggian 75mm, kedalaman 18mm, mencapai 0.88%, lebih dari dua

kali lipat kandungan chlor dalam beton sebelum pengkondisian.

Kandungan chlor yang semakin tinggi mengindikasikan semakin banyak media korosif larutan NaCl 12.5% yang berdifusi mencapai lokasi yang bersangkutan. Berdasar ketinggian maksimal air pada kulit beton (60 hari), maka permukaan baja tulangan penguat seharusnya sudah kontak dengan media korosif setinggi 55 mm (75-20 mm). Hal ini akan di *cross chec* dengan hasil pengamatan visual baja tulangan setelah pembongkaran beton bertulang.

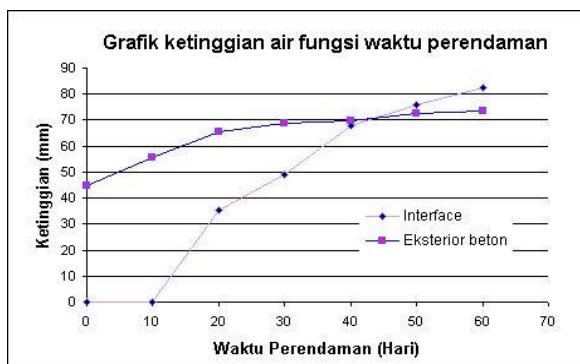
Perubahan fisik baja tulangan dalam beton pada kondisi awal, setelah pengkondisian 10 hari dan setelah pengkondisian 60 hari ditunjukkan pada gambar 6. Taampak bahwa serangan korosi yang terjadi pada permukaan baja tulangan tidak terjadi secara homogen/merata.



Gambar 6. Hasil pengamatan baja tulangan (a) kondisi awal, (b) setelah 10 hari, dan (c) setelah 60 hari pengkondisian dalam larutan NaCl 12.5%

Setelah 10 hari pengkondisian, tidak tampak perubahan fisik pada baja tulangan, (gambar 6b) yang mengidentifikasi bahwa belum terjadi interaksi antara baja tulangan dan media korosif, meskipun sudah terjadi kontak antara keduanya (Gambar 4). Ada beberapa faktor yang menentukan hal ini, yaitu waktu kontak yang belum cukup untuk terjadinya interaksi/reaksi korosi, belum cukupnya jumlah media korosif yang kontak dengan baja, dan ketahanan baja tulangan itu sendiri. Setelah perendaman selama 60 hari, terjadi serangan korosi secara signifikan pada permukaan baja tulangan secara local (Gambar 6c) Data ini menunjukkan ketahanan baja tulangan yang tidak merata selain karakteristik dari beton itu sendiri, diantaranya penyebaran *air void* atau pori yang tidak merata. Ketinggian serangan korosi pada permukaan baja tulangan tersebut mencapai 60 mm, yang mengindikasikan adanya media korosif dalam

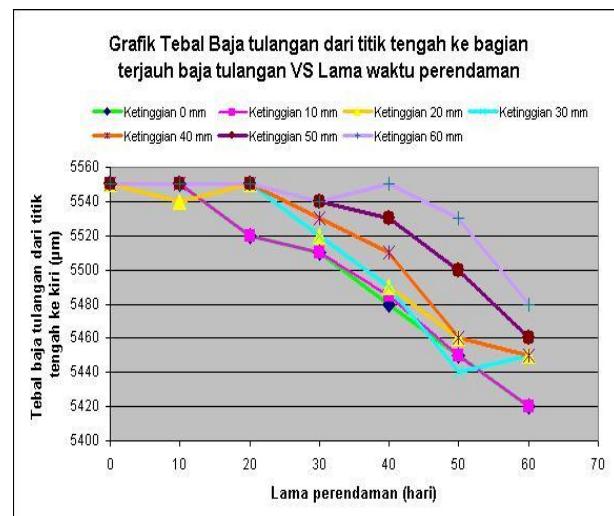
jumlah yang cukup dan telah kontak untuk waktu yang cukup di antarmuka bata tulangan/beton pada lokasi tersebut. Gambar 7 menunjukkan relasi antara ketinggian media korosif pada selimut beton bertulang dan ketinggian serangan korosi pada permukaan baja tulangan. Serangan korosi pada baja tulangan terjadi pada lokasi yang lebih tinggi dari ketinggian media korosif pada selimut beton, hal ini menunjukkan bahwa pada antar muka baja tulangan/beton, media korosif yang berasal dari luar beton yang berdifusi secara radial menuju ke pusat beton, naik secara kapiler lebih cepat dibanding naiknya media korosif itu dalam beton itu sendiri.



Gambar 7. Grafik ketinggian media korosif fungsi waktu.

Media korosif pada selimut beton naik terlebih dahulu. Setelah pengkondisian selama 50 hari, air pada antarmuka baja tulangan/beton naik lebih tinggi dari air pada ketinggiannya di selimut beton.

Pemotongan sampel baja tulangan arah longitudinal dilakukan untuk mengetahui kedalaman serangan korosi. Dengan melakukan pengukuran jarak dari pusat baja tulangan menuju batas terluar, dibuatlah grafik ketebalan baja tulangan fungsi waktu (gambar8)



Gambar8. Grafik ketebalan baja tulangan fungsi waktu pengkondisian beton bertulang

Pengurangan ketebalan pada dasar baja tulangan paling besar. Semakin keatas penurunan ketebalan semakin kecil untuk waktu pengkondisian yang sama. Perubahan ketebalan baja tulangan terjadi hingga ketinggian 67 mm, di atas ketinggian tersebut ketebalannya masih belum berubah.

Kesimpulan

Pada periode awal pengkondisian, media korosif berdifusi dari luar selimut beton menuju pusat beton di dominasi oleh arah radial. Proses kapiler, merambatnya media korosif ke arah vertical terjadi setelah potensi media korosif dirasa cukup pada lokasi yang bersangkutan, yang ditunjukkan oleh jumlah media korosif /prosentasi ion Chlor. Saat potensial media Korosif pada interface baja tulangan/beton mencapai optimal, maka kapilaritas di daerah ini meningkat lebih cepat disbanding dengan kapilaritas dalam beton itu sendiri.

Selain *air void* pada beton, perlu dilakukan penelitian tentang difusi dan kapiler dalam beton itu sendiri, dan kelekanan baja tulangan dan beton. Kelekanan tersebut akan memberikan informasi tentang celah pada antarmuka baja tulangan dan beton yang ikut menentukan kelancaran proses kapiler media korosif, yang pada waktunya menentukan reaksi korosi baja tulangan. Adalah akan sangat membantu merekam eksperimen difusi dan kapiler media korosif dalam beton dengan menggunakan media yang meninggalkan jejak, seperti misalnya warna,

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kami ucapkan kepada Saudara Bernard M.S., atas kerjasamanya dalam

mengakukan eksperimen dari penelitian ini. Kepada Laboratorium Teknik Lingkungan ITS yang telah menerima pengujian kandungan Chlorida spesimen beton selama periode penelitian ini. Terimakasih kepada Laboratorium Teknik Sipil ITS tempat kami melakukan pengujian kuat tekan spesimen beton. Terakhir tetapi bukan yang paling kecil, terimakasih kepada Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS tempat kami bertumbuh dalam hal pengetahuan dan penelitian.

Referensi

- [1] Wirawan, Suherman, 2009, “Studi Ekperimental Korosi Baja Tulangan Menggunakan Metoda Dipercepat Pada Beton Dengan Variasi Fly Ash di Lingkungan Khlorida”, Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [2] Widiyasaputra, Gunanto, 2009, “ Studi Eksperimental Pengaruh Inhibitor Terhadap Korosi Baja Tulangan di Lingkungan Khlorida Melalui Metoda Dipercepat”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [3] Ass-shiddiqi, Hassan, 2009, “Studi Ekperimental Pengaruh Metoda Perawatan (*Curing*) Beton Terhadap Korosi Baja Tulangan Pada Bagian Beton Bertulang Yang Tidak Terendam Air”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] Volkwein, Andreas, 1992, “ The Capillary Suction of water Into Concrete and Abnormal Viscosity of The Porewater”, Institut of Building Material, Technical university Munich, Germany.
- [5] Metals Handbook, “Non Destructive Inspection and Quality Control”, American Society for Metals.
- [6] Mulyono, Tri, 2004, “Teknologi Beton”, Yogyakarta:Penerbit Andi.
- [7] Bentur, A., Diamond S, Berke, N.S. 1997, “Steel Corrosion in Concrete”, London: E and FN SPON.
- [8] Metha, P. Kumar, “Concrete in The Marine Environment”, 1991, Elsevier Science Publisher, New York, NY10010, USA
- [9] Jones, Denny A., “Principles and Prevention of Corrosion”, second edition, 1996, Practice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ 07458.