

# UJI DURABILITAS BAHAN PADA ELEMEN BALOK BETON BERTULANG AKIBAT BEBAN STATIK DI LINGKUNGAN YANG MERUSAK

Pramudiyanto<sup>1</sup>, A. Manap<sup>2</sup>, Pusoko Prapto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan

Email: pram@uny.ac.id

## ABSTRACT

*Concrete structures reinforced with steel formed an important part of recent infrastructure. The combination of high strength properties on concrete and high tensile on steel provide an ideal composite material that offered wide application compare with other material on structural engineering. Buildings, bridges, piers, tanks and pipe, can be made from reinforced concrete. The aim of this research is to discover the durability of reinforced concrete beam on severe environment. This research conducted based on ASTM G-109 and Florida Test of Method FM 5-222. The method used on this research is DC Electrochemical Method with impressed current technique. The test conducted 120 days to gain beam flexural strength. The results show (1) there are two conditions on the beam, i.e.: (a) the beam is put based on compressive strength, and (b) the beam is put based on different salt content, (2) both conditions doesn't give much effect on beam flexural strength, (3) the beam increased as the time goes by and the increasing compressive strength, (4) the not-affected beam is suspected because un-perfect conditioning process, (5) the forced-corrosion process is not run well because the solution can't seep into the beam, (6) the gained flexural strength parameter is not depicted the condition of reinforced concrete on severe environment.*

*Keywords: concrete beam, durability, severe environment*

## ABSTRAK

Struktur beton yang diperkuat dengan tulangan baja membentuk sebuah bagian yang penting dalam infrastruktur saat ini. Kombinasi sifat kuat tekan yang tinggi pada beton dan kuat tarik pada tulangan baja memberikan sebuah bahan komposit ideal yang menawarkan aplikasi yang lebih luas cakupannya dibandingkan dengan bahan-bahan lain pada bidang teknologi struktur sipil. Gedung-gedung, jembatan, tiang-tiang, tangki dan pipa, dapat dibuat dari bahan beton bertulang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui durabilitas elemen struktur balok beton bertulang yang berada di lingkungan yang merusak. Penelitian ini dilaksanakan mengacu pada standar ASTM G-109 dan Florida Test of Method FM 5-522. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah DC Electrochemical Method dengan teknik arus paksa (*impressed current*). Pengujian dilaksanakan selama 120 hari, dengan data yang diambil adalah kuat lentur balok. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa: (1) Terdapat dua pengkondisian uji terhadap balok beton bertulang, yakni (a) balok beton dikondisikan terhadap beda kuat desak, dan (b) balok beton dikondisikan dengan beda kadar garam air rendaman, (2) Dari kedua kondisi yang diberikan, perlakuan kondisi (a) maupun kondisi (b) tidak memberikan pengaruh terhadap kuat lentur balok beton, (3) Balok beton masih memberikan nilai kuat lentur yang meningkat sejalan dengan berjalannya waktu dan dengan kenaikan kuat desaknya, (4) Tidak terpengaruhnya balok beton pada kedua kondisi yang diberikan diduga disebabkan karena proses pengkondisian yang tidak terjadi dengan sempurna, sehingga proses yang diharapkan terjadi tidak berjalan sebagaimana mestinya, (5) Proses korosi paksa tidak dapat berjalan dengan baik karena larutan penghantar tidak dapat masuk/merambat ke dalam beton, (6) Parameter kuat lentur yang diperoleh belum mencerminkan kondisi struktur beton yang berada di lingkungan yang merusak.

Kata kunci: balok beton, durabilitas, lingkungan yang merusak

## PENDAHULUAN

Struktur beton yang diperkuat dengan tulangan baja membentuk sebuah bagian yang penting dalam infrastruktur saat ini. Kombinasi sifat kuat tekan yang tinggi pada beton dan kuat tarik pada tulangan baja memberikan sebuah bahan komposit ideal yang menawarkan aplikasi yang lebih luas cakupannya dibandingkan dengan bahan-bahan lain pada bidang teknologi struktur sipil. Gedung-gedung, jembatan, tiang-tiang, tangki dan pipa, dapat dibuat dari bahan beton bertulang.

Secara tradisional, faktor-faktor struktur dan non-struktur yang mempengaruhi kemampuan sebuah bangunan diperlakukan sebagai isu yang terpisah oleh para desainer dan dihubungkan dengan lingkup ilmu teknik yang lain. Pada salah satu sisi, nilai estetika dari sebuah struktur menjadi sebuah fokus selama proses desain. Pada sisi yang lain, struktur tersebut didesain agar aman dan reliabel saat menerima berbagai kondisi pembebanan. Tidak hanya beban-beban mekanis saja yang harus diperhatikan, setiap struktur yang terbuka memiliki sebuah efek yang sangat besar pada tingkat durabilitasnya. Oleh karena struktur bersentuhan langsung dengan lingkungan, maka secara otomatis bahan-bahan bangunan juga berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya. Durabilitas bahan-bahan bangunan sangat mempengaruhi kualitas suatu struktur dan umur bangunan.

Umumnya degradasi mutu logam akibat proses reaksi elektrokimia dengan lingkungannya dinamakan dengan korosi. Kadangkala kegagalan struktur karena beban mekanis yang berlebihan banyak sekali dilaporkan bila dibandingkan dengan kegagalan struktur karena korosi. Struktur yang mengalami korosi (terutama pada korosi tulangan baja) telah menyebabkan kegagalan awal dan memakan biaya restorasi yang tinggi.

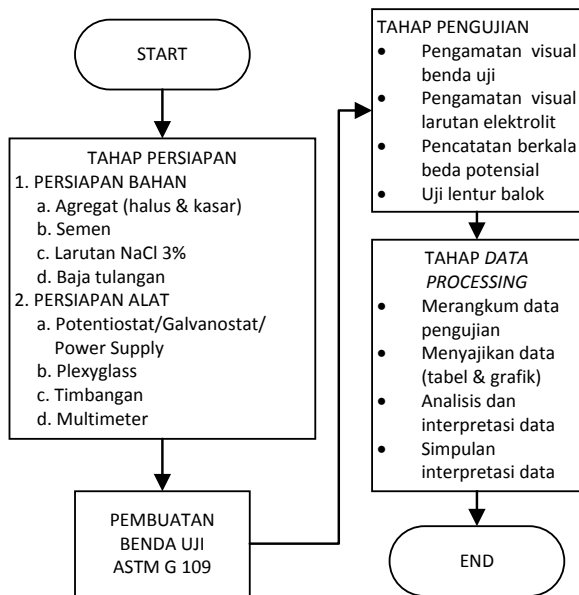
Korosi pada penulangan beton bertulang merupakan penyebab utama terjadinya kerusakan dan kegagalan awal dari konstruksi beton bertulang di seluruh dunia. Akibat yang ditimbulkan setelahnya yakni biaya yang sangat besar untuk perbaikan, restorasi dan penggantian. Sebagai contoh, pada

infrastruktur negara-negara di Eropa telah mencapai waktu dimana pemakaiannya sudah menurun, namun biaya untuk pemeliharannya menjadi bertambah besar hingga mencapai 5 juta euro per tahun (Klinghoffer et al., 2000), sehingga hal tersebut menjadi faktor utama pembiayaan negara untuk infrastruktur.

Sebuah estimasi dari Amerika Serikat menyatakan bahwa kerusakan pada jembatan beton bertulang dan tempat parkir karena deicing garam berkisar antara 325 – 1000 juta euro per tahun. Sedangkan di Inggris, Departemen Transportasi mengestimasi total biaya yang digunakan untuk perbaikan mencapai 1 juta euro "hanya" karena korosi yang terjadi pada jembatan. Jembatan ini merepresentasikan sekitar 10% dari inventaris total yang dimiliki oleh negara Inggris (Klinghoffer et al., 2000).

Permasalahan yang dihadapi tersebut bukanlah dihadapi oleh negara-negara maju semata, namun juga dihadapi oleh setiap negara yang mengembangkan teknologi beton bertulang. Beton bertulang variannya akan sangat tergantung pada ketersediaan agregat setempat dimana beton tersebut dibuat. Artinya bahwa permasalahan yang menyangkut beton bertulang akan selalu dihubungkan dengan ketersediaan bahan-bahan lokal yang sesuai. Terlebih lagi, meski secara garis besar permasalahan yang menyangkut korosi pada struktur beton bertulang di setiap negara adalah sama, namun hal ini tidak lepas dari sifat bahan-bahan lokal yang digunakan pada campuran beton tersebut, metode pencampuran, cara pengecoran dan perawatan pasca pengecoran.

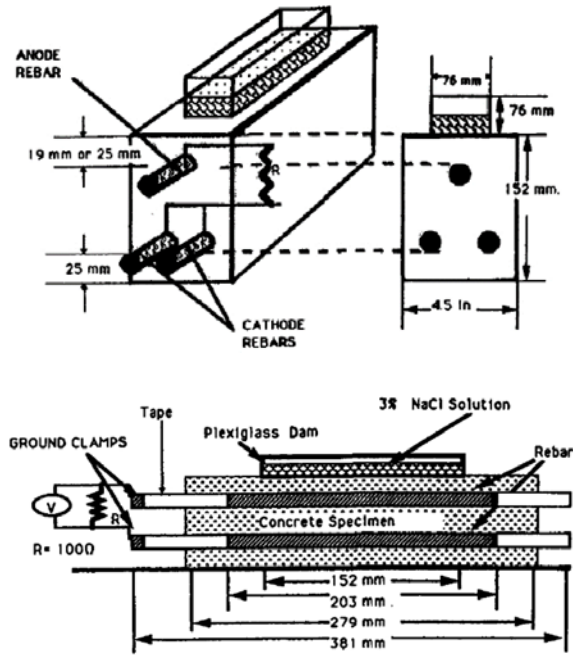
**METODE**



Gambar 1. Tahapan Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Uji unjuk kerja agregat terhadap lingkungan yang merusak ini dilakukan kurang lebih selama 112 hari secara kontinu. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Pengujian dilakukan di Laboratorium Hidrolika ini berbeda dengan rencana pengujian awal yang menggunakan Laboratorium Bahan Bangunan. Laboratorium Bahan Bangunan digunakan untuk pengujian awal bahan-bahan yang akan digunakan sedangkan Laboratorium Hidrolika digunakan untuk eksekusi spesimen yang telah dicetak di Laboratorium Bahan Bangunan. Spesimen uji yang telah dicetak di laboratorium dan siap untuk diuji diberikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Spesimen Uji



Gambar 3. Spesimen Uji saat di Laboratorium

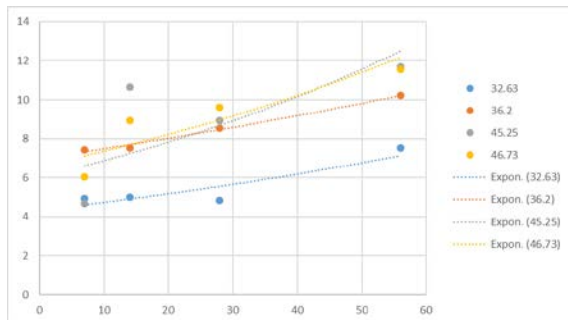
Pengujian korosi terakselerasi menggambarkan serangan dari lingkungan yang merusak (dalam hal ini adalah lingkungan air laut / air bergaram pada konsistensi tertentu) pada struktur beton yang dicetak menggunakan bahan-bahan dari quarry yang sama. Selama pengujian berlangsung, secara periodik perubahan potensial dari setiap spesimen dibaca dan dicatat. Selain itu, perubahan kesadahan larutan air bergaram juga dicatat.



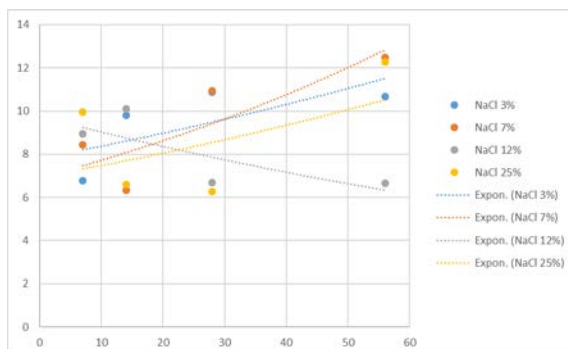
Gambar 4. Pengujian Benda Uji



Gambar 5. Pengujian Benda Uji



Gambar 6. Hasil Uji Akselerasi Korosi



Gambar 7. Hasil Uji Akselerasi Korosi

Berdasarkan hasil penelitian di atas, dapat dilihat bahwa dari hasil pengamatan visual uji akselerasi korosi yang dilakukan, balok yang dikondisikan dengan perubahan mutu beton maupun balok yang dikondisikan dengan kadar

garam yang berbeda-beda tidak mengalami kerusakan fisik. Balok-balok tersebut masih dalam kondisi yang relatif sama dibandingkan dengan kondisi balok sebelum diuji. Bagian atas balok yang bersentuhan langsung dengan larutan di bak rendam mengalami kondisi basah, namun kondisi basah ini tidak diikuti dengan basahnya bagian-bagian yang lain (sisi-sisi yang lain). Hal ini dapat dilihat dari pengamatan visual pada bagian sisi samping, sisi depan dan sisi bawah balok. Di sisi bagian bawah dari sebagian balok berada dalam kondisi basah. Kondisi basah ini tidak disebabkan karena adanya rembesan air dari bak rendaman di sisi bagian atas. Hal ini disebabkan adanya tumpahan air dari pengisian bak rendaman dan akhirnya menyebabkan sisi bagian bawah balok menjadi basah.

Akibat dari tidak merembesnya air dari bak rendaman ke dalam balok beton bertulang menyebabkan proses korosi paksa tidak dapat berjalan dengan semestinya. Air dari bak rendaman diperlukan sebagai penghantar arus dari anoda ke katoda. Kondisi tidak merembesnya air dari bak rendaman ke bagian dalam balok diduga akibat tekanan hidrostatis dari bak rendaman yang tidak dapat mencapai bagian sisi bawah balok. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Pramudiyanto (2011), Rostikasari (2013) dan Husna (2013). Tiga penelitian ini membuktikan dengan menggunakan metode specimen yang berbeda diperoleh hasil akselerasi korosi yang cukup memuaskan.

Pembuktian lain dari kondisi tersebut yakni pada saat dilakukan pengujian four-points loading pada balok-balok yang dikondisikan dengan beda kuat desak dan balok-balok yang dikondisikan pada beda kadar garam rendaman.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh kondisi baja tulangan sama sekali tidak mengalami kerusakan akibat korosi. Beberapa sampel baja yang ditanam ditengarai mengalami bercak-bercak cacat, namun tidak terlalu signifikan, dan bukan akibat dari proses akselerasi korosi yang dilakukan.

Berdasarkan hasil pengujian lentur yang dilakukan, dan mengacu pada grafik di atas, dapat dijelaskan bahwa secara umum semakin lama rentang waktu pengujian yang dilakukan, maka balok beton tersebut memiliki nilai kuat lentur yang semakin meningkat. Hal ini sejalan dengan grafik pengerasan beton yang mengalami peningkatan sejalan dengan berjalannya waktu. Hal ini sejalan pula dengan teori bahwa semakin tinggi mutu beton yang digunakan maka kuat lentur yang dihasilkan juga akan semakin besar, sebab kuat lentur beton merupakan fungsi dari kuat desaknya. Grafik di atas juga menjelaskan bahwa selama kurun waktu perlakuan, tidak merubah kualitas beton ataupun balok beton tersebut.

Kemudian mengacu pada grafik kedua yang ditampilkan di atas, terlihat bahwa pada perlakuan yang dilakukan pada balok beton menghasilkan pengaruh yang tidak jauh berbeda dengan grafik yang pertama. Perlakuan yang diberikan pada beton bertulang yang ditampilkan pada grafik ini adalah pemberian kadar garam air rendaman yang berbeda-beda.

Dalam hal ini, terlihat dari grafik tersebut bahwa pemberian kadar garam yang berbeda-beda tidak memberikan pengaruh kepada kuat lentur balok beton bertulang. Terlihat bahwa semakin lama rentang waktu perlakuan yang diberikan semakin tinggi nilai kuat lentur balok beton. Faktor ini bertolak belakang dengan teori yang menyebutkan bahwa semakin lama rentang waktu perlakuan akan memberikan pengaruh kepada tulangan yang tertanam di dalam balok beton bertulang.

Faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan ini diduga akibat tidak terjadinya proses korosi paksa dengan baik. Penyebabnya diduga akibat tidak merembesnya larutan dari bak rendaman ke dalam balok beton. Tidak merembesnya larutan dari bak rendaman ke dalam balok beton, menyebabkan transfer elektron dari anoda ke katoda tidak dapat berjalan dengan semestinya.

Mengacu pada hasil uji tersebut, meskipun kapasitas beban maksimum sudah dapat dicatat, akan tetapi kondisi yang diharapkan

terjadi belum dapat mencerminkan kapasitas beban maksimum yang diharapkan.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di atas dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut : (1) Terdapat dua pengkondisian uji terhadap balok beton bertulang, yakni (a) balok beton dikondisikan terhadap beda kuat desak, dan (b) balok beton dikondisikan dengan beda kadar garam air rendaman. (2) Dari kedua kondisi yang diberikan, perlakuan kondisi (a) maupun kondisi (b) tidak memberikan pengaruh terhadap kuat lentur balok beton. (3) Balok beton masih memberikan nilai kuat lentur yang meningkat sejalan dengan berjalannya waktu dan dengan kenaikan kuat desaknya. (4)

Tidak terpengaruhnya balok beton pada kedua kondisi yang diberikan diduga disebabkan karena proses pengkondisian yang tidak terjadi dengan sempurna, sehingga proses yang diharapkan terjadi tidak berjalan sebagaimana mestinya. (5) Proses korosi paksa tidak dapat berjalan dengan baik karena larutan penghantar tidak dapat masuk/merambat ke dalam beton. (6) Parameter kuat lentur yang diperoleh belum mencerminkan kondisi struktur beton yang berada di lingkungan yang merusak.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] ASTM C 876 – 91 : *Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*. ASTM International Standard Worldwide., United States of America.
- [2] ASTM G 3 – 89 : *Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing*. ASTM International Standard Worldwide., United States of America.
- [3] ASTM G 102 – 89 : *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rate and Related Information from Electrochemical Measurements*. ASTM International Standard Worldwide., United States of America.

- [4] ASTM G 109 – 2003: *Standard Test Method Chemical Admixture on the Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments*. ASTM International Standard Worldwide., United States of America.
- [5] Ahmad, S., 2009, *Techniques for Inducing Accelerated Corrosion of Steel in Concrete*. The Arabian Journal of Science and Engineering, Volume 34, Number 2C, pp. 95 – 104.
- [6] Baboian, R., 2005, *Corrosion Tests and Standards, Application and Interpretation 2nd Edition.*, ASTM International Standard Worldwide., United States of America.
- [7] Bertolini, L., Elsener B., Pedferri, P., and Polder, R., 2004, *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair.*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [8] Böhni, H., 2005, *Corrosion in Reinforced Concrete Structures*. Woodhead Publishing Limited., Cambridge England.
- [9] Broomfield, J. P., 2007, *Corrosion of Steel in Concrete 2nd Edition*. Taylor and Francis., London and New York.
- [10] Fontana, M. G., 1987, *Corrosion Engineering*. McGraw-Hill Book Company., New York.
- [11] Ghods, P., Isgor, O. B., and Pour-Ghaz, M., 2007, *Experimental Verification and Application of a Practical Corrosion Model for Uniformly Depassivated Steel in Concrete*. Materials and Structures – RILEM Publication., New York.
- [12] Guthrie, J., Battat, B., and Grethlein, C., - , *Accelerated Corrosion Testing – Material Ease. Advanced Materials and Processes Technology – The AMPTIAC Quarterly*, Volume 6, Number 3, pp. 11 – 15.
- [13] Hernández, P.R., Galán, C.A., Morales, A., and Alegret, S., 2003, *Measuring System for Amperometric Chemical Sensors Using Three-Electrode Technique for Field Application*. Journal of Applied Research and Technology, Vol 1, No 002., Universidad Nacional Autónoma de México., Distrito Federal, México., pp. 107 – 113.
- [14] Hossain, K. M. A., 2003, *Effect of Volcanic Pumice on the Corrosion Resistance and Chloride Diffusivity of Blended Cement Mortars*. Journal of Advanced Concrete Technology Vol 1, No 1., Japan Concrete Institute., pp. 54 – 61.
- [15] Isgor, O. B., and Razaqpur, A. G., 2006, *Modelling Steel Corrosion in Concrete Structures. Materials and Structures – RILEM Publication.*, New York.
- [16] Jolley, M. J., 2003, *Evaluation of Corrosion-Resistant Steel Reinforcement*. Center of Transportation Research and Education at Iowa State University, Iowa.
- [17] Klinghoffer, O., - , *In Situ Monitoring of Reinforcement Corrosion by Means of Electrochemical Methods*. Nordic Concrete Research., Denmark.
- [18] Klinghoffer, O., Frølund, T., and Poulsen, E., 2000, *Rebar Corrosion Rate Measurement for Service Life Estimates*. ACI Fall Convention "Practical Application of Service Life Models", Toronto, Canada
- [19] Leelalerkiet, V., Shimizu, T., Tomoda, Y., and Ohtsu, M., 2005, *Estimation of Corrosion in Reinforced Concrete by Electrochemical Techniques and Acoustic Emission*. Journal of Advanced Concrete Technology Vol 3, No 1, Japan Concrete Institute., pp. 137 – 147.
- [20] Lietai, Y., 2008, *Techniques for Corrosion Monitoring – Southwest Research Institute*. Woodhead Publishing Limited., Cambridge, England.
- [21] Maruya, T., Hsu, K., Takeda, H., and Tangtermsirikul, S., 2003, *Numerical Modelling of Steel Corrosion in Concrete Structures due to Chloride Ion, Oxygen and Water Movement*. Journal of Advanced Concrete Technology Vol 1, No 2, Japan Concrete Institute., pp. 147 – 160.
- [22] Ohtsu, M., Tomoda, Y., Sakata, Y., and Murata, M., M, H., 2000, *In Situ Monitoring and Diagnosis of Reinforced*

Uji Durabilitas Bahan ... (Pramudiyanto/ hal 133-139)

*Concrete Members in Exposure Test Against Salt Attack.*, - , -.

- [23] Page, C.L. and Page, M.M., 2007, *Durability of Concrete and Cement Composites*. Woodhead Publishing Limited., Cambridge England.
- [24] Richardson, M. G., 2002, *Fundamentals of Durable Reinforced Concrete*. Spoon Press., London and New York.