

Pengaruh Air Rob Terhadap Struktur Bangunan Tua

Nuroji

Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedharto, Tembalang, Semarang, Indonesia
nuroji.undip@gmail.com

Abstrak

Gedung Ex. Mega Eltra merupakan salah satu gedung konservasi di Semarang yang dibangun pada sekitar tahun 1857-1860 dan telah mengalami kerusakan struktur yang parah akibat pengaruh lingkungan, penurunan muka tanah, dan cuaca. Namun, serangan air laut terhadap degradasi material khususnya kekuatan beton menjadi perhatian dalam penelitian ini. Penurunan muka tanah di kota lama Semarang membuat bangunan mengalami penurunan pada fondasi, bahkan sering sampai di bawah permukaan tanah sekitar yang membuat bangunan terendam. Genangan air pada bangunan yang memiliki kandungan salinitas, klorida, dan sulfat dapat menurunkan kekuatan beton melalui kapilaritas dan kontak langsung dengan udara yang tercemar klorida dan sulfat. Tiga lokasi kolom beton Lantai-1 dan 2 dibor dengan mata bor 50 mm hingga kedalaman kurang lebih 225 mm dari permukaan kolom. Bore log 225 mm dipotong menjadi tiga buah benda uji yang mewakili bagian luar, tengah dan bagian dalam, selanjutnya benda uji tersebut diuji untuk mengetahui kuat tekan beton. Hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa beton Lantai-2 lebih baik dari Lantai-1, dan kuat beton bagian luar lebih kecil dari pada bagian tengah, dan jalur tengah lebih kecil dari pada bagian dalam. Penurunan kekuatan beton akibat kontaminasi klorida dan sulfat dapat terjadi melalui kontak udara dan kapilaritas. Pengaruh air laut terhadap penurunan kuat beton melalui kapilaritas adalah 23,51 % dan penurunan kuat beton melalui udara pada Lantai-1 210 % lebih kuar dibanding Lantai-2.

Kata kunci: air rob, klorida, sulfat, salinitas, penurunan kuat tekan beton

Abstract

Ex. Mega Eltra Building is the one of conservation building in Semarang, the building was constructed in around 1857 – 1860 and has undergone severe structural damage due to environmental effects, land subsidence and weatherworn. But, seawater attack to material degradation especially concrete strength is the concern in this study. Land subsidence in old city of Semarang makes buildings experience descend on the foundations, even it often comes to under the around ground level that makes building submerged. Water puddle in the building which has content salinity, chloride and sulphate can make bring down the concrete strength through capillarity and direct contact to air contaminated chloride and sulphate. Three locations of concrete column at 1st and 2nd floor were bored with 50 mm drill bit until more less 225 mm depth from column surface. The 225 mm bore logs were cut to be three specimens represents outer, middle and inner part, further the specimens were tested to determine the concrete compressive strength. The result of compressive strength test shows that concrete strength at 2nd floor is better than 1st floor, and concrete strength at outer part is lesser than middle part, and middle path is lesser than inner part. Concrete strength degradation due to chloride and sulphate contamination may occur through air contact and capillarity. The effect of seawater to concrete strength degradation through capillarity is 23,51 % and degradation through air contact for 1st floor is 210 % higher than 2nd floor.

Keywords: seawater, chloride, sulphate, salinity, concrete strength degradation

I. PENDAHULUAN

Kota Semarang merupakan salah satu kota besar di pesisir Jawa yang direncanakan sebagai pusat pemerintahan kolonial Belanda setelah diserahterimakan dari kerajaan Mataram kepada

pihak VOC pada tahun 1705 [1]. Mulai saat itu perkembangan Kota Semarang meningkat sangat pesat yang diikuti dengan pertumbuhan bangunan-bangunan infrastruktur gedung yang sampai saat ini sebagian masih berdiri dan menjadi bagian dari obyek wisata Kota Lama. Kondisi tanah pada

sebagian besar kawasan Semarang Kota Lama merupakan tanah alluvial yang pembentukannya sekitar 600 tahun yang lalu, sehingga proses konsolidasi pada sebagian kawasan kota lama masih berlangsung. Kawasan ini tumbuh sangat pesat sebagai konsekuensi dari pusat pemerintahan dan perdagangan yang menjadikan di daerah ini harus menanggung beban yang besar akibat perkembangan infrastruktur dan eksploitasi air tanah yang sangat besar untuk kebutuhan masyarakat dan industri. Akibat proses konsolidasi, beban bangunan di atas tanah yang besar dan penggunaan air tanah yang berlebihan dapat menjadi faktor terjadinya penurunan permukaan tanah. Penurunan muka tanah yang terjadi di Kota Semarang akibat beban berlebih (*overburden*) dalam rentang waktu 2000-2010 cukup besar dan dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur [2]. Daerah-daerah seperti Kecamatan Genuk, Semarang Timur dan Semarang Utara mengalami penurunan permukaan tanah yang cukup besar yaitu $7,39 \pm 2,95$ cm/tahun yang berakibat pada peningkatan area genangan rob [3]. Hasil kajian lain menyatakan laju penurunan tanah di Kota Semarang pada rentang waktu 2013-2016 sebesar 2,0 – 17,04 cm/tahun [4]. Sebagian bangunan tua di Kota Lama mengalami kerusakan akibat penurunan, bahkan beberapa di antaranya mengalami penurunan hingga di bawah permukaan air tanah setempat yang menyebabkan bangunan terendam air rob.

Air rob merupakan genangan air laut di daratan akibat dari naiknya air laut karena pasang. Air laut mengandung kurang lebih 3,5 % garam [5], [6], dimana 78 % nya adalah sodium chloride dan 15 % lainnya adalah magnesium chloride dan magnesium sulphate yang dapat berpengaruh pada kekuatan beton [7]. Peneliti lain menyebutkan bahwa kandungan utama air laut pada umumnya merupakan ion kloride, sodium, magnesium, calcium dan potasium. Kandungan garam dalam air laut didominasi oleh natrium klorida (NaCl) [8], [9]. Meskipun material beton dikenal memiliki kinerja dan daya tahan yang sangat baik, tetapi material ini dapat mengalami kerusakan saat berada di lingkungan laut [10]. Penurunan kuat tekan beton lebih sensitif dibandingkan kuat tarik beton di lingkungan yang agresif [11]. Sulfat dan klorida yang terkandung dalam air rob juga dapat membentuk proses korosi pada baja tulangan. Korosi yang terjadi melalui proses elektrokimia, yaitu proses (perubahan / reaksi kimia) yang melibatkan adanya aliran listrik. Bagian tertentu dari besi berlaku sebagai kutub negatif (elektroda negatif, anoda), sementara bagian yang lain sebagai kutub positif (elektroda positif, katoda). Elektron mengalir dari anoda ke katoda, sehingga terjadilah

peristiwa korosi. Ion besi yang terbentuk pada anoda selanjutnya teroksidasi menjadi ion besi yang kemudian membentuk senyawa oksida terhidrasi (karat besi), $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Baja tulangan yang mengalami korosi sering mengakibatkan kerusakan struktur, tulangan yang mengalami korosi akan mengembang dapat mendesak beton dan dapat menyebabkan tegangan tarik, sehingga selimut beton di sekitar tulangan mengelupas (*spalling*) [12]. Pada lingkungan agresif yang banyak mengandung sulfat dan klorida korosi tidak hanya terjadi pada baja tulangan, tetapi juga dapat menyerang material beton itu sendiri [13], [14]. Bangunan-bangunan di kawasan Semarang Kota Lama banyak yang mengalami kerusakan akibat lingkungan yang mengandung klorida dan sulfat dari air rob.

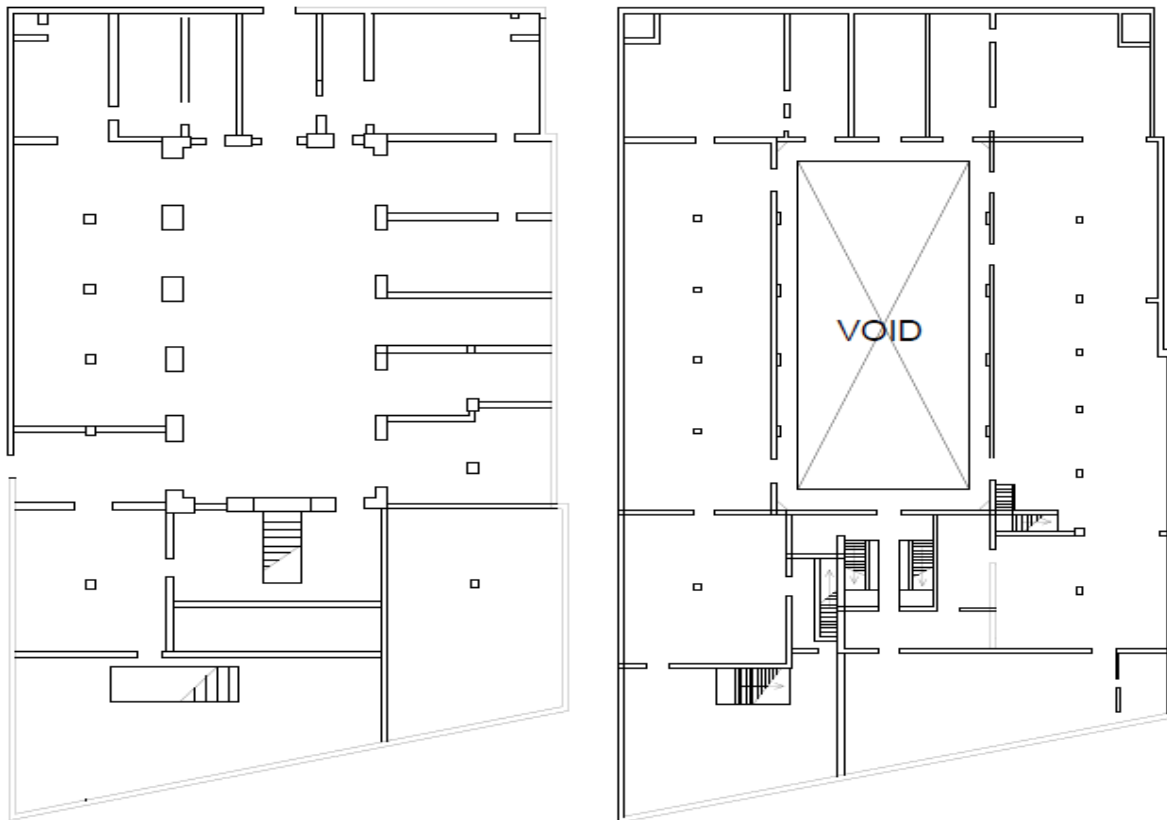
Dari latar belakang tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian tentang pengaruh air rob terhadap kerusakan bangunan tua di kawasan Semarang Kota Lama. Studi kasus Gedung di Jl. Bandarharjo No.8 Semarang.

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini bangunan gedung ex. Mega Eltra di jalan Bandarharjo No. 8 Semarang sebagai salah satu bangunan tua ditentukan sebagai obyek penelitian. Bangunan tersebut berukuran 40 m x 55 m terdiri dari 2 lantai dengan dua buah menara di bagian depan yang diperkirakan dibangun sekitar 1857 – 1860 yang mengalami kerusakan sangat parah seperti terlihat pada Gambar 1. Dari dokumen gambar disain yang ditemukan di lokasi menunjukkan bahwa gambar desain bangunan tersebut ditandatangani pada 1857. Bagian tengah lantai dua terdapat void yang sangat besar, yang berfungsi untuk melakukan pengawasan semua kegiatan di lantai bawah. Tangga utama terletak di bagian belakang yang menghubungkan antara lantai satu dan lantai dua seperti ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 1. Tampak Bangunan ex. Mega Eltra



Gambar 2. Denah Gedung ex. Mega Eltra
(a) Denah Lantai 1 (b) Lantai 2



Gambar 3. Lantai 1 terendam air rob

Secara struktural dapat dikatakan bahwa hampir seluruh struktur bangunan ini didominasi oleh pasangan batu bata yang digunakan sebagai kolom utama dan dinding penyangga (*bearing wall*).

Selain itu terdapat kolom-kolom beton bertulang yang berfungsi sebagai struktur penyangga balok lantai untuk memperkecil bentang. Lantai dan plafon menggunakan struktur kayu dengan balok penyangga dari baja profil IWF. Seluruh bangunan tergenang air akibat penurunan tanah (*Land subsidence*) seperti terlihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Hasil pengujian air genangan

No	Parameter	Hasil	Satuan
1	pH	7,37	
2	Salinitas	2,37	‰
3	Klorida	660,26	mg/l
4	Sulfat	75,74	mg/l

A. Pengujian Air Rob

Sebagaimana penjelasan sebelumnya bahwa gedung dalam keadaan terendam, air yang ada di dalam bangunan didominasi oleh air hujan dan limpasan air permukaan yang masuk ke dalam gedung karena kebocoran pada atap dan elevasi permukaan jalan akibat penurunan permukaan tanah dan *settlement* pada pondasi. Meskipun demikian sangat dimungkinkan masuknya air rob ke dalam bangunan ketika pasang terjadi. Penelitian terhadap air genangan dalam bangunan dilakukan untuk mengetahui adanya unsur-unsur kimia yang bersifat korosif pada material bangunan khususnya beton, penelitian unsur kimia ini dibatasi pada salinitas, kloroda dan sulfat yang mempunyai pengaruh dominan pada penurunan kuat tekan beton. Hasil pengujian air genangan disajikan dalam Tabel 1.

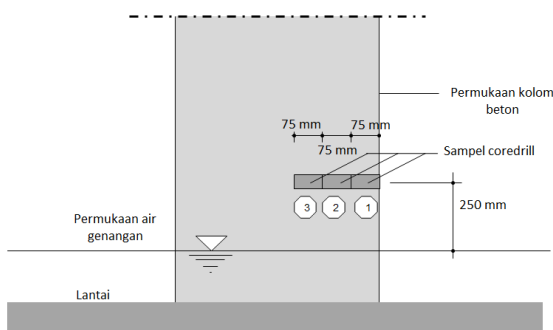
Tabel 1 menunjukkan bahwa meskipun genangan air di dalam gedung lebih didominasi oleh air hujan dan air limpasan, tetapi kadar garamnya mencapai 2,37 ‰ dengan pH 7,37. Sedangkan klorida dan sulfat yang mempunyai sifat korosif masing-masing sebesar 660,26 mg/l dan 75,74 mg/l. Hal ini menunjukkan bahwa air genangan di dalam bangunan telah terkontaminasi oleh air laut dan dapat dikategorikan sebagai air rob yang korosif.

B. Pengambilan Sampel dan Pengujian

Dari pengamatan visual menunjukkan sekitar 90% pasangan dinding batu bata mengalami kerusakan parah, kerusakan ini lebih disebabkan oleh hilangnya daya ikat mortar sebagai pengikat antar batu bata dan lepasnya mortar sebagai plesteran penutup dinding. Kondisi ini jelas mengindikasikan bahwa hal sama juga terjadi pada material beton, dimana semen sebagai binder mengalami penurunan daya ikat. Penelitian ini lebih menekankan pada kajian tentang pengaruh serangan air rob terhadap degradasi material beton.



(a)



(b)

Gambar 4. Pengambilan sampel
(a) Proses core drill (b) Posisi pengambilan sampel

Untuk mengetahui pengaruh air rob terhadap kuat tekan beton, pada penelitian ini dilakukan pengambilan sampel di Lantai-1 dan di Lantai-2 dengan ketinggian 5 m dari Lantai-1 untuk mewakili lokasi yang terendam dan yang tidak terendam air rob dengan masing-masing jumlah pengambilan 3 titik. Pengambilan sampel beton menggunakan *core drill* dengan mata bor diameter 50 mm panjang 370 mm. Pengeboran dilakukan dari permukaan beton dengan arah horisontal hingga mencapai kedalaman 225 mm. Pada Lantai-1 yang terendam air rob, pengeboran dilakukan 250 mm di atas permukaan air genangan seperti ditunjukkan pada gambar 4. Selanjutnya hasil beton hasil core drill dibagi menjadi tiga bagian yang masing-masing panjangnya 75 mm dengan kedalaman rata-rata 37,5 mm, 112,5 mm dan 187,5 mm yang diukur dari permukaan ke titik pusat benda uji. Semua benda uji dari hasil *core drill* selanjutnya dilakukan uji kuat tekan. Untuk memudahkan pembacaan data dibuat nomenklatur, nomenklatur benda uji BU1-2 menyatakan benda uji di Lantai-1 dan di lokasi 2, hasil uji kuat tekan beton hasil core drill disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2 Hasil uji kuat tekan beton

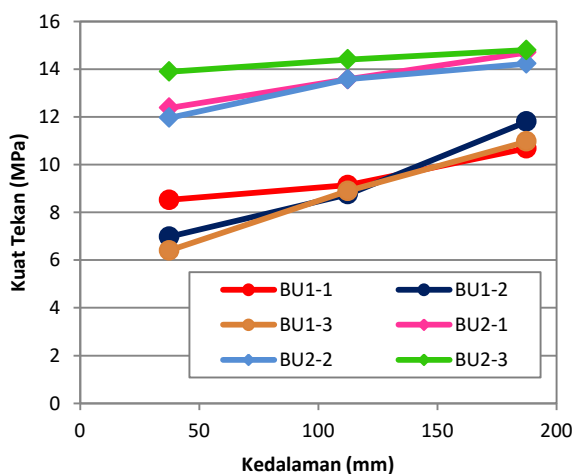
Benda Uji	Kedalaman (mm)	Kuat Tekan Beton (MPa)
BU1-1	37,50	8,52
	112,50	9,14
	187,50	10,68
BU2-1	37,50	12,38
	112,50	13,58
	187,50	14,70
BU1-2	37,50	6,98
	112,50	8,76
	187,50	11,80
BU2-2	37,50	11,96
	112,50	13,58
	187,50	14,23
BU1-3	37,50	6,40
	112,50	8,90
	187,50	10,97
BU2-3	37,50	13,89
	112,50	14,40
	187,50	14,80

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data lokasi pengambilan sampel dan hasil uji kuat tekan beton disusun dalam bentuk grafik hubungan antara kuat tekan dan kedalaman *core drill* yang merepresentasikan jarak benda uji dengan bidang permukaan beton yang kontak langsung dengan udara lembab akibat genangan air rob yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Dari Gambar 5 terlihat bahwa hasil pengujian sampel beton pada Lantai-1 dan Lantai-2, keduanya membentuk data yang mengelompok untuk masing-masing lantai, yang menggambarkan bahwa secara umum kuat tekan beton di Lantai-1 lebih rendah dibanding kuat tekan beton di Lantai-2 dan semakin dekat dengan permukaan beton kuat tekannya semakin rendah baik untuk Lantai-1 maupun Lantai-2. Hal ini membuktikan bahwa genangan air rob mempunyai pengaruh yang sangat kuat dalam penurunan kuat tekan beton, dimana semakin dekat dengan lingkungan korosif pengaruh penurunan kuat tekan beton semakin tinggi.

Untuk mengetahui hubungan antara kuat tekan dan kedalaman dalam fungsi matematik, diklasifikasikan antara kuat tekan beton rata-rata di Lantai-1 dan 2 seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa data kuat tekan rata-rata pada kedalaman yang sama untuk Lantai-1 lebih rendah dibanding Lantai-2, kemiringan untuk Lantai-1 lebih besar dibanding Lantai-2. Hal ini menunjukkan bahwa daya rusak air rob terhadap material beton pada Lantai-2 lebih rendah yang diakibatkan oleh adanya kontak langsung antara material beton dan udara lembab, sedangkan pada Lantai-1 penurunan material beton tidak hanya melalui kontak langsung dengan udara lembab tetapi juga melalui proses kapilaritas material beton.



Gambar 5. Hubungan kuat tekan dan kedalaman

Korelasi antara kuat tekan beton dan kedalaman dapat dimodelkan dalam bentuk persamaan matematis sebagai berikut.

Lantai-1 :

$$f_c = 0,0257 d + 6,2403 \quad (1)$$

Lantai-2 :

$$f_c = 0,0122 d + 12,349 \quad (2)$$

dimana:

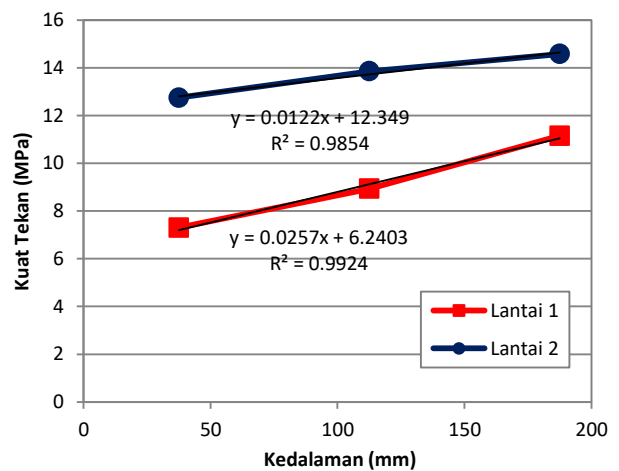
f_c : Kuat tekan beton (MPa)

d : Kedalaman yang diukur dari permukaan beton terekspos terhadap titik pusat *core drill* (mm)

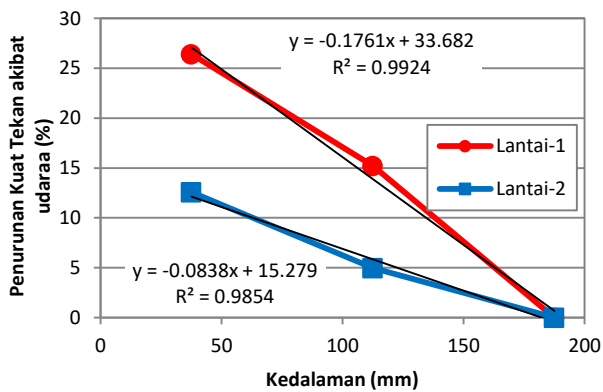
Persamaan 1 dan 2 merupakan fungsi matematis yang menghubungkan antara kuat tekan beton f_c dan jarak kedalaman titik di dalam beton d , dengan menganggap mutu beton homogen dan kapilaritas tidak sampai pada jarak ketinggian 5 m serta kontaminasi udara lembab tidak banyak berpengaruh pada kuat tekan beton bagian dalam dengan kedalaman $d = 187,5$ mm, maka kuat tekan beton rata-rata pada Lantai-2 pada kedalaman 187,5 mm dapat dianggap sebagai kuat tekan beton awal sesungguhnya yaitu $f_{c0} = 14,58$ MPa. Jika f_{c1} dan f_{c2} merupakan kuat tekan beton rata-rata pada Lantai-1 dan 2, maka penurunan kuat tekan beton pada Lantai-1 dan 2 dapat dituliskan dalam persamaan 3 dan 4.

$$\Delta_{c1} = \frac{f_{c0} - f_{c1}}{f_{c0}} \quad (3)$$

$$\Delta_{c2} = \frac{f_{c0} - f_{c2}}{f_{c0}} \quad (4)$$



Gambar 6. Hubungan antara kuat tekan rata-rata dan kedalaman pada lantai 1



Gambar 7. Hubungan penurunan kuat tekan beton terhadap kedalaman

Tabel 3. Penurunan kuat tekan beton

Kedalaman (mm)	f_{c1} (MPa)	f_{c2} (MPa)	Δ_{c1} (%)	Δ_{c2} (%)	Δ'_1 (%)	Δ''_1 (%)
37,5	7,30	12,74	49,92	12,58	23,51	26,41
112,5	8,93	13,85	38,71	4,96	23,51	15,21
187,5	11,15	14,58	23,51	0,00	23,51	0,00

Pada Lantai-2 penurunan kuat tekan beton Δ_{c2} diakibatkan oleh serangan klorida dan sulfat melalui kontaminasi udara karena kapilaritas dianggap tidak mampu mencapai Lantai-2 dengan ketinggian 5 m dari Lantai-1, sehingga Δ_{c2} hanya diakibatkan oleh kontaminasi udara lembab $\Delta''_2 = \Delta_{c2}$. Sedangkan penurunan Δ_{c1} diakibatkan selain diakibatkan oleh kontaminasi udara juga oleh kapilaritas beton. Penurunan kuat tekan beton akibat kapiritas beton Δ'_1 dianggap konstan yang dapat diperoleh dari rasio antara penurunan kuat tekan beton pada bagian dalam terhadap kuat tekan beton awal f_{co} yaitu sebesar 23,51%. Penurunan kuat tekan beton akibat kontaminasi udara lembab pada Lantai-1 Δ''_1 dapat dirumuskan dalam persamaan 5.

$$\Delta''_1 = \Delta_{c1} - \Delta'_1 \quad (5)$$

dimana:

- Δ''_1 : Penurunan kuat tekan beton pada Lantai-1 akibat kontaminasi udara lembab.
- Δ_{c1} : Penurunan kuat tekan beton pada Lantai-1
- Δ'_1 : Penurunan kuat tekan beton pada Lantai-1 akibat kapilaritas beton

Gambar 7 menunjukkan hubungan penurunan kuat tekan beton terhadap kedalaman untuk Lantai-1 dan 2. Pada kedalaman 187,5 mm kedua kurva menunjukkan tidak adanya penurunan kuat tekan beton akibat udara. Laju penurunan kuat tekan beton terhadap kedalaman pada Lantai-1 adalah sebesar -0.1761 % per mm kedalaman, sedangkan

pada Lantai-2 sebesar -0.0838 % per mm kedalaman. Pengaruh laju penurunan kuat tekan akibat udara pada Lantai-1 jauh lebih besar dari pada Lantai-2 atau 210 % dari Lantai-2. Hal ini dikarenakan tingkat kelembaban pada Lantai-1 jauh lebih besar.

Penurunan kuat tekan beton akibat air rob dengan tingkat salinitas 2,37 ‰ pada penelitian ini senada dengan hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa meskipun perendaman beton dengan air laut pada umur 7 hari menunjukkan adanya peningkatan tetapi, jika perendaman dilakukan lebih lama maka akan berakibat pada penurunan kuat tekan beton [14]. Peneliti lain menjelaskan bahwa benda uji beton yang dicor dan dilakukan perawatan dengan air tawar mempunyai kuat tekan yang cukup besar selama periode 150 hari, sedangkan benda uji yang dicor dan dilakukan perawatan dengan air laut dan air danau perlahan-lahan meningkat kekuatannya tetapi lebih rendah jika dibandingkan dengan elemen beton bertulang air tawar [15].

IV. KESIMPULAN

Dari analisis dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa penurunan kuat tekan pada beton bangunan gedung ex-Mega Eltra disebabkan oleh proses kapilaritas air rob ke dalam material beton dan kontak langsung antara beton dan udara yang terkontaminasi oleh klorida dan sulfat. Penurunan kuat tekan beton pada Lantai-2 yang hanya diakibatkan oleh kelembaban udara lebih rendah dibanding penurunan kuat tekan beton pada Lantai-1 yang diakibatkan oleh kapilaritas beton dan kelembaban udara. Penurunan kuat beton akibat serangan klorida dan sulfat melalui kapilaritas beton pada Lantai-1 sebesar 23,51%, sedangkan penurunan kuat beton akibat serangan klorida dan sulfat melalui kontak udara di permukaan beton pada Lantai-1 210 % lebih kuat dibanding Lantai-2, hal ini dikarenakan kelembaban pada lantai 1 jauh lebih tinggi dibanding lantai 2. Dalam penelitian ini tidak ada parameter waktu pengaruh serangan klorida dan sulfat pada beton. Oleh karena itu, penelitian berikutnya perlu memasukkan waktu perendaman air rob sebagai variabel penelitian. Selain itu, pengukuran terhadap kelembaban udara juga perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat kelembaban relatif pada masing-masing lokasi pengujian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT. Sucofindo selaku pemilik gedung ex. Mega Eltra yang telah

memberikan kepercayaannya kepada peneliti untuk melakukan investigasi dan Laboratorium Bahan dan konstruksi Universitas Diponegoro yang berkontribusi membantu dalam pengambilan sample dan pengujian material dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] L. M. F. Purwanto, "Kota Kolonial Lama Semarang (Tinjauan Umum Sejarah Perkembangan Arsitektur Kota)," *Dimensi Teknik Arsitektur*, vol. 33, no. 1, 2005.
- [2] R. I. Sophian, "Penurunan Muka Tahan Di Kota-kota Besar Pesisir Pantai Utara Jawa (Studi Kasus: Kota Semarang)," *Bulletin of Scientific Contribution: Geology*, UNPAD, 2010.
- [3] L. J. F. Islam, Y. Prasetyo, and B. Sudarsono, "Analisis Penurunan Muka Tanah (Land subsidence) Kota Semarang Menggunakan Citra Sentinel-1 Berdasarkan Metode Dinsar Pada Perangkat Lunak SNAP," *Jurnal Geodesi UNDIP*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [4] A. B. Prasetya, Yuwono B. D. dan Awaluddin M., "Pemantauan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2016 Menggunakan Perangkat Lunak Gamit 10.6," *Jurnal Geodesi Undip*, 2017.
- [5] D. K. Ashish, B. Singh and S. K. Verma, "The effect of attack of chloride and sulphate on ground granulated blast furnace slag concrete," *Advances in Concrete Construction*, vol. 4, no. 2, 107-121, 2016.
- [6] F. E. G. Putri. dan G. Tanzil, "Pengaruh Sulfat Terhadap Kuatb Tekan Beton dengan Variasi Bubuk Kaca Substitusi Sebagian pasir dengan w/c 0,60 dan 0,65," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Sriwijaya*, vol. 1, no. 1, 2013.
- [7] S. O. Ojoawo, A. M. Oladejo and O. S. Olaniyan, "Effect of Chloride-Contaminated Water on the Compressive Strength of Plain Concrete," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, vol. 11, May 2015.
- [8] W. J. McCoy, "Mixing and curing water for concrete. Significance of tests and properties of concrete and concrete making materials," *STP 169-A. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials*, 515-521, 1996.
- [9] O. F. Adeyemi and A. G. Modupeola, "The Effect of Sea Water on Compressive Strength of Concrete," *International Journal of Engineering Science Invention*, 2014.
- [10] F. M. Wegian, "Effect of seawater for mixing and curing on structural concrete," *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, vol. 3, no. 4, 2010.
- [11] Y. Zhang, Y. Fan, and H. Li, "Influence of Simulated Acid Rain Corrosion on the Uniaxial Tensile Mechanical Properties of Concrete, Hindawi Publishing Corporation," *International Journal of Corrosion*, vol. 2012.
- [12] J. Bilcik and I. Holly, "Effect of Reinforcement Corrosion on Bond Behavior," *Concrete and Concrete Structures Conference*, Elsevier, 2013.
- [13] N. Kabashi, C. Krasniqi, A. Sadikaj, S. Bublaku, A. Muriqi, and H. Morina, "Corrosion in Concrete under Sulphate and Chloride Attacks," *1st International Conference on Construction Materials for Sustainable Future*, Zadar, Croatia, 2017.
- [14] S. Wedhanto, "Pengaruh Air laut Terhadap Kekuatan Tekan Beton yang Terbuat Dari Berbagai Merek Semen Yang Ada di Kota Malang," *Jurnal Bangunan*, vol. 22, no.2, pp. 21-30, 2017.
- [15] A. O. Emmanuel, F. A. Oladipo & O. Olabode E, "Investigation of Salinity Effect on Compressive Strength of Reinforced Concrete," *Journal of Sustainable Development*, vol. 5, no. 6, 2012.

