Penerapan Life Cycle Cost Pada Perawatan Komponen Struktur Bangunan Gedung Akibat Karbonasi Beton (Studi Kasus : Lantai Dak Gedung Direktorat Politeknik Negeri Pontianak)

Mochamad Hilmy[1], Herry Prabowo[2]
Laboratorium Konstruksi, Struktur Inovatif, dan Fisika Bangunan,
Jurusan Teknik Arsitektur, Politeknik Negeri Pontianak[1, 2]
mhilmys@gmail.com[1], prabowoherry@yahoo.com[2]

Abstract

Structural safety is mandatory for a building. It is frequent that this aspect is threatened by the emergence of problems related to structural durability. A review of the performance of structures that meet certain requirements throughout the target service life requires a study of cost optimization. The costs reviewed in practice generally are only investment costs of the construction process without calculating operational and maintenance costs. This research focuses on calculating the life cycle cost for the reinforced concrete slabs due to carbonation. Carbonation estimation is done by measuring hygro-thermal parameters with a digital instrument. Maintenance costs are calculated using a capitalized cost method. The calculation results show that the addition concrete cover thickness is an effective and economical way to prevent the deterioration of concrete slabs due to carbonation.

Keywords : Life Cycle Cost, Concrete Carbonation, Building Maintenance, Structural Component

1. PENDAHULUAN

Struktur bangunan didesain untuk dapat bekerja maksimal dalam memikul beban kerja dalam jangka waktu yang ditetapkan. Hal ini berarti bahwa fungsi dari struktur tersebut harus tetap terjaga selama umur layan rencana. Salah satu fungsi penting dari struktur adalah keamanan bangunan. Fungsi keamanan harus memenuhi aspek reliabilitas yang telah ditentukan tidak saja pada saat struktur bangunan selesai dibangun namun sepanjang hidup struktur tersebut. Keamanan struktur merupakan sesuatu yang wajib bagi suatu bangunan. Namun seringkali yang terjadi di lapangan adalah aspek keamanan ini terganggu dengan timbulnya masalah yang berkaitan dengan durabilitas struktur. Masalah durabilitas tidak hanya timbul pada saat umur layan rencana berakhir akan tetapi muncul pula pada saat umur operasional bangunan (Navarro et al, 2018).

Masalah durabilitas ini terjadi akibat pengaruh beberapa faktor, baik pada tahap perencanaan maupun pada tahap pelaksanaan konstruksi bangunan. Pada tahap perencanaan faktor yang sering berpengaruh adalah pengetahuan terhadap kinerja struktur dan material yang digunakan. Selain itu standar dan peraturan bangunan yang digunakan perencana umumnya juga sangat terbatas dalam hal penetapan umur layan struktur. Faktor yang mempengaruhi terjadinya masalah durabilitas struktur juga terjadi pada fase konstruksi. Kualitas pelaksanaan pekerjaan konstruksi yang tidak baik menjadi penyebab utamanya

Tinjauan terhadap kinerja struktur yang memenuhi suatu persyaratan tertentu sepanjang umur layan rencana memerlukan kajian terhadap optimalisasi biaya. Biaya yang ditinjau dalam praktik umumnya hanya sekedar biaya investasi proses pembangunan tanpa perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan. Rendahnya investasi awal dapat berakibat tingginya biaya operasional dan pemeliharaan (Thanup dan Sridhar, 2017). Pertimbangan biaya struktur sepanjang siklus umur nya ini semakin populer dan dikenal dengan istilah *Life-cycle cost*. Telah banyak kajian mengenai hal ini dalam beberapa penelitian, namun kajian spesifik mengenai

penerapannya dalam masalah durabilitas yang berkaitan dengan karbonasi hampir jarang dilakukan. Terlebih di tanah air, kajian sejenis dirasakan masih belum banyak dikenal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Analisis biaya sebuah bangunan dapat didasarkan pada biaya anual maupun biaya kapitalisasi. Pada biaya anual, biaya investasi bangunan ditransformasi menjadi nilai tahunan yang meliputi bunga dan biaya penjualan kembali (redemsi). Pada biaya kapitalisasi, biaya bangunan melibatkan kapitalisasi biaya dimana setiap pengeluaran yang bakal terjadi dimasa depan ditransformasi menjadi nilai yang dapat ditambahkan dalam biaya langsung investasi. Secara umum, kedua pendekatan tersebut menghasilkan kesimpulan yang sama (Bijen, 2003).

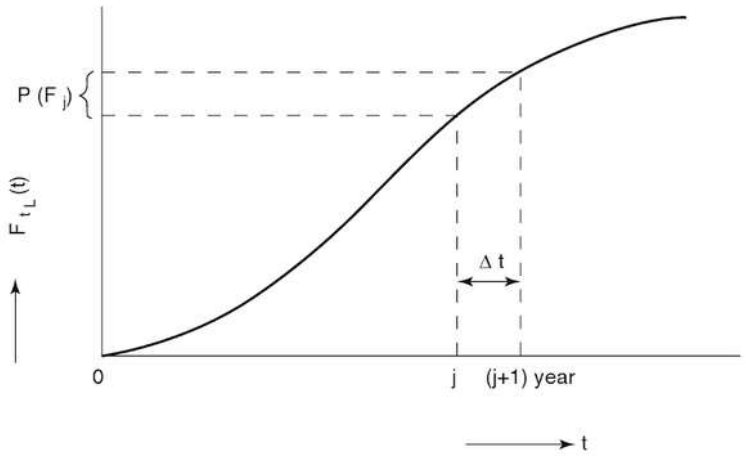
Dalam penelitian ini, kapitalisasi biaya akan dititik beratkan pada umur layan rencana bangunan gedung. Secara umum, kapitalisasi biaya dinyatakan dalam tiga suku yang membentuk sebuah persamaan. Tiga suku ini antara lain: Investasi langsung (pengeluaran awal), biaya pemeliharaan, dan resiko (perawatan/ penggantian). Persamaan tersebut dinyatakan dalam:

$$E\{C_{cap}\} = S + \sum_{j=1}^{t_G} \frac{Vj}{(1+r')^j} + \sum_{j=1}^{t_G} \frac{P\{F_j\}Vj}{(1+r')^j} \quad (1)$$

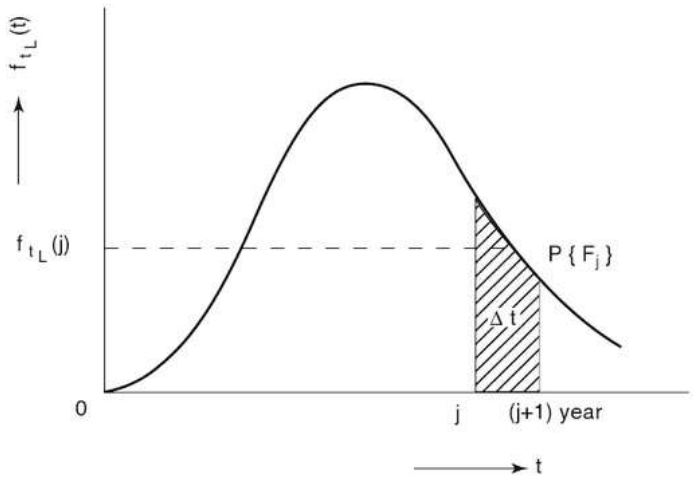
Dimana: E{Ccap}= Ekspektasi kapitalisasi biaya Ccap, S = Investasi langsung, Vj = Biaya pemeliharaan dan administrasi untuk tahun j, P{Fj} = Probabilitas kegagalan bangunan pada tahun j, Dj = Kerugian akibat kegagalan bangunan pada tahun j, r‘ = Laju suku bunga nyata (laju nominal dikurangi inflasi), t_G = Umur layan rencana (dalam tahun).

Probabilitas kegagalan P{F} pada tahun j mengikuti distribusi probabilitas umur layan t_L (dalam tahun) (Teply dan Novak, 2013). Persamaan probabilitas kegagalan dinyatakan dalam persamaan 2 berikut ini. Ilustrasi probabiltas kegagalan dalam bentuk fungsi densitas probabilitas dapat diperhatikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

$$P\{F_j\} = P\{(j-1) \le t_L < j\} = F_{tL}(j) - F_{tL}(j-1) \quad (2)$$



Gambar 1. Distribus t_L



Gambar 2. Densitas Probabilitas t_L

Komponen biaya yang harus dihitung terlebih dahulu pada Persamaan 1 adalah parameter investasi langsung (S). Investasi langsung dihitung dengan cara setiap tahun dianggap terdapat suatu nilai konstan X (anuitas) dibayarkan sepanjang seluruh umur layan tG. Besarnya X yang dibayarkan pada tahun j berkaitan dengan nilai redemsi sebesar X/(1+r')j. Karena biaya total redemsi harus sama dengan S, maka X dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.

$$S = \sum_{j=1}^{tG} \frac{1}{(1+r\prime)^j} = \frac{X}{r\prime}\left\{1 - \frac{1}{(1+r\prime)^{tG}}\right\} \quad (3)$$

Penyelesaian nilai *X* untuk Persamaan 3 menghasilkan Persamaan 4. Contoh penggunaan Persamaan 4 adalah sebagai berikut. Jika *r'*=0,02 dan umur layan rencana t_G = 50 tahun, maka diperoleh *X* = 0,0318*S* (jika tidak ada bunga yang dibayarkan maka *X* menjadi *S*/50 = 0,02*S*). Jika *r'* menyatakan suku bunga nominal maka persamaan tersebut akan menyatakan anuitas normal.

$$X = Sr'\left\{\frac{(1+r\prime)^{tG}}{(1+r\prime)^{tG}-1}\right\} \quad (4)$$

Komponen biaya selanjutnya adalah biaya pemeliharaan dan biaya kerugian akibat kegagalan bangunan. Biaya pemeliharaan memperhitungkan alternatif penambahan tebal selimut beton, penggunaan dan pemeliharaan lapisan cat pelindung dan perbaikan (Polder, 2016). Hal ini dilakukan demi optimisasi secara ekonomis.

3. METODE PENELITIAN

Objek pada penelitian ini adalah Bangunan Gedung Direktorat Politeknik Negeri Pontianak yang berlokasi di Jl Jenderal Ahmad Yani, Kota Pontianak, Provinsi Kalimantan Barat (Gambar 3). Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi dua tahap, yaitu tahap penilaian aspek higrothermal bangunan dan tahap perhitungan biaya perbaikan.

Tahap penilaian aspek higrothermal bangunan dilakukan dengan melaksanakan pengukuran parameter kelembaban (RH) dan suhu (T) pelat lantai dak pada Bangunan Gedung Direktorat Politeknik Negeri Pontianak. Pengukuran dilakukan pada bulan Juli 2017 pada pagi hari (9.00 - 11.00 wib.), siang hari (13.00 - 14.30 wib.), dan sore hari (16.00 - 18.00 wib.). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat instrument digital kelembaban-suhu (YK-2001TM type, Lutron, Taiwan) (Gambar 4) dengan berpedoman pada ASTM F2420-05 (ASTM, 2016). Data yang diperoleh kemudian dirata-ratakan. Selanjutnya, proses karbonasi beton diprediksi dengan menggunakan referensi (Hilmy dan Prabowo, 2017).

Tahap perhitungan biaya pemeliharaan yang diambil pada penelitian ini diadopsi dari (Bijen, 2003).Ketidakpastian pada biaya dan laju bunga yang digunakan diabaikan demi penyederhanaan perhitungan. Komponen biaya pemeliharaan dapat dilihat pada Tabel 1. Selanjutnya ditentukan besarnya biaya yang dibutuhkan untuk empat kondisi desain pelat dak yang berbeda, yaitu: (1). Kondisi dak dengan selimut beton 15 mm, tanpa coating; (2). Kondisi dak dengan selimut beton 30 mm, tanpa coating; (3). Kondisi dak dengan selimut beton 15 mm, dengan coating, dengan pemeliharaan tiap 20 tahun; dan (4). Kondisi dak dengan selimut beton 15 mm, dengan coating, dengan pemeliharaan 10 tahun. Langkah terakhir adalah mengambil kesimpulan mengenai kondisi desain pelat dak yang paling menguntungkan secara ekonomis.



Gambar 3. Gedung direktorat politeknik negeri pontianak



Gambar 4. Instrumen digital RH dan T

Tabel 1. Komponen biaya pemeliharaan (dalam Rp./m^2)

Komponen Biaya	Biaya
Membuat dan memasang slab beton bertulang pada gedung baru (h = tebal slab dalam mm)	300.000 + 3000 h
Penggantian slab	2.100.000
Penggantian selimut beton, penggunaan sprayed concrete	1.700.000
Penggantian selimut beton, perbaikan dengan polymer mortar	1.900.000
Pengecatan beton baru (epoxy)	375.000
Pengecatan beton eksisting	600.000
Perawatan coating	300.000
Perbaikan coating	600.000

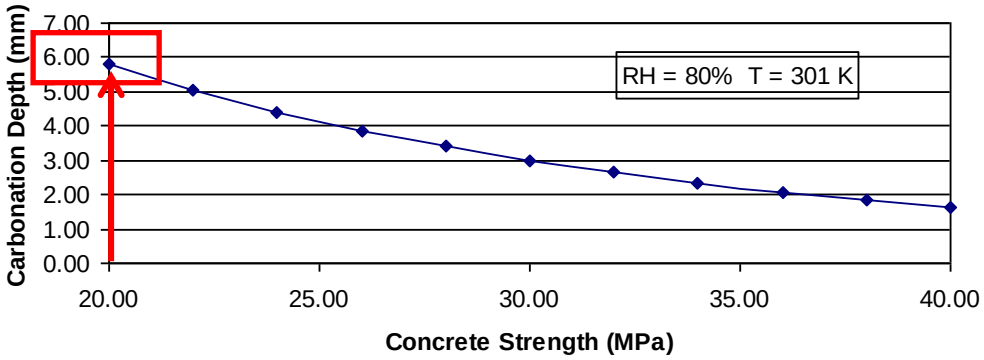
4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran RH dan T dan Pembahasannya

Hasil pengukuran parameter kelembaban (RH) dan temperatur (T) menunjukkan bahwa kelembaban rata-rata lantai dak beton adalah sebesar 80% dengan temperatur rata-rata sebesar (T = 27°C = 301 K). Kondisi permukaan lantai dak dan proses pengukuran RH dan T dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil perbandingan pengukuran RH dan T yang dilakukan dengan referensi (Hilmy dan Prabowo, 2017) menunjukkan bahwa kedalaman karbonasi beton yang terjadi sekitar 6 mm dengan asumsi bahwa mutu beton yang digunakan adalah fc' = 20 MPa (Gambar 6).



Gambar 5. Pengukuran RH dan T



Gambar 6. Kedalaman karbonasi

Hasil Perhitungan Biaya Pemeliharaan dan Pembahasannya

Luas area pelat lantai dak yang ditinjau pada penelitian ini berukuran lebar 4m dan panjang 4m yang membentuk luas tinjauan 16 m2. Umur layan rencana adalah 50 tahun. Umur layan rencana ini diintepretasikan sedemikian hingga seluruh tindakan pemeliharaan dan perbaikan dilakukan sepanjang dan termasuk tahun ke-50 umur layan struktur. Dengan demikian nilai tG diambil sebesar 50 tahun. Kondisi (1), pelat dak dengan selimut beton 15 mm, tanpa coating, diambil sebagai titik acuan perbandingan biaya. Untuk kondisi (1), dianggap tidak ada biaya tambahan untuk meningkatkan durabilitas. Untuk kondisi (2), dengan selimut beton 30 mm, biaya tambahan untuk peningkatan durabilitas sebesar 15 x 3000 = Rp. 45.000,-/m2. Biaya penggunaan coating untuk kondisi (3) dan (4) sebesar Rp. 375.000,-/m2.

Pada kondisi (4), dimana interval pemeliharaan dilakukan dalam jangka waktu 10 tahun, biaya pemeliharaan adalah sebesar Rp. 300.000,-/m2. Perhitungan kapitalisasi biaya pemeliharaan per m2 dapat dilihat pada Persamaan 5. Pada kondisi (3), dimana interval pemeliharaan dilakukan dalam jangka waktu 20 tahun, biaya perbaikan kerusakan adalah sebesar Rp. 600.000,-/m2. Dengan demikian biaya kapitalisasi pemeliharaan per m2 dapat dilihat pada Persamaan 6.

$$\sum_{j=1}^{tG} \frac{V_j}{(1+r\prime)^j} = \frac{300.000}{1{,}02^{10}} + \frac{300.000}{1{,}02^{20}} + \frac{300.000}{1{,}02^{30}} + \frac{300.000}{1{,}02^{40}} + \frac{300.000}{1{,}02^{50}} = 861.000 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{tG} \frac{V_j}{(1+r\prime)^j} = \frac{600.000}{1{,}02^{20}} + \frac{600.000}{1{,}02^{40}} = 676.000 \quad (6)$$

Komponen biaya terakhir yang harus diperhitungkan adalah biaya kerugian akibat perbaikan deteriorasi. Biaya yang umumnya diperhitungkan antara lain: 1. Biaya penggantian slab total = Rp. 2.100.000,-/m2; 2. Biaya perbaikan utama dengan sprayed concrete = Rp. 1.700.000,-/m2; 3. Biaya perbaikan minor dengan polymer mortar = Rp. 1.900.000,-/m2.

Resiko kerusakan diperhitungkan dengan mempertimbangkan probabilitas kegagalan struktur pada tiap tahun. Untuk kemudahan perhitungan, periode yang dihitung sebanyak 5 dekade seperti terlihat pada Persamaan 7.

$$\sum_{j=1}^{tG} \frac{P\{F_j\}D_j}{(1+r\prime)^j} = \frac{D_{10}}{(1+r\prime)^{10}} P(0 \le t_L < 10) + \frac{D_{20}}{(1+r\prime)^{20}} P(10 \le t_L < 20) + \cdots$$
$$\ldots + P(40 \le t_L < 50) \quad (7)$$

Probabilitas P(40<t_L<50) setara dengan P(t_L <50) – P(t_L <40). Seluruh data yang diperlukan untuk memperhitungkan resiko kerusakan dengan demikian telah lengkap. Untuk kondisi (1), dimana selimut beton = 15 mm, dengan tanpa coating, diperoleh Persamaan 8 sebagai berikut.

$$\sum_{j=1}^{tG} \frac{P\{F_j\}D_j}{(1+r\prime)^j} = \frac{1.500.000 \times 0.09}{(1{,}02)^{10}} + \frac{1.500.000 \times 0.25}{(1{,}02)^{20}} + \frac{1.500.000 \times 0.29}{(1{,}02)^{30}} + \cdots$$
$$\frac{750.000 \times 0.15}{(1{,}02)^{40}} + \frac{750.000 \times 0.09}{(1{,}02)^{50}} = 680.000 \quad (8)$$

Untuk periode 0<t_L<30, kerugian diambil sebesar Rp. 1.500.000,- per m2 dan untuk t_L>30 kerugian diambil sebesar Rp. 750.000,- per m2. Faktor 0,09 ; 0,25 ; 0,29 dan seterusnya adalah nilai probabilitas kegagalan struktur pada periode 0 – 10 tahun, 10 – 20 tahun, dan seterusnya. Perhitungan untuk alternatif kondisi desain lainnya juga serupa, hanya saja perhitungan biaya kerugian untuk sepanjang umur struktur diambil sebesar Rp. 750.000,- per m2. Hasil perhitungan biaya untuk seluruh kondisi desain dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai Ekspektasi biaya kapitalisasi (dalam Rp./m2)

Item Biaya	Alternatif Desain			
	1	2	3	4

Selimut beton ekstra	-	45.000	-	-
Coating	-	-	375.000	375.000
Pemeliharaan coating	-	-	505.000	850.000
Ekspektasi perbaikan	600.000	130.000	195.000	30.000
Ekspektasi biaya kapitalisasi	600.000	175.000	1.075.000	1.255.000

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil perhitungan seluruh komponen biaya pemeliharaan menunjukkan bahwa solusi yang paling efektif dan ekonomis dalam mengatasi masalah durabilitas akibat karbonasi adalah dengan menambah ketebalan selimut beton. Biaya yang dikeluarkan untuk melakukan solusi ini adalah yang paling rendah diantara komponen biaya pemeliharaan lainnya, yaitu sekitar Rp. 45.000,-/m2 pelat. Dengan melakukan solusi ini, peristiwa deteriorasi akan berlangsung setelah selang waktu yang panjang. Untuk mengatasinya pun hanya dibutuhkan perbaikan yang relatif sederhana.

Perlu dicermati bahwa pelaksanan dan pemeliharaan coating lebih mahal jika dibandingkan dengan alternatif desain (1) walaupun langkah tersebut dapat menghambat probabilitas terjadinya deteriorasi ataupun kerusakan struktur. Dengan mempertimbangkan hasil ini, maka pemakaian coating hanya ditujukan untuk alasan estetika. Karenanya walupun coating memberikan kontribusi kecil dalam menghambat deteriorasi namun pemakaiannya tidak bisa dimaksudkan untuk melindungi struktur dari deteriorasi dalam jangka waktu yang relatif panjang.

6. DAFTAR PUSTAKA

Bijen, J., 2003, *Durability of Engineering Structures – Design, Repair, and Maintenance*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.

Hilmy, M., dan Prabowo, H., 2018, Predicted carbonation of existing concrete building based on the Indonesian tropical micro-climate, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 126, conference 1

Navarro, I.J., Yepes, V., and Marti, J.V. 2018. Life Cycle Cost Assessment of Preventive Strategies Applied to Prestressed Concrete Bridges Exposed to Chlorides, J. Sustainability 2018, 10, 845

Polder, R. 2016. Preliminary study of life cycle cost of preventive measures and repair options for corrosion in concrete infrastructure, HERON Vol. 61 (2016) No. 1

Teply, B., dan Novak, D., 2013, Decision Support Tools for Life Cycle Assessment and Management of Concrete Structures, Conference of Central Europe towards Sustainable Building

Thanup, N.T. and Sridhar, R. 2017. A Review on Life Cycle Cost Assessment of RC Structure Subjected to Corrosion. International Journal Of Advanced Research in Engineering & Management (IJAREM), Vol.03 Issue 04