

PENGARUH CARBONDIOKSIDA (CO₂) TERHADAP DURABILITAS BETON *Carbonation Effect on Concrete Durability*

Ni Nyoman Kencanawati *

Abstrak

Selama masa layan, kinerja material beton sangat dipengaruhi oleh lingkungan yang pada akhirnya dapat menurunkan durabilitasnya. Salah satu pengaruh lingkungan adalah keberadaan karbondioksida CO₂ di udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh CO₂ terhadap beberapa karakteristik beton meliputi: kedalaman penetrasi CO₂, kuat tekan, modulus elastisitas, dan reliabilitas. Sampel beton di letakkan dalam suatu atmosfer dengan konsentrasi CO₂ sebesar 7% selama 43 hari. Selama perawatan itu temperatur di osilasi dengan range 20^o-60^o C dan kelembaban berkisar 60^o-90^o C. Ditemukan bahwa CO₂ telah berpenetrasi ke dalam beton dengan kedalaman maksimum 3 cm. Karena beton mengalami pemadatan setelah bereaksi dengan CO₂, maka kuat tekan menjadi naik sedikit tetapi modulus elastisitasnya turun. Reliabilitas beton yang terkena CO₂ juga mengalami penurunan dibandingkan dengan beton yang tidak terkena CO₂.

Kata kunci : CO₂, durabilitas, kedalaman penetrasi, kuat tekan, modulus elastisitas, reliabilitas

PENDAHULUAN

Banyak faktor lingkungan dapat mempengaruhi durabilitas beton, seperti lingkungan air laut, atmosfer yang mengandung karbondioksida (CO₂), siklus panas-basah atau siklus beku-panas, dan lain sebagainya. Pengaruh CO₂ adalah salah satu factor utama yang sering terjadi sebagai penyebab turunnya kinerja beton. Carbonation adalah reaksi dari produk hydrasi yang larut dalam air pori dengan karbondioksida di udara. Reaksi ini dapat mengurangi pH dari concrete dari 12.6 ke nilai yang kurang dari 9. Kondisi ini menyebabkan berkurangnya kemampuan beton dalam menyediakan oksida pasif dan dapat menimbulkan korosi pada baja tulangan. Pengaruh lain juga tampak yaitu dengan meningkatnya pretumbuhan retak pada beton dan pada akhirnya dapat menurunkan durabilitas beton.

Tingkat kerusakan beton akibat CO₂ biasanya di ukur dari nilai sifat mekaniknya seperti kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton. Dalam penelitian ini pengaruh CO₂ di tinjau selain pada sifat mekanik yaitu kuat tekan dan modulus elastisitas, juga ditinjau pada kedalaman penetrasi CO₂ dan juga reliabilitas beton.

TINJAUAN PUSTAKA

Kuat tekan beton

Beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (SNI-03-2834-2000). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana (fc') pada usia 28 hari.

Menurut SNI 03-1974-1990 kuat tekan beban beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Tegangan tekan maksimum fc' diberikan persamaan berikut:

* Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

dengan : f_c' = kuat tekan (MPa), P = beban maksimum (N), A = luas penampang (mm²)

Dalam masa layan, penurunan kuat tekan beton dapat mengindikasikan penurunan durabilitas beton. Kemampuan dalam melawan aksi cuaca, serangan kimia atau sumber kerusakan lain didefinisikan sebagai durabilitas beton. (Mehta PK. and Monteiro PJM., 2006). Sebagai contoh penurunan durabilitas beton akibat proses karbonasi. Karbonasi adalah reaksi antara produk hidrasi yang larut dalam air pori dengan karbon dioksida di udara. Proses ini dapat mengurangi pH beton dari sekitar 12.6 menjadi kurang dari 9. Karbonasi dapat mempengaruhi sifat mekanik beton seperti kuat tekan, modulus elastisitas, dan kekerasan permukaan (Chi JM. et al., 2002)

Modulus elastisitas beton

Tolak ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan itu (Murdock dan Brock, 1999). Berdasarkan diagram tegangan-regangan beton yang diperoleh saat pengujian tekan, dapat ditentukan formula untuk menghitung modulus elastisitas secara eksperimental dengan Persamaan 2.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan : E_c = modulus elastisitas (MPa), S_2 = tegangan sebesar 40% f_c' , S_1 = tegangan regangan sebesar 0,00005 (MPa), ϵ_2 = regangan longitudinal akibat tegangan S_2

Reliabilitas beton

Reliabilitas beton yang telah mengalami penurunan durabilitas dapat dihitung dengan menggunakan analisis distribusi Weibull (Bergman B, 1984). Distribusi Weibull mampu menunjukkan probabilitas kerusakan dari suatu material (Rinne, H. dan Alghuwainem, S.M., 2009). Hasil perhitungan algoritma distribusi Weibull dapat diekspresikan sebagai persamaan garis $Y = mX + b$ dimana nilai y diekspresikan dalam Persamaan (2.3).

$$Y = \log \left[\log \left(\frac{1}{1 - F(x)} \right) \right] \dots\dots\dots (3)$$

Dan x diekspresikan sebagai

$$X = \log x \dots\dots\dots (4)$$

Parameter m adalah kemiringan dari garis lurus pada persamaan garis, yang dapat menunjukkan kualitas dari material. Bila parameter m lebih besar dari satu menunjukkan kualitas material yang bagus dan belum terjadi penurunan durabilitas. Sebaliknya, bila nilai parameter m didapatkan lebih kecil dari satu, mengindikasikan bahwa material telah mengalami penurunan durabilitas.

METODE PENELITIAN

Material

Semen Portland tipe 1 digunakan untuk membuat sampel beton dengan faktor air 50%. Diameter maksimum agregat kasar adalah 20 mm. Rasio antara berat agregat halus dengan berat agregat kasar adalah 44%. Hasil pemeriksaan uji pendahuluan agregat penusun beton dapat dilihat pada Tabel 1. Campuran bahan penyusun beton di tampilkan pada Tabel 2. Benda uji beton berupa silinder beton dengan ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Benda uji beton normal dibuat sebanyak 5 buah membandingkan hasil yang diperoleh pada beton karbonasi.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Fisik Agregat

Sifat Fisik	Agregat	
	Kasar	Halus
Berat jenis (g/cm ³)	2.95	2.57
Penyerapan air	0.59	3.25
Modulus halus butir	6.52	2.28

Tabel 2. Campuran Beton

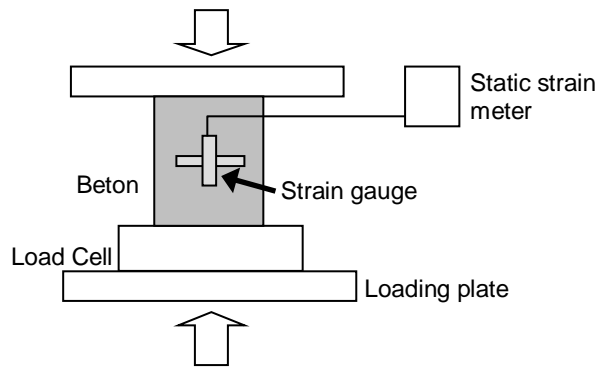
Maximum Aggregate Size	Slump	Air content	Water-cement ratio	Sand-gravel ratio	Proportion (kg/m ³)				AE water reducing agent	AE agent
					Water	Cement	Sand	Gravel		
(mm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	W	C	S	G	(g/m ³)	(g/m ³)
20	9.5	6	50	44	175	350	776	1167	1218	175

Uji karbondioksida

Proses karbonasi dilakukan secara akselerasi. Setelah dirawat selama 28 hari, benda uji beton diletakkan pada *carbonation case*. Beton diberikan atmosfer CO₂ dengan konsentrasi 7%. Proses karbonasi sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan dan kelembaban relatif. Sehingga pada eksperimen ini, temperatur di osilasikan dengan rentang 20°C sampai 60°C. Kelembaban relatif juga di osilasikan dengan rentang dari 60% sampai 90%. Benda uji beton diletakkan pada *carbonation case* selama 43 hari. Akselerasi dari proses karbonasi ini ekuivalen dengan 27 tahun proses karbonasi sesungguhnya.

Uji kuat tekan

Setelah mengalami proses karbonasi selama kurang lebih 1.5 bulan, benda uji beton ditekan dengan menggunakan *alat compression testing machine*. Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pengujian Tekan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kedalaman penetrasi CO₂

Kedalaman penetrasi karbonasi diobservasi dengan membelah beton pada bagian longitudinal. Setelah itu permukaan beton yang terbelah disemprotkan dengan 1% larutan phenolphthalein yang tidak berwarna. Bila tidak terjadi perubahan warna, maka telah terjadi karbonasi dan kedalaman penetrasi CO₂ dapat diukur. Terlihat bahwa setelah mengalami proses karbonasi akselerasi selama 43 hari, CO₂ berpenetrasi kedalam beton dengan kedalaman maksimum 3 cm. Gambar 2 memperlihatkan kedalaman penetrasi CO₂.

Gambar 2. Kedalaman Penetrasi CO₂

Sifat Mekanik

Kuat tekan rata-rata dari beton normal adalah 11.22 MPa. Sementara itu kuat tekan rata-rata beton karbonasi adalah 13 MPa. Ini menunjukkan adanya peningkatan kuat tekan beton sebanyak 15.86% setelah mengalami proses karbonasi. Hal ini disebabkan oleh reaksi antara Ca(OH)₂ dengan CO₂ yang menghasilkan CaCO₃. Senyawa CaCO₃ menempati pori permukaan dengan volume yang lebih besar dari Ca(OH)₂. Senyawa CaCO₃ memiliki density yang lebih besar dari Ca(OH)₂, sehingga proses karbonasi menyebabkan sedikit kenaikan kuat tekan beton (Monkman S. and Shao Y, 2006).

Namun, ditinjau dari nilai modulus elastisitas, beton karbonasi menunjukkan penurunan nilai yang cukup signifikan yaitu turun sebanyak 48.35% dibandingkan dengan beton normal. Hal ini disebabkan karena terjadinya deformasi yang cukup besar saat uji tekan akibat kekakuan beton yang

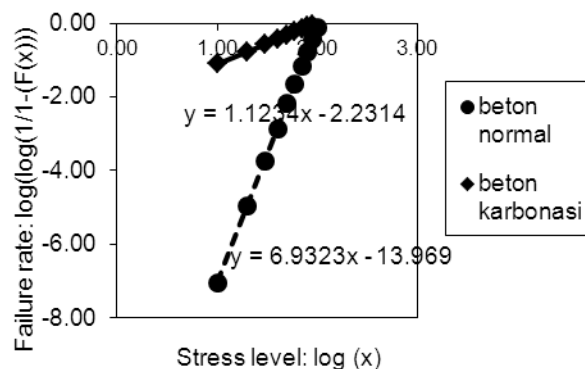
menurun. Oleh karena itu, nilai modulus elastisitas lebih bisa mewakili penurunan durabilitas beton karbonasi dibandingkan dengan nilai kuat tekan. Tabel 3 menunjukkan sifat mekanik beton normal dan beton karbonasi.

Tabel 3. Sifat Mekanik Beton Normal dan Beton Karbonasi

Tipe Beton	Kuat Tekan	Modulus Elastisitas
	Rata-rata (MPa)	Rata-rata (GPa)
Beton normal	11.22	18.2
Beton karbonasi	13.00	9.40

Reliabilitas

Uji reliabilitas beton karbonasi dengan menggunakan analisa distribusi Weibull menunjukkan bahwa nilai rata-rata parameter m untuk beton normal adalah 6.95 sedangkan untuk beton karbonasi adalah 1.18. Penurunan nilai yang signifikan ini mengindikasikan bahwa reliabilitas dari beton karbonasi jauh mengalami penurunan dari keadaan normalnya. Hasil analisis reliabilitas ini menguatkan hasil pengujian sifat mekanik dan kedalaman penetrasi bahwa proses karbonasi dapat menurunkan keawetan beton. Gambar 3 menunjukkan salah satu hasil perhitungan m parameter.



Gambar 3. Hasil Analisa Distribusi Weibull pada Beton Normal dan Beton Karbonasi

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Pengujian yang dilakukan adalah uji kedalaman penetrasi, uji sifat mekanik, dan uji reliabilitas. Kedalam penetrasi beton karbonasi menunjukkan nilai maksimum sebesar 3 cm. Berdasarkan sifat mekanik, walaupun kuat tekan beton karbonasi menunjukkan sedikit kenaikan karena keberadaan senyawa baru CaCO₃ dalam beton, namun modulus elastisitas menunjukkan penurunan nilai yang cukup signifikan. Oleh karena itu, nilai modulus elastisitas lebih representatif mewakili penurunan durabilitas beton karbonasi dibandingkan dengan nilai kuat tekannya. Hal ini juga diperkuat dengan hasil analisis reliabilitas dengan menggunakan distribusi Weibull. Nilai parameter m untuk beton karbonasi jauh di bawah beton normal, yang mengindikasikan kualitas beton yang telah mengalami proses karbonasi menurun dari keadaan normalnya.

Saran

Dapat dikembangkan pengaruh kadar karbondioksida yang berbeda dan lama exposure karbondioksida pada beton.

DAFTAR PUSTAKA

Bergman B., On estimation of the Weibull analysis, *Journal of Materials Science*, vol. 3, pp. 689-692, 1984.

Chi JM., Huang R., and Yang CC., Effect of carbonation on mechanical properties and durability of concrete using accelerated testing method, *Marine Science and Technology* vol. 10, pp. 14-20, 2002.

Mehta PK. and Monteiro PJM., *Concrete*, Mac-Graw Hill, USA, pp. 121-198, 2006.

Newman J. and Choo BS, *Advanced Concrete Technology: Concrete Properties*, Butterworth-Heinemann, Elsevier, London, pp. 8/3- 8/28, 2003.

Rinne H. and Alghuwainem SM., *Weibull distribution, A Handbook*, CRC Press, 2009

Monkman S. and Shao Y., Assessing the carbonation behavior of cementitious Materials, *Materials in Civil Engineering*, pp. 768-776, Nov-Dec 2006.

SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.

SNI 03-1974-1990: Pengujian kuat tekan beton