

Uji durabilitas beton normal setelah perendaman dalam air laut dan pembakaran pada suhu tinggi

Sandika Arjuna^{a*}, Yudhia Pratidina Pa, Elsa Rati Hariza^a

^a Program Studi Teknik Sipil, Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

arjunasandika44@gmail.com**Keywords:**

Compressive strength, density, durability of concrete, high temperature, porosity

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *This study aims to test the durability of normal concrete after exposure to a combination of two extreme conditions: immersion in seawater and burning at high temperatures (300°C, 400°C, and 500°C). The study is motivated by the vulnerability of structures in coastal areas to both aggressive chloride attacks and fire hazards. The concrete used was designed for 25 MPa compressive strength and tested at 28 days of age. Cylindrical specimens (15 cm diameter and 30 cm height) were immersed in seawater for 28 days, then burned in a drum furnace for 30 minutes at the specified temperatures. Testing included compressive strength, density, and porosity measurements. Results show significant deterioration at 500°C, moderate deterioration at 400°C, and minor deterioration at 300°C. This confirms the need for better durability strategies for concrete in extreme environments.*

Copyright © 2025 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Dari berbagai jenis material konstruksi, beton dikenal sebagai yang paling sering digunakan secara global berkat performa mekaniknya yang andal, daya tahan yang tinggi, serta kemudahan dalam pembentukan dan aplikasinya. Namun, dalam penggunaannya, beton sering kali terpapar oleh berbagai kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti lingkungan laut yang mengandung ion klorida dan sulfat (Yulismawati et al., 2021), serta suhu tinggi yang dapat terjadi akibat kebakaran atau eksposur terhadap panas ekstrem (Arifin, 2014).

Salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh beton di lingkungan laut adalah penetrasi ion klorida yang memicu kerusakan berupa korosi pada komponen tulangan baja yang tertanam dalam beton. Menurut (Yulismawati et al., 2021) Disarankan agar beton yang digunakan di lingkungan asam memiliki sifat kuat tekan yang sangat baik, tahan terhadap penetrasi air, dan tahan lama. Struktur mikropori yang rapat sangat penting untuk mencegah masuknya ion asam, yang dapat mempercepat kerusakan beton. Studi yang dilakukan (Prabowo, 2017) menunjukkan bahwa akumulasi klorida dalam beton secara langsung berpengaruh terhadap percepatan proses korosi, menandakan hubungan yang erat antara kedua variabel tersebut. Korosi yang terjadi akibat ion klorida dapat menurunkan kekuatan struktur serta memperpendek umur layanan bangunan. Selain itu, lingkungan laut juga mengandung ion sulfat yang dapat bereaksi dengan komponen dalam pasta semen, menghasilkan ekspansi dan retak yang berkontribusi terhadap degradasi beton.

Selain lingkungan laut, beton juga dapat mengalami degradasi akibat eksposur terhadap suhu tinggi, seperti yang terjadi dalam kebakaran atau kondisi operasional tertentu di industri. Menurut (Arifin, 2014) semakin tinggi suhu yang diterapkan pada beton, maka semakin besar massa beton yang hilang akibat penguapan air dalam pori-porinya, yang pada akhirnya menyebabkan penurunan densitas beton. Pada suhu tinggi, air yang tersimpan dalam rongga-rongga beton akan menguap, mengakibatkan peningkatan tekanan internal yang berpotensi menimbulkan retak dan pengurangan kekuatan beton. Selain itu, suhu tinggi juga dapat menyebabkan dekomposisi senyawa hasil hidrasi semen, yang berdampak pada berkurangnya ikatan antar partikel dan perubahan mikrostruktur beton. Penelitian yang dilakukan oleh Khoury (2000) dalam *Effect of Fire on Concrete and Concrete Structures* menunjukkan bahwa eksposur terhadap suhu tinggi dapat menyebabkan perubahan signifikan dalam kekuatan tekan dan porositas beton, terutama pada suhu di atas 200°C.

Meskipun telah banyak penelitian terkait durabilitas beton dalam kondisi ekstrem, penelitian ini memiliki kebaruan dalam menggabungkan dua faktor utama, yaitu perendaman dalam air laut dan pembakaran pada suhu tinggi secara bertahap. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada salah satu faktor saja, seperti korosi akibat lingkungan laut atau penurunan kekuatan akibat suhu tinggi. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan untuk mengisi kesenjangan penelitian sebelumnya dengan memberikan analisis komprehensif terkait dampak simultan dari kedua faktor tersebut terhadap beton normal. Selain aspek tersebut, pendekatan penelitian ini dirancang untuk merepresentasikan kondisi nyata yang sering terjadi di lapangan, seperti bangunan yang berada di lingkungan pesisir sekaligus rentan terhadap kebakaran. Penelitian ini juga mengacu pada standar dan pedoman yang berlaku dalam industri konstruksi yaitu SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Diharapkan bahwa penelitian ini akan membantu dalam pengembangan regulasi dan peningkatan standar yang berkaitan dengan ketahanan beton dalam kondisi lingkungan ekstrem.

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji durabilitas beton normal setelah mengalami perendaman dalam air laut dan pembakaran pada suhu 300°C, 400°C, dan 500°C. Fokus pengujian meliputi perubahan kuat tekan, densitas, dan porositas beton setelah terpapar kombinasi kondisi ekstrem tersebut, dan apakah masih memenuhi persyaratan kelayakan penggunaan berdasarkan standar SNI 2847:2019. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan material konstruksi yang lebih tahan terhadap lingkungan ekstrem serta mendukung praktik desain dan pemeliharaan infrastruktur yang lebih andal.

2. DATA DAN METODE

2.1 Benda Uji dan Material

Penelitian menggunakan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 12 sampel dengan mutu rencana F_c 25 MPa, beton normal F_c 25 MPa dipilih karena pada umumnya bangunan konvensional memakai beton dengan mutu F_c 25 MPa. Pengujian dilakukan pada umur 30 hari saat beton mencapai kekuatan maksimal. Proses perhitungan dan rancangan Mix Design pada penelitian ini mengikuti pedoman SNI-03-2838-2000. Setelah dilakukan perhitungan Mix Design didapat kebutuhan material untuk porsi 12 sampel silinder disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil perhitungan Mix Design untuk 12 sampel

Material	Kebutuhan
Air	14,3445
Semen	31,1836
Agregat Halus	50,2693
Agregat Kasar	69,4195

Selanjutnya beton didiamkan pada suhu ruangan selama 24 jam, kemudian benda uji akan direndam di dam selama 28 hari. Benda uji silinder dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Benda uji beton beton silinder F_c 25 Mpa

2.2 Prosedur Perendaman dan Pembakaran

Benda uji direndam dalam air laut selama 28 hari. Setelah itu, dilakukan pembakaran menggunakan tungku drum pada suhu 300°C, 400°C, dan 500°C selama 30 menit. Pemilihan suhu tersebut mengacu pada kondisi nyata yang sering dialami beton ketika terkena paparan suhu tinggi, seperti pada kasus kebakaran bangunan. Proses pembakaran dikontrol dengan termometer dan dibantu dengan blower untuk menaikkan suhu. Setelah pembakaran beton didiamkan selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian, proses ini dilakukan agar beton kembali pada suhu normal menghindari efek pengujian saat beton masih panas yang dapat memberikan hasil tidak akurat. Perendaman dan pembakaran benda uji dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.



Gambar 2. Proses perendaman air laut



Gambar 3. Proses pembakaran

2.3 Metode Pengujian

Tiga parameter utama yang diuji dalam penelitian ini adalah kuat tekan, densitas, dan porositas.

1) Kuat Tekan

Kuat tekan dipilih karena merupakan parameter utama dalam menilai kualitas dan kemampuan beton menahan beban. Setelah mengalami perendaman air laut dan paparan suhu tinggi, kuat tekan akan menurun akibat kerusakan ikatan C-S-H dan dekomposisi mineral penyusun beton. Oleh karena itu, pengujian ini penting untuk mengetahui sejauh mana beton masih mampu berfungsi secara struktural.

2) Densitas

Densitas dipakai sebagai indikator perubahan mikrostruktur. Paparan suhu tinggi dan perendaman dapat menyebabkan hilangnya air terikat serta terbentuknya rongga dalam beton. Penurunan densitas mengindikasikan adanya kerusakan internal yang memengaruhi kekuatan dan durabilitas beton.

3) Porositas

Porositas berhubungan langsung dengan kemampuan beton dalam menahan penetrasi air dan zat agresif. Semakin tinggi porositas, semakin mudah ion klorida dan sulfat dari air laut masuk ke

dalam beton, sehingga mempercepat kerusakan. Dengan demikian, pengukuran porositas memberikan gambaran ketahanan beton terhadap lingkungan agresif.

2.4 Analisis Data

Data hasil uji dianalisis dengan membandingkan nilai kuat tekan, densitas, dan porositas sebelum dan sesudah perlakuan, serta dibandingkan dengan studi terdahulu dan standar SNI 2847:2019 untuk menilai kelayakan struktural.

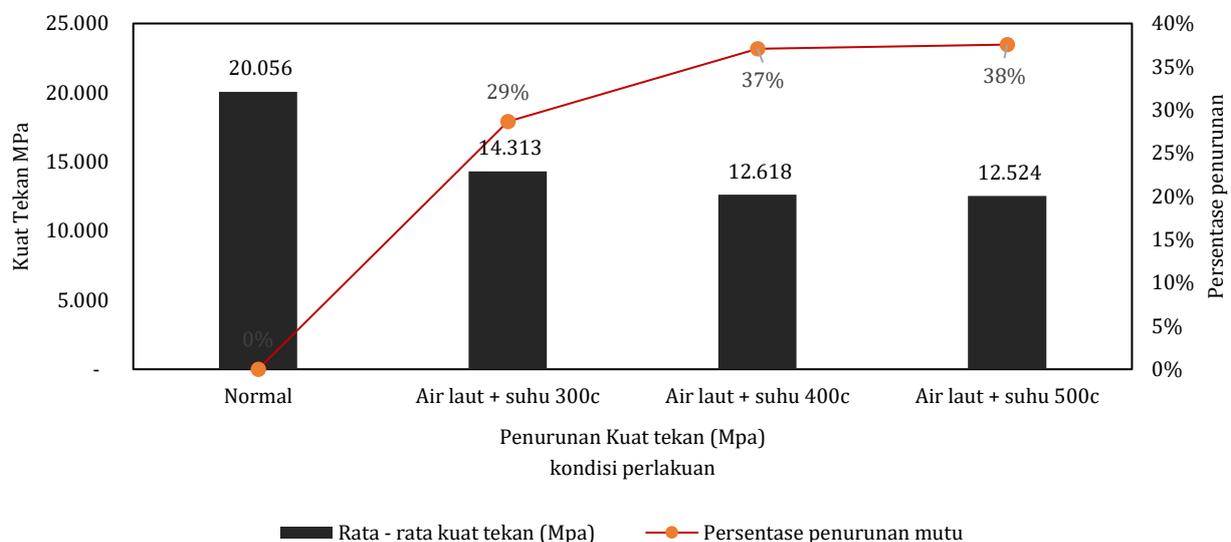
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Uji Kuat Tekan

Penelitian ini mengkaji kekuatan tekan beton berdasarkan SNI 1974-2011. Metode yang digunakan adalah pengujian kuat tekan beton, dengan tujuan utama membandingkan nilai kuat tekan beton setelah perendaman dalam air laut dan pembakaran pada variasi suhu 300°C, 400°C, dan 500°C. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana beton mampu mempertahankan durabilitasnya. Sebanyak empat jenis spesimen diuji, masing-masing terdiri atas tiga sampel, sehingga total benda uji berjumlah 12 sampel. **Tabel 2** merupakan hasil pengujian kuat tekan beton yang diperoleh dari laboratorium:

Tabel 2. Hasil uji kuat tekan beton silinder 15x30

Spesimen	Slump (cm)	Berat rata - rata benda uji	Gaya tekan (kN)				Luas penampang (m ²)	Kuat tekan (MPa)
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata - rata		
Normal		12,06	355	350	360	355	0,0177	20,056
Air laut + 300 c ^o	7,5-15	12,14	220	190	350	253	0,0177	14,313
Air laut + 400 c ^o		11,95	190	250	230	223	0,0177	12,618
Air laut + 500 c ^o		11,7	270	230	165	222	0,0177	12,524



Gambar 4. Grafik rata-rata nilai kuat tekan dan persentase penurunan mutu

Hasil menunjukkan adanya penurunan kuat tekan secara bertahap. Suhu 300°C menurunkan kuat tekan sekitar 29%, suhu 400°C sekitar 37%, dan suhu 500°C menurunkan lebih dari 38% dibanding beton normal. Penurunan ini disebabkan dekomposisi senyawa hidrat seperti C-S-H gel dan pelepasan air bebas. Pada suhu di atas 300°C, struktur C-S-H mulai melemah, dan pada 500°C terjadi kerusakan signifikan akibat dehidrasi. Hal ini sesuai dengan pendapat Neville (2011) dan Mehta & Monteiro (2014) yang menyatakan bahwa kestabilan C-S-H gel sangat dipengaruhi oleh paparan suhu tinggi.

3.2 Hasil Pengujian Densitas

Penelitian ini juga melakukan uji densitas untuk mengukur besaran berat jenis ukuran kepadatan beton yang dihasilkan dari perbandingan antara massa beton dengan volume yang ditempati. Densitas yang

tinggi umumnya menunjukkan kualitas beton yang baik, karena dapat berhubungan langsung dengan kepadatan dan ketahanan terhadap kerusakan. **Tabel 3** merupakan hasil pengujian densitas beton.

Tabel 3. Hasil uji densitas beton silinder 15x30

No	Densitas beton (g/cm ³)			
	Normal	Air laut + suhu 300c	Air laut + suhu 400c	Air laut + suhu 500c
1	2,275	2,289	2,253	2,206

Berdasarkan data yang diperoleh, beton normal yang tidak terpapar air laut dan suhu tinggi memiliki densitas sebesar 2,227 g/cm³. Setelah mengalami perendaman dalam air laut dan pembakaran, terjadi penurunan densitas secara bertahap, yaitu menjadi 2,289 g/cm³ pada suhu 300°C, 2,253 g/cm³ pada suhu 400°C, dan 2,206 g/cm³ pada suhu 500°C. Penurunan ini mengindikasikan adanya kehilangan massa beton akibat pelepasan air dan kerusakan pada pasta semen yang menyebabkan degradasi mikro struktur beton secara progresif.

3.3 Hasil Pengujian Porositas

Uji porositas bertujuan untuk menentukan persentase volume rongga pori yang terdapat dalam benda uji. Tingginya nilai porositas menunjukkan banyaknya rongga udara di dalam beton, yang secara umum berbanding terbalik dengan kekuatannya semakin tinggi porositas, maka semakin rendah kekuatan beton, demikian pula sebaliknya. Tabel 4 merupakan hasil pengujian porositas yang diperoleh di laboratorium.

Tabel 4. Hasil uji porositas beton silinder 15x30

No	Porositas beton %			
	Normal	Air laut + suhu 300c	Air laut + suhu 400c	Air laut + suhu 500c
1	4%	3%	5%	7%

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, terlihat adanya tren peningkatan nilai porositas seiring dengan kenaikan suhu pembakaran. Beton normal yang tidak dibakar memiliki nilai porositas 4%. Setelah direndam air laut dan dipanaskan pada suhu 300°C, porositas menurun menjadi 3% ini disebabkan akibat sebagian air bebas dalam pori-pori menguap dan rongga tertutup kembali oleh produk hidrasi sekunder. Namun, pada suhu 400°C porositas meningkat menjadi 5% dan pada 500°C naik signifikan hingga 7%. Kenaikan ini disebabkan oleh kerusakan jaringan pasta semen akibat dehidrasi C-S-H gel dan dekomposisi Ca(OH)₂ yang menghasilkan rongga baru dalam struktur beton (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014). Dengan demikian, tren menunjukkan bahwa paparan suhu tinggi berkontribusi terhadap bertambahnya pori-pori beton, yang berdampak pada penurunan kualitas dan durabilitas.

3.4 Pembahasan

Hasil penelitian ini konsisten dengan penelitian Afandi (2012) yang menunjukkan bahwa suhu di atas 400°C menyebabkan penurunan signifikan pada kekuatan dan kepadatan beton. Selain itu, Houry (2000) juga menjelaskan bahwa suhu ekstrem memicu retakan mikro dan kerusakan jaringan pasta semen yang berakibat pada peningkatan porositas serta penurunan kekuatan.

Jika dibandingkan dengan standar SNI 2847:2019, elemen struktural harus memenuhi kuat tekan minimum 17 MPa agar dapat dinyatakan aman. Berdasarkan hasil pengujian, beton yang dibakar pada suhu 500°C tidak lagi memenuhi kriteria tersebut karena kuat tekan turun hingga 12 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa beton dengan kondisi ini tidak layak sebagai elemen struktural, terutama pada aplikasi di lingkungan ekstrem seperti pesisir dan area rawan kebakaran.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji laboratorium dan analisis terhadap durabilitas beton normal setelah perendaman dalam air laut selama 28 hari dan pembakaran pada suhu 300°C, 400°C, dan 500°C, disimpulkan bahwa kuat tekan beton mengalami penurunan signifikan. Nilai kuat tekan beton normal sebesar 20,056 MPa menurun menjadi 14,313 MPa pada suhu 300°C, lalu menjadi 12,618 MPa pada 400°C, dan 12,524 MPa pada 500°C. Penurunan ini mengindikasikan bahwa suhu tinggi mempercepat kerusakan struktur mikro beton yang telah terdegradasi oleh ion dari air laut.

Densitas justru sedikit meningkat pada suhu 300°C, lalu menurun saat suhu meningkat. Kenaikan kecil di suhu 300°C dapat disebabkan oleh penyusutan air bebas dari pori-pori yang membuat beton menjadi lebih padat sementara. Namun, pada suhu 400°C dan 500°C, pelepasan air terikat serta kerusakan gel C-S-H yang berperan sebagai pengikat utama pada semen, menyebabkan pelepasan massa tanpa pengurangan volume yang sebanding, sehingga densitas menurun.

Menariknya, porositas menurun pada 300°C namun kemudian meningkat secara tajam pada suhu yang lebih tinggi. Penurunan di awal dapat dihubungkan dengan penyumbatan pori akibat kristalisasi garam atau pengeringan sementara. Namun pada suhu 400°C dan 500°C, retakan termal dan pelepasan air kimiawi menyebabkan meningkatnya rongga pori. Ini mendukung temuan penurunan kuat tekan dan densitas, karena peningkatan porositas menurunkan ketahanan mekanik beton.

Berdasarkan SNI 2847:2019, hanya beton normal yang memenuhi syarat kuat tekan minimum 17 MPa untuk struktur bangunan, sementara beton setelah perlakuan tidak layak digunakan sebagai elemen struktural.

Selain itu, kuat tekan beton normal yang direncanakan sebesar 25 MPa tidak tercapai, dengan hasil hanya 20,056 MPa. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pencampuran material yang tidak homogen, proses curing yang kurang optimal, tidak dilakukannya capping sebelum pengujian, serta keterbatasan pengalaman peneliti dalam melakukan desain campuran. Faktor-faktor ini secara keseluruhan memengaruhi mutu beton yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH, serta semua pihak di Laboratorium Teknik Sipil atas dukungannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- Arifin, M. (2014). Pengaruh Suhu dan lama Pemanasan terhadap Nilai Kalor pada Alga Spirogyra. 19–26.
- Badan Standardisasi Nasional. (1974). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002. SNI 03-2847-2002, 251.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). Tata Cara Penentuan Campuran Beton Normal Dengan Semen Opc, Ppc, Dan Pcc. 5.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Sni 2847-2019, 8, 37.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2014). SNI 7064-2014 Semen Portland Komposit. Badan Standardisasi Nasional (BSN), 1.
- Hillah, F. F., Firdaus, R., Kurnia, F. W., Zea, J. M., & Nourma, M. (2022). Penerapan Keselamatan Kerja Melalui Sosialisasi Dan Pelatihan Penggunaan Apar (Alat Pemadam Api Ringan) Di Universitas X. SWARNA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 1(4), 462–467.
- Irawan, D. (2023). Abstract the Influence of Seawater on the Mechanical Properties of Concrete and the Physical Properties of Concrete.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th Edition. McGraw-Hill.
- Neville, A. M. (2011). Properties of Concrete. 5th Edition. Pearson.
- Prabowo, H. (2017). Estimasi Umur Layan Struktur Beton Bertulang Terpapar Ion Klorida Pada Infrastruktur Sungai Kota Pontianak. Researchgate.Net, May, 1–6.
- Prasetya, R., & Abduh, M. (2021). Kuat Tekan Dan Durabilitas Beton Setelah Paparan Suhu Tinggi 400°C, 600°C Dan 800°C.
- Rahmad Afandi. (2012). Pengaruh Suhu Dan Durasi Pemanasan Terhadap Perubahan Karakteristik Beton Paska Bakar.
- Seni, W., Kala, P. R., Karma, T., Raisah, P., Zahara, H., Idroes, G. M., Bakri, A., Ichsan, M., & Rukmana, S. M. (2023). Penyuluhan Penanggulangan Kebakaran Kompor Gas Menggunakan Alat Pemadam Api Tradisional.
- Sidiq, F. A., & Walujodjati, E. (2021). Meninjau Kekuatan Beton Pada Lingkungan Air Laut Pameungpeuk Kabupaten Garut.
- SNI 1974-2011. (1974). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder.

- Suhartana, S. (2007). Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Bahan Baku Arang Aktif dan Aplikasinya untuk Penjernihan Air Sumur di Desa Asinan Kecamatan Bawen Kabupaten Semarang. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 10(3), 67-
- Trial, M., & Vi, K. (2022). Teknologi Beton Teknologi Beton. 1-42.
- Wedhanto, S. (2015). Pengaruh Air Laut Terhadap Kekuatan Tekan Beton Terbuat dari Berbagai Tipe Semen yang Dijual di Toko Bangunan di Kota Malang. *ReTII*, 435-441.
- Yulismawati, R., Olivia, M., & Saputra, E. (2021). Durabilitas Beton Sekat Kanal Terpapar Air Gambut dan Air Laut. *Jurnal Teknik*, 15(2), 137-147.