

POROSITAS, KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON DENGAN AGREGAT KASAR BATU PECAH PASCA DIBAKAR

A.A. Gede Sutapa

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar

Email: agungsutapa@yahoo.com

Abstrak: Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan volume pori-pori (volume yang ditempati oleh fluida) terhadap volume total beton. Porositas penting diteliti terutama pada bangunan tepi pantai dan bangunan yang bersinggungan dengan tanah. Air garam yang mengandung sulfat dan klorida dapat mendesak pori-pori beton sehingga beton pecah menjadi serpihan-serpihan lepas yang dapat mengurangi kekuatan beton itu sendiri. Peningkatan porositas diduga berhubungan dengan penurunan kekuatan beton pasca bakar. Penelitian dilakukan terhadap kekuatan tekan, tarik belah dan porositas silinder beton pasca bakar dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pembakaran benda uji dilakukan setelah umur beton 28 hari. Pembakaran dimulai pada temperatur tungku 34 °C sampai mencapai temperatur maksimum ± 800 °C yang dicapai pada menit ke 180. Temperatur tersebut kemudian dipertahankan selama 20 menit, sehingga proses pembakaran berlangsung selama 200 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan porositas beton sebanding dengan volume beton yang mengalami penetrasi panas dengan temperatur 400-800 °C. Hal lain juga menunjukkan bahwa porositas beton yang meningkat sebesar 20,695 % tersebut menyebabkan kuat tekan turun sebesar 53,665 % dan kuat tarik belah turun sebesar 49,641 %.

Kata kunci: Porositas beton, penetrasi panas, kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, pasca pembakaran.

POROSITY, COMPRESSIVE STRENGTH AND SPLITTING TENSILE STRENGTH OF POST-BURNT CONCRETE WITH STONE CRUSHED OF COARSE AGGREGATE

Abstract: Porosity can be defined as a ratio of pore volume (volume occupied by the fluid) to total volume of concrete. Porosity in concrete is important to be studied; especially for materials of seaside buildings and buildings attaching the ground. Salt water containing sulfate and chloride can press the pores of concrete so that concrete cracks into loose flakes and its strength reduces. An increase in porosity is thought to associate with a reduced strength of post-burnt concrete. Research was conducted to study the compressive strength, splitting tensile and porosity of post-burnt concrete using cylinders of 150 mm diameter and 300 mm high. Burning of samples was carried out after 28 days of age. The burning was started at an oven temperature of 34 °C until it reached a maximum temperature of ± 800 °C achieved at minute of 180 and then it held on for another 20 minutes, so that the burning process lasted for 200 minutes. The test results showed that the increase in porosity of concrete is proportional to the volume of concrete that had hot penetration with temperature 400-800 °C. The porosity of concrete increased by 20.695%, which resulted in the decrease of compressive strength and splitting tensile strength by 53.665% and 49.641% respectively.

Keyword : Porosity of concrete, hot penetration, compressive strength of concrete, splitting tensile strength of concrete, after burning.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan volume pori-pori (volume yang dapat ditempati oleh fluida) terhadap volume total beton. Ruang pori pada beton umumnya terjadi akibat kesalahan dalam pelaksanaan dan pengecoran seperti: faktor air-semen yang berpengaruh pada lekatan antara pasta semen dengan agregat, besar kecilnya nilai slump, pemilihan tipe susunan gradasi agregat gabungan, maupun terhadap lamanya pemadatan. Semakin tinggi tingkat kepadatan pada beton maka semakin besar mutu beton itu sendiri, sebaliknya semakin besar porositas beton, maka kekuatan beton akan semakin kecil.

Penelitian terhadap porositas lebih didasarkan dari segi keawetan dan kekuatan beton itu sendiri. Dari segi keawetan, porositas sangat penting diteliti terutama pada bangunan tepi pantai dan bangunan yang bersinggungan dengan tanah. Pada bangunan tepi pantai, beton akan bersinggungan dengan air garam yang mengandung sulfat dan klorida yang dapat meresap ke dalam beton sehingga dapat merusak bahkan menghancurkan beton. Kerusakan beton terjadi ketika kedua zat tersebut menguap sehingga di dalam pori-pori beton timbul kristal-kristal sulfat dan klorida yang akan mendesak pori-pori dinding beton. Akibatnya, beton pecah menjadi serpihan-serpihan lepas. Karena proses tersebut berjalan terus menerus dalam kurun waktu lama, kekuatan beton akan berkurang dan terancam hancur. Selain garam air laut, kandungan sulfat ($MgSO_4$, $CaSO_4$, $NaSO_4$) juga dapat menggerogoti beton. Akibatnya beton akan retak-retak, bahkan menjadi rapuh. $MgSO_4$ bahkan mampu melarutkan beton, sehingga yang tertinggal hanyalah batu-batu kerikil dan pasir tanpa semen (Sudarmadi, 2006).

Beton pasca terbakar umumnya memiliki persentase porositas yang lebih besar dibandingkan beton tanpa bakar. Hal ini disebabkan karena terjadi perbedaan angka muai antara agregat dan pasta semen. Jika suhu dinaikkan hingga $800^\circ C$, maka pasta semen akan menyusut dan agregat mengembang sehingga akan terdapat pori-pori yang lebih besar terutama pada agregat kasar. Selain itu juga terdapat retakan yang terjadi akibat tekanan uap air atau gas yang terperangkap pada beton yang tidak mudah mengalir melalui pori-pori ke daerah yang lebih dingin. Retakan pada beton tersebut juga memperbesar ruang pori pada beton sehingga mempengaruhi besarnya persentase porositas.

Berdasarkan uraian di atas maka penelitian ini mencoba meneliti hubungan peningkatan porositas dengan kuat tekan dan kuat tarik belah beton pasca bakar. Selain itu juga akan diteliti hubungan kedalaman penetrasi panas terhadap persentase porositas beton pasca bakar.

MATERI DAN METODE

Sifat-Sifat Beton Akibat Pengaruh Temperatur Tinggi

Pengaruh pemanasan sampai pada temperatur $200^\circ C$ sebenarnya menguntungkan terhadap beton, karena akan menyebabkan penguapan air (dehidrasi) dan penetrasi ke dalam rongga-rongga beton lebih dalam, sehingga memperbaiki sifat lekatan antar partikel-partikel C-S-H. Penelitian oleh Rochman (2006) menunjukkan bahwa kuat tekan beton benda uji silinder maupun kuat lentur benda uji yang dipanaskan dalam tungku pada temperatur $200^\circ C$ meningkat sekitar 10-15% dibandingkan dengan beton normal yang tanpa dipanaskan. Pada suhu antara $400-600^\circ C$, penurunan kuat tekan dan kuat lentur hingga mencapai 50% dari kuat tekan sebelumnya. Penurunan ini disebabkan

karena adanya proses dekomposisi unsur C-S-H yang terurai menjadi kapur bebas CaO serta SiO₂ yang tidak memiliki kekuatan sama sekali. Karena unsur C-S-H merupakan unsur utama yang menopang kekuatan beton, maka pengurangan C-S-H yang jumlahnya cukup banyak akan sangat mengurangi kekuatan beton. Jika suhu dinaikkan sampai mencapai 1000°C terjadilah proses karbonisasi yaitu terbentuknya Calcium Carbonat (CaCO₃) yang berwarna keputih-putihan sehingga merubah warna permukaan beton menjadi lebih terang. Disamping itu pada temperatur ini terjadi penurunan lekatan antara batuan dan pasta semen, yang ditandai oleh retak-retak dan oleh kerapuhan beton (mudah dipecah dengan tangan).

Porositas Beton

Berdasarkan ASTM C 642-90, untuk mencari porositas beton dapat digunakan Persamaan (1):

$$n = \frac{C - A}{C - D} \times 100\% \tag{1}$$

Dimana:

n = Porositas benda uji (%); A = Berat kering oven benda uji (kg); C = Berat beton jenuh air setelah pendidihan (kg); D = Berat beton dalam air (kg).

Penetrasi Panas

Pengujian penetrasi panas dapat dilakukan dengan melakukan pengujian kimia (*Chemical Test*). Uji ini bertujuan untuk melihat hubungan antara unsur-unsur kimia yang terkandung dalam beton, khususnya kapur bebas (CaO), dan temperatur yang pernah dialami beton. Dengan me-

ngetahui temperatur yang pernah dialami beton pasca bakar kita dapat memprediksi besarnya kuat tekan yang masih dimiliki dan besarnya porositas yang terjadi. Hasil-hasil pengamatan secara kimia selanjutnya digunakan sebagai pembanding dari hasil uji fisik.

Metode Penelitian

Benda Uji

Pembuatan benda uji dalam penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Mutu beton yang digunakan akan didesain dengan kuat tekan rencana f'c = 25 MPa. Beton mengalami 2 perlakuan yaitu perlakuan standar (tanpa pembakaran) dan pasca bakar. Setiap perlakuan mendapatkan 6 kali pengulangan. Rencana jumlah benda uji yang akan dibuat dapat dilihat pada Tabel 1.

Pembakaran Beton

Pembakaran benda uji dilakukan dengan menggunakan tungku pembakaran keramik BPPT. Pembakaran dilakukan pada suhu ruangan (27°C), suhu yang ditargetkan adalah 800°C yang direncanakan pada menit ke-180 (3 jam) kemudian dipertahankan selama 20 menit sehingga proses pembakaran berlangsung selama 200 menit. Setelah itu proses pembakaran dihentikan dan didiamkan agar mencapai suhu ruangan. Pencatatan suhu menggunakan Pyrometer digital dan pengaturan temperatur menggunakan regulator tekanan gas.

Tabel 1. Rencana jumlah benda uji untuk pengujian porositas beton

Ulangan	Porositas		Kuat Tekan		Kuat Tarik Belah		Jumlah
	Tanpa Bakar	Bakar	Tanpa Bakar	Bakar	Tanpa Bakar	Bakar	
I	1	1	1	1	1	1	6
II	1	1	1	1	1	1	6
III	1	1	1	1	1	1	6
IV	1	1	1	1	1	1	6
V	1	1	1	1	1	1	6
VI	1	1	1	1	1	1	6
Jumlah Benda Uji							36 buah

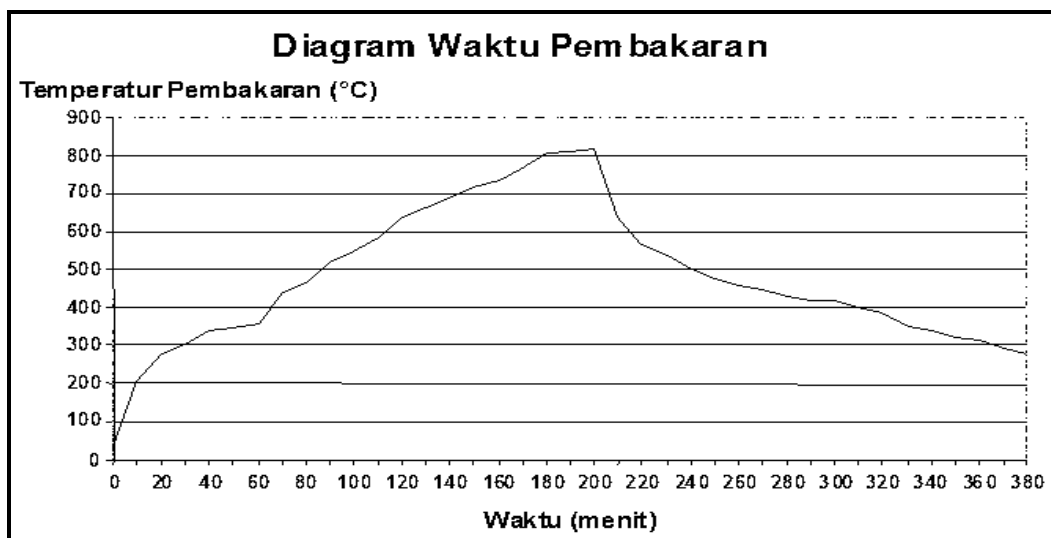
Pengujian Beton

Pengujian porositas, kuat tekan dan kuat tarik belah beton dilakukan terhadap beton tanpa bakar dan beton pasca bakar. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi Beton Jurusan Sipil UNUD. Pengujian penetrasi panas, porositas, kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan mesin desak dapat dilakukan jika benda uji telah mencapai suhu ruangan.

Pembakaran Beton

Pengaturan kenaikan suhu dilakukan dengan kontrol terhadap tekanan gas dengan menggunakan regulator tekanan gas. Pencatatan kenaikan temperatur dilakukan setiap 10 menit dengan menggunakan Pyrometer/thermocouple digital. Pengamatan penurunan suhu setelah pembakaran dilakukan selama 180 menit. Data dari hasil pengamatan kenaikan temperatur tungku pembakaran dicatat pada table, kemudian diplot dalam suatu sistem diagram garis seperti terlihat pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1 Hubungan antara waktu dan temperatur tungku pembakaran

Berat Satuan Beton

Pemeriksaan berat satuan beton ini dilakukan untuk mengetahui perubahan berat yang terjadi akibat pembakaran benda uji dengan benda uji yang tidak dibakar.

Nilai Berat satuan rata-rata dari benda uji yang tanpa pembakaran dapat dilihat pada Tabel 2, dan nilai berat satuan dari hasil pengujian terhadap benda uji yang telah melewati proses pembakaran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2 Berat satuan rata-rata benda uji tanpa pembakaran

Benda Uji	Berat Satuan Rata-rata (kg/m ³)
Porositas	2356,279
Kuat Tekan	2360,209
Kuat Tarik Belah	2336,316
rata-rata	2350,935

Tabel 3 Berat satuan rata-rata benda uji dengan pembakaran

Benda Uji	Berat Satuan Rata-rata		Penurunan Berat Satuan (kg/m ³)	Persentase Penurunan (%)
	Sebelum Dibakar (kg/m ³)	Setelah Dibakar (kg/m ³)		
Porositas	2354,393	2140,457	213,936	9,887
Kuat Tekan	2360,052	2130,869	229,183	9,711
Kuat Tarik Belah	2335,373	2103,203	232,170	9,941
rata-rata	2349,939	2124,843	225,096	9,846

Pengujian Penetrasi Panas Pada Beton

Pengujian ini dilakukan dengan *Phenolphthalein test (PP-Test)*. Test ini menggunakan larutan *Phenolphthalein 5%* yang merupakan salah satu indikator kimia yang lazim digunakan untuk mengetahui sifat asam atau basa suatu material dengan cara menyemprot/mengoleskan pada serpihan setiap benda uji.

Pengujian Porositas Beton

Pengujian porositas beton dilakukan untuk membandingkan hasil porositas beton dengan hasil kuat tekan dan kuat tarik belah beton sebelum dan setelah pembakaran. Selain itu, hasil pengujian porositas beton juga digunakan untuk mengetahui pengaruh penetrasi panas terhadap porositas beton. Hasil pengujian porositas beton

rata-rata dari tiap-tiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil pengujian porositas beton

Pengulangan	Porositas (%)	
	Tanpa Pembakaran	Dengan Pembakaran
I	2,517	20,265
II	2,454	19,598
III	3,337	19,924
IV	3,260	22,062
V	3,056	20,525
VI	3,158	21,794
Porositas Rata-rata	2,964	20,695

Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata dari tiap-tiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil pengujian kuat tekan beton

Ulangan	Kuat Tekan (MPa)		Penurunan Kuat Tekan Beton (MPa)	Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton (%)
	Tanpa Pembakaran	Dengan Pembakaran		
I	30.558	14.713	15.845	51.852
II	32.255	15.845	16.411	50.877
III	30.558	14.147	16.411	53.704
IV	31.124	13.581	17.542	56.364
V	29.992	14.147	15.845	52.830
VI	31.124	13.581	17.542	56.364
rata-rata	30.935	14.336	16.599	53.665

Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Hasil pengujian kuat tarik belah beton

rata-rata dari tiap-tiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil pengujian kuat tarik belah beton

Ulangan	Kuat Tarik Belah (MPa)		Penurunan Kuat Tarik Belah Beton (MPa)	Prosentase Penurunan Kuat Tarik Belah Beton (%)
	Tanpa Pembakaran	Dengan Pembakaran		
I	3.254	1.556	1.698	52.174
II	3.395	1.698	1.698	50.000
III	3.112	1.415	1.698	54.545
IV	2.971	1.415	1.556	52.381
V	3.112	1.981	1.132	36.364
VI	2.971	1.415	1.556	52.381
rata-rata	3.136	1.580	1.556	49.641

Pembahasan

Pada pembakaran beton yang dilakukan hingga mencapai temperatur 800°C dengan lama pembakaran 180 menit dan dipertahankan temperaturnya selama 20 menit tersebut didapatkan berat satuan beton untuk masing-masing benda uji porositas, kuat tekan dan kuat tarik belah beton yang berkurang. Persentase penurunan berat satuan beton untuk pengujian porositas, kuat tekan dan kuat tarik belah beton berturut-turut yakni sebesar 9,887%, 9,711%, dan 9,941% dari berat satuan beton sebelum dilakukan pembakaran.

Hubungan Antara Porositas dengan Volume Beton yang Mengalami Penetrasi Panas pada Temperatur 800°C

Dalam hubungan porositas beton dengan volume beton yang mengalami penetrasi panas, dapat diketahui dengan menghitung perbandingan volume benda uji yang mengalami penetrasi panas terhadap volume total benda uji. Kedalaman penetrasi panas pada beton yakni 6-8 mm dari sisi terluar beton seperti sketsa pada Gambar 2.

Rumus volume benda uji total:

$$V_{total} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_t^2 \times L_t$$

dimana:

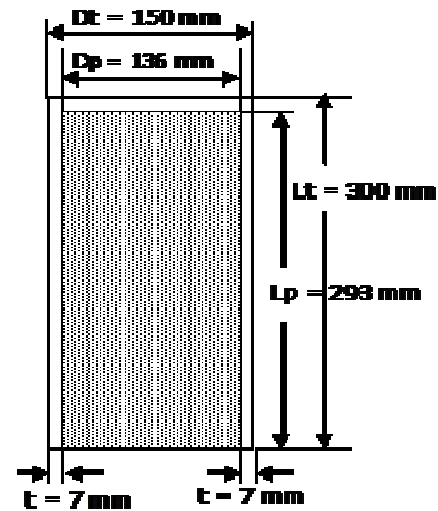
- V_{total} = volume total benda uji (mm³)
- D_t = diameter total benda uji (mm)
- L_t = tinggi total benda uji (mm)

Rumus volume benda uji yang tidak mengalami penetrasi panas:

$$V_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D_p^2 \times L_p$$

dimana:

- V_p = volume benda uji yang tidak mengalami penetrasi panas (mm³)
- D_p = diameter benda uji yang tidak mengalami penetrasi panas (mm)
- L_p = tinggi benda uji yang tidak mengalami penetrasi panas (mm)



Gambar 2 Dimensi Benda uji yang mengalami penetrasi panas

Rumus persentase volume beton yang mengalami penetrasi panas terhadap volume total beton:

$$n_p = \left(\frac{V_{total} - V_p}{V_{total}} \right) \times 100\%$$

dimana: n_p = persentase volume beton yang mengalami penetrasi panas (%); V_p = volume benda uji yang tidak mengalami penetrasi panas (mm³); V_{total} = volume total benda uji (mm³)

Berikut ini perhitungan persentase volume beton yang mengalami penetrasi panas beton:

Volume total beton: Volume yang tidak mengalami penetrasi panas:

$$V_{total} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_t^2 \times L_t$$

$$\begin{aligned} V_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_p^2 \times L_p \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 150^2 \times 300 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 136^2 \times 293 \\ &= 4254172,48 \text{ mm}^3 \\ &= 5298750 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Persentase penetrasi panas

$$= \left(\frac{V_{total} - V_p}{V_{total}} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{5298750 - 4254172,48}{5298750} \right) \times 100\% = 19,714\%$$

Perhitungan persentase volume beton yang mengalami penetrasi panas dihitung dengan mengambil kedalaman penetrasi panas rata-rata sedalam 7 mm dari sisi terluar beton disekeliling sisi beton kecuali pada dasar beton.

Dari data diatas diperoleh hasil perhitungan persentase volume beton yang mengalami penetrasi panas sebesar 19,714%, sedangkan pada pengujian porositas beton, diperoleh hasil perhitungan peningkatan persentase porositas beton rata-rata sebesar 20,695%. Ini berarti sebagian besar porositas beton terjadi pada sisi terluar beton yakni pada kedalaman 6-8 mm.

Hubungan Antara Porositas, Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton

Peningkatan persentase porositas memiliki keterkaitan terhadap penurunan kuat tekan maupun kuat tarik belah beton. Hubungan peningkatan persentase porositas terhadap penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 7.

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat bahwa hasil pengujian beton setelah dilakukan pembakaran diperoleh hasil porositas beton tanpa pembakaran sebesar 2,964% dan setelah dilakukan pembakaran porositas meningkat menjadi sebesar 20,695%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa dengan porositas sebesar 20,695% kuat tekan beton turun sebesar 53,665% dan kuat tarik belah beton turun sebesar 49,641%.

Tabel 7 Persentase porositas, penurunan kuat tekan dan penurunan kuat tarik belah beton

Ulangan	Porositas (%)		Penurunan Kuat Tekan (%)	Penurunan Kuat Tarik Belah (%)
	Tanpa Pembakaran	Dengan Pembakaran		
I	2.517	20.265	51.852	52.174
II	2.454	19.598	50.876	50.000
III	3.337	19.924	53.704	54.545
IV	3.260	22.062	56.365	52.381
V	3.056	20.525	52.831	36.364
VI	3.158	21.794	56.365	52.381
Rata-rata	2.964	20.695	53.665	49.641

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Pembakaran beton yang dilakukan hingga mencapai temperatur 800°C dengan lama pembakaran 3 jam dan dipertahankan temperaturnya selama 20 menit tersebut didapat persentase porositas sebesar 20,695% sedangkan persentase porositas sebelum dibakar sebesar 2,964%. Besarnya peningkatan persentase porositas pasca pembakaran yakni sebesar 17,731%.

Kuat tekan beton untuk beton dengan kondisi standar (tanpa pembakaran) diperoleh kuat tekannya sebesar 30,935 MPa. Sedangkan untuk beton dengan kondisi pasca pembakaran diperoleh kuat tekan-

nya sebesar 14,336 MPa. Dari data tersebut diperoleh persentase penurunan kuat tekan yang cukup besar yakni sebesar 53,665%. Untuk kuat tarik belah beton pada kondisi standar (tanpa pembakaran) diperoleh kuat tarik belahnya sebesar 3,136 MPa, sedangkan pada kondisi pasca pembakaran diperoleh kuat tarik belahnya sebesar 1,580 MPa. Persentase penurunan kuat tarik belah beton pasca pembakaran yakni sebesar 49,641%. Dalam hal ini, dengan porositas sebesar 20,695% kuat tekan beton turun sebesar 53,665% dan kuat tarik belah beton turun sebesar 49,641%.

Penetrasi panas pada beton pasca pembakaran berkisar antara 6-8 mm dari sisi terluar beton. Dalam hubungan poro-

sitas beton dengan volume beton yang mengalami penetrasi panas yakni sebagian besar porositas terjadi pada volume beton yang mengalami penetrasi panas. Besarnya volume beton yang mengalami penetrasi panas setelah dilakukan pembakaran yakni sebesar 19,764%, sedangkan persentase porositas beton setelah dilakukan pembakaran sebesar 20,695%.

Saran

Penelitian mengenai hubungan volume penetrasi panas terhadap peningkatan porositas maupun hubungan peningkatan porositas terhadap penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah beton sangat menarik untuk diteliti, sehingga dapat disarankan perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai porositas dengan menggunakan benda uji yang berbeda ukuran untuk mengetahui pengaruh besarnya porositas terhadap ukuran benda uji yang digunakan sebelum maupun pasca pembakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1990. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI T-15-1990-03)*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim, 1995. *Perubahan Perilaku Beton Mutu Normal Pada Temperatur Tinggi Pasca Kebakaran*. Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, Website : <http://library.gunadarma.co.id>
- Anonim, 2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- ASTM, 1990. *Standard Test Method for Specific Gravity, Absorption, and Void in Hardened Concrete (ASTM C 642-90)*. Website : <http://www.astm.org>
- Clark, J. 2002. *Acid-Base Indicators*. Website : <http://en.wikipedia.org>
- Kardhiana, 2003. *Pengaruh Kebakaran Berulang Terhadap Kualitas Beton*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar.
- Kumar, S. 1998. *Rehabilitasi Kerusakan Struktur Akibat Kebakaran*. Website : <http://www.Google.com>
- Murdock, L.J. 1991. *Bahan dan Praktek Beton*, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Partowiyatmo, A. 2005. *Pemulihan Kekuatan Beton Pasca Kebakaran*. Website : <http://www.proyeksi.com>
- Prema, P. 2008. *Pengaruh Variasi Gradasi Agregat Gabungan dengan Agregat Kasar Batu Kapur Kristalin Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar.
- Rochman, A. 2006. *Gedung Pasca Bakar Estimasi Kekuatan Sisa dan Teknologi Perbaikannya*. Website : <http://www.Google.com>
- Saba, A. 2007. *Pengaruh Variasi Temperatur Tinggi Terhadap Kuat Tekan Beton*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar.
- Samekto, W. dan Rahmadiyanto, C. 2005. *Teknologi Beton*, Edisi Kelima, Kenisius, Deresan Yogyakarta.
- Schneider, U. Nagele, E, 1998. *Penelitian Terhadap Beton Pasca Kebakaran*. Website : <http://www.Google.com>
- Subakti, A. 1995. *Teknologi Beton Dalam Praktek*, Laboratorium Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, ITS Surabaya.
- Sudarmadi, M. 2006. *Garam Sulfat dan Klorida, Laten Bagi Kekuatan Beton Bangunan*. Website <http://www.proyeksi.com>