

RESPON KUAT TEKAN HAMMER TEST DENGAN COMPRESSION TEST PADA BETON NORMAL DAN BETON PASCA BAKAR

R. Arwanto ¹

ABSTRACT

Obtaining the concrete compression strength with the Swiss Hammer is a standard and well-known procedure. However, the use of this apparatus on concrete exposed to physical and chemical changes due to high temperature, is questioned. Research was conducted to validate the hammer test results on these specific concrete elements. The investigations were executed at the Pasar Induk Wonosobo, Wonosobo's main market as case study. This local market was severely burned. The research work was done by compression strength comparison obtained from the Hammer on the field, to the tests results performed on laboratory samples. The research work proved that there was a substantial deviation in concrete compression strength obtained from the values of the Hammer on the field as compared to the cylinders tested in the laboratory. Therefore, the Swiss Hammer was found not suitable for non-destructive compression testing on concrete elements exposed to high temperatures due to fire or burning.

Keywords : Concrete, Hammer Test, Compression Test

PENDAHULUAN

Terjadinya perubahan temperatur yang cukup tinggi, seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran, akan membawa dampak pada struktur beton. Karena pada proses tersebut akan terjadi suatu siklus pemanasan dan pendinginan yang bergantian, yang akan menyebabkan adanya perubahan fase fisis dan kimiawi secara kompleks.

Pengujian dengan alat *hammer* untuk mengetahui kekuatan beton pada struktur bermasalah, termasuk struktur yang terbakar, sudah sering dilakukan. Penggunaan *hammer test* sebagai pembandingan *compression test* pada beton kondisi normal saat ini sudah secara luas digunakan dan sudah memiliki standarisasi. Namun lebih lanjut timbul pertanyaan apakah *hammer test* akan menghasilkan kuat tekan yang bisa diterima kebenarannya dibandingkan nilai kuat tekan dari hasil *compression test*.

KERANGKA TEORITIS

Pengaruh Temperatur Tinggi Pada Beton

Ketahanan beton terhadap temperatur tinggi dihasilkan oleh daya hantar panas beton yang rendah dan kekuatan yang tinggi. Penambahan cover beton, kekuatan, density, dan sifat kedap air mempertinggi ketahanan thermal beton (Raina, 1989).

Efek yang paling utama dari pemanasan beton dalam hubungannya dengan sifat muai thermal adalah spalling (rompal atau rontok). Beberapa tipe agregat, misalnya silika, akan pecah karena ada perubahan pada struktur kristalnya, meskipun proses ini hanya terjadi pada permukaan betonnya saja tetapi secara individual partikel ini akan terlepas sendiri-sendiri. Bisa juga terjadi efek yang lebih serius yaitu hancurnya lapis permukaan karena pemuaiian *thermal* dan ditambah lagi adanya tekanan yang

¹ Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Respon Kuat Tekan Hammer Test dengan Compression Test pada Beton Normal dan Beton Pasca Bakar

dihasilkan dari uap air yang terjebak di dalam pori beton. (Taylor, 2002).

Jika temperatur cukup tinggi akan terjadi retak, bahkan juga pada beton massif, tergantung dari lamanya kebakaran. Kebakaran dengan temperatur 1000 °C selama satu atau dua jam akan menyebabkan beton tidak lagi dapat berfungsi sebagai material struktur, hal ini ditandai dengan meluasnya *spalling* dan terlihatnya tulangan utama struktur dan menunjukkan tanda-tanda *scaling*.

Sebuah *test* menunjukkan bahwa dengan temperatur 700 °C, panas merambat ke bagian dalam dan mencapai temperatur yang bervariasi sesuai ketebalannya.

Kuat Tekan Beton

Pengujian yang paling umum dilakukan untuk beton yang sudah mengeras adalah uji kuat tekan, hal ini bisa jadi karena pengujian ini mudah untuk dilaksanakan, karakteristik beton yang diinginkan berhubungan erat dengan kuat tekannya, dan yang paling utama adalah karena kuat tekan menjadi faktor penting dalam desain struktur. (Neville, 2002)

Hasil dari uji tekan ini bisa bervariasi disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya tipe benda uji, ukuran benda uji, tipe cetakan, curing, keadaan permukaan benda uji, dan kekakuan mesin uji tekan.

- Pengujian dengan *Compression Testing Machine*

Pengujian dengan alat ini sudah sangat meluas digunakan di berbagai negara. Pengujian bisa dilakukan dengan berbagai tipe mesin, baik yang digerakkan otomatis oleh sistem hidrolis ataupun dengan sistem hidrolis yang masih manual, juga dengan berbagai mesin menurut kapasitas maksimumnya.

Dalam pengujian tekan dengan mesin ini bisa timbul ketidaktekelitian yang disebabkan oleh beberapa hal, seperti kesalahan di

dalam meletakkan benda uji tepat di tengah, ausnya pelat, geseran pada dudukan bulat pada plat desak bagian atas, juga ketidaktekelitian kalibrasi mesin itu sendiri. (Murdock dan Brook, 1979)

- Pengujian dengan *Hammer Beton*

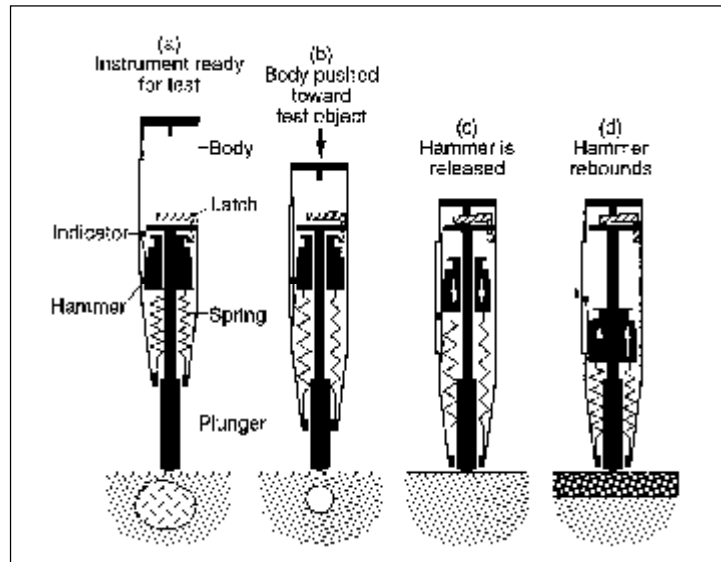
Hammer beton pertama kali dikembangkan oleh seorang insinyur berkebangsaan Swiss, Dr. Ernst Schmidt, pada tahun 1948, yang selanjutnya lebih dikenal sebagai *Swiss Hammer*. (Kett, 2000) Dasar pengembangan dari alat ini adalah sistem pengujian tempo dulu dimana untuk mengetahui keadaan dari suatu beton pada sebuah konstruksi, para pekerja biasa memukul beton tersebut dengan sebuah *hammer* dan menilai keadaan beton tersebut dari suara metalik yang dihasilkannya. (Prosecc Manual Book, 1977)

Swiss Hammer merupakan salah satu *non destructive testing apparatus* yang mudah digunakan secara langsung di lapangan, namun penggunaannya tidak bisa secara langsung menggantikan *compression test* dan juga tidak bisa digunakan untuk mengukur kuat tekan beton secara akurat. (Fintel, 1985) *Hammer test* biasa digunakan untuk memeriksa keseragaman dari sebuah struktur beton, untuk menentukan lokasi dimana dimungkinkan terdapat beton yang berkualitas rendah sehingga bisa diputuskan apakah perlu dilakukan *core drill* atau tidak, dan juga untuk memperkirakan kekuatan beton di lapangan sesuai dengan umurnya sehingga bisa diketahui apakah beton tersebut sudah layak untuk diberi beban atau tidak. (ASTM Standards, 2002).

Prinsip kerja *Swiss Hammer* akan menghasilkan sebuah nilai *rebound* sesaat setelah tangkai baja (*plunger*) masuk ke dalam *hammer* karena ada gaya dorong ke arah permukaan beton. Nilai *rebound* ini dihasilkan dari gaya reaksi hantaman beban di dalam *hammer* melalui *plunger* ke permukaan beton, gaya reaksi tadi memberikan tolakan berlawanan kepada beban yang kemudian menggerakkan

sebuah *pointer* sampai ke titik tertentu yang bisa terbaca pada skala ukur. Nilai *rebound* inilah yang kemudian akan menunjukkan

kuat tekan beton setelah dikonversi melalui grafik atau tabel yang ada pada *hammer* beton sesuai sudut penembakan.



Gambar 1. Ilustrasi Skematik Cara Kerja *Rebound Hammer* (ACI 228. 1R-95)

METODE PENELITIAN

Penelitian di laboratorium

Pada penelitian ini menggunakan metode *experimen* yaitu mengadakan percobaan dengan menggunakan sampel beton dengan mutu beton yang direncanakan, sehingga dapat diperoleh besaran-besaran yang akan diteliti. Adapun besaran yang dipakai sebagai acuan adalah nilai kuat tekan dari hasil *compression test*.

- Pelaksanaan Penelitian

Adapun tahap-tahap dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- **Pemeriksaan Material**

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui sifat atau karakteristik dari masing-masing bahan penyusun beton.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap material penyusun beton yaitu agregat halus, agregat kasar dan semen, sedangkan air yang digunakan sesuai dengan spesifikasi standar untuk air dalam SK SNI S – 04 – 1989 – F.

- **Pembuatan Benda Uji**

Benda uji dibuat di pabrik *ready mix concrete* , berupa silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

- **Perawatan Benda Uji (Curing)**

Curing ini mempunyai tujuan yaitu untuk menjaga permukaan beton agar selalu lembab dan beton tidak berhubungan dengan udara., sampai cukup kuat untuk menahan retak akibat penyusutan. (Longman dan Taylor, 2002)

Respon Kuat Tekan Hammer Test dengan Compression Test pada Beton Normal dan Beton Pasca Bakar

Curing mempunyai maksud untuk menjamin proses hidrasi semen dapat berlangsung dengan sempurna, sehingga retak-retak pada permukaan beton dapat dihindari serta mutu beton dapat lebih terjamin. Proses perawatan benda uji ini yaitu merendam benda uji dalam bak perendam berisi air pada temperatur 25 °C selama waktu yang dikehendaki. (SK SNI M – 14 – 1989 – F).

- **Pembakaran Benda Uji**
Setelah *curing* selama 28 hari, kemudian dilakukan pembakaran dengan durasi pembakaran 3 jam. Temperatur pada tungku berkisar 350 °C, pada penelitian ini menggunakan temperatur air raksa dengan suhu maksimal yang dapat terukur 360 °C.
- **Pelapisan Permukaan Benda Uji (*Capping*)**
Pelapisan ini bertujuan untuk meratakan permukaan benda uji yang akan diperiksa, sehingga penyaluran tegangan dari alat *compression* dapat tersebar secara merata pada permukaan benda uji.
- **Pengujian Benda Uji**
Pengujian ini dilakukan pada usia benda uji 40 hari. Adapun jenis pengujian yang dilakukan adalah *hammer test* dan *compression test*.

Investigasi Pasar Induk Wonosobo

Kegiatan ini dilakukan di lapangan yaitu di Pasar Induk Wonosobo Jawa Tengah, dan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.

Untuk melaksanakan kegiatan ini, akan digunakan bahan-bahan berupa sampel atau benda uji material beton (*sample coring*), yang diambil langsung dari elemen-elemen struktur bangunan gedung Pasar Induk Wonosobo yang terbakar. Pengamatan di laboratorium dilakukan pada benda uji hasil pengujian merusak

(*distructive test*) untuk memeriksa sampel material beton yang diambil dari elemen-elemen struktur yang terbakar.



Gambar 2. *Hammer Test* Pada Elemen Balok Pasar Induk Wonosobo

Metoda Analisa Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang berupa data-data kuantitatif (numeris) akan dianalisa menggunakan metoda-metoda statistik yang berkaitan, yaitu statistik deskriptif dan statistik inferensi. Output yang diharapkan dari analisa ini adalah kesimpulan kuantitatif dan kesimpulan kualitatif.

Metoda statistika deskriptif berkenaan dengan pengumpulan, pengolahan, penyajian, dan penganalisaan data sehingga dapat memberikan gambaran yang sistematis dan teratur tentang penelitian ini. Analisa statistik deskriptif dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Dalam analisa ini digunakan pendekatan secara deduktif yaitu dari hal-hal yang bersifat umum menuju yang bersifat khusus.

Metoda statistika inferensi berkenaan dengan pengolahan lebih lanjut terhadap data yang telah dianalisa guna penafsiran

dan membantu dalam penarikan kesimpulan.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Tabel berikut menyajikan beberapa parameter dari populasi data *compression test* sebelum uji keseragaman (*index* notasi 1) dan sesudah uji keseragaman (*index* notasi 2) antara lain jumlah elemen populasi (*n*), rerata atau mean (μ), dan standar deviasi populasi (σ).

Tabel 1. Parameter Populasi Hasil Analisa *Compression Test*

Parameter	Populasi			
	Tak Bakar D1	Bakar D1	Tak Bakar D2	Bakar D2
n₁	13	13	17	12
μ₁ (MPa)	31.842	22.418	42.924	28.742
σ₁ (MPa)	1.978	1.609	3.857	2.241
n₂	10	8	13	8
μ₂ (MPa)	31.60	22.21	43.51	29.07
σ₂ (MPa)	1.17	0.91	2.12	1.27

Dari Tabel 1 tampak adanya perubahan kuat tekan setelah beton mengalami pembakaran. Respon perubahannya ditentukan sebagai berikut :

- Benda uji D1 :
Perubahan

$$= \frac{22.21 - 31.60}{31.60} \times 100 \% = -29.715 \%$$
- Benda uji D2 :
Perubahan

$$= \frac{29.07 - 43.51}{43.51} \times 100 \% = -33.188 \%$$
- Rata-rata :

$$\text{Perubahan} = \frac{-29.715 - 33.188}{2} = -31.452 \%$$

Tabel 2. Parameter Populasi Hasil Analisa *Hammer Test*

Parameter	Populasi			
	Tak Bakar D1 _H	Bakar D1 _H	Tak Bakar D2 _H	Bakar D2 _H
n₁	13	13	17	12
μ₁ (MPa)	27.739	30.785	34.246	34.914
σ₁ (MPa)	0.689	1.574	1.228	0.853
n₂	9	9	12	7
μ₂ (MPa)	27.47	30.54	34.44	34.69
σ₂ (MPa)	0.36	0.69	0.67	0.62

Berdasarkan Tabel 2, tampak adanya perubahan kuat tekan hasil *hammer test* setelah beton mengalami pembakaran. Respon perubahannya ditentukan sebagai berikut :

- Benda uji D1 :
Perubahan

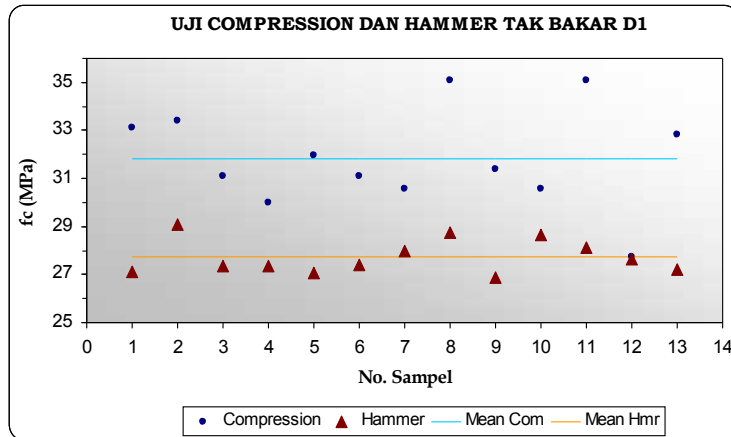
$$= \frac{30.54 - 27.47}{27.47} \times 100 \% = 11.178 \%$$
- Benda uji D2 :
Perubahan

$$= \frac{34.69 - 34.44}{34.44} \times 100 \% = 0.726 \%$$
- Rata-rata :
Perubahan

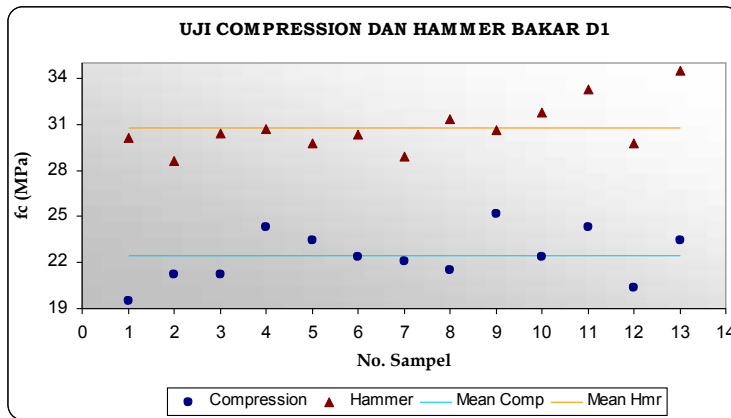
$$= \frac{11.178 + 0.726}{2} = 5.952 \%$$

Grafik-grafik di bawah ini menggambarkan relasi dan pola hubungan nilai kuat tekan *compression* dan *hammer test* pada benda uji terbakar dan tidak.

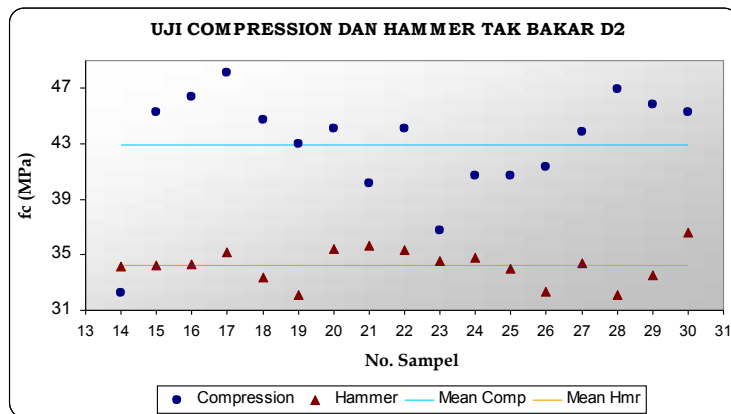
Respon Kuat Tekan Hammer Test dengan Compression Test pada Beton Normal dan Beton Pasca Bakar



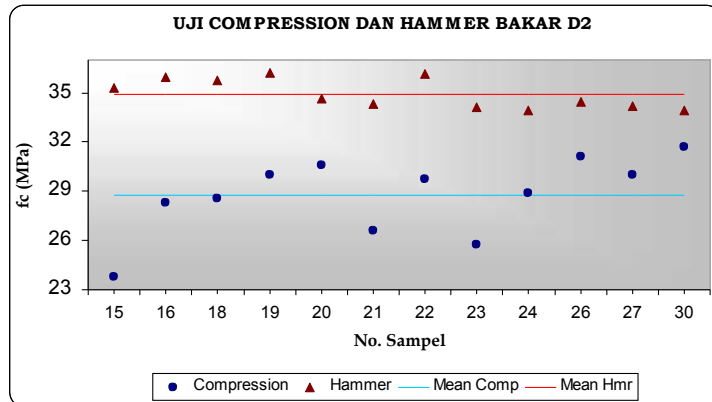
Gambar 3. Grafik Relasi *Compression Test* dan *Hammer Test* Tak Bakar D1



Gambar 4. Grafik Relasi *Compression Test* dan *Hammer Test* Bakar D1



Gambar 5. Grafik Relasi *Compression Test* dan *Hammer Test* Tak Bakar D2



Gambar 6. Grafik Relasi *Compression Test* dan *Hammer Test* Bakar D2

Dari grafik-grafik di atas tampak adanya perubahan pola hubungan pada benda uji bakar terhadap benda uji tak bakar, kesamaan perilaku yang ditunjukkan kedua mutu beton mempertegas respon ini.

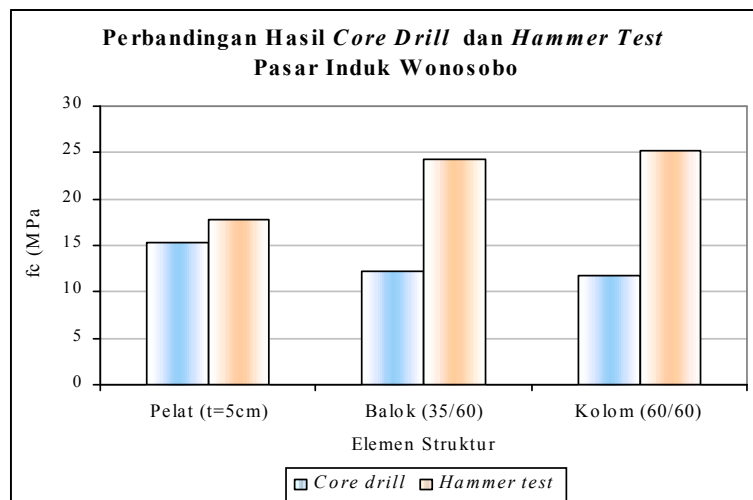
Investigasi Pasar Induk Wonosobo

Untuk mengetahui kualitas beton pasca kebakaran pada Pasar Induk Wonosobo, dilakukan pengujian dengan alat *hammer*. *Hammer test* dilakukan pada permukaan

beton kolom, balok maupun plat yang sudah dibersihkan dengan mengelupas plesteran.

Pengambilan inti beton dengan alat bor dengan diameter 35 – 75 mm (*core case*) dan 100 – 150 mm (*core drill*) untuk mendapatkan silinder inti beton di lapangan.

Dari hasil pengujian diperoleh grafik perbandingan kuat tekan dari hasil *Core Drill* dan *Core Case* dengan *Hammer Test*



Gambar 7. Grafik Perbandingan Hasil *Core Drill* dan *Core Case* dengan *Hammer Test*

Pengaruh Pembakaran pada Kuat Tekan

Dari analisa deskriptif kuantitatif uji tekan dapat ditarik kesimpulan bahwa pembakaran pada benda uji beton dalam penelitian ini menyebabkan turunnya nilai kuat tekan melalui pengujian dengan *Compression Testing Machine*.

Uji hipotesa yang dilakukan menunjukkan terjadinya penurunan nilai f_c dari *compression test* benda uji bakar dibandingkan f_c uji tekan benda uji tak bakar.

Adanya penurunan f_c ini terutama disebabkan oleh adanya perubahan *microstructure* pada beton karena terjadinya reaksi fisik dan kimia akibat temperatur tinggi selama pembakaran, antara lain :

- Terjadinya friksi antar material penyusun beton akibat perbedaan koefisien muai *thermal* materi penyusun yang cukup besar. Jika perbedaan koefisien muai agregat dan pasta semen terlalu besar maka apabila terjadi perubahan suhu dapat mengakibatkan perbedaan gerakan sehingga dapat melepaskan lekatan antara agregat dan pasta, akibatnya beton akan mudah retak. (Tjokrodinuljo, 1996)
- Terhambatnya laju aliran panas di dalam beton akibat menurunnya konduktifitas *thermal* beton pada temperatur tinggi. Di atas 100 °C konduktifitas *thermal* beton secara linear mengalami penurunan yang berarti karena pada titik ini kadar air dalam beton sudah hilang. Tersekatnya panas di dalam beton mempercepat reaksi fisik maupun kimia yang akan memperlemah beton. (Mindess et al., 2002).
- Perubahan struktur kristal agregat (misalnya agregat silika) sehingga timbul efek *spalling* (rompal) pada permukaan beton dan lepasnya

material ini secara individual. (Taylor, 2002)



Gambar 8. Rompal Pada Beton

- Terjebaknya uap air dalam pori beton sehingga menyebabkan adanya tekanan dari dalam beton. Semakin lama dibakar, seiring dengan bertambahnya temperatur, maka semakin tinggi pula tekanan dari dalam. Tekanan inilah yang menyebabkan terjadinya *explosive spalling* (rompal disertai ledakan). (Taylor, 2002)
- Susutnya pasta semen karena hilangnya kadar air pada temperatur tinggi. Penyusutan ini akan menimbulkan retak-retak sehingga memperlemah beton. (Mindess et al., 2002).

Pengaruh Pembakaran terhadap Hasil Hammer Test

Dari beberapa analisa statistik yang sudah dilakukan, dapat ditarik *resume* perbandingan respon *hammer test* dengan *compression test*, ditabelkan berikut ini :

Tabel 3. Perbandingan Hasil Analisa Statistik *Hammer Test* dengan *Compression Test*

Analisa	<i>Hammer Test</i>	<i>Compression Test</i>
Respon nilai kuat tekan setelah pembakaran	Peningkatan dibanding kuat tekan tak terbakar	Penurunan dibanding kuat tekan tak terbakar
Selisih nilai kuat tekan <i>compression test</i> dan <i>hammer test</i> pada benda uji terbakar	Lebih besar daripada selisih kuat tekan pada benda uji tak terbakar. (tak terbakar, $hammer\ test < compression\ test$; terbakar, $hammer\ test > compression\ test$)	
Uji hipotesa pengaruh pembakaran terhadap kuat tekan	Terjadi peningkatan kuat tekan karena pengaruh pembakaran	Terjadi penurunan kuat tekan karena pengaruh pembakaran
Uji hipotesa bahwa tidak ada perbedaan berarti kuat tekan <i>hammer test</i> dengan <i>compression test</i> pada benda uji terbakar	Ditolak, berarti pada benda uji terbakar ada perbedaan yang berarti antara nilai kuat tekan <i>hammer test</i> dengan <i>compression test</i>	

Perbedaan perilaku seperti yang tersebut di atas disebabkan faktor-faktor berikut :

- Faktor utama yang mempengaruhi pembacaan *rebound* adalah kekerasan permukaan uji, padahal kekerasan suatu material tidaklah identik dengan kuat tekannya.
- Hilangnya kadar air dalam benda uji sehingga pembacaan *rebound* bertambah tinggi. Seperti telah diketahui bahwa adanya kelembaban pada permukaan *hammer test* akan memperlemah pembacaan *rebound* karena banyaknya energi tumbukan yang terserap sehingga tidak cukup memberikan energi lentingan kepada *plunger hammer*.
- Bertambahnya kepadatan permukaan *hammer test* yang disebabkan susutnya pasta semen akibat pengaruh temperatur tinggi. Semakin tinggi temperatur semakin besar susut yang terjadi semakin tinggi kepadatan dan akhirnya semakin tinggi pula pembacaan *rebound*.
- Dari uraian-uraian di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa pembakaran pada benda uji menyebabkan semakin tingginya kuat tekan yang dihasilkan dari *hammer test*, dan pada benda uji

beton bakar respon *hammer test* berbeda dari *compression test*.

KESIMPULAN

- Pada keadaan normal, nilai kuat tekan *compression* lebih tinggi daripada kuat tekan *hammer*.
- Setelah pembakaran *hammer test* memberikan respon kuat tekan yang lebih tinggi daripada *compression test*.
- Relasi respon kuat tekan *compression* dan *hammer* dalam keadaan normal (tidak terbakar) membentuk pola yang konservatif, artinya bahwa nilai kuat tekan dengan *hammer test* cenderung berkisar pada prosentase tertentu terhadap nilai kuat tekan dengan *compression test*.
- Pada beton terbakar respon yang diberikan *hammer test* berlawanan dengan *compression test*. Oleh karena itu nilai prosentase (perbandingan) kuat tekan *hammer test* terhadap *compression test* pada beton normal (tak terbakar), seperti tercantum dalam PBI 1971, tidak bisa digunakan untuk beton terbakar.

DAFTAR PUSTAKA

_____. 2002. *Annual Book of ASTM Standards Section 4 Vol. 04.02 Concrete and Aggregates C – 805 Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*. West Conshohocken

_____. 1977. *Manual Book of Prosceq Swiss Hammer*. Zurich, Switzerland : Prosceq FA

Arwanto, R dkk. 2004. Evaluasi Struktur Bangunan Gedung Paska Kebakaran (Studi Kasus Pasar Induk Wonosobo). Semarang : Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro

Departemen Pekerjaan Umum. 1989. *SK SNI M – 14 – 1989 – F Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Bandung : Yayasan LPMB

Fintel, Mark. 1985. *Handbook of Concrete Engineering Second Edition*. New York : Van Nostrand Reinhold

Kett, Irving. 2000. *Engineering Concrete : Mix Design and Test Method*. USA : CRC Press LCC

Longman, G. D. Taylor. 2002. *Material in Construction Principles, Practice and Performance*. The Chartered Institute of Building.

Mindess, Sidney et al.. 2003. *Concrete 2nd Edition*. USA : Pearson Education, Inc

Murdock, L.J, Brook, K.M. 1986. *Bahan dan Praktek Beton, Edisi Ke-4*. Jakarta : Erlangga

Neville, A.M. 2003. *Properties of concrete, 4th and Final Edition*. Edinburg Gate Harlow, England : Pearson Prentice Hall

Tjokrodimuljo, Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada Press

Yuliarto, Totok Dwi dan Yuliar Adi W. N. 2005. *Laporan Tugas Akhir Pengujian Experimental Relasi Kuat Tekan Beton Pasca Kebakaran Antara Hammer Test Dengan Compression Test*. Semarang : Universitas Diponegoro