

## **STUDI EKSPERIMENTAL BESARAN MEKANIS BETON MUTU NORMAL PADA SUHU TINGGI**

**Antonius<sup>1</sup>, Himawan Indarto<sup>2</sup> dan Trisni Bayuasri<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA), Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang, e-mail: antoni67a@yahoo.com*

<sup>2</sup>*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Diponegoro*

<sup>3</sup>*Alumni Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro*

### **ABSTRAK**

Beton merupakan material bangunan yang memiliki ketahanan terhadap panas/api yang lebih baik dibandingkan dengan jenis material lain, misalnya baja. Hal ini disebabkan beton memiliki sifat konduktivitas panas yang lemah. Namun beton tetap saja memiliki keterbatasan, sehingga jika terkena panas yang terlalu tinggi dalam jangka waktu cukup lama maka beton tetap mengalami kerusakan. Tingkat kerusakan yang terjadi disebabkan oleh banyak hal misalnya karena pencapaian suhu yang diterima beton maupun lamanya beton terkena api. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama untuk mengetahui beberapa besaran mekanis yang terjadi pada beton mutu normal yang berada pada temperatur tinggi. Program eksperimental dilakukan dengan membuat benda uji beton silinder ukuran 150/300 mm yang dibakar pada berbagai suhu tinggi. Variabel pengujian meliputi kuat tekan beton, temperatur pembakaran yaitu 300° C, 600° C dan 900° C; serta lama waktu pembakaran yang terdiri dari 3 jam, 5 jam dan 7 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi degradasi kuat tekan dan kekakuan (modulus elastisitas) beton paska bakar. Penurunan secara signifikan terjadi apabila saat lama pembakaran maksimal (7 jam) serta pada suhu 900° C.

Kata-kata kunci: kuat tekan beton, modulus elastisitas, suhu, lama pembakaran

### **1. PENDAHULUAN**

Beberapa bangunan sipil dalam beberapa tahun terakhir ini sering mengalami kebakaran karena berbagai sebab, baik itu karena hubungan pendek arus listrik, ledakan kompor/tabung gas, ledakan bom, sambaran petir, atau karena kerusakan-kerusakan yang dengan sengaja membakar gedung-gedung yang tidak bersalah. Pada umumnya setiap kebakaran yang terjadi mengakibatkan kerusakan yang cukup parah yang mengakibatkan struktur bangunan tidak dapat difungsikan kembali.

Material beton relatif lebih tahan terhadap temperatur tinggi akibat kebakaran dibandingkan struktur baja ataupun kayu yang tidak diproteksi secara khusus. Salah satu kelebihan struktur beton terlihat pada saat mengalami kebakaran adalah keruntuhannya tidak terjadi secara tiba-tiba.

Penelitian beton paska bakar yang pernah dilakukan di Indonesia pada dasarnya menampilkan hubungan prosentase penurunan kuat tekan dengan suhu; prosentase penurunan modulus elastisitas terhadap suhu tanpa adanya kejelasan pada berapa lama

waktunya beton terbakar. Sifat-sifat beton yang terbakar, termasuk lama dan temperatur kebakaran akan mempengaruhi tebal selimut beton dalam komponen struktur beton bertulang. SNI 03-2847-2002 pasal 9.7 yang mengatur tebal selimut beton minimum, tidak secara eksplisit menyebut pertimbangan temperatur dan lamanya pembakaran beton.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan kuat tekan dan modulus elastisitas beton mutu normal akibat temperatur tinggi, dimana kuat tekan beton yang ditinjau adalah 20 MPa dan  $f_c' = 30$  MPa yang akan dibakar pada suhu 300°C, 600°C, 900°C, dengan lama waktu pembakaran 3 jam, 5 jam, dan 7 jam.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan apabila ada struktur bangunan beton yang terbakar dalam rentang suhu sampai dengan 900°C dan dengan rentang waktu sampai 7 jam.

## **2. SIFAT MEKANIS BETON PADA SUHU TINGGI**

### **2.1 Kuat tekan beton**

Kekuatan tekan beton dipengaruhi oleh tingkat porositasnya. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama didalam menentukan tingkat porositas dan kuat tekan beton. Semakin rendah perbandingan air-semen, semakin tinggi kekuatan beton.

Pada saat bangunan gedung mengalami kebakaran, maka struktur beton akan mengalami pemanasan. Suhu ruangan bisa mencapai lebih dari 900°C. Karena hukum perpindahan panas, suhu dipermukaan struktur beton akan lebih rendah, apalagi di bagian tengahnya, akan lebih rendah lagi. Akibat pemanasan, pasta semen dan agregat dapat mengalami perubahan fisik dan kimia yang akan berpengaruh pada kekuatannya. Soroaka (1993) mengungkapkan bahwa untuk suhu sampai 300°C kekuatan sisa dari beton masih cukup tinggi yaitu sekitar 80%. Untuk suhu diatas 500°C penurunan kekuatan sisa yang terjadi sangat tajam. Pada suhu 700°C kekuatan sisanya hanya tinggal 35%, sehingga praktis beton dianggap tidak memiliki kekuatan struktural. Sidibe (2000) mengungkapkan bahwa kuat tekan beton setelah dibakar pada temperatur 400°C, 600°C, dan 800°C adalah masing-masing sebesar 35%, 60% dan 80% terhadap kondisi normal. Atau bisa dikatakan bahwa kekuatan sisa untuk temperatur 400°C, 600°C, dan 800°C adalah 65%, 40% dan 20%.

Kuat tekan beton setelah mengalami pengapian sampai suhu 600°C memberikan hasil yang berbeda-beda. Perbedaan ini disebabkan karena perbedaan kekuatannya, perbedaan lamanya pada temperatur tinggi, perbedaan dari sifat agregat, maupun perbedaan yang disebabkan karena material yang tersedia pada lokasi penelitian. Sehingga pada kenyataannya sulit dipastikan penurunannya, karena kuat tekan beton dipengaruhi hal tersebut di atas.

### **2.2 Modulus elastisitas**

Penurunan modulus elastisitas beton akibat temperatur tinggi pada dasarnya dipengaruhi oleh beberapa faktor yang sama pada pengaruh kuat tekan beton akibat temperatur tinggi. Neville (1996) menjelaskan bahwa modulus elastisitas beton pada suhu 21°C

sampai dengan 96°C tidak banyak terjadi perubahan, tetapi modulus elastisitas mengalami penurunan pada suhu diatas 121°C. Meskipun demikian ketika air dapat keluar dari beton akibat terkena panas, modulus elastisitas cenderung mengalami penurunan yaitu antara 50°C sampai dengan 800°C.

Secara umum menurut Neville, penurunan modulus elastisitas dipengaruhi oleh kenaikan temperatur. Nilai modulus elastisitas menurun 25% bila dipanaskan sampai 500°F (260°C) dan mengalami penurunan 50% bila dipanaskan hingga temperatur 800°F (427°C).

### **3. PROGRAM EKSPERIMEN**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton dan modulus elastisitas mencakup beton tanpa dibakar maupun beton yang dibakar. Parameter yang ditinjau meliputi suhu yaitu 300°C, 600 °C, dan 900 °C, dan masing-masing suhu dibakar selama 3 jam, 5 jam, dan 7 jam.

#### **3.1.Desain Campuran beton**

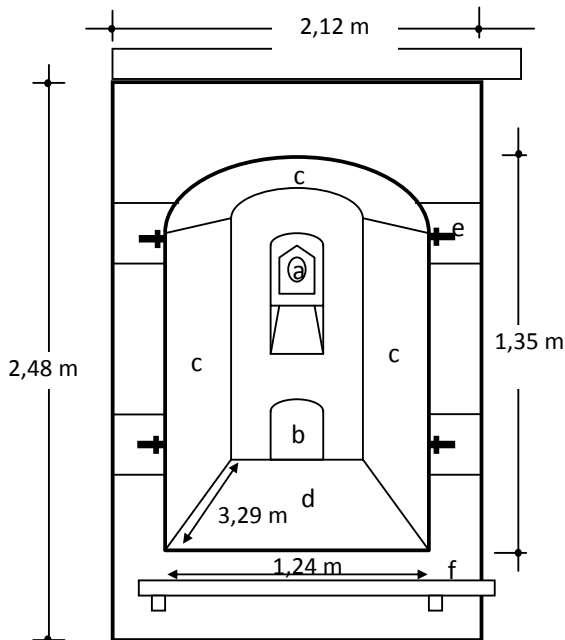
Rencana campuran beton ditunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1.** Desain Campuran

<b>Material</b>	<b>fc'=20 MPa</b>	<b>fc'=30 MPa</b>
Semen (kg/m <sup>3</sup> )	285	355
Air (l/m <sup>3</sup> )	190	190
Faktor Air Semen (w/c)	0,67	0,54
Krikil (kg/m <sup>3</sup> )	920	940
Pasir (kg/m <sup>3</sup> )	990	910

#### **3.2. Ruang pembakaran**

Tempat pembakaran terbuat dari susunan batu api SK-32 yang dilapisi asbes tahan panas dan kemudian besi pada bagian luarnya. Pada ruang pembakaran ini ada bagian untuk pemberi dan penyedot udara, sehingga hasil pembakarannya bisa bagus, tidak berjelaga dan dapat diketahui secara jelas perubahan warna beton akibat terbakar. Ruang dengan ukuran 1,35 × 1,24 × 3,29 meter cukup luas untuk membakar 12 benda uji untuk setiap pembakaran, namun tidak mempengaruhi hasil pembakaran. Gambar 1 memperlihatkan bentuk dari ruang pembakaran.



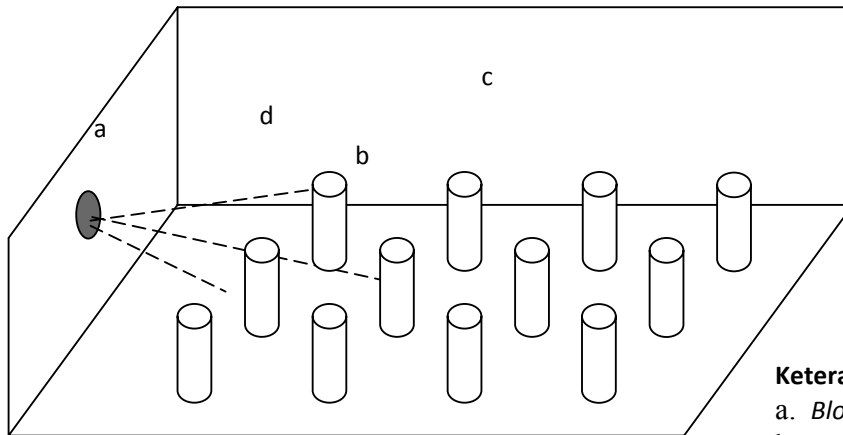
**Keterangan :**

- a. Blower
- b. Tempat termometer
- c. Batu Api SK-32
- d. Tempat peletakan benda uji
- e. Kunci penutup
- f. Rel pintu

**Gambar 1.** Tampak Depan Ruang Pembakaran

**3.3. Penataan Benda Uji**

Benda uji ditata berdiri satu persatu tanpa ada yang ditumpuk. Gambar 2 memperlihatkan penataan benda uji untuk setiap pembakaran.



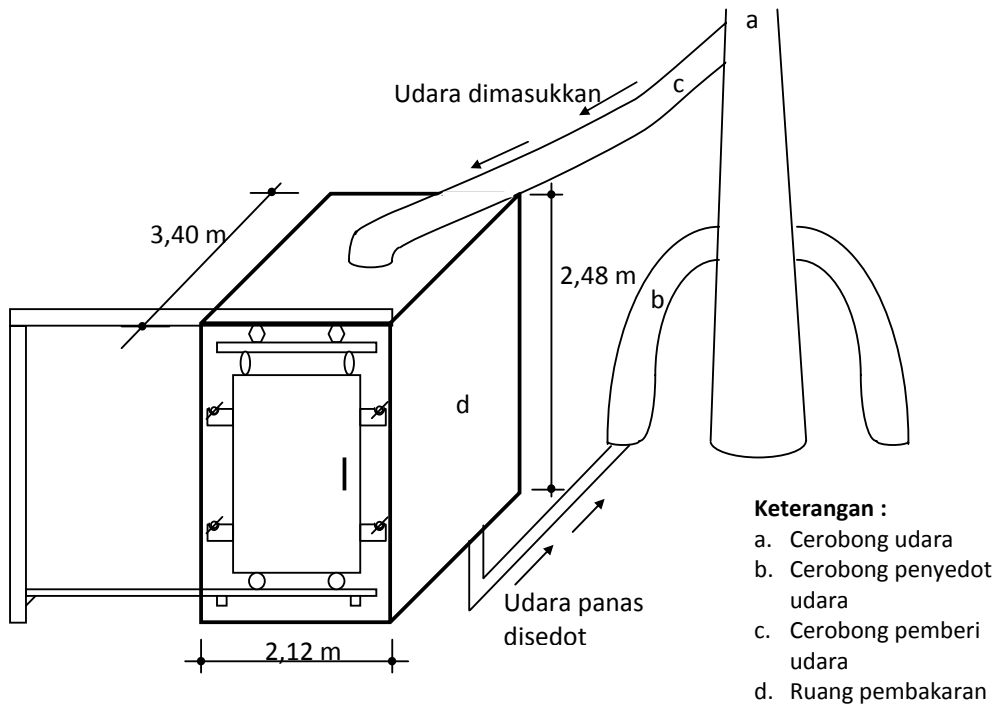
**Keterangan :**

- a. Blower
- b. Benda Uji
- c. Batu Api
- d. Semburan api

**Gambar 2.** Bentuk Penataan Benda Uji

**3.4. Mekanisme kerja alat pembakar beton**

Alat yang digunakan untuk pembakaran mempunyai dua tenaga untuk menjalankan pembakaran, yaitu listrik dan solar. Listrik untuk menjalankan blower angin sedangkan solar untuk menjalankan api.



**Gambar 3.** Mekanisme pembakaran benda uji

Proses pembakaran dimulai dengan menutup semua pintu ruangan dan dikunci rapat-rapat, kemudian listrik dinyalakan untuk suplai angin. Kemudian *blower* api dinyalakan yang dilanjutkan dengan menyalakan penyedot angin, dimana penyedot angin ini berfungsi supaya hawa panas tidak terlalu berkumpul di dalam ruangan, sehingga mengakibatkan ledakan. Gambar 3 memperlihatkan sistem sirkulasi udara di dalam ruang pembakaran.

#### 4. HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

##### 4.1. Hasil eksperimen

Hasil eksperimen kuat tekan beton dan modulus elastisitas ditunjukkan pada tabel 2 dan 3. Secara umum nilai kuat tekan beton dan modulus elastisitas mengalami penurunan setelah pembakaran. Besarnya penurunan cukup besar pada umumnya terjadi pada lama pembakaran 3 jam, baik pada suhu pembakaran 300°C, 600°C maupun 900°C. Perilaku tersebut mengindikasikan bahwa setelah waktu pembakaran 3 jam, beton sudah rusak dan tidak mempunyai kekuatan yang berarti.

**Tabel 2.** Nilai kuat tekan beton akibat pembakaran

Lama pembakaran	Suhu					
	300°C		600°C		900°C	
	$f_c' = 21,6$ (MPa)	$f_c' = 32,96$ (MPa)	$f_c' = 21,6$ (MPa)	$f_c' = 32,96$ (MPa)	$f_c' = 21,6$ (MPa)	$f_c' = 32,96$ (MPa)
3 jam	14	21,36	8,13	10,40	4,67	5,94
5 jam	13,8	21,22	7,85	8,06	4,39	5,52
7 jam	13,51	20,73	5,52	6,58	3,47	4,67

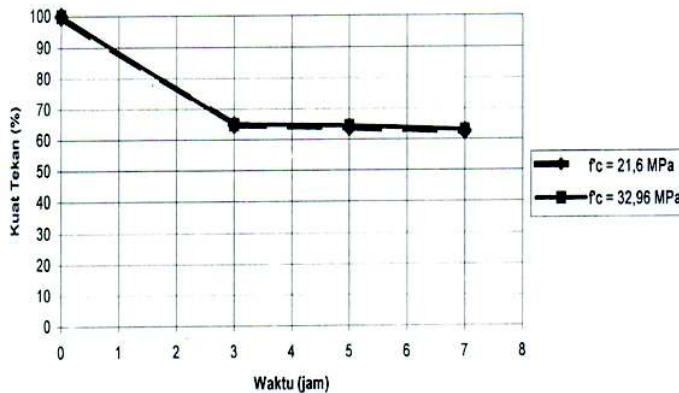
**Tabel 3.** Nilai modulus elastisitas beton akibat pembakaran

Lama pembakaran	Suhu					
	300°C		600°C		900°C	
	$f_c' = 21,6$ (MPa)	$f_c' = 32,96$ (MPa)	$f_c' = 21,6$ (MPa)	$f_c' = 32,96$ (MPa)	$f_c' = 21,6$ (MPa)	$f_c' = 32,96$ (MPa)
3 jam	18097	22168	9382	9471	5079	4076
5 jam	17906	21965	9346	8164	4723	3985
7 jam	17751	21596	8901	7981	4278	3141

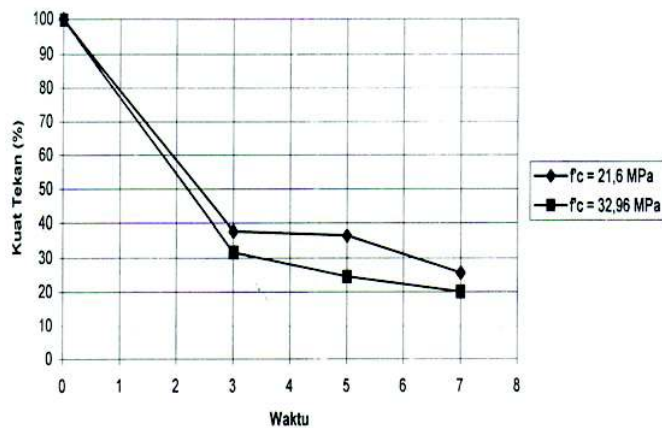
#### 4.2. Prosentase perubahan kuat tekan beton

Gambar 4 menunjukkan perubahan kuat tekan beton pada suhu 300°C. Terlihat pada gambar tersebut bahwa pembakaran benda uji pada 3 jam pertama kuat tekan beton mengalami penurunan sekitar 35%, dan selanjutnya pada pembakaran beton selama 5 jam dan 7 jam kuat tekan beton tidak banyak mengalami perubahan.

Penurunan kuat tekan beton secara drastis (sekitar 65%) pada 3 jam pembakaran terjadi pada pembakaran suhu 600°C (gambar 5). Penurunan kuat tekan beton masih terjadi pada pembakaran 5 jam dan 7 jam, meskipun penurunan tersebut relatif tidak besar (sekitar 10%).

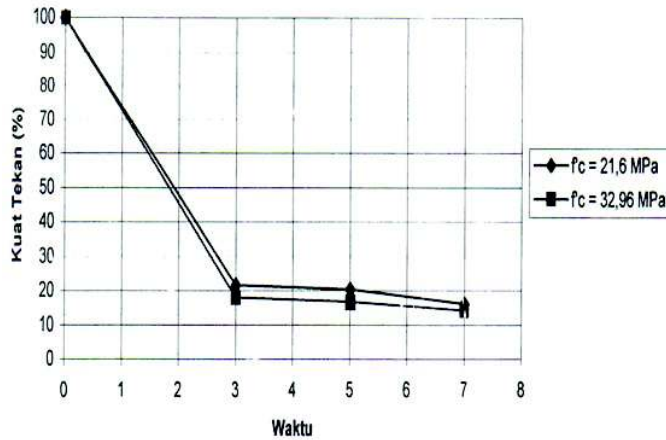


**Gambar 4.** Perubahan kuat tekan beton pada suhu 300°C



**Gambar 5.** Perubahan kuat tekan beton pada suhu 600°C

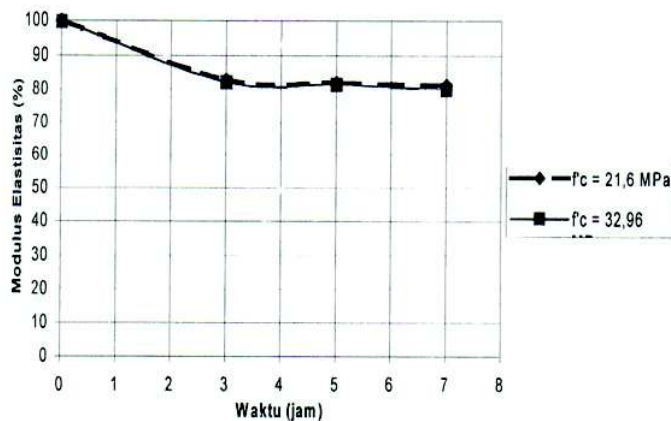
Penurunan kuat tekan beton pada 3 jam pertama pembakaran benda uji terjadi sangat drastis pada suhu 900°C. Seperti terlihat pada gambar 6, kuat tekan beton berkurang sampai 80% dari kondisi awal. Kuat tekan beton relatif stabil (tidak berubah) pada lama pembakaran 5 dan 7 jam.



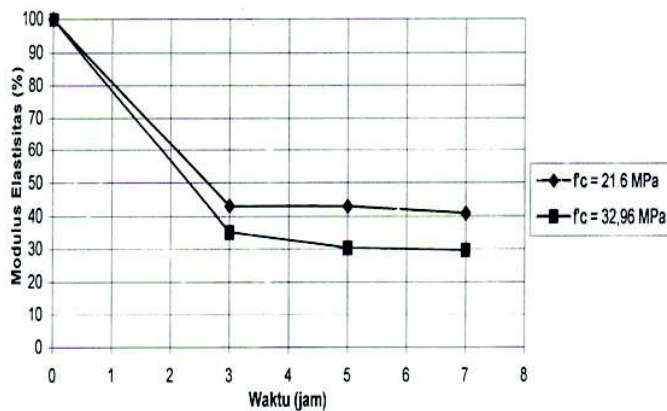
Gambar 6. Perubahan kuat tekan beton pada suhu 900°C

#### 4.3. Prosentase perubahan modulus elastisitas beton

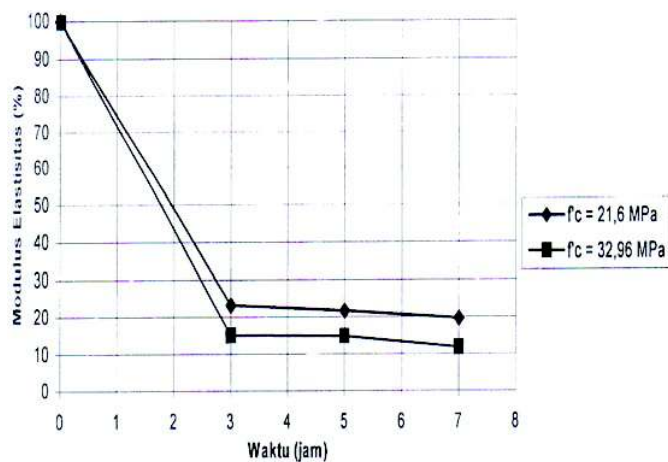
Modulus elastisitas beton mempunyai kecenderungan perilaku yang sama dengan penurunan kuat tekan beton. Seperti diperlihatkan pada gambar 7, 8 dan 9, modulus elastisitas beton pembakaran benda uji pada 3 jam semakin menurun pada suhu 300°C, dan penurunan tersebut semakin meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pembakaran 600°C dan 900°C.



Gambar 7. Perubahan modulus elastisitas beton pada suhu 300°C



Gambar 8. Perubahan modulus elastisitas beton pada suhu 600°C



Gambar 9. Perubahan modulus elastisitas beton pada suhu 900°C

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi eksperimental yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kuat tekan beton dan modulus elastisitasnya menurun cukup tajam pada pembakaran 3 jam untuk berbagai suhu pembakaran. Setelah waktu pembakaran tersebut, kedua besaran mekanis tersebut relatif tidak banyak berubah.
2. Beton kehilangan kuat tekan dan modulus elastisitas lebih dari 50% pada pembakaran benda uji selama 3 jam dan terjadi pada suhu 600°C dan 900°C, sehingga dapat dikatakan beton sudah dalam kondisi sudah rusak.
3. Semakin tinggi suhu pembakaran, maka penurunan besaran mekanis pada pembakaran selama 3 jam juga akan semakin tinggi.
4. Pada umumnya beton pada suhu tinggi dengan kuat tekan yang lebih tinggi akan cepat kehilangan kuat tekan dan modulus elastisitasnya.



## **6. REFERENSI**

- [1] Badan Standardisasi Nasional (2002), Tata cara perhitungan struktur beton untuk gedung, SNI 03-2847-2002.
- [2] Bayuasri, Trisni (2005), Perubahan perilaku mekanis beton akibat temperatur tinggi, Tesis Magister, Universitas Diponegoro.
- [3] Fathony, M. (2001), Perhitungan kekuatan bahan bangunan setelah kebakaran, Konstruksi, September-Oktober.
- [4] Neville, AM (1996), Properties of concrete, Longman.
- [5] Priyosulistyo (2004), Perilaku elemen struktur beton bertulang paska bakar, Prosiding Konf. Nasional rekayasa Kegempaan II, UGM Yogyakarta, Januari.
- [6] Sidibe, K. (2000), Fire safety of reinforced concrete columns, ACI Structural Journal.
- [7] Soroaka (1993), Concrete in hot environment, E&FN Spon, London.