

## **PENGARUH CAMPURAN KASTABEL SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BAKAR**

**Nono Suhana\*)**

\*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik  
Universitas Wiralodra – Indramayu

**Nur Juli Trissandi\*\*)**

\*\*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil  
Sekolah Tinggi Teknologi Mandala – Bandung

### **ABSTRAK**

Konstruksi beton biasanya digunakan pada situasi yang periodik tidak terlindungi atau pada suhu yang berkisar antara 32<sup>0</sup>C hingga 1000<sup>0</sup>C. bahkan lebih. Beton dengan semen portland normal dapat bertahan untuk mampu stabil pada suhu 250<sup>0</sup>C. Pada pemanasan yang lebih lanjut dapat mengakibatkan pengeroposan beton atau kerapuhan beton (spallation). Untuk menangani ini semua dilakukan dengan jalan merawat atau menambahkan kadar kastabel dalam beton sebagai substitusi parsial semen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kadar kastabel terhadap kuat tekan beton yang dibakar maupun tanpa dibakar dan kadar kastabel optimum untuk mencapai kuat tekan maksimum. Penelitian ini bersifat eksperimental menggunakan beton mutu K-300 atau kuat tekan rata-rata beton 300 kg/cm<sup>2</sup>, pada umur 28 hari dengan campuran kadar kastabel 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% terhadap berat semen. Jumlah benda uji untuk setiap campuran masing-masing sebanyak 6 buah berbentuk silinder (15 x 30 cm), total keseluruhan menjadi 30 buah benda uji, yang terbagi dua dengan pengujian pembakaran pada suhu 400<sup>0</sup>C selama 3 jam dan tanpa pengujian pembakaran.

Pengaruh penambahan kadar kastabel mengakibatkan penurunan nilai slump dan penurunan berat isi beton. Terjadinya kenaikan berat isi beton segar pada kadar 20% diakibatkan oleh pengembangan/penyerapan gradasi butiran kasar pada kastabel dan berat jenis kastabel yang lebih kecil daripada semen. Kuat tekan beton dengan penambahan kadar kastabel mengalami penurunan hingga kadar 16.5% pada kuat tekan sebesar 271.10 kg/cm<sup>2</sup> dan meningkat kembali pada kadar 20% sebesar 274.65 kg/cm<sup>2</sup>. Untuk kuat tekan beton setelah uji bakar, beton mengalami penurunan kekuatan hingga kadar kastabel 20% terhadap berat semen. Degradasi kekuatan beton dari beton yang diuji pembakaran terhadap beton yang tanpa diuji pembakaran memiliki persentase yang beragam, yaitu untuk kadar kastabel 0% sebesar 0.5313%, kadar kastabel 5% sebesar 14.99%, kadar kastabel 10% sebesar 3.246%, kadar kastabel 15% sebesar 11.84% dan kadar kastabel 20% sebesar 28.95%. Sedangkan untuk degradasi kekuatan beton dari beton yang diuji pembakaran terhadap beton normal yang tanpa diuji pembakaran memiliki persentase yang beragam, yaitu untuk kadar kastabel 0% sebesar 0.5313%, kadar kastabel 5% sebesar 16.74%, kadar kastabel 10% sebesar 16.81%, kadar kastabel 15% sebesar 23.32% dan kadar kastabel 20% sebesar 37.54%. Penurunan ini disebabkan oleh adanya pengaruh negatif dari kapur (CaO) pada semen yang menyebabkan terjadinya proses hidrasi yang berlebihan, hingga menimbulkan pengeroposan (spalling) dan menurunkan nilai kekuatan beton.

Hasil penelitian ini menunjukkan penggunaan kadar kastabel sebagai substitusi parsial semen kurang memberikan pengaruh yang baik dan perlu adanya penyempurnaan rancangan campuran beton yang tahan terhadap suhu tinggi.

*Keyword : substitusi kastabel, kuat tekan beton, degradasi*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Tindakan pencegahan diterapkan terhadap beton yang masih lunak maupun yang sudah mengeras. Salah satu tujuan utamanya ialah untuk mengendalikan semaksimal mungkin penguapan air beton (hidrasi beton) yang dapat sangat berlebihan bila suhunya tinggi. Keadaan ini akan semakin kritis bilamana suhu yang tinggi diikuti oleh kelembaban relatif yang rendah dan oleh tiupan angin yang kering. Keadaan semacam ini terutama mempengaruhi terbentuknya retak-retak beton sebelum maupun setelah pengerasan.

Banyak spesifikasi yang menyebutkan batasan maksimum suhu beton ketika sedang dicor, agar dapat dihindarkan terjadinya pengaruh yang buruk terhadap kualitas dan durabilitas (daya awet) dan bangunan beton yang telah selesai. Suhu beton maksimum 320°C disarankan oleh American Concrete Institute (ACI) sebagai batasan atas yang dapat dipertanggungjawabkan. Tak luput dari hal tersebut di atas sering kita menjumpai terjadinya peristiwa kebakaran yang melanda bangunan yang strukturnya menggunakan beton bertulang. Banyak penelitian yang memanfaatkan kembali beton yang telah terbakar dengan cara mendaur ulang menjadi bahan pengganti agregat, tetapi dengan memakai bahan tambahan (additive), sehingga produk beton memenuhi persyaratan dapat tercapai.

Menurut SNI 15-0718-1989, kastabel atau disebut juga beton refraktori (beton tahan api) adalah jenis limbah refraktori yang mengeras pada suhu kamar (hydraulic setting) yang terdiri dari grog dan bahan pengikat kimia, yaitu semen alumina dengan ukuran butir dan komposisi tertentu. Sedang grog umumnya merupakan material yang telah mengalami proses kalsinasi (pemanasan suhu tinggi) dengan baik, memiliki kepadatan tinggi, stabilitas volume yang baik hingga suhu servisnya.

Dengan digunakannya kastabel ini dalam beton, diharapkan dapat memberikan kontribusi yang baik dan ketahanan terhadap temperatur yang tinggi, guna menambah kekuatan beton serta bisa membandingkannya antara beton yang dibakar dan beton tanpa dibakar.

### 1.2 Identifikasi Masalah

Kekeroposan beton atau kerapuhan beton (spallation) diakibatkan oleh tegangan tekan yang tinggi setelah mengalami pembakaran pada temperatur yang tinggi memerlukan penanganan yang

cukup serius. Hal ini dapat dilakukan dengan jalan menambah kastabel dalam beton sebagai substitusi parsial semen.

### 1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh bahan kastabel sebagai substitusi parsial semen dalam campuran beton yang dibakar pada suhu 400°C selama 3 jam maupun beton tanpa dibakar. Sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap kuat tekan beton yang diakibatkan oleh tegangan tekan dari kedua percobaan di atas. Adapun tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini, yaitu :

1. Untuk mengetahui perbandingan kuat tekan beton yang dibakar pada suhu 400°C selama 3 jam dan beton tanpa dibakar yang menggunakan kastabel.
2. Untuk mengetahui kadar kastabel optimum yang dapat menghasilkan kuat tekan maksimum pada beton yang dibakar pada suhu 400°C selama 3 jam dan beton tanpa dibakar.
3. Untuk memperoleh nilai korelasi antara beton yang dibakar pada suhu 400°C selama 3 jam dan beton tanpa dibakar.

### 1.4 Kegunaan Penelitian

Selain itu terdapat pula kegunaan dari penelitian ini, yaitu :

1. Dapat diketahui perbandingan kuat tekan beton yang dibakar pada suhu 400°C selama 3 jam dan beton tanpa dibakar yang menggunakan bahan kastabel sebagai substitusi parsial semen dengan komposisi tertentu dalam beton.
2. Dapat diketahui kadar kastabel optimum dalam campuran beton.
3. Dapat diperoleh nilai korelasi antara beton yang dibakar pada suhu 400°C selama 3 jam dan beton tanpa dibakar dengan menggunakan kastabel sebagai substitusi parsial semen.

### 1.5 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Beton Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T), Departemen Perindustrian dan Perdagangan, Jl. Sangkuriang No. 14, Bandung. Sedangkan pengujian bakar beton dilakukan di Laboratorium Bakar Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Keramik, Departemen Perindustrian dan Perdagangan, Jl. A. Yani No. 392 Bandung.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Beton

Beton adalah bahan komposit yang terdiri dari bahan berbutir yang disebut agregat yang fungsinya sebagai bahan pengisi (*filler*), yang tertanam di dalam suatu bahan matriks keras dan pasta semen yang fungsinya sebagai bahan pengikat (*binder*), dan mengisi ruang-ruang diantara butiran agregat serta melekatkan butiran agregat menjadi satu kesatuan (Dr. Cecilia Lauw, 2006).

Beton diperoleh dengan caramencampurkan semen *portland* air dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambah, yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan non kimia) pada perbandingan tertentu (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996; 1).

### 2.1.1 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini menempati sebanyak 70% dan volume mortar atau beton. Agregat harus mempunyai bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus), bersih, keras, kuat dan gradasinya baik. Agregat harus pula mempunyai kestabilan kimiawi dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus dan tahan cuaca (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996; 13).

#### A. Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir yang lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200. Agregat halus adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5 mm (SNI-03- 6861.1-2002; 27). Pasir adalah bahan batuan halus, terdiri dari butiran dengan ukuran 0,14-5 mm, didapat dari hasil desintegrasi batuan alam (*natural sand*) atau dengan memecahkan (*artificial sand*) (A.G Tamrin, 2008)

#### B. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu, dan mempunyai ukuran butir antara 5-40 mm. Besar butir maksimum yang diijinkan tergantung pada maksud pemakaian (SNI-03- 6861.1-2002; 27).

### 2.1.2 Semen Portland

Nama *portland cement* diusulkan oleh Joseph Aspdin tahun 1824. Nama itu diusulkan karena berbentuk bubuk yang dicampur air, pasir dan batuan-batuan yang ada di pulau Portland, Inggris. Semen *portland* yaitu semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lainnya (SM-15-2049-2004).

Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982). *Portland Cement* berfungsi sebagai perekat butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat.

Semen *portland* yang digunakan sebagai bahan struktur harus mempunyai kualitas yang sesuai dengan ketepatan agar berfungsi secara efektif.

### 2.1.3 Air

Air yang dimaksud adalah air yang digunakan sebagai campuran bahan bangunan, harus berupa air bersih dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat menurunkan kualitas beton. Menurut PBI (1971; 28-29) persyaratan dan air yang digunakan sebagai campuran bahan bangunan adalah sebagai berikut:

- 1) Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam-garam, bahan-bahan organik atau bahan lain yang dapat merusak dari pada beton.
- 2) Air yang digunakan untuk proses pembuatan beton yang paling baik adalah air bersih yang memenuhi syarat air minum.

## 2.3 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya persatuan luas (Tri Mulyono, 2004). Kuat tekan beton diambil berdasarkan kuat tekan pada umur 28 hari, sedangkan jumlah benda uji yang diperlukan dalam suatu pekerjaan dapat dilihat pada pasal 7.3.2 SNI-03-2847-2002 atau menurut analisa kebutuhan statistik.

Untuk tujuan praktis, kuat tekan dapat diambil dengan kuat tekan uniaksial, dan

kuat tekan karakteristik beton dapat di tentukan dengan persamaan sebagai berikut :

Kuat tekan beton

$$(f'c) = \frac{P}{A} \text{ ( kg / cm}^2\text{) ..... 2.3}$$

Keterangan :

P = Beban Maksimum ( kg )

A = luas Penampang Benda uji ( cm<sup>2</sup> )

**2.4 Perilaku Ketahanan Beton Terhadap Panas**

Menurut D. F. Orchard, B.Sc., Ph.D., dalam bukunya Concrete Terhnologi Volume 7, Properties of Materials for The Fire Resistance of Concrete, dijelaskan bahwa Ketahanan beton terhadap api diatur oleh BS 476, Bagian I : 1953-“Uji Kebakaran pada Bahan Bangunan dan Struktur”.

Tidak ada material yang mampu sebagai pelindung api dan “tahan api” dan ini sangat relatif yang mana didefinisikan oleh British Standard digunakan untuk menunjukan perilaku pada beberapa periode berbagai komponen struktur sebagai spesifikasi perlakuan panas komponen struktur berbeban.

Beton tahan api bergantung sekali pada jenis agregatnya yang mana mengalnri pemanasan selama menjalani pembentukan yang paling baik dan agregat silika yang paling jelek. Dalam hal ini agregat dibagi menjadi dua kelas :

Kelas 1 : Termasuk didalamnya terak/biji logam tanur tinggi, batu kapur pecah, bata pecah, busa biji logam, hasil pembakaran lempung, terak dari pembakaran yang sempurna dan batu apung.

Kelas 2 :Termasuk didalamnya batu api, kerikil, granit dan semua batu pecah alami selain batu kapur.

Kegagalan beton yang diakibatkan oleh api, memiliki pemuain yang berbeda antara lapisan permukaan yang panas dan beton yang sesudahnya mengalami pendinginan, dan untuk melawan reaksi semen yang mengalami penyusutan dengan kehilangan sejumlah besar kelembaban, kemudian mengembang saat kenaikan suhu.

**2.5 Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Material-Material Struktur**

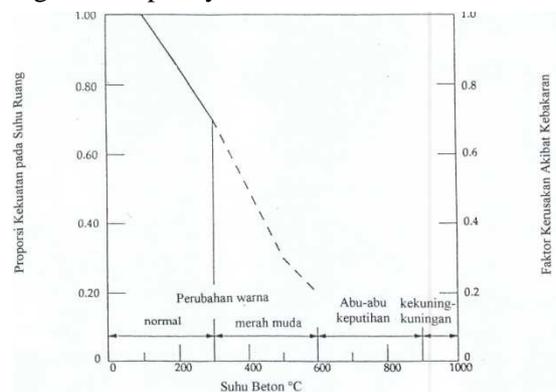
Pengaruh suhu tinggi terhadap material-material struktur ini dijelaskan didalam Laporan Lembaga Teknik Beton No. 15, edisi kedua, dengan judul penilaian/penaksiran dan Perbaikan Kerusakan Struktur Beton Akibat Api/kebakaran.bahwa pengeroposan dan perubahan warna atau

penghitaman permukaan beton dan tulangan yang tidak terlindungi umumnya terjadi setelah kebakaran pada setiap bencana yang besar. Jadi hal ini perlu diatasi dengan tepat dan memerlukan pertimbangan, akan pengaruh suhu tinggi pada material yang bersangkutan.

**2.5.1 Kuat Tekan Beton**

Sisa kekuatan beton padat setelah mendingin sangat bergantung kepada suhu yang dicapainya, proporsi campuran dan keadaan selama pemanasan.Untuk suhu diatas 300°C, Kualitas sisa kekuatan struklur beton tidak sungguh berkurang, pengurangan ini sering diimbangi dengan sejumlah faktor yang mana mengakibatkan kekuatan utama pada kebakaran melebihi kebutuhan rancangan.Dalam hal lainnya, suhu yang melebihi 500°C dapat mengurangi kekuatan tekan struktur beton dalam jumlah yang kecil.Seperti beton yang tidak memiliki fungsi penuh sebagai kekuatan sturktural.

Pengurangan kekuatan beton tanpa tekanan pada waktu pemanasan adalah lebih besar daripada beton dengan tekanan.Selama struktur beton dibebani (dengan beban mati) pada waktu pemanasan, modifikasi pada data yang sebelumnya haruslah sesuai.Gambar 2.1 menunjukan sisa kuat tekan beton yang rnengalami pemanasan setelah pendinginan dengan diperlihatkan oleh garis grafik sebagai ketetapanya.



Gambar 2.1 Pengaruh tipe pemanasan terhadap kuat tekan beton agregat padat setelah mendingin.

**2.5.2 Perubahan Warna pada Beton**

Beton dapat mengalami perubahan warna sebagai hasil dari pemanasan dan dapat digunakan sebagai indikasi suhu maksimum yang dicapai dan sepadan dengan lamanya pembaikan.Daiam beberapa kasus perubahan warna merah muda/merah

terjadi sekitar 300°C yang merupakan hal penting, selama itu bersamaan juga dengan menyerang pada kekuatan hingga hilang saat terjadi pemanasan. Perubahan warna beton menjadi merah muda/merah haruslah dicurigai sebagai akibat terjadinya karbonasi/pengarangan.

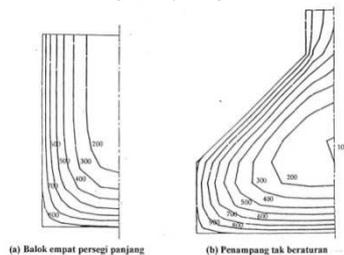
Perubahan warna ini dapat dilihat jelas pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Perubahan warna pada beton

### 2.6.3 Penyebaran Panas pada Beton

Suhu kebakaran lebih tinggi dari 900°C sering terjadi pada bangunan-bangunan. Tetapi didalam bagian beton, hanya selimut luar saja yang mengalami peningkatan suhu yang drastis dan suhu pada bagian dalam beton terhitung rendah. Program PC-TEMPCALC, telah dikembangkan pada komputer personal. Contoh-contoh hasil keluaran ditunjukkan pada Gambar 2.3. Gambar 2.3 (a) menunjukkan profil suhu untuk balok segiempat sedangkan gambar 2.3(b) menunjukkan profil suhu untuk bagian yang tidak beraturan.



Gambar 2.3 Contoh profil suhu dengan komputer

### 2.6.4 Modulus Elastisitas Beton

Hal yang perlu menjadi pertimbangan selanjutnya adalah terjadinya pengurangan modulus elastisitas selama terjadinya kebakaran dan setelah mendingin, dari suhu 800°C, modulus akan menjadi lebih kecil 15% dari harga sesungguhnya.

### 2.6.5 Kerontokan/kerapuhan pada Beton

Dikenal dua jenis kerontokan/kerapuhan. Kerontokan/keruntuhan akibat dari

ledakan, ini akan nampak terjadi hanya pada beton dengan batas kadar kelembaban yang cukup. Ini secara umum terjadi dalam waktu 30 menit pertama mengalami pemanasan pada permukaan yang tidak terlindungi dan dengan proses ini terjadi serangkaian penguraian/ pennisahan, pada tempat-tempat yang memiliki ketinggian rendah akan mengalami pergeseran/perpindahan lapisan. Jenis kerontokan/kerapuhan yang lainnya, sering disebut kerontokan/longsoran lambanpemisahan ini terjadi secara berangsur-angsur pada kolom dan balok.

### 2.6.6 Keretakan

Pada suhu tinggi, batasan pemuaian panas baja tulangan lebih besar dari pada beton mutu tinggi, yang dapat menimbulkan tekanan robek dan keretakan disekitar baja. Pengalaman memberikan bahwa retak pada beton, diawali dengan terjadinya kering susut, beban lentur dan lain-lain. Pada penambahan panas terjadi pertentangan antara agregat dan pasta semen karena tegangan yang sering terjadi mengakibatkan retak, terutama sekali pada bentuk permukaan yang jelek. Keretakan beton ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Keretakan beton pada pemanasan suhu

### 2.6.7 Agregat

Penambahan yang berpengaruh ketika terjadi kerontokan/kerapuhan adalah jenis agregat yang memberikan pengaruh penting terhadap beton yang mengalami pemanasan. Beton dengan agregat batu kapur memiliki koefisien pemuaian panas setengah dari beton dengan agregat kuarsa. Beton dengan agregat ringan juga memiliki koefisien pemuaian panas yang rendah, diatas sifat suhu -kekuatan dan hantaran panas yang rendah, oleh karena itu kerontokan/keruntuhan cenderung berkurang, itu membuktikan pula kadar air beton rendah.

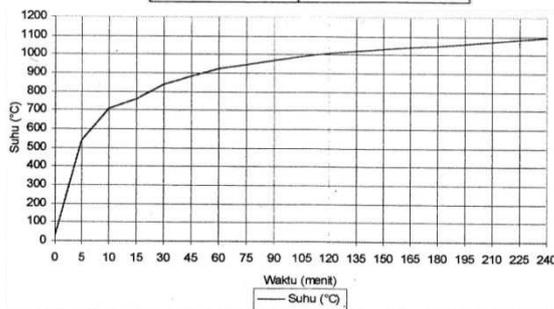
## 2.7 Waktu Bakar dan Suhu Bakar

Lamanya pembakaran dan suhu bakar mempengaruhi performa/kinerjapada elemen beton. Waktu bakar menjadi salah satu parameter yang diamati dan direkam menjadi per lima belas menit selama 3 jam. Juga dicatat berapa kenaikan suhu bakar per lima belas menit tersebut untuk mengetahui kurva standar kenaikan suhu bakar.

Pada penelitian ini kenaikan suhu bakar dilakukan di dalam tungku bakar yang sudah memenuhi standar Japan Internasional Standar (JIS) yang terdapat pada Balai Besar Industri Keramik Bandung. Adapun perubahan suhu bakar standar terhadap waktu tertera pada Tabel 2.1, sedangkan kurva suhu standar kenaikan suhu terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Tabel 2.1 Perubahan suhu bakar standar terhadap waktu pada tungku bakar

Suhu (°C)	Waktu (menit)
27	0
540	5
705	10
760	15
840	30
882.5	45
925	60
946.25	75
967.5	90
988.75	105
1010	120
1020	135
1030	150
1040	165
1050	180
1061.25	195
1072.5	210
1083.75	225
1095	240



Gambar 2.5 Kurva suhu bakar standar

Adapun penetapan lamanya pembakaran dan suhu bakar ini berdasarkan atas kriteria ketahanan api komponen bangunan yang diberikan dalam Tabel 2.20 berikut.

Tabel 2.2 Kriteria Ketahanan Api Komponen

Bangunan

K o m p o n e n	D i n d i n g						K o l o m			B a l o k			L a n t a i	
	Dinding Partisi		Dinding luar											
	Dinding pemikul beban	Dinding bukan pemikul beban	Luas perambatan api	Lain-lain										
Ketahanan api (jam)	1	2	1	2	1	1/2	1	2	3	1	2	3	1	2
(3) Pengujian bakar	Tidak boleh terjadi perubahan bentuk yang serius, kerusakan dan penurunan ketahanan api serta kekuatan struktur.													
	Suhu permukaan pada bagian belakang benda uji													
	Tidak boleh terjadi retak, sehingga api dapat menembus benda uji selama pengujian.													
	Tidak boleh terjadi retak, sehingga api dapat menembus benda uji selama pengujian.													
Kriteria hasil pengujian	Tidak boleh terjadi perubahan bentuk yang serius, kerusakan dan penurunan ketahanan api serta kekuatan struktur.													
	Tidak boleh terjadi nyala lebih dari 10 menit setelah pengujian, terutama jika digunakan bahan-bahan yang tidak terbakar.													
	Tidak boleh terjadi retak, sehingga api dapat menembus benda uji selama pengujian.													
	Tidak boleh terjadi retak, sehingga api dapat menembus benda uji selama pengujian.													
(2) Pengujian bakar dengan beban	Kuat lentur maksimum dari benda uji													
	Suhu permukaan dibelakang benda uji													
	Tidak boleh terjadi retak, sehingga api dapat menembus benda uji selama pengujian.													
	Tidak boleh terjadi perubahan bentuk yang serius, kerusakan dan penurunan ketahanan api serta kekuatan struktur.													
Kriteria hasil pengujian	Tidak boleh terjadi nyala lebih dari 10 menit setelah pengujian, terutama jika digunakan bahan-bahan yang tidak terbakar.													
	Tidak lebih dari 30 menit													
	Tidak lebih dari 10 menit													
	Tidak lebih dari 30 menit													
Kriteria cara pengujian	Pemasangan benda uji (setelah dibakar)													
	Pembakaran pada bagian bawah benda uji													
	Uji Berat (kg)													
	Uji Sentak													
Kriteria Hasil uji	Tidak boleh terjadi retak pada tebal keseluruhan dari pelapis tahan api atau retak berlobang pada benda uji sewaktu pengujian.													

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 1989

2 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Langkah kerja yang pertama kali dilakukan dalam penelitian ini adalah persiapan dan pengambilan material agregat halus, agregat kasar, semen, air dan kastabel diperoleh kemudian dilaksanakan pemeriksaan laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat fisik dari material yang akan digunakan. Untuk agregat halus dan agregat kasar harus melalui serangkaian pemeriksaan yang sesuai dengan persyaratan teknis yang ada.

Hasil dari pemeriksaan dijadikan dasar dalam pembuatan rancangan campuran beton.

3.1.1 Jenis Penelitian

Dalam metode penelitian ini membahas langkah kerja yang akan dilakukan dalam penelitian mulai dari persiapan, pengambilan material-material pembentuk beton dan pemeriksaan material-material hingga pengujian beton di laboratorium sesuai dengan persyaratan teknis yang ada penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian eksperimental dengan menggunakan peralatan yang ada di laboratorium beton.

### 3.1.2 Subjek dan Objek Penelitian

Didalam penelitian ini menggunakan benda uji silinder yang berukuran tinggi 30 cm dan berdiameter 15 cm, benda uji direncanakan untuk beton mutu tinggi dan mengandung ku,truhtl sebaq:ri :rubstitttrsi parsial selxen dengan variasi kadar per  $m^3$  semen : 0%, 5%, 10%, 15%, 20%. Masing-masing variasi kadar kastabel dibuat sebanyak 3 buah benda uji yang akan dilakukan perawatan selama 14 hari, kemudian ditakukan pengujian kuat tekan saat berumur 28 hari. Sedangkan yang sebagian lagi masing-masing variasi kadar kastabel dibuat sebanyak 3 buah benda uji yang nantinya akan dilakukan perawatan selama 14 hari kemudian dilakukan uji bakar pada suhu 400°C selama 3 jam saat berumur 28 hari yang dilanjutkan uji kuat tekan. Sehingga total benda uji sebanyak 30 buah.

### 3.1.3 Alat-alat dan Bahan-bahan Penelitian

Peralatan yang dipergunakan di laboratorium beton Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T), antara lain :

- Peralatan uji fisik agregat halus dan agregat kasar
  - Peralatan pengadukan dan pengecoran beton
- Adapun peralatan yang dipergunakan di laboratorium bakar Balai Besar Industri Keramik, antara lain tungku bakar ukuran 150x90x105 cm. Selain peralatan hal utama lainnya adalah bahan-bahan pembentuk beton serta bahan additive, antara lain :
- Agregat halus yaitu pasir Cimalaka,
  - Agregat kasar yaitu batu pecah lagadar Cimahi,
  - Air yang terdapat di laboratorium beton Balai Besar Bahan dan Barang Teknik,
  - Semen tipe I merk Tiga Roda
  - Kastabel tipe C-16 yang diproduksi oleh PT.Jaya Refractorindo Utama Tangerang - Indonesia.

### 3.1.4 Teknik Penentuan Sampel

Perincian proporsi campuran untuk umur beton yang telah ditentukan di atas pada kondisi beton yang akan diuji kuat tekan tanpa dibakar dengan kondisi beton yang akan diuji kuat tekan setelah dibakar pada suhu 400°C selama 3 jam, adalah sebagai berikut :

Agregat halus + agregat kasar + air + semen + kastabel (0% semen) : 6 buah

Agregat halus + agregat kasar + air + semen + kastabel (5% semen) : 6 buah

Agregat halus + agregat kasar + air + semen + kastabel (10% semen) : 6 buah

Agregat halus + agregat kasar + air + semen + kastabel (15% semen) : 6 buah

Agregat halus + agregat kasar + air + semen + kastabel (20% semen) : 6 buah

### 3.1.5 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data diambil dari hasil pengukuran dan pengujian sampel yang ada, kemudian dilakukan pencatatan dan dikumpulkan kedalam tabel dan grafik sesuai dengan masing-masing pengujian. Dalam pengujian ini dibagi dalam dua tahap, yaitu :

Pengujian beton keras meliputi :

- Pengukuran berat isi beton keras
- Pengujian kuat tekan beton kondisi suhu normaltanpadibakar
- Pengujian kuat tekan beton kondisi setelah dibakar pada suhu 400 °C selama 3 jam.

Pencatatan aktualisasi suhu bakar (°C) terhadap waktu (menit) selama 3 jam dengan interval pencatatan 15 menit.

### 3.1.6 Teknik Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan kemudian disiapkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memberikan kemudahan dalam penarikan kesimpulan penelitian selanjutnya dalam bentuk tabel dan grafik sebagai berikut :

- Hasil pengujian agregat halus dan agregat kasar
- Hubungan kadar kastabel dengan nilai slump
- Hubungan kadar kastabel dengan berat isi
- Hubungan kadar kastabel dengan kuat tekan beton kondisi tanpa dibakar'
- Hubungan kadar kastabel dengan kuat tekan beton kondisi setelah dibakar pada suhu 400°C selama 3 jam

### 3.2 Prosedur Pelaksanaan

Untuk mempermudah pelaksanaan dan memperoleh hasil penelitian dengan data yang akurat, maka dibagi menjadi beberapa tahapan, antara lain sebagai berikut :

#### 1. Tahap Persiapan

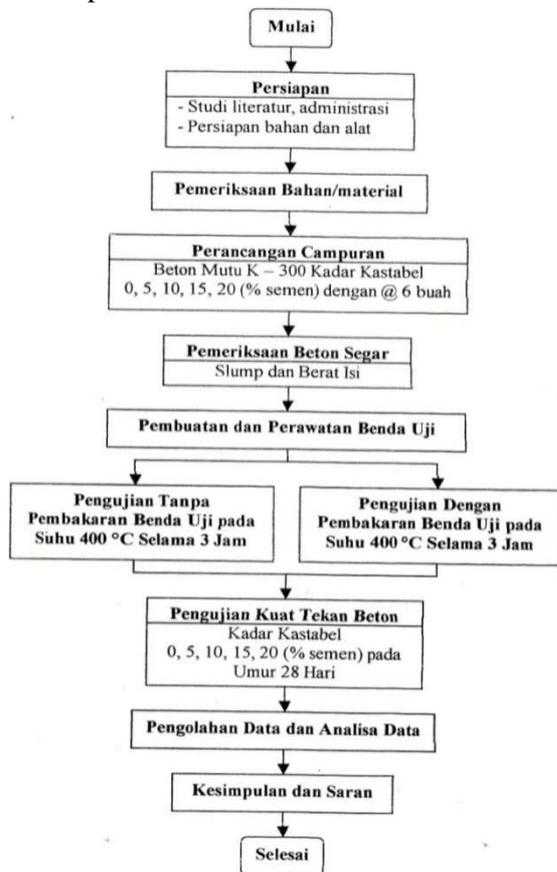
Kegiatan yang dilakukan pada tahapan ini adalah pengumpulan literatur, penyelesaian ijin penelitian, kemudian dilakukan pemilihan dan penyediaan material yang disesuaikan dengan standar yang ada.

#### 2. Penetapan Parameter Perencanaan.

Sebelum dilakukan pemeriksaan dan

pengujian material, terlebih dahulu dilakukan penentuan parameter-parameter unsur pembentuk campuran beton yang diperlukan untuk mendapatkan data yang akan digunakan dalam tahap perencanaan campuran beton.

3. Penetapan Variabel Perencanaan  
Untuk perencanaan campuran dilakukan penetapan variabel berdasarkan jenis struktur, rencana slump, kekuatan beton rencana, ukuran agregat maksimum, serta modulus kehalusan agregat halus dan agregat kasar.
4. Perhitungan Komposisi Campuran Beton
5. Pelaksanaan Pengolahan Campuran Beton
6. Proses Pembakaran dan Pencatatan Suhu Bakar terhadap Waktu  
Proses pembakaran dan pencatatan suhu bakar terhadap waktu mengacu pada pendekatan syarat SNI 03-1741-1989  
Pemeriksaan Kuat Tekan Beton  
Kesimpulan dan Saran  
Data-data berupa tabel dan penggambaran dalam bentuk grafik serta diagram dibuat untuk memudahkan perhitungan dan penarikan kesimpulan serta saran dalam pembahasan masalah.



#### 4. MATERI PENELITIAN

##### 4.1 Umum

Sebelum pelaksanaan rancangan campuran beton dilaksanakan, hal pertama yang harus dilakukan adalah pemeriksaan fisik bahan-bahan pembentuk beton antara lain : agregat halus, agregat kasar, air dan semen dengan tujuan agar bahan-bahan tersebut memenuhi persyaratan mutu yang telah ditetapkan.

##### 4.2 Pemeriksaan Agregat Halus

###### 4.2.1 Analisa Ayak/ Saringan

Analisa ayakan saringan bertujuan untuk menentukan distribusi besar butir agregat halus dengan mempergunakan ayakan, pemilihan daerah gradasi agregat dan untuk mencari angka kehalusan dari agregat halus. Dalam penelitian ini diperoleh angka kehalusan agregat adalah 2,73 dan berada pada batas gradasi pasir dalam daerah gradasi No. 1. Sedangkan syarat batas angka kehalusan menurut SNI. 03-1750-1990 adalah antara 1,5- 3,8. Adapun hasil dari penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Analisa Ayak/ Saringan Agregat Halus

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Keseluruhan (%)	Kumulatif Tertinggal (%)	Kumulatif yang Tembus (%)
9.5	-	-	-	-	100
4.75 (No. 4)	105.60	-	5.92	5.92	94.08
2.36 (No. 8)	45.30	8.99	8.46	14.38	85.62
1.18 (No. 16)	100.70	19.98	18.80	38.18	66.82
0.60 (No. 30)	121.40	24.09	22.66	55.84	44.16
0.30 (No. 50)	100.00	19.84	18.67	74.51	25.49
0.15 (No. 100)	79.80	15.83	14.89	89.40	10.60
Pan	56.80	11.27	10.60	-	-
Jumlah	504.00	100.00	100.00	273.23	-
Angka Kehalusan (%)			2.7323		

##### 4.4 Data-data Hasil Pengujian Agregat Halus dan Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan fisik bahan-bahan tersebut dan untuk memudahkan diperlihatkan hasil pengujian seperti Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Agregat Halus dan Agregat Kasar

Uraian Pengujian	Contoh		Jumlah Agregat Gabungan		Syarat-syarat SNI. 03-1750-1990	Keterangan
	Pasir	Batu Pecah	(64 % Ag Kasar : 36 % Ag Halus)			
1. Analisa ayak						
a. Pembagian besar butir						
Bagian yang menembus :						
75 mm, (%)						
63 mm, (%)						
50 mm, (%)						
37,5 mm, (%)	100		100	100		Memenuhi syarat
25,0 mm, (%)	100		-			
19,0 mm, (%)	83,77		89,61	50 – 75		Memenuhi syarat
12,5 mm, (%)	26,95		-			
9,5 mm, (%)	100	16,59	46,62	35 – 60		Memenuhi syarat
4,75 mm, (%)	94,08	1,14	34,60	23 – 47		Memenuhi syarat
2,36 mm, (%)	85,62	0,90	31,40	18 – 37		Memenuhi syarat
1,18 mm, (%)	66,82		24,06	12 – 30		Memenuhi syarat
0,60 mm, (%)	44,16		15,90	7 – 23		Memenuhi syarat
0,30 mm, (%)	25,49		9,18	3 – 15		Memenuhi syarat
0,15 mm, (%)	10,60		3,82	2 – 6		Memenuhi syarat
b. Angka kehalusan (FM)	2,73	6,976		1,5 – 3,8 (Agregat Halus) 6,0 – 7,1 (Agregat Kasar)		Memenuhi syarat Memenuhi syarat
2. Bobot isi						
a. Diisi gembur(kg/lt)	1,536	14,11	-	-		
b. Diisi padat, (kg/lt)	1,581	14,28	-	-		
3. Berat jenis dan penyerapan air						
a. Berat jenis kering	2,485	2,37	-	-		
b. Berat jenis (SSD)	2,57	2,52	-	-		
c. Berat jenis nyata	2,71	2,765	-	-		

4.5 Pemeriksaan Semen

Pada penelitian ini pengujian terhadap karakteristik semen tidak dilakukan, karena semen yang dipakai adalah semen merk TIGA RODA tipe I produksi PT. Indocement yang tidak perlu dilakukan pengujian lagi.

4.6 Pemeriksaan Air

Air yang digunakan untuk campuran beton pada penelitian ini adalah air yang ada di laboratorium beton Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) sehingga layak digunakan sebagai bahan campuran beton yang biasa dipakai untuk penelitian di laboratorium tersebut.

4.7 Perhitungan Perancangan Komposisi Campuran Beton (Metoda SK SNI T- 15-1990-03)

Setelah pemeriksaan fisik terhadap karakteristik bahan-bahan pembentuk beton dilaksanakan, tahap selanjutnya adalah membuat

rancangan campuran beton (Mix Design Concrete). Dalam perhitungan perancangan komposisi campuran untuk penelitian ini, kuat tekan yang direncanakan adalah satu macam, yaitu 30 N/mm<sup>2</sup> (K-300) dengan benda uji silinder (15 x 30 cm) sebanyak 30 buah. Untuk mempermudah perhitungan ini, dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3

Perancangan Campuran Beton (Mix Design Concrete)

No	Uraian	Tabel/Grafik/Perhitungan	Nilai	
1.	Kuat tekan yang disyaratkan	Ditetapkan	30 N/mm <sup>2</sup> pada 28 hari bagian cacat 5	
2.	Deviasi standar	Ayat 2.4.1 butir 1, Tabel 2.14	6 N/mm <sup>2</sup> atau tanpa data ..... N/mm <sup>2</sup>	
3.	Nilai tambah (margin)	Ayat 2.4.1 butir 2 (1,64 x 2)	(k=1,64) 1,64 x 6 = 9,84 N/mm <sup>2</sup>	
4.	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	Ayat 2.4.1 butir 3	30 + 9,84 = 39,84 N/mm <sup>2</sup>	
5.	Jenis semen	Ditetapkan	Semen portland tipe 1	
6.	Jenis agregat kasar Jenis agregat halus	Ditetapkan Ditetapkan	Batu pecah Lagadar Pasir alami Cimalaka	
7.	Faktor air-semen bebas	Tabel 2.15; Grafik 2.1 atau 2.2	0,49 (ambil nilai yang terkecil)	
8.	Faktor air-semen maksimum	Ayat 2.4.2, Tabel 2.16	0,6	
9.	Slump	Ditetapkan ayat 2.4.3	Slump 60 – 180 mm	
10.	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan ayat 2.4.4	37,5 mm	
11.	Kadar air bebas	Tabel 2.18, ayat 2.4.5	191,84 kg/m <sup>3</sup>	
12.	Jumlah semen	11 : 8 atau 7	191,84 : 0,49 = 391 kg/m <sup>3</sup>	
13.	Jumlah semen maksimum	Ditetapkan	191,84 : 0,6 = 319,73 kg/m <sup>3</sup>	
14.	Jumlah semen minimum	Ditetapkan ayat 2.4.2 Tabel 2.16	325 kg/m <sup>3</sup> (pakai bila lebih besar dari 12, lalu hitung 15)	
15.	Faktor air semen yang disesuaikan		191,84 kg/m <sup>3</sup> : 391 kg/m <sup>3</sup> = 0,49	
16.	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 2.3 s.d. 2.6	Daerah gradasi susunan butir Zone 2	
17.	Persen agregat halus	Grafik 2.10 s.d. 2.12	36 persen	
18.	Berat jenis relatif agregat (kering permukaan)	Ayat 2.4.6. (hasil uji ssd gabungan ag. halus dan ag. kasar)	2,54 diketahui/dianggap	
19.	Berat jenis beton	Ayat 2.4.7	2320 kg/m <sup>3</sup>	
20.	Kadar agregat gabungan	19 – (12 + 11)	2320 - (391 + 191,84) = 1737,25 kg/m <sup>3</sup>	
21.	Kadar agregat halus	17 x 20	0,36 x 1737,25 = 639,74 kg/m <sup>3</sup>	
22.	Kadar agregat kasar	20 – 21	1737,25 – 639,74 = 1097,78 kg/m <sup>3</sup>	
Proporsi Campuran :				
	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat halus (kg)	Agregat kasar (kg)
- Tiap m <sup>3</sup>	391	191,84	639,74	1097,78
- Tiap camp. Uji 0,036 m <sup>3</sup>	14,08	6,91	23,03	39,52

4.8 Koreksi Proporsi Campuran Beton

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran harus dikoreksi terhadap kandungan air dalam

agregat.Koreksi proporsi campuran beton ini dibuat setelah rancangan campuran beton dibuat, baru dapat dilakukan pengadukan untuk pembuatan benda uji.Berikut di bawah ini diberikan perhitungan proporsi campuran beton yang belum maupun yang telah dikoreksi yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.

Tabel 4.4Proporsi Tiap Campuran uji Beton dengan Kastabel

1. Komposisi Beton Normal					
	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	0% kastabel
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	(1) <sup>1</sup>	(2)	(3)	(4)	(5) <sup>1</sup>
	14.08	6.91	23.03	39.52	-
2. Komposisi Beton 5% Kastabel					
	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	5% kastabel
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	(1) <sup>2</sup>	(2)	(3)	(4)	(5) <sup>2</sup>
	13.37	6.91	23.03	39.52	0.70
3. Komposisi Beton 10% Kastabel					
	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	10% kastabel
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	(1) <sup>3</sup>	(2)	(3)	(4)	(5) <sup>3</sup>
	12.67	6.91	23.03	39.52	1.41
4. Komposisi Beton 15% Kastabel					
	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	15% kastabel
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	(1) <sup>4</sup>	(2)	(3)	(4)	(5) <sup>4</sup>
	11.96	6.91	23.03	39.52	2.11
5. Komposisi Beton 20% Kastabel					
	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	20% kastabel
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	(1) <sup>5</sup>	(2)	(3)	(4)	(5) <sup>5</sup>
	11.26	6.91	23.03	39.52	2.82
Jumlah	63.34	34.53	115.15	197.60	7.04

Tabel 4.5Proporsi Tiap Campuran Uji Beton dengan Kastabel

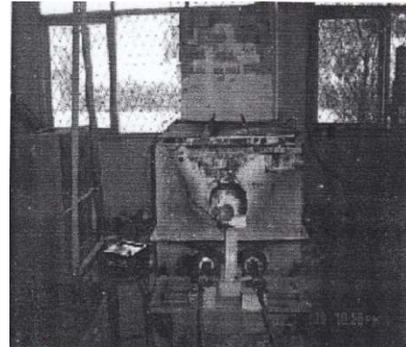
1. Komposisi Beton Normal					
	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	0% kastabel
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	(1) <sup>1</sup>	(2)*	(3)*	(4)*	(5) <sup>1</sup>
	14.08	7.04	23.49	38.92	-
2. Komposisi Beton 5% Kastabel					
	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	5% kastabel
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	(1) <sup>2</sup>	(2)*	(3)*	(4)*	(5) <sup>2</sup>
	13.37	7.04	23.49	38.92	0.70
3. Komposisi Beton 10% Kastabel					
	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	10% kastabel
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	(1) <sup>3</sup>	(2)*	(3)*	(4)*	(5) <sup>3</sup>
	12.67	7.04	23.49	38.92	1.41
4. Komposisi Beton 15% Kastabel					
	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	15% kastabel
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	(1) <sup>4</sup>	(2)*	(3)*	(4)*	(5) <sup>4</sup>
	11.96	7.04	23.49	38.92	2.11
5. Komposisi Beton 20% Kastabel					
	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	20% kastabel
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	(1) <sup>5</sup>	(2)*	(3)*	(4)*	(5) <sup>5</sup>
	11.26	7.04	23.49	38.92	2.82
Jumlah	63.34	35.22	117.47	194.60	7.04

#### 4.9 Pembakaran Benda Uji dan Pengukuran Suhu Bakar

Alat-alat yang dipergunakan dalam pembakaran benda uji beton dengan penambahan kadar kastabel sebagai substitusi parsial semen, antara lain :

- Tungku bakar dengan dimensi ukuran bagian luar 150 x 90 x 105 cm dan bagian dalam 90 x 58 x 60 cm.

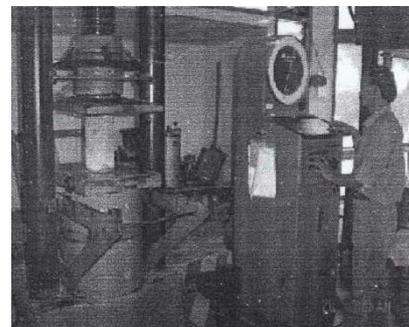
Di bawah ini diperlihatkan tungku bakar beserta perlengkapan alat ukur pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Tungku bakar, burner nozzle termokopel dan thermoduck.

#### 4.10 Pengujian Kuat Tekan Beton

Dalam penelitian ini pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat benda-benda uji berumur 28 hari, karena karakteristik kekuatan beton memperlihatkan peningkatan yang berangsur-angsur konstan. Pengujian kuat tekan beton ini dilakukan pada beton tanpa uji pembakaran dan beton setelah uji pembakaran sesaat setelah 24 jam pendinginan, dengan beton tanpa maupun menggunakan penambahan kadar kastabel sebagai substitusi parsial semen. Pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari diperlihatkan pada gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.2 Pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari.

## 5. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Umum

Data-data hasil pengujian beton dibahas dalam dua bagian, antara lain :

1. Pengujian sifat-sifat beton segar dengan maupun tanpa penambahan kadar kastabel sebagai substitusi parsial semen, antara lain meliputi:
  - . Pengujian nilai slump,
  - . Pengujian berat isi beton segar.
2. Pengujian sifat-sifat beton yang telah mengeras pada umur 28 hari dengan maupun tanpa penambahan kadar kastabel sebagai substitusi parsial semen, antara lain meliputi :
  - . Pengujian berat isi beton kering
  - . Pengujian kuat tekan beton
  - Pengujian pembakaran beton dengan suhu 400°C selama 3 jam

### 5.2 Hasil Pengujian Sifat-sifat Beton Segar dan Pembahasannya

#### 5.2.1 Pengujian Nilai Slump

Pada pengujian ini nilai slump dibandingkan terhadap proporsi kadar kastabel dengan nilai slump rencana 60 - 180 mm. Hasil pengujian dilaboratorium diperoleh dari proporsi kadar kastabel yang ditunjukkan pada Tabel 5.1 dan Grafik 5.1 dibawah ini.

Tabel 5.1 Pengaruh Kadar Kastabel terhadap Nilai Slump

No.	Kadar Kastabel % berat semen ( $\text{kg/m}^3$ )	Slump (mm)
1.	0.0 (0.0)	60
2.	5.0 (0.70)	70
3.	10 (1.41)	80
4.	15 (2.11)	80
5.	20 (2.82)	50

Dari tabel tersebut di atas terlihat bahwa penambahan kadar kastabel dalam campuran beton berpengaruh sekali terhadap slump rencana. Pada penambahan kastabel hingga kadar 20% dari berat semen ( $2.82 \text{ kg/m}^3$ ) slump mengalami penurunan diluar batas minimum slump rencana, yaitu sekitar 50 mm.

#### 5.2.2 Pengujian Berat Isi Beton Segar

Pengujian berat isi beton segar dilakukan bersamaan dengan pencetakan beton dan setelah dicampur merata dengan penambahan kadar kastabel yang telah ditetapkan, yaitu : 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen. Dalam penelitian ini berat jenis beton rencana adalah  $2320 \text{ kg/m}^3$ . Di bawah ini ditunjukkan hasil pengujian berat isi beton segar pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Pengaruh Kadar Kastabel terhadap Berat Isi Beton Segar

No.	Kadar Kastabel % berat semen ( $\text{kg/m}^3$ )	Berat (kg)	Vol. Tabung (lt)	Berat Isi (kg/lt)	Berat Isi ( $\text{kg/m}^3$ )
1.	0.0 (0.0)	12.40	5	2.480	2480
2.	5.0 (0.70)	12.32	5	2.464	2464
3.	10 (1.41)	12.30	5	2.460	2460
4.	15 (2.11)	12.24	5	2.448	2448
5.	20 (2.82)	12.90	5	2.580	2580

Pada saat beton normal terjadi gaya tarik menarik antara batu pecah, pasir dan air semen. Pada saat beton dengan campuran kadar kastabel 5%, 10% dan 15% dari berat semen dirnungkinkan terjadi pengurangan gaya tarik menarik antara batu pecah, pasir dan air semen. Demikian sebaliknya campuran kadar kastabel 20% dari berat semen.

### 5.3 Pengujian Sifat-sifat Beton yang Telah Mengeras

Pengujian sifat-sifat beton yang telah mengeras dilakukan pada beton yang telah mengalami proses perawatan dengan perendaman dalam kolam air selama 28 hari.

#### 5.3.1 Pengujian Sifat-sifat Beton yang Telah Mengeras Tanpa Melalui Uji Bakar

Pengujian sifat-sifat beton yang telah mengeras, antara lain : pengujian berat isi beton kering dan pengujian kuat tekan beton.

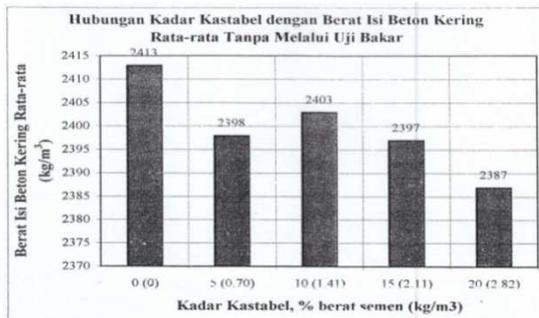
#### A. Pengujian Berat Isi Beton Kering

Pengujian berat isi beton kering ini memiliki pengaruh hubungan terhadap penambahan kadar kastabel dalam campuran beton. Adapun hasil dari pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 5.3 dan Grafik 5.3 di bawah ini.

Tabel 5.3 Pengaruh Kadar Kastabel terhadap Berat Isi Beton Kering Tanpa Melalui Uji Bakar

Kadar Kastabel % (kg/m <sup>3</sup> ) (1)	Dimensi		Luas Bidang (cm <sup>2</sup> ) (4)	Volume Bidang (cm <sup>3</sup> ) (5)	Berat Kering (Kg) (6)	Berat Isi Kering (kg/cm <sup>3</sup> ) (7)	Berat Isi Kering Rata-rata (kg/cm <sup>3</sup> ) (8)	Berat Isi Kering Rata-rata (kg/m <sup>3</sup> ) (9)
	Diameter (cm) (2)	Tinggi (cm) (3)						
0 (0)	15	30	176.625	5298.75	12.75	0.002406	0.002413	2413
	15	30	176.625	5298.75	12.80	0.002416		
	15	30	176.625	5298.75	12.80	0.002416		
5 (0.70)	15	30	176.625	5298.75	12.75	0.002406	0.002398	2398
	15	30	176.625	5298.75	12.55	0.002368		
	15	30	176.625	5298.75	12.82	0.002419		
10 (1.41)	15	30	176.625	5298.75	12.90	0.002435	0.002403	2403
	15	30	176.625	5298.75	12.55	0.002368		
	15	30	176.625	5298.75	12.75	0.002406		
15 (2.11)	15	30	176.625	5298.75	12.50	0.002359	0.002397	2397
	15	30	176.625	5298.75	12.80	0.002416		
	15	30	176.625	5298.75	12.80	0.002416		
20 (2.82)	15	30	176.625	5298.75	12.60	0.002378	0.002387	2387
	15	30	176.625	5298.75	12.70	0.002397		
	15	30	176.625	5298.75	12.65	0.002387		

Grafik 5.3 Pengaruh Kadar Kastabel terhadap Berat Isi Beton Kering Tanpa Melalui Uji Bakar



Dari tabel dan grafik di atas terlihat bahwa berat isi beton kering dengan penambahan kadar kastabel 5% dari berat semen mengalami penurunan atau lebih kecil dibandingkan dengan berat isi beton kering normal.. Sedangkan untuk penambahan kadar kastabel 10% dari berat semen, berat isi beton kering mengalami kenaikan kembali

Pada penambahan kadar kastabel 15% dan 20% dari berat semen, berat isi beton kering mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan kastabel memiliki sifat fisik yang lebih ringan dari agregat dan memiliki berat jenis yang lebih kecil dari semen.

**B. Pengujian Kuat Tekan Beton**

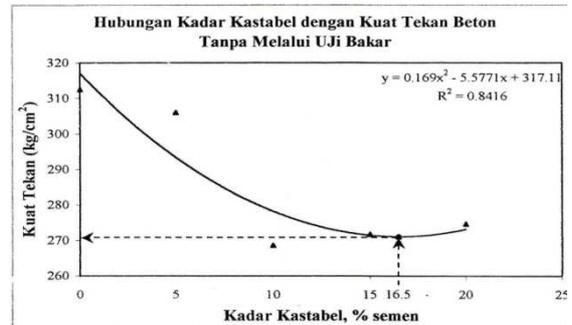
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh proporsi agregat halus, agregat kasar dan kadar kastabel tertentu yang telah ditetapkan dalam campuran beton, sekaligus untuk mengetahui perilaku beton dari segi kuat tekan pada umur 28 hari. Adapun hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Grafik 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.4 Data Kuat Tekan Beton umur 28 hari Tanpa Uji Bakar

Kadar Kastabel % (kg/m <sup>3</sup> ) (1)	Dimensi		Luas Bidang (cm <sup>2</sup> ) (4)	Volume Bidang (cm <sup>3</sup> ) (5)	Gaya Tekan (ton) (6)	Kuat Tekan Beton (Kg/cm <sup>2</sup> ) (7)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (kg/cm <sup>2</sup> ) (8)
	Diameter (cm) (2)	Tinggi (cm) (3)					
0 (0)	15	30	176.625	5298.75	50.60	286.48	312.43
	15	30	176.625	5298.75	59.40	336.31	
	15	30	176.625	5298.75	55.55	314.51	
5 (0.70)	15	30	176.625	5298.75	52.80	298.94	306.00
	15	30	176.625	5298.75	56.32	318.87	
	15	30	176.625	5298.75	53.02	300.18	
10 (1.41)	15	30	176.625	5298.75	41.80	236.66	268.63
	15	30	176.625	5298.75	45.87	259.70	
	15	30	176.625	5298.75	54.67	309.53	
15 (2.11)	15	30	176.625	5298.75	55.88	316.38	271.74
	15	30	176.625	5298.75	44.00	249.12	
	15	30	176.625	5298.75	44.11	249.74	
20 (2.82)	15	30	176.625	5298.75	47.96	271.54	274.65
	15	30	176.625	5298.75	43.67	247.25	
	15	30	176.625	5298.75	53.90	305.17	

Berdasarkan data hasil pengujian kuat tekan di atas, didapatkan hasil kuat tekan rata-rata beton normal yang melebihi kuat tekan yang disyaratkan, tetapi tidak mencapai kuat tekan yang ditargetkan.

Grafik 5.1 Hubungan Kadar Kastabel dengan Kuat Tekan Beton Rata-rata Umur 28



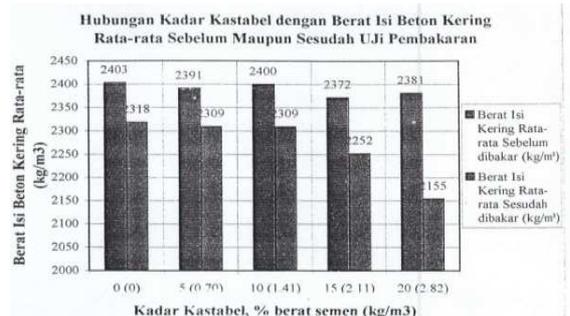
Dari model persamaan regresi di atas adalah persamaan regresi parabola kuadrat (polinomial), yang dapat dilihat pada angka yang tinggi akibat adanya proses hidrasi yang berlebihan dapat menghasilkan keretakan dan pengeroposan spalling) hingga mengurangi nilai kekuatan beton.

**5.3.2 Pengujian Sifat-sifat Beton yang Telah Mengeras dengan Terlebih Dahulu Melalui Uji Pembakaran**

Setelah melalui proses perawatan seperti yang diutarakan sebelumnya, beton yang terdiri dari 15 buah benda uji dilakukan pengujian sifat-sifat beton yang telah mengeras, antara lain pengujian berat isi beton kering dan pengujian kuat tekan beton.

**A. Pengujian Berat Isi Beton Kering**

Pengujian berat isi beton kering ini memiliki pengaruh hubungan terhadap penambahan kadar kastabel dalam campuran beton. Pengujian ini dilakukan pada benda uji dalam kondisi sebelum maupun setelah dilakukan uji pembakaran. Adapun hasil dari pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 5.5 dan Grafik 5.5 di bawah ini.



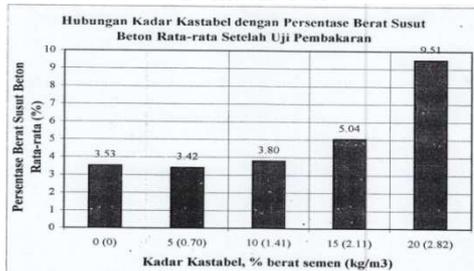
Grafik 5.5 Hubungan Kadar Kastabel dengan Berat Isi Beton Kering Sebelum dan Setelah Uji Bakar.

Tabel 5.5 Pengaruh Kadar Kastabel dengan Berat Isi Beton Kering Sebelum maupun Setelah Uji Bakar

Kadar Kastabel	Dimensi		Volume		Berat Kering		Berat Isi Kering		Berat Isi Kering Rata-rata		Berat Susut Beton	
	Diameter	Tinggi	Bidang	Sebelum dibakar	Setelah dibakar	Sebelum dibakar	Setelah dibakar	Sebelum dibakar	Setelah dibakar	Sebelum dibakar	Setelah dibakar	(%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
0 (0)	15	30	5298.75	12.70	12.25	0.002397	0.002312					
	15	30	5298.75	12.60	12.20	0.002378	0.002302	0.002403	0.002318	2403	2318	3.53
5 (0.70)	15	30	5298.75	12.90	12.40	0.002435	0.002340					
	15	30	5298.75	12.80	12.35	0.002416	0.002331	0.002391	0.002309	2391	2309	3.42
10 (1.41)	15	30	5298.75	12.50	12.10	0.002359	0.002284					
	15	30	5298.75	12.70	12.25	0.002397	0.002312	0.002400	0.002309	2400	2309	3.80
15 (2.11)	15	30	5298.75	12.50	11.90	0.002359	0.002246					
	15	30	5298.75	12.60	11.80	0.002378	0.002227	0.002372	0.002252	2372	2252	5.04
20 (2.82)	15	30	5298.75	12.60	12.10	0.002378	0.002284					
	15	30	5298.75	12.60	11.50	0.002378	0.002170	0.002381	0.002155	2381	2155	9.51

Dari tabel dan grafik di atas terlihat bahwa, berat isi beton kering sebelum uji pembakaran dengan penambahan kadar kastabel 5% - 20% dari berat semen mengalami penurunan atau lebih kecil dibandingkan dengan berat isi beton kering normal. Sedangkan pada beton setelah pembakaran, berat isi beton kering uji mengalami penurunan yang sangat signifikan, terutama sekali pada beton dengan kadar kastabel 20% yang dapat dilihat pada Grafik 5.6.

Grafik 5.6 Hubungan Kadar Kastabel dengan Persentase Berat Susut Beton Setelah Uji Pembakaran



**B. Pengujian Kuat Tekan Beton**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh kekuatan beton dengan penambahan kadar kastabel. Adapun hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Grafik 5.7 di bawah ini.

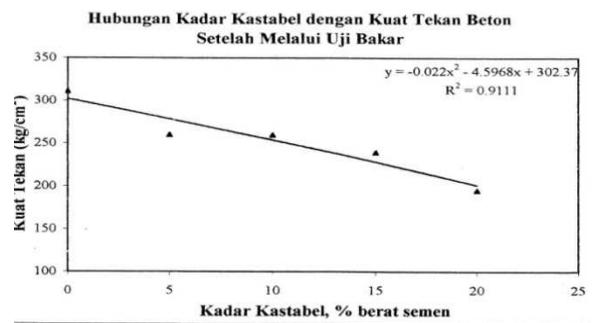
Tabel 5.6 Data Kuat Tekan Beton Umur 28hari

Kadar Kastabel	Dimensi		Luas Bidang	Volume Bidang	Gaya Tekan	Kuat Tekan Beton	Kuat Tekan Beton Rata-rata
	Diameter	Tinggi					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
0 (0)	15	30	176.625	5298.75	56.65	320.74	310.77
	15	30	176.625	5298.75	51.70	292.71	
5 (0.70)	15	30	176.625	5298.75	56.32	318.87	260.12
	15	30	176.625	5298.75	37.95	214.86	
10 (1.41)	15	30	176.625	5298.75	48.29	273.40	259.91
	15	30	176.625	5298.75	51.59	292.09	
15 (2.11)	15	30	176.625	5298.75	46.31	262.19	239.57
	15	30	176.625	5298.75	50.60	286.48	
20 (2.82)	15	30	176.625	5298.75	40.81	231.05	195.14
	15	30	176.625	5298.75	48.62	275.27	

Dari tabel 5.7 di atas terlihat bahwa kekuatan tekan beton mengalami penurunan sebesar 0.531% dari kuat tekan beton tanpa uji pembakaran pada tabel.

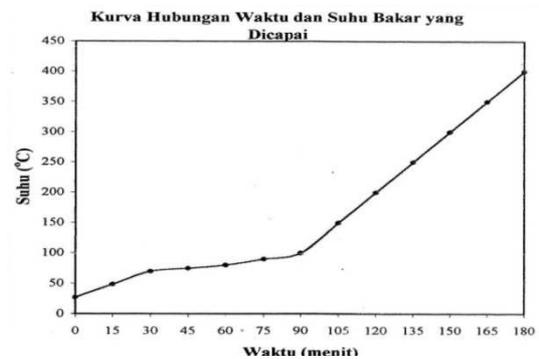
Penurunan kekuatan beton ini diikuti dengan komposisi penambahan kadar kastabel dengan harga persentase yang jauh lebih besar pada setiap penambahan kadar kastabel, dibandingkan dengan kekuatan beton normal. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Grafik 5.2 di bawah ini.

Grafik 5.2 Hubungan Kadar Kastabel dengan Kuat Tekan Beton setelah Uji Bakar



Untuk mendapatkan grafik kuat tekan beton yang mewakili, seperti yang ditunjukkan di atas dilakukan analisa regresi dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 5.3 di bawah ini.

Grafik 5.3 Kurva Hubungan Waktu dan Suhu Bakar



Hal ini menunjukkan grafik tersebut mendekati kebenaran. Penurunan kekuatan beton yang telah mengalami uji pembakaran ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya:

1. Adanya pengaruh negatif dari kapur (CaO) pada semen yang menghasilkan terjadinya proses hidrasi yang berlebihan, hingga menyebabkan pengerosan (spalling) dan menurunkan nilai kekuatan beton.
2. Penyusutan pada susunan pasta semen dan perbedaan antara perubahan panas agegat dengan susunan pasta semen.

Tabel 5.7 Hasil Pengamatan Suhu Bakar pada Tungku Bakar

Suhu (°C)	Waktu (menit)
27	0
48.5	15
70	30
75	45
80	60
90	75
100	90
150	105
200	120
250	135
300	150
350	165
400	180

**5.4 Degradasi Kuat Tekan Beton yang Dibakar Terhadap Kuat Tekan Beton Tanpa Dibakar**

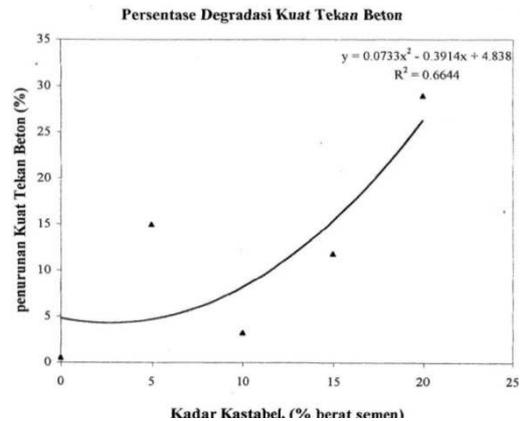
Degradasi ini memberikan persentase penurunan kuat tekan beton yang dibakar terhadap kuat tekan beton tanpa dibakar pada usia 28 hari menggunakan campuran kadar kastabel tertentu sebagai substitusi parsial semen. Persentase degradasi ini dapat dilihat pada Tabel 5.8 di bawah ini.

Tabel 5.8 Persentase Degradasi Kuat Tekan Beton Dibakar Terhadap Kuat Tekan Beton Tanpa Dibakar

Kadar Kastabel (% berat semen)	Kuat Tekan Beton Rata-rata Tanpa Uji Bakar (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Beton Rata-rata Setelah Uji Bakar (Kg/cm <sup>2</sup> )	Degradasi Kuat Tekan Beton (%)
(1)	(2)	(3)	(4)
0	312.43	310.77	0.5313
5	306.00	260.12	14.99
10	268.63	259.91	3.246
15	271.74	239.57	11.84
20	274.65	195.14	28.95

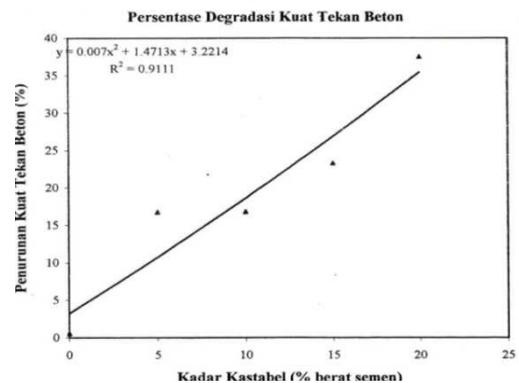
Dari tabel tersebut di atas terlihat bahwa persentase degradasi kuat tekan beton cenderung meningkat, seiring dengan bertambahnya kadar kastabel. Untuk lebih jelasnya persentase degradasi kuat tekan beton ini ditunjukkan pada grafik 5.4 dan tabel 5.11 sebagai model persamaan regresi seperti di bawah ini.

Grafik 5.4 Persentase Degradasi Kuat Tekan Beton yang Dibakar Terhadap Kuat Tekan Beton Tanpa Dibakar



Dari tabel tersebut di atas terlihat bahwa persentase degradasi kuat tekan beton cenderung mengalami peningkatan yang sangat signifikan, seiring dengan bertambahnya kadar kastabel sebagai substitusi parsial semen. Untuk lebih jelasnya persentase degradasi kuat tekan beton ini ditunjukkan pada Grafik 5.5 dan Tabel 5.9 sebagai model persamaan regresi seperti di bawah ini.

Grafik 5.5 Persentase Degradasi Kuat Tekan Beton yang Dibakar Terhadap Kuat Tekan Beton Normal Tanpa Dibakar



Tabel 5.9

Kadar Kastabel (% berat semen)	Kuat Tekan Beton Rata-rata Setelah Uji Bakar (Kg/cm <sup>2</sup> )	Degradasi Kuat Tekan Beton (%)
(1)	(2)	(3)
0	310.77	0.5313
5	260.12	16.74
10	259.91	16.81
15	239.57	23.32
20	195.14	37.54

Dapat dilihat pada angka kecocokan yang

mendekati satu dan bentuk grafik yang diperoleh dari persamaan data persentase degradasi kuat tekan letak titik-titik diagram pencarnya yang mewakili. Hal ini menunjukkan grafik tersebut mendekati kebenaran.

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin meningkat penambahan kadar kstabel sebagai substitusi parsial semen, mengakibatkan terjadinya penurunan nilai slump pada kadar kastabel lebih dari 15% sebesar 50 mm. Hal ini dikarenakan kastabel memiliki sifat berat jenis yang lebih kecil dan memiliki butiran gradasi yang lebih kasar dibandingkan semen
2. Semakin meningkat penambahan kadar kastabel sebagai substitusi parsial semen mengakibatkan terjadinya penurunan berat isi beton segar hingga mencapai 15% dari berat semen sebesar 2448 kg/m<sup>3</sup>. Dan mengalami kenaikan di atas berat isi beton segar normal pada kadar 20% dari berat semen sebesar 2580 kg/m<sup>3</sup>. Hal ini dimungkinkan akibat adanya pengembangan/penyerapan gradasi butiran kasar kastabel.
3. Seiring meningkatnya penambahan kadar kastabel sebagai substitusi parsial semen, mengakibatkan terjadinya penurunan berat isi beton kering. Hal ini dikarenakan kasrabel memiliki sifat fisik yang lebih ringan dari agregat dan memiliki berat jenis yang lebih kecil dari semen.
4. Kuat tekan beton normal maupun dengan penambahan kadar kastabel, sebagai substitusi parsial semen tanpa melalui uji pembakaran mengalami penurunan hingga batas minimum pada kadar kastabel 16.5% dari berat semen dengan harga kuat tekan beton sebesar 271.10 kg/cm<sup>2</sup> dan mengalami kenaikan lagi pada kadar kastabel 20% dari berat semen dengan kuat tekan beton sebesar 274,65 kg/cm<sup>2</sup> (masih dibawah kuat tekan beton normal). Hal semacam ini dikarenakan penggunaan kadar kastabel sebagai substitusi parsial sernen kurang

berpengaruh baik (menurun) terhadap kekuatan beton, samping kandungan kapur (CaO) yang terdapat dalam semen berpengaruh negatif terhadap kastabel yang menyebabkan terjadinya proses hidrasi yang berlebihan.

5. Pada beton yang telah melalui uji pembakaran, kuat tekan beton normal maupun dengan penambahan kadar kastabel sebagai substitusi parsial semen mengalami penurunan hingga kadar kastabel 20% dari berat semen sebesar 195-14 kg/cm<sup>2</sup>. Penurunan ini dimungkinkan oleh adanya pengaruh negatif dari kapur (CaO) pada semen yang menyebabkan terjadinya proses hidrasi yang berlebihan hingga menimbulkan pengeroposan (spalling) dan menurunkan nilai kekuatan beton
6. Hubungan korelasi antara kuat tekan beton pada penambahan kadar kastabel 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen yang melalui uji pembakaran dengan tanpa uji pembakaran pada umur beton 28 hari adalah sebagai berikut :
  - $f_{c'} \text{ (kastabel 0\% dari berat semen uji bakar)} = 0.9947 f_{c'}$  atau mengalami penurunan (degradasi) sebesar 0.5313%.
  - $f_{c'} \text{ (kastabel 5\% dari berat semen uji bakar)} = 0.8501 f_{c'}$  atau mengalami penurunan (degradasi) sebesar 14.990%.
  - $f_{c'} \text{ (kastabel 10\% dari berat semen uji bakar)} = 0.9675 f_{c'}$  atau mengalami penurunan (degradasi) sebesar 3.246%.
  - $f_{c'} \text{ (kastabel 15\% dari berat semen uji bakar)} = 0.8816 f_{c'}$  atau mengalami penurunan (degradasi) sebesar 11.840%.
  - $f_{c'} \text{ (kastabel 20\% dari berat semen uji bakar)} = 0.7105 f_{c'}$  atau mengalami penurunan (degradasi) sebesar 28.950%.
7. Hubungan korelasi antar kuat tekan beton pada penambahan kadar kastabel : 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen yang melalui uji pembakaran dengan kuat tekan beton normal tanpa uji pembakaran pada umur beton 28 hari adalah :
  - $f_{c'} \text{ (kastabel 0\% dari berat semen uji bakar)} = 0.9947 f_{c'}$  atau mengalami penurunan (degradasi) sebesar 0.5313%.
  - $f_{c'} \text{ (kastabel 5\% dari berat semen uji bakar)} = 0.8326 f_{c'}$  atau mengalami penurunan (degradasi) sebesar 16.74%.
  - $f_{c'} \text{ (kastabel 10\% dari berat semen uji bakar)} = 0.8319 f_{c'}$

atau mengalami penurunan (degradasi) sebesar 16.81%.

- $f'c$  (kastabel 15% dari berat semen uji bakar) = 0.7668  $f'c$  atau mengalami penurunan (degradasi) sebesar 23.32%.
- $f'c$  (kastabel 20% dari berat semen uji bakar) = 0.6246  $f'c$  atau mengalami penurunan (degradasi) sebesar 37.54%.

8. Dimungkinkan penggunaan kadar kastabel optimum tidak tercapai antar kadar 5% - 20% dari berat semen sebagai substitusi parsial semen.

## 6.2 Saran

Perlu dilakukan pengembangan objek penelitian dengan variabel yang lebih beragam, misal dengan penambahan kadar kastabel di atas 25% atau lebih, dilakukan pengujian fisik maupun kimiawi pada kastabel dilakukan pengujian ketahanan terhadap suhu yang lebih tinggi pada beton normal beton dengan penambahan kadar kastabel.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI 547 R. (1979). *Refractory Concrete : Abstract of State-of-the-Art Report Detroit*, Michigan : American Concrete Institute
- Ali, M. (2004). *Hubungan Waktu Bakar dan Penetrasi Termal pada Elemen Beton* : Skripsi Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung tidak diterbitkan.
- ASTM C 33. (1980). *Standard Specification for Concrete Aggregates* Philadelphia : American National Standard
- G. Salmon, C and E. Johnson (1990). *Struktur Baja Desain dan Perilaku (ed. ketiga jilid kesatu)* Jakarta : Erlangga
- Departemen Pekerjaan Umum. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 NI-2* Bandung : Direktorat Jenderal Cipta Karya Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan
- Departemen Perindustrian dan Perdagangan (1989). *Bahan Tahan Api Kastabel Jenis Aluminium Silikat (SNI 15-0718-1989)* Bandung : Balai Besar Industri Keramik
- Departemen Perindustrian dan Perdagangan. (tt) *Panduan Praktikum Teknologi Beton (Uji Fisik, NDT dan Mix Design)*. Bandung : Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) Laboratorium Beton.
- Harbison Walker Refractories Company. (tt) *Technical Information Castable Refractories*.
- M Asyraf, S. (2000). *"Refraktori Kastabel dan Sifat Aplikasinya"*. Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia. 9(1 dan 2), 28-37
- Murdock, L. J. dan Brook, K. M. (1999). *Bahan dan Praktek Beton (ed. ke-empat)*. Jakarta : Erlangga.
- Orchard, D. F. (tt) *Concrete Technology "Properties of Materials for The Fire Resistance of Concrete (Volume 1)* . New York : John Wiley and Sons Inc.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman. (1989). *Metode Pengujian Tahan Api Komponen Struktur Bangunan untuk Pencegahan Bahaya Kebakaran pada Bangunan Rumah dan Gedung (SNI 03-1741-1989)*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum
- Sandi H.H, A. (2003). *Studi Campuran Beton dengan Penambahan Serat Polypropylene terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi tanpa Perawatan*. Skripsi Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung : tidak diterbitkan.
- Subakti, A. (1995). *Teknologi Beton dalam Praktek*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Sutiana, N. (2001). *Pengaruh Suhu Bakar terhadap Kuat Tekan Beton*. Skripsi Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung : tidak diterbitkan.
- The Concrete Society. (1978). *Assessment and Repair of Fire-Damaged Concrete Structures (second ed.)*. Wexham : The Concrete Society
- Varshney, R. S. (1982). *Concrete Technology for Special Concrete (Heat Resistant Concrete)*. New Delhi, India : Oxford & IBH Publishing Co.