

# **PENGARUH SUHU DAN DURASI PEMANASAN TERHADAP PERUBAHAN KARAKTERISTIK BETON PASKA BAKAR**

**(PENELITIAN)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Mendapatkan Gelar  
Sarjana Teknik**

**Oleh :**

**RAHMAD AFANDI**

**(07.811.0016)**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN SIPIL  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN**

**2012**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 17/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

# PENGARUH SUHU DAN DURASI PEMANASAN \

## TERHADAP PERUBAHAN KARAKTERISITK

### BETON PASCA BAKAR

(PENELITIAN)

## TUGAS AKHIR

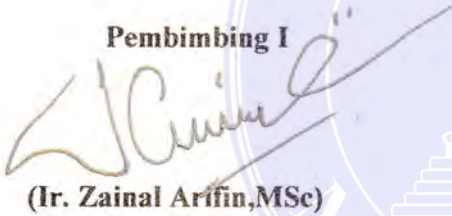
OLEH :

**RAHMAD AFANDI**

**NIM : 07 811 0016**

Disetujui :

Pembimbing I



(Ir. Zainal Arifin, MSc)

Pembimbing II



(Ir. Nurmaidah, MT)

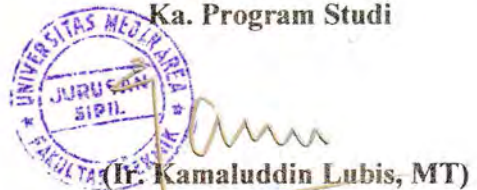
Mengetahui :

Dekan



(Ir. Hj. Haniza, MT)

Ka. Program Studi



(Ir. Kamaluddin Lubis, MT)

Tanggal lulus : 27 November 2012

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 17/7/24

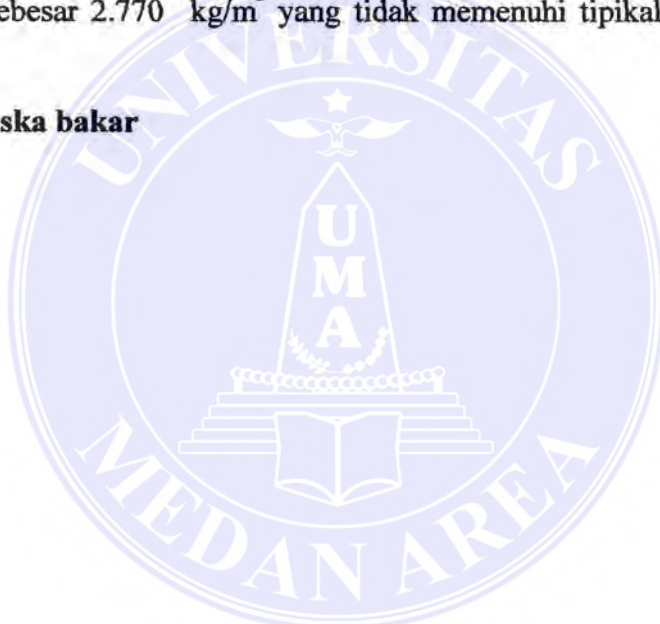
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)17/7/24

## Abstrak

Beton yang sudah dicetak setelah umur pengeringan 28 hari diberi perlakuan pembakaran pada temperatur 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C dengan waktu penahanan (*holding time*) 20 menit, 40 menit dan 60 menit untuk masing-masing temperatur. Setelah dilakukan pembakaran, beton didinginkan selama 24 jam dan dilakukan pengujian karakteristik sifat mekanik (kuat tekan) dan sifat fisis (porositas dan densitas) benda uji pada beton. Benda uji dibuat dengan komposisi campuran beton 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada temperatur 500°C kuat tekan untuk waktu penahanan 20 menit adalah 20,637 MPa dan untuk waktu penahanan 40 menit adalah 18,509 MPa, data Porositas untuk waktu penahanan 20 menit adalah 8,6% dan untuk waktu penahanan 40 menit adalah 10,7%, data Densitas untuk waktu penahanan 20 menit adalah 2.870 kg/m<sup>3</sup> dan untuk waktu penahanan 40 menit adalah 2.850 kg/m<sup>3</sup> mendekati hasil tipikal kuat tekan beton normal dengan tujuan pemakaian beton untuk perumahan. Sedangkan untuk waktu penahanan 60 menit kuat tekan yang dihasilkan adalah 15,541 MPa, porositas sebesar 13,2%, dan densitas sebesar 2.770 kg/m<sup>3</sup> yang tidak memenuhi tipikal kuat tekan beton normal.

**Kata kunci:** beton paska bakar



## **Abstrack**

*Concrete that has been printed after the age of 28 days of drying the treated fuel at temperatures 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C and 800°C with holding time (holding time) 20 minutes, 40 minutes and 60 minutes for each temperature. After the burning, concrete cooled for 24 hours and performed the test characteristics of the mechanical properties (compressive strength) and physical properties (porosity and density) in the concrete specimens. The specimens made with concrete composition 1 cement : 2 sand : 3 pebbles. Results showed that compressive strength at temperature 500°C for 20 minutes holding time is 20,637 MPa and holding time of 40 minutes is 18,509 MPa, porosity data for 20-minute detention time is 8.6% and for 40 minutes holding time is 10.7% , the data density for 20 minute detention time is 2.870 kg/m<sup>3</sup> and for the holding time of 40 minutes is 2.850 kg/m<sup>3</sup> approaching the typical compressive strength of normal concrete with the use of concrete for residential purposes. While for the 60-minute detention time yielded compressive strength is 15,541 MPa, the porosity of 13.2%, and density of 2.770 kg/m<sup>3</sup> which do not meet the typical compressive strength of normal concrete.*

**Keyword: concrete paska burn.**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-nya, sehingga akhirnya penulis dapat menyusun/menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “ *Pengaruh Suhu Dan Durasi Pemanasan Terhadap Perubahan Karakteristik Beton Pasca Bakar* “ adalah guna melengkapi tugas-tugas dan syarat untuk menempuh Ujian Sarjana Teknik Sipil di Universitas Medan Area (UMA).

Di dalam penyusunan Tugas Akhir ini semuanya tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dengan hati yang tulus dan hormat, penulis mengucapkan rasa terimakasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. A. Ya'kup Matondang, MA, selaku Rektor Universitas Medan Area (UMA).
2. Ibu Ir. HJ. Hanizah, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area (UMA).
3. Bapak Ir. Kamaluddin Lubis, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Medan Area (UMA).
4. Bapak Ir. Zainal Arifin, MSc selaku dosen pembimbing I.
5. Ibu Ir. Nurmaidah, MT selaku dosen pembimbing II.
6. Orang Tua saya yang memperjuangkan dan membina serta mendidik saya selama duduk dibangku kuliah sampai menyusun Tugas Akhir ini.
7. Serta rekan-rekan saya yang membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Edirikson Sipahutar, Donal Togatorop, Andre Silaban, Ricky Budiansyah.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan penelitian Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, hal ini disebabkan karena keterbatasan pengetahuan dalam literature yang ada untuk itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang baik dari pembaca untuk lebih menyempurnaan penelitian Tugas Akhir ini.

Medan, September 2012

Penulis,

Rahmad Afandi  
NIM : 07 811 0016





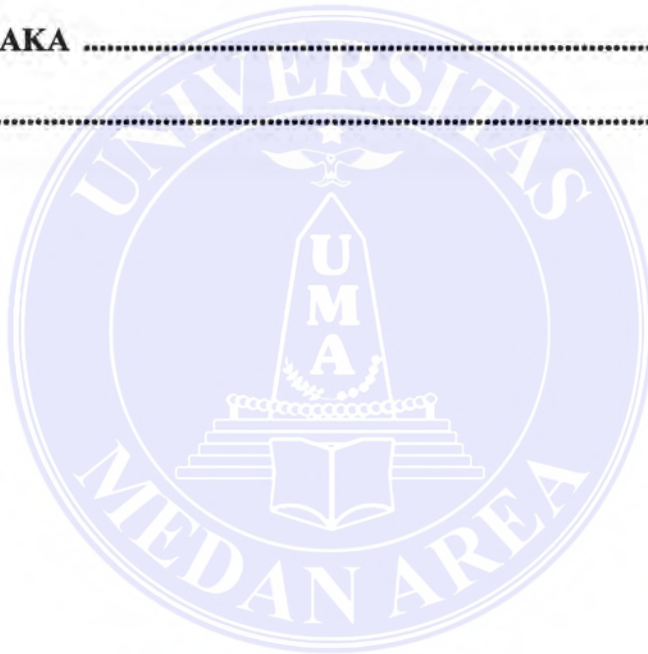
## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Maksud dan Tujuan .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	4
1.5. Metode Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Beton .....	5
2.2. Agregat .....	7
2.2.1 Jenis-jenis Agregat .....	8
2.2.2 Kekuatan Agregat .....	13
2.2.3 Yang Mempengaruhi Kekuatan Agregat .....	13
2.3. Semen .....	14
2.3.1 Faktor Air Semen (FAS) .....	17
2.4. Air .....	18
2.5. Adukan Beton .....	19

2.6.	Mutu Beton .....	20
2.7.	Ketahanan Terhadap Kebakaran .....	23
2.7.1.	Pengaruh Temperatur Tinggi Terhadap Beton .....	23
2.7.2.	Kebakaran Pada Bangunan .....	25
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>27</b>
3.1.	Alat dan Bahan .....	27
3.1.1	Peralatan .....	27
3.1.2	Bahan – bahan .....	27
3.2.	Metodelogi Penelitian .....	28
3.2.1.	Diagram Alir Penelitian .....	28
3.2.2.	Prosedur Pembuatan Benda Uji Beton .....	29
3.2.2.1.	Prosedur Pembuatan Benda Uji Kuat Tekan .....	29
3.2.2.2.	Prosedur Pengujian Kuat Tekan Beton (Compressive Strength) .....	31
3.2.2.3.	Prosedur Pembuatan Benda Uji Porositas .....	32
3.2.2.4.	Prosedur Pengujian Porositas .....	33
3.2.2.5.	Prosedur Pembuatan Benda Uji Densitas .....	34
3.2.2.6.	Prosedur Pengujian Densitas .....	35
3.3.	Pengujian Sampel .....	36
3.3.1.	Sifat Mekanik .....	36
3.3.1.1	Kuat Tekan .....	36
3.3.2.	Sifat Fisis .....	36
3.3.2.1	Pengujian Porositas .....	36
3.3.2.2	Pengujian Densitas .....	37



<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1 Pengujian Kuat Tekan Beton .....	38
4.2 Pengujian Porositas Beton .....	42
4.3 Pengujian Densitas Beton .....	45
4.4 Pengamatan Warna dan Kondisi Visual Beton .....	47
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>49</b>
4.1 Kesimpulan .....	49
4.2 Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>52</b>



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	28
Gambar 4.1 Grafik Temperatur (0C) –vs- Kuat Tekan (Mpa) .....	40
Gambar 4.2 Hubungan Porositas Dengan Temperatur .....	43
Gambar 4.3 Hubungan Densitas Dengan Temperatur.....	46



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Kelas dan Mutu Beton .....	10
Tabel 2.2 : Batas-batas gradasi agregat kasar.....	12
Tabel 2.3 : Syarat Mutu Kekuatan Agregat Sesuai SII.0052-08 .....	14
Tabel 2.4 : Batas Maksimum Ion Klorida .....	19
Tabel 3.1 : Komposisi Adukan Beton Rencana .....	28
Tabel 4.1 : Data Beton Normal tanpa pembakaran .....	38
Tabel 4.2 : Data Kuat Tekan Beton dengan Pembakaran dan Waktu Penahanan 20 menit .....	38
Tabel 4.3 : Data Kuat Tekan Beton dengan Pembakaran dan Waktu Penahanan 40 menit .....	39
Tabel 4.4 : Data Kuat Tekan Beton dengan Pembakaran dan Waktu Penahanan 60 menit .....	39
Tabel 4.5 : Data Porositas Beton dengan Pembakaran dan Waktu Penahanan 20 menit .....	42
Tabel 4.6 : Data Porositas Beton dengan Pembakaran dan Waktu Penahanan 40 menit .....	42
Tabel 4.7 : Data Porositas Beton dengan Pembakaran dan Waktu Penahanan 60 menit .....	43
Tabel 4.8 : Data Densitas Beton dengan Pembakaran dan Waktu Penahanan 20 menit .....	45
Tabel 4.9 : Data Densitas Beton dengan Pembakaran dan Waktu Penahanan 40 menit .....	45

Tabel 4.10 : Data Densitas Beton dengan Pembakaran dan Waktu  
Penahanan 60 menit ..... 46

Tabel 4.11 : Pengamatan dengan Warna dan Kondisi Visual Beton pada  
Temperatur Tinggi ..... 47



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dewasa ini di bidang struktur mengalami kemajuan di berbagai bidang, struktur tersebut terbuat dari beton. Beton salah satu bahan konstruksi yang banyak di pergunakan selain kayu dan baja, sebab beton dapat menahan beban yang cukup tinggi . Beton juga banyak di pergunakan karena keunggulan - keunggulannya, antara lain karena kuat tekan beton tinggi, mudah dalam perawatan, mudah dalam pembentukan serta mudah mendapatkan bahan penyusunanya. Campuran bahan – bahan yang membentuk beton harus di tetapkan sedemikian rupa, agar memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras.

Beton bukanlah suatu bahan yang dapat langsung diperoleh dari alam sebagai mana material lainnya, akan tetapi terbentuk atas dasar pengolahan dari beberapa material alami atau buatan sehingga membentuk suatu massa yang kompak dan kokoh. Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air, agregat dan kadang – kadang bahan tambahan (*admixtur*) yang berupa bahan kimia, serat, bahan non kimia dengan perbandingan tertentu

Dalam keadaan yang telah mengeras beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi dan sebaliknya memiliki kekuatan tarik yang rendah. Dalam perencanaan untuk perhitungan kekuatan konstruksinya perlu ditetapkan kekuatan tekan dari beton yang akan digunakan. Kekuatan tekan ini ditentukan beberapa faktor antara lain :

1. Mutu agregat halus dan kasar (yang meliputi modulus kehalusan, porositas, Berat jenis dan asalnya)
2. Jenis semen, rasio w/c dan lainnya.

Struktur beton bertulang memiliki tingkat ketahanan yang lebih baik terhadap peningkatan suhu (kebakaran) dibandingkan struktur baja atau kayu. Keruntuhan struktur beton bertulang akibat kebakaran terjadi secara gradual atau bertahap. Sehingga perlu diketahui hubungan antara perubahan sifat material dan temperatur, distribusi temperatur dan distribusi kekuatan sisa beton, distribusi temperatur dan kandungan CaO-free (bebas karbon oksida) sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui suhu permukaan struktur pada saat terbakar dan menghitung penurunan kekuatan struktur beton yang terbakar.

Bangunan yang diteliti dengan tingkat kerusakan yang ringan hingga berat yang secara visual dapat diperkirakan berdasarkan perubahan tekstur dan struktur serta penampakan elemen bangunan pasca kebakaran. Sifat fisik dan mekanis beton yang akan diteliti meliputi perubahan warna, retakan, kadar kapur bebas dan kuat tekan. Sedangkan sifat fisis dan mekanis tulangan yang akan diperiksa adalah tegangan, regangan dan modulus elastisitasnya.

Teori faktor air semen (faktor w/c) menyatakan bahwa untuk sebuah kombinasi bahan yang sudah memenuhi konsistensi yang telah dikerjakan, kekuatan beton pada umur tertentu tergantung pada perbandingan berat air dan berat beton. Dengan perkataan lain, jika angka perbandingan air terhadap beton sudah tertentu, maka kekuatan beton pada umur tertentu pada dasarnya dapat diperoleh, dengan syarat bahwa campurannya plastis, dapat dikerjakan, dan agregatnya baik dan tahan lama, dan bebas material yang merugikan.

Sifat beton dapat berubah karena sifat dari bahan-bahan pembentuk beton itu sendiri yaitu pasir, semen, kerikil, air maupun perbandingan dalam campurannya. Sifat yang paling penting dari beton adalah sifat mekaniknya yaitu sifat kekuatan tekan, kekuatan lentur, dan kekuatan tariknya. Sifat beton dalam pembakaran tertentu tidak menyebabkan perubahan mendadak. Beton pertamanya mengembang, tetapi kehilangan kekuatan mengikat yang progresif pada pasta semen menyebabkan komponen ini menyusut dan karenanya membantu mengimbangi pengembangan termal dari agregat.

Panas energi yang dipakai untuk menghilangkan kekuatan pengikat pada pasta semen ini mengurangi kecepatan naik temperatur permukaan. Kehilangan kekuatan beton akibat dehidrasi pasta semen karenanya dapat terbatas pada lapisan permukaan. Akibatnya, dapat dikatakan beton cukup tahan terhadap kebakaran.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Bagaimana pengaruh mutu beton setelah di lakukan pembakaran dengan suhu yang bervariasi (  $100^{\circ}\text{C}$  -  $800^{\circ}\text{C}$  ) apa yang terjadi pada perubahan karakteristik bentuk dan sifatnya

## **1.3 Maksud Dan Tujuan**

Maksud adalah untuk membuktikan apakah dengan melakukan pengujian pembakaran pada beton dapat mempengaruhi mutu suatu beton.

Tujuan dari tulisan ini adalah untuk mencari kelayakan dari penggunaan beton pasca kebakaran agar mendapatkan nilai ekonomis dari suatu beton setelah terbakar pada suhu tertentu.

#### 1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan pengujian, yaitu uji porositas dan uji densitas serta kekuatan tekan beton pasca bakar

1. Melakukan pengujian mekanik pada beton tersebut yaitu kekuatan tekannya.
2. Melakukan pengujian fisis pada beton tersebut yaitu uji porositas dan uji Densitas.
3. Melihat kekuatan struktur beton pasca pembakaran.

#### 1.5 Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang penulis terapkan meliputi :

1. Penelitian Kepustakaan.

Penelitian kepustakaan ini penulis digunakan sebagai dasar pembahasan secara teoritis dengan menggunakan data yang diperoleh dari literatur-literatur, tulisan-tulisan, bahan-bahan kuliah dan sumber-sumber lain yang berhubungan dengan skripsi ini.

2. Penelitian Laboratorium.

Dalam penelitian laboratorium penulis mengadakan penelitian langsung terhadap bahan-bahan yang akan diteliti untuk memperoleh data yang nyata.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Beton

Dalam bidang konstruksi bangunan yang dimaksud dengan beton adalah campuran dari agregat halus dan kasar dengan semen yang dipersatukan oleh air dalam perbandingan tertentu. Beton juga dapat didefinisikan sebagai bahan bangunan dan konstruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan terlebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan-bahan yang dipilih.

Bahan-bahan pilihan itu terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan. Agregat mempunyai peran sebagai penguat, semen mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah berperan sebagai pengikat dan air (*mixer*) sebagai media pencampur untuk menghomogenkan komposisi penyusun dan kontak luas permukaan.

Susunan beton secara umum, yaitu: 7-15 % semen, 16-21 % air, 25-30% pasir, dan 31-50% kerikil. Kekuatan beton terletak pada perbandingan jumlah semen dan air, rasio perbandingan air terhadap semen (*W/C ratio*) yang semakin kecil akan menambah kekuatan (*compressive strength*) beton. Kekuatan beton ditentukan oleh perbandingan air semen, selama campuran cukup plastis, dapat

dikerjakan dan beton itu dipadatkan sempurna dengan agregat yang baik ,Nugraha, P. (2007).

Beton memiliki beberapa faktor keunggulan sehingga pemakaiannya begitu luas. Sifat keunggulan beton antara lain ,Nugraha, P.(2007) :

a. Ketersediaan (*availability*) material dasar.

Agregat, air dan semen pada umumnya bisa didapat dengan mudah dari lokal setempat dan harga yang relatif murah.

b. Kemudahan untuk digunakan (*versatility*).

Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bisa diangkut secara terpisah. Beton bisa dipakai untuk berbagai struktur, seperti bendungan, landasan udara, fondasi.

c. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal.

Secara umum ketahanan beton cukup tinggi, lebih tahan karat sehingga tidak perlu dicat, lebih tahan terhadap bahaya kebakaran.

d. Kekuatan tekan tinggi.

Seperti juga kekuatan tekan pada batu alam, yang membuat beton cocok untuk dipakai sebagai elemen yang terutama memikul gaya tekan, seperti kolom dan konstruksi. Di samping segala keunggulan di atas, beton sebagai struktur juga mempunyai beberapa kelemahan yang perlu dipertimbangkan, yaitu ,Nugraha, P.(2007) :

1. Kuat tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar.
2. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
3. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
4. Berat (bobotnya besar).

5. Daya pantul suara yang besar.
6. Beton cenderung retak, karena semennya hidraulis.
7. Beton tidak mampu menahan gaya tegangan (*tension*) yang tinggi, karena elastisitasnya yang rendah dari beton.
8. Konduktivitas termal beton relatif rendah.

## 2.2 Agregat

Agregat menempati 70 – 75 % volume total dari beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan, kuat, tahan lama dan ekonomis. Atas dasar inilah gradasi dari ukuran-ukuran partikel dalam agregat, mempunyai peranan yang sangat penting, untuk menghasilkan susunan beton yang padat.

Mengingat agregat lebih murah dari pada semen maka akan ekonomis bila agregat dimasukkan sebanyak mungkin selama secara teknis memungkinkan, dan kandungan semennya minimum. Meskipun dulu agregat dianggap sebagai material pasif, berperan sebagai pengisi saja, kini disadari adanya kontribusi positif agregat pada beton, seperti stabilitas volume, ketahanan abrasi, dan ketahanan umum (*durability*) diakui. Bahkan beberapa sifat fisik beton secara langsung tergantung pada sifat agregat, seperti kepadatan, dan modulus elastisitas.

Faktor penting lainnya adalah bahwa agregat tersebut juga harus mempunyai :

1. Kekuatan yang baik.
2. Tahan lama.
3. Tahan terhadap cuaca.

4. Permukaannya haruslah bebas dari kotoran seperti tanah liat, lumpur dan zat organik yang akan memperlemah ikatannya dengan adukan semen.
5. Tidak boleh terjadi reaksi kimia yang tidak diinginkan diantara material tersebut dengan pasta semen.

Agregat dapat diperoleh dari proses pelapukan dan abrasi atau pemecahan massa batuan induk yang lebih besar. Oleh karena itu, sifat agregat tergantung dari sifat batuan induk. Sifat-sifat tersebut diantaranya, komposisi kimia dan mineral, berat jenis, kekerasan (*hardness*), kekuatan, stabilitas fisika dan kimia, struktur pori, warna dan lain-lain. Namun, ada juga sifat agregat yang tidak bergantung dari sifat batuan induk, yaitu ukuran dan bentuk partikel serta tekstur.

Secara umum agregat yang baik haruslah agregat yang mempunyai bentuk yang menyerupai kubus atau bundar, bersih, kuat, keras bergradasi baik dan stabil secara kimiawi. Keuntungan digunakannya agregat pada beton, menghasilkan beton yang murah, menimbulkan sifat volume beton yang stabil seperti mengurangi susut, mengurangi rangkakan dan memperkecil pengaruh suhu.

### 2.2.1 Jenis – Jenis Agregat

Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*). Secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu, *agregat kasar dan agregat halus*. Batasan antara agregat halus dengan agregat kasar yaitu 4.80 mm (*British Standard*) atau 4.75 mm (Standar ASTM). Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirannya lebih besar dari 4.80 mm (4.75 mm). Agregat dengan ukuran lebih besar dari 4.80 – 40 mm disebut kerikil beton yang lebih dari 40 mm disebut kerikil kasar.

Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm. Agregat yang ukurannya lebih besar dari 40 mm digunakan untuk pekerjaan sipil lainnya, misalnya untuk pekerjaan jalan, tanggul-tanggul penahan tanah, bendungan, dan lainnya. Agregat halus biasanya dinamakan pasir dan agregat kasar dinamakan kerikil, split, batu pecah, kricak dan lainnya (Nugraha, P., 2007)

### **A. Jenis-jenis Agregat Halus**

Agregat halus dapat digolongkan menjadi tiga jenis:

#### **1. Pasir galian**

Pasir galian dapat diperoleh langsung dari permukaan tanah, atau dengan cara menggali dari dalam tanah. Pasir ini pada umumnya tajam, bersudut, berpori, dan bebas dari kandungan garam yang membahayakan. Namun karena pasir jenis ini diperoleh dengan cara menggali maka pasir ini sering bercampur bersama kotoran/ tanah, sehingga sering harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.

#### **2. Pasir sungai**

Pasir sungai diperoleh langsung dari sungai. Pasir sungai pada umumnya berbutir halus dan berbentuk bulat, karena akibat gesekan yang terjadi. Karena butirannya halus, maka baik untuk plasteran tembok. Namun karena bentuk yang bulat itu, daya lekat antara butir menjadi agak kurang baik.

#### **3. Pasir laut**

Pasir laut adalah pasir yang diambil dari pantai. Bentuk butirannya halus dan bulat, karena proses gesekan. Pasir jenis ini banyak mengandung garam, oleh

karena itu kurang baik untuk bahan bangunan. Garam yang ada dalam pasir ini menyerap kandungan air dari udara, sehingga mengakibatkan pasir selalu agak basah, dan juga menyebabkan pengembangan setelah bangunan selesai dibangun. Oleh karena itu, sebaiknya pasir jenis ini tidak digunakan untuk bahan bangunan.

### A. Persyaratan Umum Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan untuk pembuatan beton harus memiliki susunan butiran yang beraneka ragam sesuai dengan batas-batas gradasi agregat halus yang baik. Hal ini akan memperkecil ruang-ruang kosong dan menghasilkan beton yang padat. Standart gradasi agregat halus sesuai dengan PBI 1971 tertera pada tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2.1 Batas-batas gradasi agregat halus

Lubang ayakan (mm)	Persen tembus komulatif (%)
9,5	100
4,75	95 - 100
2,36	80 - 100
1,18	50 - 85
0,60	25 - 60
0,30	10 - 31
0,15	2 - 10

Sumber : PBI 1971

Selain batas-batas gradasi diatas, agregat halus juga memenuhi beberapa persyaratan lain, yaitu:

1. Agregat halus tidak dibenarkan mengandung lumpur, diartikan sebagai bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm, lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering).
2. Agregat halus tidak dibenarkan mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak, dibuktikan dengan percobaan warna Abrams Harde.
3. Pada dua ayakan yang berurutan, butiran yang tertahan tidak dibenarkan lebih dari 45% jumlah keseluruhan serta modulus kehalusan  $\geq 2,3$  dan  $\leq 3,2$
4. Agregat halus untuk beton yang senantiasa basah, lembab atau mengalami kontak langsung dengan tanah basah tidak dibenarkan mengandung bahan yang bereaksi dengan alkali yang terkandung dalam semen.
5. Kehilangan berat setelah 5 kali siklus perendaman pada pengujian keawetan tidak boleh lebih dari 10% jika digunakan sodium sulfat dan tidak boleh lebih dari 15% jika digunakan magnesium sulfat.

## **B. Agregat Kasar**

Agregat kasar untuk pembuatan beton harus memiliki susunan butiran yang beraneka ragam ukurannya. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi ruang-ruang kosong diantara agregat tersebut, sehingga akan mengurangi penggunaan semen atau tercapainya penggunaan semen yang minimal. Standart batas-batas gradasi agregat kasar sesuai dengan PBI 1971 tertera pada tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.2 Batas-batas gradasi agregat kasar

<b>Lubang ayakan (mm)</b>	<b>Persen tembus kumulatif (%)</b>
75	100
37,5	95 – 100
19	80 – 100
9,5	25 – 70
4,75	0 – 15
2,36	0
1,18	0
0,06	0

Sumber : PBI 1971

Selain memenuhi persyaratan gradasi diatas, agregat kasar sebagai bahan pembentuk beton harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori, tidak hancur oleh pengaruh terik matahari dan hujan. Agregat kasar yang mengandung butiran pipih dapat dipakai apabila jumlah butiran pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat kasar keseluruhan.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur, diartikan sebagai bagian-bagian yang dapat melewati ayakan 0,063 mm, lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang merusak beton, seperti zat-zat reaktif alkali.



3. Kekerasan butiran agregat kasar, diperiksa dengan bejana penguji Rudeloff harus memenuhi persyaratan berikut:
  - a. Tidak terjadi pembubukan lebih dari 24% pada fraksi 9,5 mm – 19,0 mm.
  - b. Tidak terjadi pembubukan lebih dari 22% pada fraksi 19,0 mm – 30,0 mm.
4. Jika pengujian kekerasan dilakukan dengan mesin pengaus Los Angeles, tidak boleh terjadi kehausan lebih dari 50% berat keseluruhan

### 2.2.2 Kekuatan Agregat

Kekuatan beton tidak lebih tinggi dari kekuatan agregat, oleh karena itu sepanjang kekuatan tekan agregat lebih tinggi dari beton yang akan dibuat maka agregat tersebut masih cukup aman digunakan sebagai campuran beton. Pada kasus-kasus tertentu, beton mutu tinggi yang mengalami konsentrasi tegangan lokal cenderung mempunyai tegangan lebih tinggi daripada kekuatan seluruh beton. Dalam hal ini kekuatan agregat menjadi kritis.

### 2.2.3 Faktor Yang Mempengaruhi Kekuatan Agregat

Kekuatan agregat dapat bervariasi dalam batas yang besar. Butir-butir agregat dapat bersifat kurang kuat karena dua hal:

1. Karena terhindar dari bahan yang lemah atau terdiri dari partikel yang kuat Tetapi tidak baik dalam hal pengikatan.
2. Porositas yang besar, porositas yang besar mempengaruhi kekuatan yang menentukan ketahanan terhadap beban kejut.

Kekerasan atau kekuatan butir-butir agregat tergantung dari bahannya dan tidak dipengaruhi oleh ikatan antara butir satu dengan lainnya. Agregat yang lebih kuat biasanya mempunyai modulus elastisitas (sifat dalam pengujian beban

*uniaxial*) yang lebih tinggi. Butir-butir yang lemah (lebih rendah dari pasta semen) tidak dapat menghasilkan kekuatan beton yang dapat diandalkan. Kekerasan sedang mungkin justru lebih menguntungkan, karena dapat mengurangi konsentrasi tegangan yang terjadi, atau pembasahan dan pengeringan, atau pemanasan dan pendinginan dan dengan demikian membantu mengurangi kemungkinan terjadinya retakan dalam beton.

**Tabel 2.2 Syarat Mutu Kekuatan Agregat Sesuai SII.0052-08**

Kelas dan mutu Beton	Kekerasan dengan bejana Rudelloff, bagian hancur menembus ayakan 2 mm,persen % maksimum		Kekerasan dengan bejana geser Los Angelos, bagian hancur menembus ayakan 1,7 mm,% maks.
	Fraksi butir 9,5-19 mm	Fraksi butir 19 – 30 mm	
1	2	3	4
Beton kelas I dan mutu B0 dan B1	22-30	24-32	40-50
Beton kelas II dan mutu K-125,K-175 dan K-225	14-22	16-24	27-40
Beton kelas III dan mutu > K-225 atau beton pratekan	Kurang dari 14	Kurang dari 16	Kurang dari 27

**sumber: Mulyono, Tri.,(2005)**

### 2.3 Semen

Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa

yang padat yang mempunyai kekuatan yang cukup. Semen merupakan hasil industri dari paduan bahan baku : batu gamping/kapur sebagai bahan utama, yaitu bahan alam yang mengandung senyawa Calcium Oksida ( $\text{CaO}$ ), dan lempung/tanah liat yaitu bahan alam yang mengandung senyawa: Siliki Oksida ( $\text{SiO}_2$ ), Alumunium Oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Besi Oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan Magnesium Oksida ( $\text{MgO}$ ) atau bahan pengganti lainnya.

hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk (*bulk*), tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air. Untuk menghasilkan semen, bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk *clinkernya*, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (*gypsum*) dalam jumlah yang sesuai.

Semen dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu *semen hidraulik* dan *semen nonhidraulik*. Semen hidraulik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh semen hidraulik antara lain kapur hidraulik, semen pozollan, semen terak, semen alam, semen portland, semen alumina dan semen ekspansif. Contoh lainnya adalah semen portland putih, semen warna, dan semen-semen untuk keperluan khusus.

Sedangkan semen non-hidraulik adalah semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non-hidraulik adalah kapur. Semen juga memiliki beberapa tipe yaitu tipe I, II, III, IV, dan V. Tipe-tipe semen tersebut diurutkan berdasarkan kekuatan awalnya dalam merekatkan suatu bangunan yang dibentuk. Semen yang digunakan dalam pembuatan beton adalah semen hidraulik.

Prinsip dasar pemilihan semen yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton yang tahan terhadap serangan sulfat adalah berapa banyak kandungan senyawa C3A-nya. Semen yang tahan sulfat harus memiliki kandungan C3A tidak lebih dari 5%. Semen yang kandungan C3A-nya tinggi, jika terkena sulfat yang terdapat pada air atau tanah akan mengeluarkan C3A yang bereaksi dengan sulfat dan mengembang sehingga mengakibatkan retak-retak pada betonnya, Mulyono, Tri., (2005).

Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut SII 0013-1981, semen portland didefinisikan sebagai semen hidraulis yang dihasilkan dengan menghaluskan kliner yang terutama yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Semen portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013-1981 atau Standart Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standart tersebut. Peraturan Beton 1989 (SKBI.1.4.53.1989) membagi semen portland menjadi lima jenis (SK.SNI T-15-1990-03:2) yaitu :

a. Type I

Semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya. Jenis ini paling banyak diproduksi karena digunakan untuk hampir semua jenis konstruksi.

b. Tipe II

Semen portland modifikasi yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

c. Tipe III

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal tinggi dalam fase permulaan setelah peningkatan terjadi. Kekuatan 28 hari umumnya dapat dicapai dalam 1 minggu. Semen jenis ini umum dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus dapat cepat dipakai.

d. Tipe IV

Semen portland yang penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah, yang dipakai untuk kondisi di mana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan masif seperti bendungan gravitasi yang besar.

e. Tipe V

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Umumnya dipakai di daerah di mana tanah atau airnya memiliki kandungan sulfat yang tinggi.

Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen portland adalah kapur (CaO) sekitar 60%-65%, silika (SiO<sub>2</sub>) sekitar 20%-25%, dan oksida besi serta alumina (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sekitar 7%-12% ,Mulyono, Tri.,(2005).

### 2.3.1 Faktor Air Semen (FAS)

Air yang terlalu banyak akan menempati ruang di mana pada waktu beton sudah mengeras dan terjadi penguapan, ruang itu akan menjadi pori. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Ada batas-batas dalam hal ini. Nilai FAS yang

rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (Mulyono, Tri., 2005). Rata-rata ketebalan lapisan yang memisahkan antar partikel dalam beton sangat tergantung pada faktor air semen yang digunakan dan kehalusan butir semennya.

#### 2.4. Air

Semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Air harus selalu ada di dalam beton tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi pasta. Hukum kadarair mengatakan : “Kadar air yang diperlukan untuk kelecakan (*workable*) tertentu hampir konstan tanpa tergantung pada jumlah semen, untuk kombinasi agregat halus dan kasar tertentu”. Hukum ini tidak sepenuhnya berlaku untuk seluruh kisaran (*range*), namun cukup praktis untuk penyesuaian perencanaan dan koreksi.

Air yang diperlukan dipengaruhi faktor-faktor di bawah ini :

- a. Ukuran agregat maksimum: diameter membesar maka kebutuhan air menurun (begitu juga jumlah mortas yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit).
- b. Bentuk butir: bentuk bulat maka kebutuhan air menurun (batu pecah perlu lebih banyak air).
- c. Gradasi agregat: gradasi baik maka kebutuhan air menurun.
- d. Kotoran dalam agregat: makin banyak silt, tanah liat dan lumpur maka kebutuhan air meningkat.

- e. Jumlah agregat halus (dibandingkan agregat kasar): agregat halus lebih sedikit maka kebutuhan air menurun.

Untuk perlindungan terhadap korosi, konsentrasi ion klorida maksimum yang terdapat dalam beton yang telah mengeras pada umur 28 hari yang dihasilkan dari bahan campuran termasuk air, agregat, bahan bersemen dan bahan campuran tambahan tidak boleh melampaui nilai batas yang diberikan pada Tabel 2.4

**Tabel 2.4 Batas Maksimum Ion Klorida**

Jenis beton	Batas (%)
Beton pra-tekan	0,06
Beton bertulang yang selamanya berhubungan dengan klorida	0,15
Beton bertulang yang selamanya kering atau terlindung dari basah	1,00
Konstruksi beton bertulang lainnya	0,30

**Sumber: Mulyono, Tri., (2005)**

Sebagian besar bahan pembuat beton adalah bahan lokal (kecuali semen portland atau bahan tambah kimia), sehingga sangat menguntungkan secara ekonomi. Namun pembuatan beton akan menjadi mahal jika perencana tidak memahami karakteristik bahan-bahan penyusun beton yang harus disesuaikan dengan perilaku struktur yang akan dibuat.

## 2.5 . Adukan Beton

Beton yang berasal dari pengadukan bahan-bahan penyusun agregat kasar dan agregat halus kemudian diikat dengan semen yang bereaksi dengan air sebagai bahan perekat, harus dicampur dan diaduk dengan benar dan merata agar dapat dicapai mutu beton yang baik. Pada umumnya pengadukan bahan beton

dilakukan dengan menggunakan mesin kecuali jika hanya untuk mendapatkan beton mutu rendah pengadukan dapat dilakukan tanpa menggunakan mesin pengaduk. Kekentalan adukan beton harus diawasi dan dikendalikan dengan cara memeriksa slump pada setiap adukan beton baru.

Nilai slump digunakan sebagai petunjuk ketepatan jumlah pemakaian air dalam hubungannya dengan faktor air semen yang ingin dicapai. Waktu pengadukan lamanya tergantung pada kapasitas isi mesin pengaduk, jumlah adukan, jenis serta susunan butir bahan penyusun, dan slump beton, pada umumnya tidak kurang dari 1,50 menit dimulai semenjak pengadukan, dan hasil umumnya menunjukkan susunan dan warna merata. Sesuai dengan tingkat mutu beton yang dihasilkan memberikan:

1. Keenceran dan kekentalan adukan yang memungkinkan pengerjaan beton dengan (penuangan, pemadatan) secara mudah kedalam adukan tanpa menimbulkan kemungkinan terjadi segregasi atau pemisahan agregat
2. Ketahanan terhadap kondisi lingkungan khusus (kedap air, korosif, dan Lain-lain)
3. Memenuhi uji kuat yang hendak dipakai, Fintel, Mark.,(1987)

## **2.6. Mutu Beton**

Sampai saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur. Sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi mutu beton yang dibuat. Mutu beton ini harus disesuaikan dengan kelas dan mutu beton yang dibuat. Sehingga dalam penggunaannya dapat disesuaikan dengan bangunan ataupun konstruksi yang akan dibangun untuk mendapatkan hasil yang memuaskan dan sesuai dengan dibutuhkan.



Beberapa dari syarat khusus bisa termasuk peningkatan kinerja berikut :

- Kemudahan peletakan dan pemadatan tanpa segregasi.
- Sifat mekanis jangka panjang.
- Kekuatan awal.
- Kekerasan.
- Stabilitas volume.
- Kondisi lingkungan yang ekstrem.

Memurut PBI' 71 beton dibagi dalam kelas dan mutu sebagai berikut:

**Tabel 2.6.1 Kelas dan Mutu Beton**

Kelas Beton	Mutu Beton	Kekuatan Tekan Minimum (Kgf /cm <sup>2</sup> )	Tujuan pemakaian Beton
I	<i>Bo</i>	50-80	Non-Struktual
II	<i>B1</i>	100	Rumah Tinggal
	<i>K125</i>	125	Perumahan
	<i>K175</i>	175	Perumahan
	<i>K225</i>	225	Perumahan & Bendungan
III	<i>K&gt;225</i>	>225	Jembatan, Bangunan tinggi, Terowongan kereta api

**Sumber : Gunawan, M.,(2000)**

Untuk kepentingan pengendalian mutu disamping pertimbangan ekonomis. beton dengan mutu *Bo* (beton dengan 'cf 50-80 MPa). perbandingan jumlah agregat (pasir, kerikil atau batu pecah) terhadap jumlah semen tidak boleh melampaui 8:1. Untuk Beton dengan mutu *B1* (beton dengan 'cf 100 MPa), dan *K125* (beton dengan 'cf minimum 125 MPa), dapat memakai perbandingan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 17/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)17/7/24

campuran unsur bahan beton dalam takaran volume 1 semen : 2 pasirs : 3 kerikil atau 3/2 pasir : 5/2 kerikil. Apabila hendak menentukan perbandingan antar-fraksi bahan beton mutu *K175* dan mutu lainnya yang lebih tinggi harus dilakukan percobaan campuran rencanan guna dapat menjamin tercapainya suatu karakteristik yang diinginkan dengan menggunakan bahan-bahan susunan yang ditentukan. Gunawan, M.(2000)

Aspek paling umum dari Beton Kinerja Tinggi adalah Beton Mutu Tinggi. Menurut SNI 03-2847-2002 Beton harus dirancang sedemikian hingga menghasilkan kuat tekan rata-rata seperti yang direncanakan sesuai dengan aturan-aturan, tidak boleh kurang daripada 17,5 MPa. Ketentuan untuk nilai  $f_c'$  harus didasarkan pada uji silinder yang dibuat dan diuji. Produksi beton mutu tinggi memerlukan pemasok untuk mengoptimasikan 3 aspek yang mempengaruhi kekuatan beton: pasta semen, agregat, dan lekatan semen-agregat. perlu perhatian, yaitu pemilihan material, mix design, penanganan dan penuangan.

**Tabel 2.6.2 Pembagian Beton Menurut Penggunaannya**

No	Kategori beton	Berat isi unit beton (kg/cm <sup>3</sup> )	Tipikal kuat tekan beton (MPa)	Tipikal aplikasi
1	Non Struktur	240-800	0,35-7	dinding pemisah atau dinding isolasi
2	Struktur Ringan	800-1400	7-17	dinding yang juga memilkul beban
3	Normal	1400-1800	>17	Struktural

**sumber : Tjokrodimuljo, K., (1996)**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 17/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)17/7/24

## 2.7 Ketahanan Terhadap Kebakaran

Kebakaran penyebab utama hancurnya struktur bangunan dan hilangnya umur bangunan. Sifat beton terhadap temperatur akibat kebakaran tidak menyebabkan perubahan mendadak, seragam dan mungkin berbahaya pada sifat keseluruhan bangunan. Beton pertama-tama mengembang, tetapi kehilangan kelegasan yang progresif pada pasta semen menyebabkan pengembangan termal dari agregat.

Kebakaran adalah sebuah proses kimia, yaitu oksidasi dari suatu material organik. Material organik adalah material yang mengandung unsur karbon pada susunan molekulnya. Oksidasi dari material organik ini akan menghasilkan unsur karbon, hydrogen, belerang serta cahaya dan panas. Peningkatan temperatur pada saat terjadi kebakaran menyebabkan perubahan pada sifat material dari sebuah struktur. Perubahan sifat ini dapat digunakan untuk memperkirakan temperatur yang terjadi pada saat terjadi kebakaran.

### 2.7.1 Pengaruh Temperatur Tinggi Terhadap Beton

Peningkatan temperatur akibat kebakaran menyebabkan material beton mengalami perubahan sifat. Suhu yang dapat dicapai pada suatu ruangan gedung yang terbakar adalah  $\pm 1000^{\circ}\text{C}$  dengan lama kebakaran umumnya lebih dari 1 jam. Kebanyakan beton struktural dapat digolongkan ke dalam tiga jenis agregat: karbonat, silikat, dan beton berbobot ringan.

1. Agregat karbonat meliputi batu kapur dan dolomit dan dimasukkan dalam satu golongan karena kedua zat ini mengalami perubahan susunan kimia pada suhu antara  $700^{\circ}\text{C}$  sampai  $980^{\circ}$

2. Agregat silikat yang meliputi granit, kuarsit, batu pasir, tidak mengalami perubahan kimia pada suhu yang biasa dijumpai dalam kebakaran Norman Ray, (2009).

Beton yang dipanaskan hingga di atas  $800^{\circ}\text{C}$ , mengalami degradasi berupa pengurangan kekuatan yang cukup signifikan yang mungkin tidak akan kembali lagi (*recovery*) setelah proses pendinginan. Tingginya kehilangan kekuatan dan dapat tidaknya kekuatan material kembali seperti semula ditentukan oleh jenis material yang digunakan, tingkat keparahan pada proses kebakaran dan lama waktu pembakaran. Tingginya tingkat keparahan (*temperatur*) dan lamanya waktu pembakaran menyebabkan berkurangnya kekuatan tekan suatu material beton, terlebih lagi timbulnya tegangan geser dalam (*Internal Shear Stress*) sebagai akibat adanya perbedaan sifat thermal antara semen dan agregat.

Agregat berbobot ringan bisa diproduksi dengan mengekspansi batu karang, batu tulis, tanah liat, terak atau batu apung atau terjadi alami. Batu tulis, tanah liat dan karang yang diekspansi dipanasi sampai sekitar  $1040^{\circ}\text{C}$  sampai  $1100^{\circ}\text{C}$  selama pembuatan. Pada suhu ini agregat tersebut menjadi cair. Akibatnya agregat berbobot ringan ini yang berada dekat permukaan beton yang mulai melunak setelah terbakar selama sekitar 4 jam. Dalam praktek pengaruh pelunakan ini umumnya kecil. Ray, Norman., (2009).

Fenomena yang dapat dilihat pada beton yang terkena beban panas (kebakaran) yang ekstrim adalah terjadinya (*sloughing off*) (pengelupasan), retak rambut dan retak lebar serta warna beton. Dari pengamatan secara visual dapat diperkirakan suhu yang pernah dialami oleh beton.

Pengaruh temperatur tinggi terhadap beton dapat mengakibatkan perubahan. antara lain Nugraha, P..( 2007) :

Pada suhu 100°C → air kapiler menguap.

Pada suhu 200°C → air yang terserap di dalam agregat menguap. Penguapan menyebabkan penyusutan pasta.

Pada suhu 400°C → pasta semen yang sudah terhidrasi terurai kembali sehingga kekuatan beton mulai terganggu.  $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$

Dengan demikian beton yang di bawah pembebanan lebih kuat daripada yang tidak dibebani. Pada temperatur 600°C di bawah beban 0,4  $f_c'$  tidak mengalami penurunan kekuatan.

### 2.7.2. Kebakaran Pada Bangunan

Bila kebakaran terjadi pada suatu konstruksi beton bertulang maka struktur kolom, balok, lantai, dinding akan mengalami siklus pemanasan dan pendinginan. Karena adanya fase secara fisik maupun kimia yang kompleks. Akibatnya dengan adanya perubahan mikrostruktur beton dan secara keseluruhan maka terjadi perubahan prilaku material beton yang mengakibatkan menurunnya kekuatan struktur.

Perubahan warna yang terjadi pada permukaan beton yaitu Nugraha, P, (2007) :

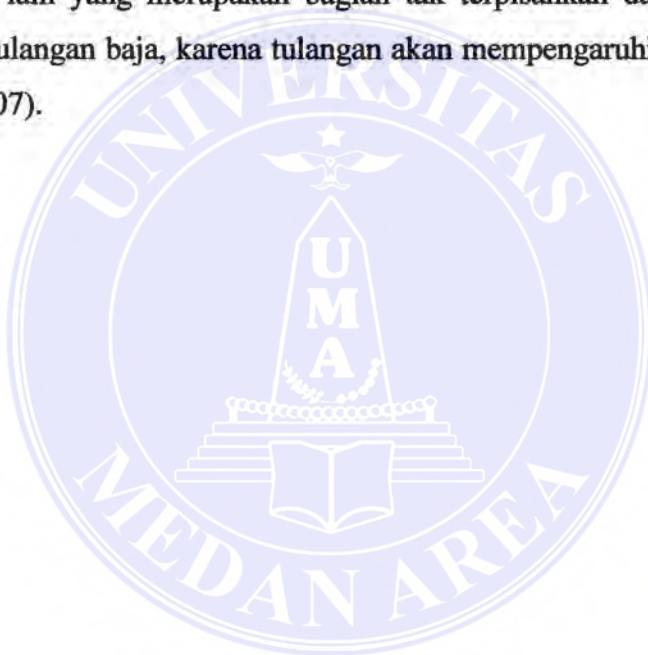
- a. < 300oC - tidak berubah
- b. 300oC - 600oC - merah muda
- c. 600oC - 900oC - putih keabu-abuan
- d. > 900oC - kekuning-kuningan

Ciri di atas tidak mutlak, tergantung jenis agregat di dalam beton. Warna beton yang terbakar, dapat menentukan tingkat kebakaran, seperti warna mulai

merah hingga putih dapat menunjukkan bahwa kebakaran tersebut cukup parah. Ciri-ciri struktur yang terjadi pada beton karena pengaruh temperatur yang tinggi adalah Nugraha, P.,(2007) :

- a. Kekuatan menurun.
- b. Mengelupasnya beton.
- c. Terjadinya retak-retak.

Dalam melakukan kajian terhadap bangunan struktur beton tidak seharusnya ditentukan oleh kekuatan betonnya saja namun harus diperhitungkan adanya material lain yang merupakan bagian tak terpisahkan dari keseluruhan struktur seperti tulangan baja, karena tulangan akan mempengaruhi kinerja beton. Nugraha, P., (2007).



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **Penelitian Diadakan Di Laboratorium UMA**

##### **3.1. Alat Dan Bahan**

###### **3.1.1. Peralatan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- 1 Cetakan kubus, dengan diameter 10 cm dan tinggi 10 cm.
- 2 Timbangan
- 3 Gelas Ukur 1000 ml.
- 4 Wadah
- 5 Kuas
- 6 Batang Perojok
- 7 Ayakan
- 8 Sendok semen
- 9 Mesin compressor (compressor machine)
- 10 Tungku pembakaran

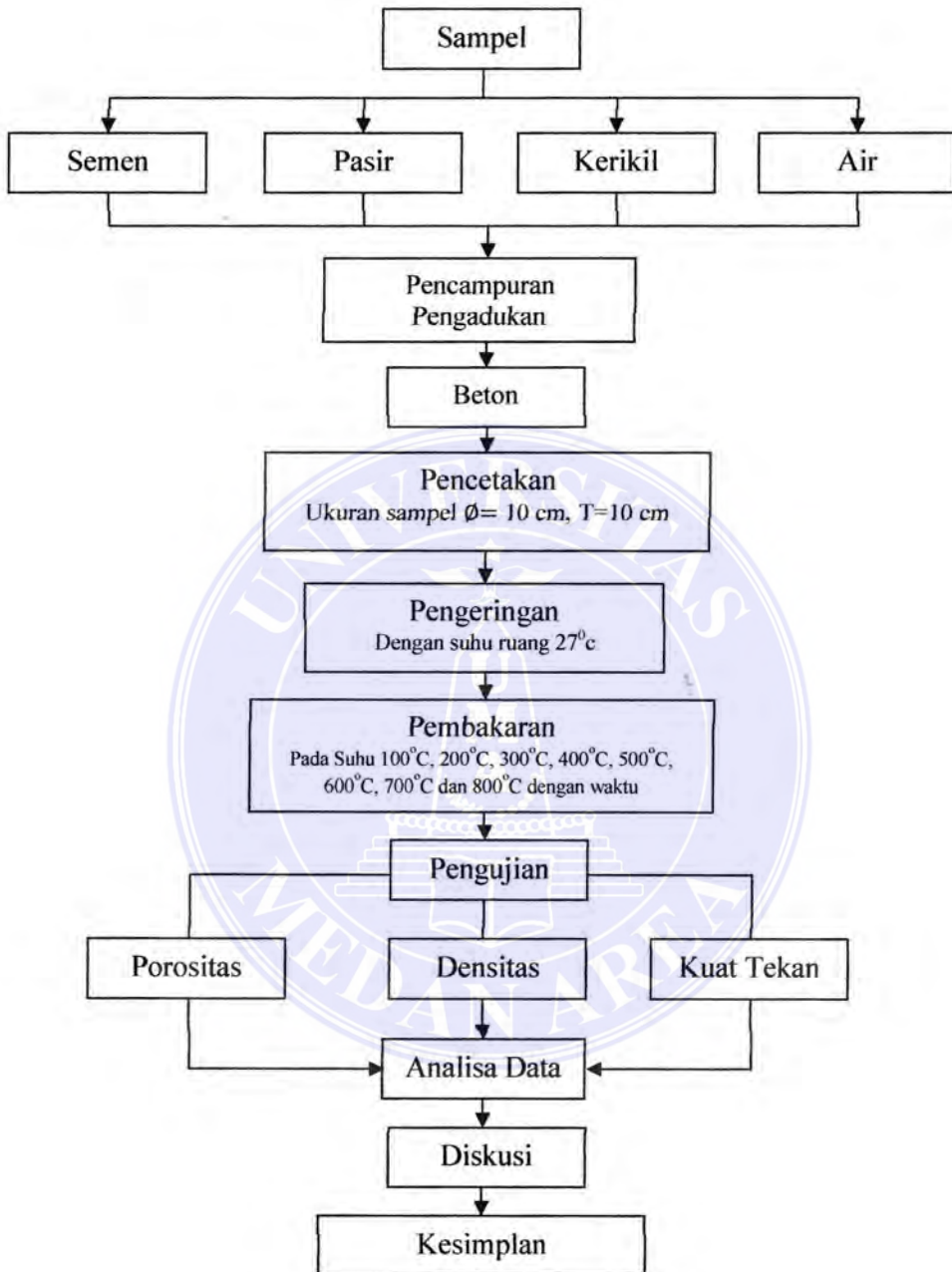
###### **3.1.2. Bahan – bahan**

Bahan- bahan yang di pergunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1 Semen Portland Tipe I yang diproduksi oleh PT. Semen Padang. Sumatera Barat
- 2 Agregat : a. Agregat kasar (kerikil)  
b. Agregat halus ( pasir)
- 3 Air
- 4 Vaseline

### 3.2 Metodologi Penelitian

#### 3.2.1 Diagram alir penelitian



**Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian**



### 3.2.2 Prosedur Pembuatan Benda Uji Beton

#### 3.2.2.1 Prosedur Pembuatan Benda Uji Kuat Tekan

Dalam penelitian ini digunakan campuran beton berdasarkan tabel dibawah ini dimana telah dilakukan penelitian terhadap berapa banyaknya digunakan komposisi beton tiap  $m^3$  yaitu:

Nama Bahan	Massa/Volume $Kg/m^3$	Perbandingan
Semen	400	1
Pasir	800	2
Kerikil	1200	3
Air	200	0,5

Volume untuk 1 buah sampel kubus adalah  $0,000785 m^3$  dan untuk menghindari hilangnya beton pada waktu pengecoran maka dilakukan penambahan agregat dengan tidak mengubah perbandingan agregat yang disebut dengan *Safety Factor* (SF) = 1,3 sehingga volume 1 buah beton sampel menjadi  $1,0205 \times 10^{-3} m^3$  Tri Mulyono, (2005).

Prosedur pembuatan benda uji dalam uji kuat tekan adalah sebagai berikut :

#### 1. Persiapan Bahan

Seluruh material seperti semen, pasir, kerikil, dan air, disiapkan.

#### 2. Pencampuran

##### a. Setelah semua bahan disediakan maka dimasukkan bahan kedalam

pengadonan pasir, kerikil, dan semen lalu di aduk sampai rata dan di beri

air pada bagian tengah adonan serta dibiarkan  $\pm 2 - 5$  menit agar

campuran saling mengikat.

b. kemudian di aduk dan di campur semua pasta beton sampai campuran benar-benar homogen.

### 3. Pencetakan

a. Disiapkan cetakan berbentuk kubus (lebar 10 cm ; tinggi 10 cm)

b. Dimasukan pasta beton kedalam cetakan kubus setinggi 1/3 tinggi cetakan, kemudian dirojok dengan batang perojok besi untuk menjamin kepadatan susunan campuran.

c. Dimasukkan kembali 1/3 bagian campuran pasta beton kedalam cetakan kemudian dirojok kembali.

d. Dimasukkan kembali pasta beton kedalam cetakan sampai penuh kemudian di rojok kembali.

e. Permukaan cetakan diratakan dengan skrap dan benda uji diletakkan pada ruangan perawatan.

### 4. Pengeringan

Pengeringan dilakukan dengan cara didiamkan selama 24 jam dalam suhu kamar ( $27^{\circ}\text{C}$ ).

### 5. Perendaman

Setelah beton berumur 24 jam cetakan dibuka dan diberi nomor kode pada benda uji sesuai yang diinginkan kemudian direndam. Perendaman dilakukan agar terjadi proses hidrasi antara semen dengan air .

## 6. Pembakaran

- a. Mengeluarkan benda uji setelah berumur 27 hari dari bak perendaman dan diletakkan pada ruang perawatan sampai sampel kering dan hal ini dilakukan selama 24 jam tepatnya benda uji mencapai umur 28 hari.
- b. Saat umur 28 hari beton dimasukkan ke tungku pembakaran dengan
- c. ini juga dilakukan untuk pembakaran beton dengan temperatur 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C.

### 3.2.2.2 Prosedur Pengujian Kuat Tekan Beton ( Compressive Strength )

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kuat tekan hancur dari benda uji. Benda uji yang dipakai adalah kubus (lebar 10 cm ; tinggi 10 cm). Pengujian kuat tekan dilakukan saat beton berumur 1 hari setelah pembakaran dilakukan. Jumlah beton yang diuji pada umur 28 hari, yaitu terdiri dari 3 buah sampel untuk masing - masing temperatur dan waktu penahanan.

Adapun prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Setelah pembakaran dilakukan, beton didinginkan selama 1 hari.
2. Sebelum benda uji diberi pembebanan, ditimbang massa benda uji.
3. Beban tekan diberikan secara perlahan-lahan pada benda uji dengan cara mengoperasikan tuas pompa sehingga benda uji runtuh.
4. Pada saat jarum penunjuk skala beban tidak naik lagi atau bertambah, maka skala yang ditunjukkan oleh jarum tersebut dicatat sebagai beban maksimum yang dapat dipikul oleh benda uji tersebut.
5. Prosedur ini dilakukan untuk sampel benda uji kuat tekan yang lain.

### 3.2.2.3 Prosedur Pembuatan Benda Uji Porositas

Prosedur yang dilakukan pada penelitian porositas yaitu:

#### 1. Persiapan Bahan

Seluruh material seperti semen, pasir, kerikil, dan air, disiapkan.

#### 2. Pencampuran

a. Setelah semua bahan disediakan maka dimasukkan bahan kedalam tempat pengadonan yaitu pasir, kerikil, dan semen lalu diaduk sampai rata dan diberi air pada bagian tengah adonan serta dibiarkan  $\pm 2 - 5$  menit agar campuran saling mengikat.

b. Kemudian diaduk dan dicampur semua pasta beton sampai campuran benar-benar homogen.

#### 3. Pencetakan

a. Disiapkan cetakan berbentuk kubus (lebar 10 cm ; tinggi 10 cm)

b. Dimasukkan pasta beton kedalam cetakan kubus setinggi 1/3 tinggi cetakan, kemudian dirojok dengan batang perojok besi untuk menjami kepadatan susunan campuran.

c. Dimasukkan kembali 1/3 bagian campuran pasta beton kedalam cetakan kemudian dirojok kembali.

d. Dimasukkan kembali pasta beton kedalam cetakan sampai penuh kemudian dirojok kembali.

e. Permukaan cetakan diratakan dengan skrap dan benda uji diletakkan pada ruangan perawatan.

### 3.2.2.3 Prosedur Pembuatan Benda Uji Porositas

Prosedur yang dilakukan pada penelitian porositas yaitu:

#### 1. Persiapan Bahan

Seluruh material seperti semen, pasir, kerikil, dan air, disiapkan.

#### 2. Pencampuran

- a. Setelah semua bahan disediakan maka dimasukkan bahan kedalam tempat pengadonan yaitu pasir, kerikil, dan semen lalu diaduk sampai rata dan diberi air pada bagian tengah adonan serta dibiarkan  $\pm 2 - 5$  menit agar campuran saling mengikat.
- b. Kemudian diaduk dan dicampur semua pasta beton sampai campuran benar-benar homogen.

#### 3. Pencetakan

- a. Disiapkan cetakan berbentuk kubus (lebar 10 cm ; tinggi 10 cm)
- b. Dimasukkan pasta beton kedalam cetakan kubus setinggi 1/3 tinggi cetakan, kemudian dirojok dengan batang perojok besi untuk menjami kepadatan susunan campuran.
- c. Dimasukkan kembali 1/3 bagian campuran pasta beton kedalam cetakan kemudian dirojok kembali.
- d. Dimasukkan kembali pasta beton kedalam cetakan sampai penuh kemudian dirojok kembali.
- e. Permukaan cetakan diratakan dengan skrap dan benda uji diletakkan pada ruangan perawatan.

#### 4. Perendaman

Setelah beton berumur 24 jam cetakan dibuka dan diberi nomor kode pada benda uji sesuai yang diinginkan kemudian direndam. Perendaman dilakukan agar terjadi proses hidrasi antara semen dengan air .

#### 5. Pengeringan

Mengeluarkan benda uji setelah berumur 27 hari dari bak perendaman dan diletakkan pada ruang perawatan sampai sampel kering dan hal ini di lakukan selama 24 jam dalam suhu kamar ( $27^{\circ}\text{C}$ ) tepatnya benda uji mencapai umur 28 hari.

#### 3.2.2.4 Prosedur Pengujian Porositas

Prosedur pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui besarnya persen Porositas yang terdapat pada benda uji. Semakin banyak porositas yang terdapat pada benda uji maka semakin rendah kekuatannya, begitu pula sebaliknya Pengujian porositas menggunakan benda uji kubus

Adapun prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Benda uji pada umur 28 hari diambil dari ruangan dan ditimbang guna mengambil massa basahnya ( $m_b$ ).
2. Saat umur 28 hari beton dibakar dengan temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  dan waktu penahanan 20 menit, 40 menit dan 60 menit.
3. Setelah pembakaran dilakukan, beton didinginkan selama 1 hari.
4. Kemudian masing-masing benda uji ditimbang kembali guna mengambil massa keringnya ( $m_k$ ).

5. Prosedur ini juga dilakukan untuk pembakaran beton dengan temperatur 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C.

### 3.2.2.5 Prosedur Pembuatan Benda Uji Densitas

Prosedur pembuatan benda uji dalam uji penyerapan air adalah sebagai berikut :

1. **Persiapan Bahan**

Seluruh material seperti semen, pasir, kerikil, dan air, disiapkan.

2. **Pencampuran**

- a. Setelah semua bahan disediakan maka dimasukkan bahan kedalam tempat pengadonan yaitu pasir, kerikil, dan semen lalu diaduk sampai rata dan diberi air pada bagian tengah adonan serta dibiarkan  $\pm 2 - 5$  menit agar campuran saling mengikat.
- b. Kemudian diaduk dan dicampur semua pasta beton sampai campuran benar-benar homogen.

3. **Pencetakan**

- a. Disiapkan cetakan berbentuk kubus (lebar 10 cm ; tinggi 10 cm)
- b. Dimasukkan pasta beton kedalam cetakan kubus setinggi 1/3 tinggi cetakan, kemudian dirojok dengan batang perojok besi untuk menjaminkepadatan susunan campuran.
- c. Dimasukkan kembali 1/3 bagian campuran pasta beton kedalam cetakan kemudian dirojok kembali.
- d. Dimasukkan kembali pasta beton kedalam cetakan sampai penuh

kemudian di rojok kembali.

- e. Permukaan cetakan diratakan dengan skrap dan benda uji diletakkan pada ruangan perawatan.

#### 4. Perendaman

Setelah beton berumur 24 jam cetakan dibuka dan diberi nomor kode pada benda uji sesuai yang diinginkan kemudian direndam. Perendaman dilakukan agar terjadi proses hidrasi antara semen dengan air.

#### 5. Pengeringan

Mengeluarkan benda uji setelah berumur 27 hari dari bak perendaman dan diletakkan pada ruang perawatan sampai sampel kering dan hal ini dilakukan selama 24 jam dalam suhu kamar ( $27^{\circ}\text{C}$ ) tepatnya benda uji mencapai umur 28 hari.

#### 3.2.2.6 Prosedur Pengujian Densitas

Prosedur pengujian densitas pada beton adalah sangat penting karena mengingat bahwa densitas yang tinggi akan menghasilkan kuat tekan yang akan tinggi juga. Pengujian densitas menggunakan benda uji kubus. Pengujian densitas itu dapat langsung bersamaan dengan uji porositas.

Adapun prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Saat umur 28 hari beton dibakar dengan temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  dan waktu penahanan 20 menit, 40 menit dan 60 menit.
2. Setelah pembakaran dilakukan, beton didinginkan selama 1 hari.
3. Kemudian masing-masing benda uji ditimbang guna mengambil massa



sempel.

4. Prosedur ini juga dilakukan untuk pembakaran beton dengan temperatur 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C.

### 3.3. Pengujian Sampel

Pengujian yang dilakukan meliputi sifat mekanis dan sifat fisis dari beton.

#### 3.3.1 Sifat Mekanik

##### 3.3.1.1 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kuat tekan hancur dari Benda uji. Pengujian kuat tekan dilakukan saat sampel berumur 1 hari setelah pembakaran. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat *Compressive Strength*, hingga didapatkan beban maksimumnya. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap sampel agar diperoleh kuat tekan rata-rata.

Kuat tekan beton dapat diperoleh dengan rumus, sebagai berikut :

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Dengan

$f_c$  = Gaya Tekan (MPa)

$P$  = Beban Tekan (N)

$A$  = Luas bidang permukaan (mm<sup>2</sup>)

#### 3.3.2 Sifat Fisis

##### 3.3.2.1 Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui besarnya persen porositas yang terdapat pada benda uji. Semakin banyak porositas yang terdapat pada benda

uji maka semakin rendah kekuatannya, begitu pula sebaliknya. Pengujian porositas dilakukan guna memperoleh massa basah ( $m_b$ ) sebelum beton dibakar dan diperoleh massa kering ( $m_k$ ) setelah beton dibakar.

$$\text{Porositas} = \frac{m_b - m_k}{V_b} \times \frac{1}{\rho_{\text{air}}} \times 100\% \quad (3.2)$$

Dimana :

$m_b$  = Massa basah benda uji sebelum dibakar (*gram*)

$m_k$  = Massa kering benda uji setelah dibakar (*gram*)

$V_b$  = Volume benda uji ( $\text{cm}^3$ )

$\rho_{\text{air}}$  = Massa jenis air (1 *gr/cm* )

### 3.3.2.2 Pengujian Densitas

Densitas merupakan ukuran kepadatan dari suatu material atau sering didefinisikan sebagai perbandingan antara massa ( $m$ ) dengan volume ( $v$ ). Tujuan dilakukannya pengujian densitas adalah untuk mendapatkan hasil bahan yang mempunyai densitas yang sesuai dengan yang diharapkan. Densitas merupakan ukuran kepadatan dari suatu material dan dalam hubungannya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.3)$$

Dimana :

$\rho$  = Densitas ( $\text{gr/cm}^3$ )

$m$  = Massa sampel setelah pembakaran (*gr*)

$V$  = Volume sampel ( $\text{cm}^3$ )

Satuan massa jenis adalah : gram per senti meter kubik ( $\text{gr/cm}^3$ )

Prosedur pengujian densitas pada beton adalah sangat penting karena mengingat bahwa densitas yang tinggi akan menghasilkan kuat tekan yang akan tinggi juga.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari data penelitian yang diperoleh dan dari analisa data yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Beton yang telah mengalami pembakaran akan mengalami pembakaran akan mengalami perubahan struktur antara lain retak, kerusakan/keruntuhan dan perubahan warna permukaan beton. Warna beton akan berubah sejalan dengan naiknya temperatur. Perubahan warna yang terjadi disebabkan karena agregat atau pasir yang mengandung beberapa senyawa besi yang juga dapat menyebabkan korosi.
2. Beton yang telah mengalami perlakuan bakar dengan suhu maksimum  $500^{\circ}\text{C}$  untuk penahanan 20 menit kuat tekannya adalah 20,637 MPa dan untuk penahanan 40 menit kuat tekannya adalah 18,509 MPa merupakan hasil maksimum untuk kuat tekan, sehingga bahan ini dapat dimanfaatkan kembali. Hal ini dapat dilihat dari rujukan standart SNI yang digunakan dengan tipikal kuat tekan beton normal adalah tidak boleh kurang dari 17,5 MPa. Semakin lama waktu penahanan maka kuat tekan yang dihasilkan semakin menurun. Dalam hal ini dapat dinyatakan bahwa temperatur sangat berpengaruh penting dalam menentukan sifat mekanis beton.
3. Tingginya temperatur pembakaran menyebabkan porositas beton makin besar. Bila dibandingkan antara kuat tekan dengan porositas akan berbanding

terbalik. Semakin kecil porositas beton semakin besar nilai kuat tekan beton, hal ini disebabkan karena ( $H_2O$ ) yang terkandung didalam beton sebagian besar akan menguap. Dengan meningkatnya porositas, maka kuat tekan beton menjadi turun dan kerusakan struktur beton.

4. Pada temperatur yang semakin tinggi massa beton akan menurun, sehingga densitas beton yang dihasilkan setelah pembakaran juga menurun. Hal tersebut dikarenakan beton yang mulai keropos dan mempengaruhi massa dari beton. Ternyata semakin lama beton dibakar, massa beton akan menurun dan densitas yang dihasilkan semakin menurun. Dalam hal ini dapat dinyatakan bahwa temperatur sangat berpengaruh penting dalam menentukan sifat fisis beton.

## 5.2 Saran

Beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut, untuk memperoleh hasil penelitian yang lebih baik sebagai berikut :

1. Dalam penggunaan air, diharapkan lebih teliti, karena penggunaan air yang cukup banyak akan menghasilkan beton yang tidak optimal.
2. Agar peneliti berikutnya khususnya pada waktu pencetakan sebaiknya perojokan diperhatikan agar beton yang dicetak padat sehingga tidak berongga.
3. Dalam melakukan pencetakan, diharapkan adonan benar – dalam kondisi padat agar mendapatkan beton dengan hasil optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bayuasri, Trisni., Indarto, Himawan., dan Antonius, 2006, *Perubahan Perilaku Mekanis Beton Akibat Temperatur Tinggi*, Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.
- Departemen Pekerjaan Umum, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*, SK SNI 03-2847-2002.
- Dipohusodo, 1996, *Struktur Beton Bertulang*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Edward G.Nawy, 1998, *Beton Bertulang*, Penerbit PT. Refika Aditama, Bandung.
- Fintel, Mark., 1987, *Buku Pegangan Tentang Teknik Beton*, Cetakan Pertama, Penerbit PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Gunawan, Margaret., 2000, *Konstruksi Beton I*, Penerbit Delta Teknik Group, Jakarta.
- Hamid, A., Suratmatja, D., dan Sihotang, A., 2007, *Pengaruh Modulus Kahalusan Pasir Pada Beton Dengan Mixed Design Metoda ACI*, Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Kadiyono, L .J, & Brook, K.M, 1991, *Bahan dan Praktek Beton*, Terjemahan Oleh Stephanus Hindarko, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Mulyono, Tri., 2005, *Teknologi Beton*, Penerbit Andi, Yogyakarta.