

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat. Beton Normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200-2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah yang tidak menggunakan bahan tambahan (Sebayang, Surya. 2000).

Beton banyak digunakan secara luas sebagai bahan bangunan. Bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen Portland, air dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambahan yang sangat variasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan non-kimia) pada perbandingan tertentu. Campuran tersebut apabila dituangkan dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan (Tjokrodinuljo, 1996).

Beton yang baik mempunyai kuat tekan, tarik, lekat yang tinggi, tahan ausan, tahan cuaca, tahan terhadap zat-zat kimia (terutama sulfat), elastisitasnya (modulus elastis) tinggi, tidak ada pori setelah dilepas cetakannya, tidak

banyak air atau rapat air, tidak ada gelembung, apabila dicampur sudah tidak terlihat campurannya seperti pasir, kerikil, semen ataupun air, dan susutan pengerasnya kecil.

Beton dibandingkan dengan bahan bangunan lain mempunyai beberapa kelebihan (Tjokrodimuljo, 2012), antara lain yaitu :

1. Harganya relatif murah karena menggunakan bahan-bahan dasar yang umumnya tersedia di dekat lokasi pembangunan, kecuali semen Portland. Hanya untuk daerah tertentu yang sulit mendapatkan pasir atau kerikil mungkin harga beton agak mahal.
2. Termasuk bahan yang awet, tahan aus, tahan kebakaran, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan, sehingga biaya perawatan murah.
3. Kuat tekannya cukup tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan (yang kuat tariknya tinggi) dapat dikatakan mampu dibuat untuk struktur berat. Beton dan baja tulangan boleh dikatakan mempunyai koefisien muai yang hampir sama. Saat ini beton bertulang banyak dipakai untuk fondasi, kolom, balok, dinding, jalan raya, landasan pesawat udara, gedung, penampungan air, pelabuhan, bendungan, jembatan, dan sebagainya.
4. Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk dan ukuran sesuai keinginan. Cetakan dapat pula dipakai beberapa kali sehingga secara ekonomi menjadi murah.

Walaupun beton mempunyai kelebihan, namun beton juga mempunyai kekurangan. Beberapa kekurangan itu antara lain :

1. Bahan dasar penyusun beton (agregat halus maupun agregat kasar) bermacam-macam sesuai dengan lokasi pengambilannya, sehingga cara perencanaannya bermacam-macam pula.
2. Beton keras mempunyai beberapa kelas kekuatan sehingga harus disesuaikan dengan bagian bangunan yang dibuat.
3. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, Sehingga getas atau rapuh dan mudah retak. Oleh karena itu perlu diberikan cara-cara mengatasinya, misalnya dengan memberikan baja tulangan, serat, dan sebagainya.

B. Semen Portland

Semen Portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan gips sebagai bahan pembantu (SK-SNI-S-04-1989-F). Suatu semen jika diaduk dengan air akan terbentuk adonan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir menjadi mortar semen dan jika ditambah lagi dengan kerikil atau batu pecah disebut beton. Fungsi semen ialah untuk bereaksi dengan air menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat. Pasta semen juga berfungsi untuk mengisi rongga-rongga di antara butir-butir agregat. Semen Portland memiliki sifat adhesif maupun kohesif yang dibuat melalui beberapa langkah, sehingga sangat halus. Semen diperoleh dengan membakar secara bersamaan, suatu campuran dari

calcareous (yang mengandung kalsium karbonat atau batu gamping) dan argillaceous (yang mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu.

Bahan dasar semen Portland terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silica, alumina, dan oksida besi.

Tabel 1. Susunan unsur semen Portland

Oksida	Persen
Kapur, CaO	60-65
Silika, SiO ₂	17-25
Alumina, Al ₂ O ₃	3-8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5-6
Magnesia, MgO	0,5-4
Sulfur, SO ₃	1-2
Soda atau potash, Na ₂ O + K ₂ O	0,5-1

Sumber : Tjokrodimuljo,2012

Namun pada dasarnya terdapat empat senyawa paling penting. Keempat senyawa tersebut ialah Trikalsium silikat (C₃S) atau 3CaO.SiO₂; Dikalsium silikat (C₂S) atau 2CaO.SiO₂; Trikalsium aluminat (C₃A) atau 3CaO.Al₂O₃ dan Tetrakalsium aluminoforit (C₄AF) atau 43CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃. Senyawa C₃S berpengaruh besar terhadap pengerasan semen, terutama sebelum mencapai 14 hari. Senyawa C₂S berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah umur lebih dari 7 hari dan memberikan kekuatan akhir. Senyawa C₃A berhidrasi secara eksotermik dan sangat cepat, senyawa ini menyebabkan panas hidrasi yang tinggi. Senyawa C₄AF kurang begitu besar pengaruhnya terhadap perilaku semen (Sebayang, Surya. 2000).

Tabel 2. Empat senyawa utama dari semen portland

Nama oksida Utama	Rumus Empiris	Rumus oksida	Notasi pendek	Kadar rata-rata (%)
Trikalsium Silikat	Ca_3SiO_5	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	50
Dikalsium Silikat	Ca_2SiO_4	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	25
Trikalsium Aluminat	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	12
Tetrakalsium Aluminoferrit	2CaAlFeO_5	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	8
Kalsium Sulfat Dihidrat (Gypsum)		$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	CSH_2	3,5

Sumber : Nugraha, P dan Antoni, 2007

Tabel 3. Sifat masing-masing komposisi utama semen

Bahan	Kecepatan Hidrasi	Panas hidrasi (Joule/gram)	Andil terhadap Kekuatan	Susut
C_3S	Cepat	503 – tinggi	>> dalam 28 hari	Sedang
C_2S	Lambat	260 – rendah	> setelah 28 hari	Sedang
C_3A	sangat cepat	867 - sangat tinggi	> dalam 1 hari	Besar
C_4AF	Cepat	419 – sedang	Sedikit	Kecil

Sumber : Nugraha, P dan Antoni, 2007

Perbedaan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Semen Portland di Indonesia (SK-SNI-S-04-1989-F) dibagi menjadi 5 jenis, yaitu :

1. Jenis I adalah semen Portland untuk konstruksi umum, yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II adalah semen Portland untuk konstruksi yang agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III adalah semen Portland untuk konstruksi dengan syarat kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV adalah semen Portland untuk konstruksi dengan syarat panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V adalah semen Portland untuk konstruksi dengan syarat sangat tahan terhadap sulfat.

Bahan dasar semen pada umumnya ada 3 macam yaitu klinker/terak (70% hingga 95%, merupakan hasil olahann pembakaran batu kapur, pasir silica, pasir besi dan lempung), gypsum (sekitar 5%, sebagai zat pelambat pengerasan) dan material ketiga seperti batu kapur, pozzolan, abu terbang, dan lain-lain. Jika unsur ketiga tersebut tidak lebih dari sekitar 3% umumnya masih memenuhi kualitas tipe 1 atau OPC (*Ordinary Portland Cement*). Namun bila kandungan material ketiga lebih tinggi hingga sekitar maksimum 6%-35%, maka semen tersebut akan berganti tipe menjadi PCC (*Portland Composite Cement*) (SNI 15-7064-2004).

Semen Portland yang digunakan pada penelitian ini yaitu semen portland tipe I OPC (*Ordinary Portland Cement*) dan PCC (*Portland Composite Cement*).

1. *Ordinary Portland Cement (OPC)*

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, *Ordinary Portland Cement (OPC)* Semen tipe I didefinisikan sebagai semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Pada semen jenis ini hanya terdiri dari terak semen (klinker) dan *gypsum* tanpa ada bahan tambahan anorganik seperti yang terdapat pada semen jenis PCC. Panas hidrasi yang dihasilkan dari semen jenis ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan semen jenis PCC. Adapun syarat fisika dan syarat kimia yang harus dipenuhi semen tipe I OPC, dapat pada tabel 4.

Tabel 4. Syarat fisik *Ordinary Portland Cement*

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1.	Kehalusan dengan alat blaine	m ² /kg	min. 280
2.	Kekekalan bentuk dengan autoclave: • pemuai • penyusutan	% %	maks. 0,80 maks. 0,20
3.	Waktu pengikatan dengan alat vikat : • pengikatan awal • pengikatan akhir	menit menit	min. 45 maks. 375
4.	Kuat tekan : • umur 3 hari • umur 7 hari • umur 28 hari	kg/cm ² kg/cm ² kg/cm ²	min. 125 min. 200 min. 250
5.	Pengikatan semu: • penetrasi akhir	%	min. 50
6.	Kandungan udara dalam mortar	% volume	maks. 12

Sumber : SNI 15-2049-2004

Berat jenis semen tipe I OPC biasanya ditentukan sebesar 3,15. Adapun kandungan semen OPC tipe I pada semen Padang yaitu 96% terak semen (klinker) dan 4% *gypsum*.

2. Portland Composite Cement (PCC)

Portland Composite Cement (PCC) didefinisikan sebagai bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silika, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari masa *Portland Composite Cement* (SNI 15-7064-2004).

Portland Composite Cement (PCC) memiliki panas hidrasi yang lebih rendah sehingga pengerjaannya akan lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton atau plester yang lebih rapat dan lebih halus. Berat jenis semen tipe *Portland Composite Cement (PCC)* biasanya kurang dari 3,00 ($\pm 2,90$). Adapun kandungan semen jenis PCC pada semen Padang yaitu 80% terak semen portland (klinker), 10% pozzolan, 6% batu kapur kelas tinggi (*High Grade Lime stone*) dan 4% *gypsum*.

C. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume beton. Kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton.

Tabel 5. Pengaruh sifat agregat pada sifat beton

Sifat agregat	Pengaruh pada	Sifat beton
Bentuk, tekstur, dan gradasi	Beton cair	Keleccakan, pengikatan, dan pengerasan
Sifat fisik, sifat kimia, dan mineral	Beton keras	Kekuatan, kekerasan, ketahanan (<i>durability</i>)

Sumber : Nugraha, P dan Antoni, 2007

Agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berbutir kecil disebut agregat halus. Secara umum, agregat kasar sering disebut sebagai kerikil, kericak, batu pecah, atau split. Adapun agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecah batu. Dalam praktek agregat umumnya (Tjokrodinuljo,2012) digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu :

1. Batu untuk besar butiran lebih dari 40 mm
2. Kerikil untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm
3. Pasir untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

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. Secara umum, agregat penyusun beton dapat dibedakan menjadi agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar untuk beton adalah agregat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh

dari pemecahan batu, dan mempunyai ukuran butir antara 5-40 mm. Besar butir maksimum yang diizinkan tergantung pada maksud pemakaian.

Tabel 6. Gradasi standar agregat kasar

Ukuran saringan (mm)	Persentase lolos		
	37,5 - 4,75	19,0- 4,75	12,5 - 4,75
50	100	-	-
38,1	95 – 100	-	-
25	-	100	-
19	35 – 70	90 – 100	100
12,5	-	-	90 – 100
9,5	10 – 30	20 – 55	40 – 70
4,75	0 – 5	0 – 10	0 – 15
2,36	-	0 – 5	0 – 5
Pan			

Sumber : ASTM-C33

Persyaratan agregat kasar untuk bahan bangunan, sebaiknya dipilih sebagai berikut (Tjokrodinuljo,2012) :

- a. Butir-butirnya keras tidak berpori, dengan indeks kekerasan ≤ 5 persen.
- b. Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan).
- c. Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat 0,06 mm) lebih dari 1 persen.
- d. Tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
- e. Butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20 persen.
- f. Modulus halus butir antara 6 - 7,10 dan dengan variasi butir standar gradasi.
- g. Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari $1/5$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $1/3$ tebal pelat beton, $3/4$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.

Gradasi agregat kasar untuk ukuran maksimum tertentu dapat divariasikan tanpa berpengaruh besar pada kebutuhan semen dan air yang baik. Karena variasi sulit diantisipasi, sering lebih ekonomis untuk mempertahankan keseragaman penanganan daripada menyesuaikan proporsi untuk variasi gradasi.

2. Agregat Halus

Agregat halus untuk beton adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir maksimum 5 mm.

Tabel 7. Gradasi standar agregat halus

Ukuran saringan (mm)	Persentase lolos
9,5	100
4,75	95 – 100
2,36 (No.8)	80 – 100
1,18 (No.16)	50 -85
0,6 (No.30)	25 – 60
0,3 (No.50)	10 – 30
0,15 (No.100)	2 – 10
Pan	

Sumber : ASTM-C33

Persyaratan agregat halus untuk bahan bangunan, sebaiknya dipilih sebagai berikut (Tjokrodinuljo,2012) :

- a. Butir-butirnya tajam, dan keras, dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$.
- b. Bersifat kekal tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan).
- c. Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 5 persen.
- d. Tidak mengandung zat organis terlalu banyak.

- e. Modulus halus butir antara 1,50 – 3,80 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- f. Khusus untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, agregat halus tidak reaktif terhadap alkali.
- g. Agregat halus dari laut atau pantai, boleh dipakai asalkan dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

D. Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting dan harganya paling murah. Dalam pembuatan beton air diperlukan untuk bereaksi dengan semen Portland dan untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat, agar dapat mudah dikerjakan (diaduk, dituang, dan dipadatkan). Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (tetapi tidak berarti air untuk pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum).

Air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut :
(Standar SK SNI S-04-1989-F, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A)

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram per liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 1,5 gram per liter.
4. Tidak mengandung Khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram per liter. Khusus untuk

beton pra-tegang kandungan Klorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram per liter.

5. Tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai SO_3) lebih dari 1 gram per liter.

Kualitas beton akan berkurang bila air mengandung kotoran. Pengaruh pada beton diantaranya pada lamanya waktu ikatan awal adukan beton, kekuatannya, serta kekedapan airnya setelah beton mengeras. Adanya butiran melayang (lumpur) dalam air di atas 2 gram per liter dapat mengurangi kekuatan beton.

1. Faktor Air Semen

Faktor air semen (f.a.s) ialah perbandingan berat antara air dan semen Portland di dalam campuran adukan beton. Dalam prakteknya, nilai faktor air semen berkisar 0,40 dan 0,60 (Tjokrodinuljo,2012).

Secara umum, semakin tinggi nilai fas maka semakin rendah mutu beton yang dihasilkan, akan tetapi nilai fas yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai fas yang sangat rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang dapat menyebabkan mutu beton menurun. Dalam kenyataannya jika nilai faktor air semen kurang dari 0,35 adukan beton sulit dikerjakan, sehingga umumnya nilai fas lebih dari 0,40 yang berarti terdapat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen (Mulyono, Tri. 2004).

E. Bahan Tambahan

Bahan tambahan ialah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau beton (Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton, Standar, SK SNI S-18-1990-03). Pemberian bahan tambahan pada adukan beton dengan maksud untuk memperlambat waktu pengikatan, mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah daktilitas, mengurangi retak-retak pengerasan, mengurangi panas hidrasi, menambah kekedapan, menambah keawetan, dan sebagainya. Bahan kimia pembantu (*chemical admixture*) dan bahan-bahan lain merupakan bahan tambahan (*additives*) kepada beton.

Menurut ASTM, bahan kimia pembantu adalah material di samping agregat dan semen hidraulis yang ditambahkan ke dalam adukan beton sebelum atau selama proses pengecoran. Jika campuran direncanakan dengan baik maka pada umumnya beton tidak memerlukan bahan kimia pembantu apapun. Namun dalam kondisi tertentu pemakaian bahan kimia pembantu adalah cara paling praktis untuk mencapai hasil tertentu. Di bawah ini akan dijelaskan masing-masing kegunaannya.

1. *Superplasticizer*

Superplasticizer (high range water reducer admixture) adalah bahan tambahan kimia yang dapat sangat meningkatkan kelecakan campuran. Digunakan terutama untuk beton mutu tinggi, karena dapat mengurangi air sampai 30%. Adapun mekanisme kerja dari *Superplasticizer* yaitu dengan

menghasilkan gaya tolak-menolak (*dispersion*) yang cukup antarpartikel semen agar tidak terjadi penggumpalan partikel semen (*flocculate*) yang dapat menyebabkan terjadinya rongga udara di dalam beton, yang akhirnya akan mengurangi kekuatan atau mutu beton tersebut. Dosis yang digunakan tergantung dosis yang disarankan oleh pembuat *Superplasticizer*. Pemberian dosis yang berlebihan selain tidak ekonomis juga akan dapat menyebabkan penundaan *setting* yang lama hingga beton justru kehilangan kekuatan akhir. Pemakaian dosis yang tinggi pada *Superplasticizer* dengan bahan dasar *naphthalene* atau *melamine* akan menyebabkan beton sulit mengeras dan kehilangan kekuatannya, untuk bahan dasar *polycarboxylate* hanya berpengaruh pada penurunan kekuatan awal dan tidak berpengaruh terhadap kekuatan akhir (Nugraha, P dan Antoni, 2007).

2. *Silica Fume*

Silica fume adalah produk samping dari proses fusi (*smelting*) dalam produksi silikon metal dan amalgam ferrosilicon (pada pabrik pembuatan microchip untuk komputer). *Silica fume* yang dipakai untuk beton adalah bahan kimia tambahan yang mengandung lebih dari 75% silikon. Secara umum, *Silica fume* mengandung SiO_2 86 - 96%, ukuran butir rata-rata 0,1 - 0,2 mikrometer, dan strukturnya bersifat reaktif dan tidak terkristalisasi. Ukuran *Silica fume* ini lebih halus daripada asap rokok. *Silica fume* berbentuk seperti *fly ash* tetapi ukurannya lebih kecil sekitar seratus kali lipatnya. *Silica fume* bisa didapat dalam bentuk bubuk, dipadatkan, atau cairan yang dicampur dengan air 50%. Kandungan *silica fume* yaitu >85%,

dan alkalis 0,5-1,5%. Berat jenisnya sekitar 2,20, tetapi bulk density hanya 200-300 kg/m³. SSA (*Specific Surface Area*) sangat besar, yaitu 15 – 25 m²/g.

Silica fume bisa dipakai sebagai pengganti sebagian semen, untuk tujuan pengurangan kadar semen, meskipun tidak ekonomis. Selain itu, bisa dipakai sebagai tambahan untuk memperbaiki sifat beton, baik beton segar maupun keras. Untuk beton normal dengan kadar semen di atas 250 kg/m³, kebutuhan air bertambah dengan ditambahkan *Silica fume*. Campuran menjadi lebih kohesif. *Silica fume* umumnya dipakai bersamaan dengan *Superplasticizer*. Beton dari *Silica fume* memperlihatkan kekuatan awal yang rendah. Namun perawatan temperatur tinggi member pengaruh percepatan yang besar. Potensi kekuatannya adalah 3 sampai 5 kali lebih tinggi dari semen Portland per unit massa sehingga untuk kekuatan yang sama, umur 28 hari memberikan fas yang lebih besar. Jadi beton dengan kekuatan tinggi (di atas 100 MPa) dapat dihasilkan (Nugraha, P dan Antoni, 2007).

F. Beton Mutu Tinggi

Pada dasarnya beton bermutu tinggi merupakan beton yang memiliki kekuatan tinggi, namun parameter beton mutu tinggi sangat beragam, tergantung di mana berada. Di Indonesia, beton dengan kekuatan di atas 50 MPa sudah digolongkan beton mutu tinggi. Beton mutu tinggi memiliki kuat tekan 50 - 80 MPa. Menurut yayasan riset teknik sipil (CERF) dari Amerika, Beton mutu tinggi adalah beton yang memenuhi persyaratan khusus kinerja yang tidak selalu bisa dicapai secara rutin dengan hanya menggunakan bahan

konvensional dan praktik normal pencampuran, peletakan dan perawatan.

Beberapa dari syarat khusus bisa termasuk peningkatan kinerja berikut :

1. Kemudahan peletakan dan pemadatan tanpa segregasi.
2. Sifat mekanis jangka panjang.
3. Kekuatan awal.
4. Kekerasan.
5. Stabilitas volume.
6. Kondisi lingkungan yang ekstrem.

Tabel 8. Berbagai beton mutu tinggi

Jenis	Faktor air-semen	Kuat 28 hari (MPa)	Catatan
Konsistensi normal	0,35-0,40	35 – 80	Slump 50 – 100 mm
No-slump	0,30-0,45	35 – 80	Slump < 25 mm
w/c rendah	0,20-0,35	100 – 170	Pakai admixture
<i>Compacted</i>	0,05-0,30	70 – 240	Tekanan > 70 MPa

Sumber : Nugraha, P dan Antoni, 2007

G. Kuat Tekan

Kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas, yang dapat ditahan sampai dengan menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin uji. Kuat tekan beton ditentukan oleh proporsi bahan yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, dan air sebagai komponen pembentuk beton. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kuat tekan beton. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton, yaitu :

1. Faktor Air Semen
 - a. Faktor air semen ialah perbandingan antara berat air dan berat semen di dalam campuran adukan beton.
 - b. Kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh faktor air-semen yang dipakai.
2. Umur Beton
 - a. Kekuatan beton (kuat tekan, kuat tarik, kuat lekat) bertambah tinggi dengan bertambahnya umur.
 - b. Laju kenaikan kekuatan beton mula – mula cepat, akan tetapi makin lama laju kenaikan itu makin lambat. Oleh karena itu, sebagai standar kekuatan beton dipakai kuat tekan beton pada umur 28 hari.
3. Agregat
 - a. Pengaruh agregat terhadap kekuatan beton terutama adalah bentuk tekstur permukaan dan ukuran maksimalnya.
 - b. Pengaruh kekuatan agregat sendiri terhadap kekuatan beton tidak begitu besar karena umumnya kekuatan agregat lebih tinggi daripada kekuatan pasta semennya, kecuali pada beton dengan agregat ringan atau beton dengan kuat tekan tinggi.

Nilai kuat tekan beton didapat melalui pengujian standar menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton sampai hancur. Beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi luas penampang benda uji merupakan nilai kuat desak beton yang dinyatakan dalam MPa atau kg/cm^2 .

H. Kuat Lentur

Apabila suatu gelagar balok bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi lentur di dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, tegangan tekan akan terjadi dibagian atas dan tegangan tarik akan terjadi di bagian bawah dari penampang. Tegangan-tegangan tersebut harus ditahan oleh balok, tegangan tekan disebelah atas dan tegangan tarik di sebelah bawah. Jika beban bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan tegangan tambahan yang mengakibatkan bertambahnya retak lentur pada balok. Dan bila beban semakin bertambah, pada akhir terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Pada saat beton struktur bekerja menahan beban-beban yang dipikulnya, balok beton akan mengalami tegangan-tegangan pada badannya. Salah satu tegangan yang terjadi adalah tegangan tarik akibat lenturan pada serat tepi bawah pada balok dengan tumpuan sederhana.

Kekuatan lentur merupakan kekuatan beton dalam menahan lentur yang umumnya terjadi pada balok struktur. Kuat lentur dapat diteliti dengan membebani balok pada tengah-tengah bentang atau pada setiap sepertiga bentang dengan beban titik P . Beban ditingkatkan sampai kondisi balok mengalami keruntuhan lentur, dimana retak utama yang terjadi terletak pada sekitar tengah-tengah bentang. Besarnya momen akibat gaya pada saat runtuh ini merupakan kekuatan maksimal balok beton dalam menahan lentur. Secara sederhana sampel balok beton digambarkan sebagai struktur *simple beam*. Dengan beban terpusat masing-masing $\frac{1}{2} P$ dan beban merata q . Besarnya

momen yang dapat mematahkan benda uji adalah momen akibat beban maksimal dari mesin pembebanan dan berat sendiri dari benda uji (Purwo Saputra, A. 2004).

I. Penelitian Terdahulu

Abdurakhman Rasyid (2011), pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui penggunaan semen PCC dan semen jenis OPC dengan beberapa pelakuan perawatan pada terapan beton. Pengujian kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pada perawatan *steam* dilakukan juga uji kuat tekan pada umur 4 jam. Mutu beton yang direncanakan adalah K225 dan K350 dengan menggunakan semen jenis PCC (Baturaja, Tiga Roda dan Padang) dengan semen jenis OPC (Baturaja).

Jenis perawatan beton yang dilakukan berupa *non curing*, *moist curing*, dan *steam curing*. Berdasarkan hasil pengujian, kuat tekan beton mutu K225 dan mutu K350 dengan perawatan perendaman umur 28 hari, semen jenis OPC merk Baturaja lebih tinggi dari pada semen PCC merk Baturaja tetapi memiliki kuat tekan yang lebih rendah dari PCC Tiga Roda dan PCC Padang. Jenis perawatan beton dengan cara perendaman merupakan cara yang paling baik dibandingkan dengan perawatan uap dan tanpa perawatan.

Hanif Tasykurun (2012), telah melakukan pengujian beton dengan tujuan penelitian adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggantian semen dengan *fly ash* (abu terbang) terhadap mutu kuat tekan beton dan kuat tekan beton terhadap serangan sulfat. Komposisi penggantian semen dengan *fly ash*

sebanyak 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Larutan sulfat yang digunakan adalah asam sulfat dengan kadar 5%. Sampel yang digunakan adalah kubus (15cm x 15cm x 15cm) mutu beton yang direncanakan adalah K300. Sampel di uji pada umur 7 hari , 28 hari, dan 56 hari.

Dari hasil penelitian menggunakan semen OPC merk baturaja didapat kadar *fly ash* optimum berada pada campuran 10% dengan kuat tekan pada umur pemeliharaan 56 hari sebesar 462,22 kg/cm² dan apabila dibandingkan dengan dengan kuat tekan beton yang menggunakan semen PCC merk Baturaja, beton dari semen OPC lebih kuat. Sedangkan untuk beton *fly ash* yang direndam dengan sulfat 5% selama 56 hari didapat kuat tekan maksimum beton OPC + *fly ash* sebesar 277,04 kg/cm² dan kuat tekan beton PCC merk Baturaja sebesar 227,41 kg/cm². Dapat disimpulkan bahwa *fly ash* asal Tarahan Lampung sangat baik digunakan sebagai bahan pengganti pada semen OPC.