

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian-Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan beberapa referensi yang berhubungan dengan objek pembahasan. Penelitian ini juga sebagai acuan pada penelitian selanjutnya dan juga batasan agar penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan baik dan menghasilkan referensi yang baru.

Hasil penelitian Sudirman Letjemma, dkk (2020), pengujian mengacu pada standar ASTM C78. Dengan menggunakan variasi penambahan kerang pada agregat kasar sebanyak 5%, 10% dan 15% pada umur 7 dan 28 hari, benda uji berbentuk kubus dengan panjang 150 mm, lebar 150 mm, dan tinggi 50 mm didapat kuat tekan sebesar 25,92MPa; 24,28MPa; 23,02MPa untuk umur 7 hari dan 21,56MPa; 20,87MPa; 22,70MPa untuk umur 28 hari. Terjadi penurunan kuat tekan dengan penambahan jumlah cangkang kerang sebagai penambah agregat kasar dari kuat tekan beton normal yaitu 30,08MPa untuk 7 hari dan 42,65MPa untuk umur 28 hari.

Hasil penelitian Restu Andika dan hendramawat Aski Safarizki (2019), melakukan penelitian cangkang kerang dara sebagai bahan tambah dan komplemen pada kuat tekan beton normal menggunakan persentase abu cangkang kerang 5% dan 7,5% pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 1, 7, dan 28 hari. Pada pengujian ini kuat tekan mengalami peningkatan pada penambahan abu cangkang kerang dengan persentase 5% yaitu 29,1MPa dari kuat tekan beton normal yaitu 22,7MPa, tetapi dengan penambahan persentase cangkang kerang yang semakin besar yaitu 7,5% kuat tekan beton mengalami penurunan menjadi 23,9MPa untuk umur 28 hari.

Hasil penelitian Rinaldhi Ridha'al Syariffudin Hieryco Manalpi dan Mielke R.i.a.j. Mondoringin (2020), pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM C 469-94, SK SNI T-15-1991-03, dan ACI 363-92 yang dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 25%. Benda uji setiap variasi yaitu 6 buah dengan kuat tekan 23,96MPa; 24,75MPa; 23,01MPa; 12,18MPa 11,07MPa pada umur 7 hari dan 26,55MPa; 28,42MPa; 25,59MPa; 13,45MPa;

12,72MPa untuk umur 28 hari, kuat tekan beton meningkat pada variasi 5% dan mengalami penurunan dengan variasi penambahan yang lebih besar.

Hasil penelitian Riski Yendrawan Putra Steenie E. Wallah, Ronny Pandaleke (2019), pada pengujian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm, tinggi 20 cm, dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Jumlah benda uji 12 buah setiap variasi, pada variasi 10% kuat tekannya meningkat pada umur 7, 14, dan 28 hari menghasilkan kuat tekan 20,66MPa; 24,25MPa; dan 27,53MPa dari kuat tekan beton normal, tetapi kuat tekan mengalami penurunan dengan semakin besarnya variasi penambahan cangkang keong.

Hasil penelitian Yusril Hardian, dkk (2019), pada pengujian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm, tinggi 30 cm, dengan variasi penambahan cangkang kerang dara 5%, 7,5%, dan 10% dengan perendaman air tawar menghasilkan kuat tekan 440N, 435N, dan 315N dan air laut menghasilkan kuat tekan 345N, 350N, dan 310N pada umur 28 hari nilai kuat tekan mengalami peningkatan pada persentase 7,5% dan mengalami penurunan dengan penambahan persentase cangkang kerang yang lebih besar.

Hasil penelitian Andi Afdiilah Amiruddin, dkk (2017), penelitian pemanfaatan limbah cangkang kerang dan limbah kramik sebagai substitusi agregat kasar dan halus terhadap kuat tekan beton, dengan persentase cangkang kerang 5% dan kramik masing-masing 13,75%; 27,5%; 41,25% dan 54% pada umur 7, 28, dan 35 hari dengan benda uji berbentuk silinder ber diameter 10 cm, tinggi 20 cm. hasil pengujian menunjukkan substitusi limbah cangkang kerang dan kramik mempengaruhi kuat tekan sehingga kuat tekan mengalami penurunan 10,94%; 3,89%; 23,60%; dan 25,88% terhadap campuran beton normal.

Hasil penelitian I.G.A. Neny Purnawirati, Fransiska Moi (2021), penelitian beton ringan dengan pemanfaatan abu terbang sebagai pengganti sebagian semen portland tipe I dilaksanakan dengan variasi penggantian semen portland dengan abu terbang mulai dari 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku mekanik beton ringan meliputi : kuat tekan dan modulus elastisitas beton ringan. Perbandingan berat semen : pasir : batu apung

yang digunakan adalah 1,00 : 3,07 : 1,14 dengan fas 0,32 mengacu pada SNI 03-3449-2002 dengan kuat tekan rencana 18MPa. Penelitian ini menggunakan *Superplasticizer* sebesar 0,4% dari berat semen yang ditambahkan pada saat pengadukan beton. Penelitian menunjukkan kuat tekan meningkat dengan bertambahnya penggantian semen dengan abu terbang sampai dengan 20% dan selanjutnya menurun. Penggantian 40% semen Portland dengan abu terbang masih dihasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang tanpa abu terbang. Nilai kuat tekan dan modulus elastisitas yang dihasilkan pada penggantian 20% semen dengan abu terbang berturut-turut sebesar 14,34MPa dan 10766,71MPa pada umur 28 hari dan 18,12 MPa dan 11006,56MPa pada umur 56 hari.

Hasil Penelitian Hendro Suseno, dkk (2008), dari hasil analisis varian dua arah menggunakan SPSS didapatkan bahwa interaksi antara variasi proporsi campuran dan variasi penambahan *Superplasticizer* hanya berpengaruh terhadap kuat tekan beton ringan. Kuat tekan beton ringan maksimum diperoleh pada campuran dengan kadar semen yang tinggi. Penambahan *Superplasticizer* dengan dosis yang tepat juga akan memberikan hasil kuat tekan yang tinggi pula, namun jika dosis yang diberikan melebihi dosis yang telah ditentukan kuat tekan beton akan mengalami penurunan. Nilai slump pada penelitian ini hanya dipengaruhi oleh variasi *Superplasticizer*. Semakin besar penambahan *Superplasticizer* akan memberikan nilai slump yang tinggi. Untuk berat isi beton ringan hanya dipengaruhi oleh variasi proporsi campuran. Pada campuran dengan perbandingan agregat halus dan agregat kasar sama nilai berat isi beton ringan akan tinggi bila kadar semen pada campuran tersebut tinggi.

Hasil penelitian Lukas Raymon Sitorus (2018), Kadar *Superplasticizer* yang digunakan sebanyak 1%, 1,5% dan 2% dari berat semen. Mutu beton yang direncanakan $f'c$ 42 MPa yang diuji pada 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari setelah terlebih dahulu dilakukan curing. Pada penelitian ini penggunaan *Superplasticizer* meningkatkan kuat tekan terhadap mutu rencana sebesar 10,952% untuk variasi SP 1%; 16,586 % untuk variasi SP 1,5 % sedangkan yang terbesar diperoleh pada variasi SP 2% yaitu sebesar 22,752% menggunakan benda

uji silinder Ø15 cm x 30 cm dengan nilai *slump-flow* 690 mm. Nilai koefisien umur maksimum *Superplasticizer* dicapai pada variasi penggunaan *Superplasticizer* 2% yaitu sebesar 0,999 untuk 7 hari, 1,143 untuk 14 hari, 1,219 untuk 21 hari dan 1,479 untuk 28 hari.

Hasil penelitian Teguh Arifmawan Sudhiarta, dkk (2015), Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui kinerja dari masing-masing *Superplasticizer* ditinjau dari nilai slump, kuat tekan beton, dan kuat tarik belah beton. Perhitungan kebutuhan bahan mengacu pada SNI 03-6468-2000 dengan perbandingan berat antara semen : agregat halus : agregat kasar sebesar 1,00 : 1,67 : 2,15 dengan faktor air semen 0,317. Untuk pengujian digunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dimana untuk satu umur uji dibuat 3 (tiga) buah benda uji. Pembuatan dan perawatan benda uji dilakukan dengan tata cara standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *Superplasticizer* jenis *naphthalene formaldehyde sulphonate* memberikan hasil kuat tekan yang lebih baik dibandingkan *Superplasticizer* jenis *aqueous solution of modified polycarboxylate copolymers* yaitu sebesar 7,70%, namun bila dilihat dari segi kuat tarik dan nilai slump (keleccakan) *Superplasticizer* jenis *aqueous solution of modified polycarboxylate copolymers* memberikan nilai yang lebih baik bila dibandingkan dengan *naphthalene formaldehyde sulphonate* yaitu sebesar 4,04% untuk kuat tarik belah dan 22,22% untuk nilai slump.

Hasil penelitian Chairani Sabrina Mecha, dkk (2018), Penelitian ini dilakukan dengan penambahan sebagian semen dengan *superplasticizer* dengan variasi persentase 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2% dari total berat semen. Desain beton f'c 35MPa, w/c 0.4, slump 12 ± 2 cm, jumlah sampel 30 (3 sampel untuk tiap variasi umur beton 7 dan 28 hari). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi *superplasticizer* 0,5% mencapai nilai kuat tekan beton rata-rata 43,5MPa; variasi *superplasticizer* 1% adalah 42,56MPa; variasi *superplasticizer* 1,5% adalah 40,86MPa dan 2% variasi *superplasticizer* adalah 40,2MPa. Kuat tekan beton maksimum mengandung variasi *superplasticizer* 0,5%.

2.2 Pengertian Beton

Perkembangan dunia konstruksi di Indonesia saat ini sangat berdampak pada bertambahnya penggunaan beton sebagai material dalam penguatan struktur. Selain mudah dalam proses pekerjaannya dan mendapatkan materialnya, teknologi pada beton juga selalu mengalami perkembangan yang lebih dinamis.

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture atau additive*). Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen gabungan (bahan-bahan penyusun beton), memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen. Nawy (1985:8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. Perencana (*engineer*) dapat mengembangkan pemilihan material yang layak komposisinya sehingga diperoleh beton yang efisien, memenuhi kekuatan batas yang disyaratkan oleh perencana dan memenuhi persyaratan *serviceability* yang dapat diartikan juga sebagai pelayanan yang handal dengan memenuhi kriteria ekonomi. (Mulyono, 2005).

Menurut SNI-03-2847-2002, pengertian beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Beton disusun dari agregat kasar atau agregat halus, agregat halus yang digunakan biasanya adalah pasir alam yang dihasilkan oleh industri pengolahan pasir, sedangkan agregat kasar yang dipakai biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu.

a. Jenis-jenis beton berdasarkan berat satuan (SNI 03-2847-2002)

1. Beton ringan: Berat satuan $\leq 1900 \text{ kg/m}^3$
2. Beton normal: Berat satuan $2200 \text{ kg/m}^3 - 2500 \text{ kg/m}^3$
3. Beton berat: Berat satuan $\geq 2500 \text{ kg/m}^3$

Tabel 2.1 Mutu Beton Dan Penggunaan

Jenis Beton	f_c' (MPa)	σ_{bk}' (kg/cm ²)	Uraian
Mutu tinggi	35 - 65	K 400 - K 800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya.
Mutu sedang	20 - <35	K 250 - <K 400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.
Mutu rendah	15 - <20	K 175 - <K 250	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang di isi adukan, pasangan batu. digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.
	10 - <15	K 125 - <K175	

(Sumber : departemen pu puslitbang prasarana transportasi, divisi 7 – 2005)

2.3 Umur Beton

Kuat tekan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton tersebut. Karena beton ini termasuk bahan yang sangat awet (ditinjau dari pemakaiannya), maka sebagai standar kuat tekan akan ditetapkan waktu beton berumur 28 hari. Menurut PBI-1971, hubungan antara umur dan kekuatan tekan beton dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

(Sumber : PBI-1971)

2.4 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas, E_c , merupakan properti mekanik dari struktur beton yang sangat penting. Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pada benda uji silinder dipasang dial gauge untuk mengukur pemendekan yang terjadi pada benda uji, pembacaan dial dilakukan tiap interval tertentu. Standar pengujian modulus

elastisitas mengacu pada ASTM C469/C469M - 10 “*standar test method for static modulus of elasticity and poisson’s ratio of concrete in compressions*” Modulus elastisitas atau modulus young adalah ukuran kekerasan (*Stiffness*) dari suatu bahan tertentu. Modulus ini dalam aplikasi rekayasa dapat didefinisikan sebagai perbandingan tegangan yang bekerja pada sebuah benda atau dengan regangan yang dihasilkan.

Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 8.5.1 memberikan korelasi antara nilai modulus elastisitas beton dengan kuat tekan dan berat jenisnya. Untuk kuat tekan beton normal pada umumnya nilai modulus elastisitas diambil sebagai berikut :

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

E_c : Modulus elastisitas (MPa)

f_c' : Kuat tekan beton rencana (MPa)

2.5 Slump

Parameter slump beton merupakan indikator dari keenceran beton. Secara tinjauan pelaksanaan angka slump menunjukkan kemudahan pengerjaan (*workability*). Makin encer beton maka semakin mudah untuk dikerjakan, tapi kental-encernya campuran beton mempunyai batasan tertentu, sesuai dengan tipe dari konstruksi. Terlalu kental beton akan mudah mengalami getas (*brittle*) mudah hancur, terlalu encer-pun beton akan mudah mengalir dan mempunyai kekuatan yang rendah. Umumnya variasi nilai slump adalah 2,5 - 10 cm.

Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai slump adalah:

- a. Jumlah air yang dipakai dalam adukan beton.
- b. Jumlah semen dalam campuran adukan.
- c. Gradasi agregat.
- d. Besar butir maksimum agregat.

Cara pembuatan pengujian slump diterangkan dalam BS: 1881:1990. Pengujian ini diselenggarakan pada logam yang tingginya 300 mm, diameter dasar 200 mm, dan diameter atas 100 mm. (Murdock,1986)

2.6 Material Konstruksi Penyusun Beton

2.6.1 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton atau mortar. Pada suatu campuran beton normal, agregat menempati 70 hingga 75% volume beton yang mengeras. Sisanya ditempati oleh pasta semen, air yang tersisa dari reaksi hidrasi serta rongga udara. Secara umum semakin padat susunan agregat dalam campuran beton, maka beton yang dihasilkan akan makin tahan lama dan ekonomis. Oleh karena itu, agar dapat dipadatkan dengan baik, maka ukuran agregat harus dipilih sedemikian rupa sehingga memenuhi gradasi yang disarankan. Perlu juga diperhatikan bahwa agregat hendaknya memiliki kekuatan yang baik, awet dan tahan cuaca, di samping itu juga harus bersih dari kotoran seperti lempung, tanah liat, lanau, maupun kotoran organik lainnya yang akan melemahkan lekatan antara pasta semen dan agregat.

Agregat alam secara umum diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat yang dapat melalui saringan No. 4 (4,75 mm) dapat diklasifikasikan sebagai agregat ringan. Sedangkan agregat yang tertahan di saringan No. 4 diklasifikasikan sebagai agregat kasar. Gambar 2.3 memperlihatkan bentuk agregat kasar dan agregat halus.

Apabila dalam suatu campuran beton di kehendaki agregat dengan kombinasi tertentu, maka agregat dapat disaring dengan menggunakan suatu set alat saring agregat dan dilakukan percobaan analisis gradasi agregat (*sieve analysis*). Gambar 2.4a menunjukkan alat uji gradasi agregat halus

Ukuran maksimum agregat dibatasi menurut SNI 2847:2013 Pasal 3.3.2, yaitu disyaratkan bahwa ukuran agregat tidak melebihi:

- a. 1/5 kali jarak terkecil antara bidang samping cetakan
- b. 1/3 kali tebal pelat
- c. 3/4 kali jarak bersih antara tulangan, jaring kawat baja, bundel tulangan.

Dengan pembatasan tersebut, maka ukuran maksimum butir agregat yang umumnya dipakai adalah 10 mm, 20 mm, 30 mm, atau 40 mm. Jika tidak

digunakan baja tulangan, misalnya beton siklop atau beton untuk pondasi sumuran, maka bisa digunakan ukuran agregat hingga maksimum 150 mm

Pada campuran beton dengan menggunakan agregat normal, akan dihasilkan beton dengan berat jenis 2.200 hingga 2.400 kg/m³. Namun untuk tujuan tertentu, terkadang dapat digunakan agregat dengan berat jenis yang lebih kecil atau lebih besar daripada berat jenis agregat normal, Beton yang memiliki berat jenis kurang dari 1.800 kg/m³ dikategorikan sebagai beton ringan (*lightweight concrete*).

Syarat mutu agregat menurut SII 0052-80

a. Agregat Halus

1. Susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 2,50-3,80
2. Kadar lumpur atau bagian butir lebih kecil dari 70 mikron, mak 5%
3. Kadar zat organik ditentukan dengan larutan Na-Sulfat 3%, jika dibandingkan warna standar tidak lebih tua daripada warna standar.
4. Kekerasan butir jika dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding yang berasal dari pasir kwarsa Bangka memberikan angka hasil bagi tidak lebih dari 2,20.
5. Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh Garam- Sulfat :
 - a. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur mak 10%
 - b. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur mak 15%.

b. Agregat Kasar

1. Susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 6,0-7,10
2. Kadar lumpur atau bagian lebih kecil dari 70 mikron, mak 1%
3. Kadar bagian yang lemah diuji dengan goresan batang tembaga, mak 5%
4. Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh Garam-Sulfat
 - a. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur mak 12%
 - b. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur mak 18%
5. Tidak bersifat reaktif alkali, jika di dalam beton dengan agregat ini menggunakan semen yang kadar alkali sebagai Na₂O lebih besar dari 0,6%
6. Tidak boleh mengandung butiran panjang dan pipih lebih dari 20% berat

7. Kekerasan butir ditentukan dengan bejana Rudolf dan dengan bejana Los Angeles

Syarat mutu agregat menurut astm c33-86

a. Agregat Halus

1. Kadar lumpur atau bagian butir lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no 200), dalam % berat, mak:
 - a. Untuk beton yang mengalami abrasi : 3,0
 - b. Untuk jenis beton lainnya : 5,0
2. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah direpihkan, mak 3,0%
3. Kandungan arang dan lignit :
 - a. Bila tampak, permukaan beton dipandang penting kandungan mak 0,5%
 - b. Untuk beton jenis lainnya 1,0%
4. Agregat halus bebas dari pengotoran zat organik yang merugikan beton. Bila di uji dengan larutan Natrium Sulfat dan dibandingkan dengan warna standar, tidak lebih tua dari warna standar. Jika warna lebih tua maka agregat halus itu harus ditolak, kecuali apabila :
 - a. Warna lebih tua timbul oleh adanya sedikit arang lignit atau yang sejenisnya
 - b. Diuji dengan cara melakukan percobaan perbandingan kuat tekan mortar yang memakai agregat tersebut terhadap kuat tekan mortar yang memakai pasir standar silika, menunjukkan nilai kuat tekan mortar tidak kurang dari 95% kuat tekan mortar memakai pasir standar. Uji kuat tekan mortar harus dilakukan sesuai dengan cara ASTM C87.
5. Agregat halus yang akan dipergunakan untuk membuat beton yang akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton.

Agregat yang reaktif terhadap alkali boleh dipakai untuk membuat beton dengan semen yang kadar alkalinya dihitung sebagai setara Natrium Oksida ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$) tidak lebih dari 0,60% atau dengan penambahan yang dapat mencegah terjadinya pemuaian yang membahayakan akibat reaksi alkali agregat tersebut.

6. Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh Garam- Sulfat :
 - a. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maks 10%
 - b. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maks 15%

2.6.2 Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan – perubahan volume beton setelah pengadukan semen dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan. Umumnya beton mengandung rongga udara 1 – 2 %, pasta semen 25- 40 %, dan agregat 60 – 75 %.

Semen dapat dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu :

- a. Semen Non Hidrolik

Semen non hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non hidrolik adalah kapur. Jenis kapur yang baik adalah kapur putih yang mengandung kalsium oksida tinggi ketika masih berbentuk kapur tohor (belum berhubungan dengan air), dan akan mengandung kalsium hidroksida ketika berhubungan dengan air.

Jika digunakan sebagai bahan tambah campuran beton, kapur putih akan menambah kekenyalan dan memperbaiki sifat pengerjaan (*workability*). Selain itu dengan menggunakan campuran 1:3, kapur putih dapat memperbaiki permukaan beton yang tidak mengandung pori-pori. Kekuatan kapur sebagai bahan pengikat, hanya dapat mencapai sepertiga kekuatan semen portland.

b. Semen Hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh semen hidrolik adalah :

1. Kapur hidrolik
2. Semen pozzolan
3. Semen terak
4. Semen alam
5. Semen portland
6. Semen portland – pozzolan
7. Semen portland terak tanur tinggi
8. Semen alumina
9. Semen ekspansif
10. Semen portland putih, semen warna dan semen untuk keperluan khusus.

c. Semen portland

Semen portland adalah semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya (ASTM C-150, 1985).

Semen portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013-81 atau Standar Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar (PB. 1989:3.2-8)

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar dan jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*).

Semen portland dibagi menjadi lima jenis (SK. SNI T-15-1990-03:2), yaitu :

1. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan syarat khusus seperti jenis-jenis lainnya.
2. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

3. Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
 4. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah.
 5. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.
- d. Syarat Fisik Semen Portland

Di Indonesia syarat mutu yang dipergunakan adalah SII.0013-81, "Mutu dan Cara Uji Semen Portland". Syarat mutu yang ditetapkan SII diadopsi dari syarat mutu ASTM C-150.

Tabel 2.3 Syarat Fisika Semen Portland

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	Kehalusan :					
	Uji Permeabilitas udara, m ² /kg Dengan alat : Turbidimeter, min	160 280	160 280	160 280	160 280	160 280
2	Kekekalan : Pemuaiian dengan <i>Autoclave</i> , maks %	0,80	0,80	0,8 0	0,80	0,80
3	Kuat Tekan :					
	Umur 1 hari, kg/cm ² , minimum	- 125	- 100 70 ^{a)}	120 240	- -	- 80
	Umur 3 hari, kg/cm ² , minimum	200	175 120 ^{a)}	-	70	150
	Umur 7 hari, kg/cm ² , minimum	280	-	-	170	210
4	Umur 28 hari, kg/cm ² , minimum					
	Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat: Gillmore					
	- Awal, menit, minimal	60	60	60	60	60
	- Akhir, menit, maksimum	600	600	600	600	600
Vicat						
	- Awal, menit, minimal	45	45	45	45	45
- Akhir, menit, maksimum	375	375	375	375	375	

(Sumber :SNI 15-2049-2004)

e. Kehalusan Butir (*Fineness*)

Kehalusan semen mempengaruhi proses hidrasi. Waktu pengikatan (*setting time*) menjadi semakin lama jika butir semen lebih kasar. Kehalusan penggilingan butir semen dinamakan penampang spesifik, yaitu luas butir permukaan semen. Jika permukaan penampang semen lebih besar, semen akan memperbesar bidang kontak dengan air. Semakin halus butiran semen, proses hidrasinya semakin cepat, sehingga kekuatan awal tinggi dan kekuatan akhir akan berkurang.

Kehalusan butir semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya *bleeding* (naiknya air semen ke permukaan), tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut. Menurut ASTM, butir semen yang lewat ayakan no.200 harus lebih dari 78%. Untuk mengukur kehalusan butir semen digunakan "*turbidimeter*" dari Wagner atau "*air permeability*" dari Blaney.

f. Kepadatan (*density*)

Berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM adalah 3.15 mg/m^3 . Berat jenis semen yang diproduksi berkisar antara 3.05 mg/m^3 sampai 3.25 mg/m^3 . Variasi ini akan berpengaruh pada proporsi campuran semen dalam campuran. Pengujian berat jenis semen dapat dilakukan dengan *Le Chatelier Flask* menurut standar ASTM C-188.

g. Konsistensi

Konsistensi semen berpengaruh pada saat awal pencampuran, yaitu pada saat terjadi pengikatan sampai saat beton mengeras. Konsistensi yang terjadi bergantung pada ratio antara semen dan air serta aspek-aspek bahan semen seperti kehalusan dan kecepatan hidrasi. Konsistensi mortar bergantung pada konsistensi semen dan agregat pencampurnya.

h. Waktu Pengikatan (*Setting Time*)

Waktu pengikatan adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, dihitung dari saat semen mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen sampai pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan.

Waktu pengikatan semen dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. Waktu pengikatan awal (*initial setting time*), yaitu waktu dari pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen hingga hilangnya sifat keplastisan. Pada semen portland berkisar 1 – 2 jam, tetapi tidak boleh kurang dari 1 jam.
2. Waktu pengikatan akhir (*final setting time*), yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras. Tidak boleh lebih dari 8 jam.

Waktu pengikatan awal sangat penting pada kontrol pekerjaan beton. Pada keadaan tertentu diperlukan waktu pengikatan awal lebih dari 2 jam. Waktu yang panjang ini diperlukan untuk transportasi (*hauling*), penuangan (*dumping/pouring*), pemadatan (*vibrating*) dan penyelesaiannya (*finishing*). Proses ikatan disertai perubahan temperatur, dimulai sejak terjadi ikatan awal dan mencapai puncaknya pada waktu berakhirnya ikatan akhir. Waktu ikatan akan memendek karena naiknya temperatur sebesar 30°C atau lebih. Waktu ikatan ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai dan oleh lingkungan sekitarnya.

i. Panas Hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air. Satuannya kalori/gram. Jumlah panas yang terbentuk tergantung dari jenis semen yang dipakai dan kehalusan butir semen. Pada pelaksanaan, perkembangan panas mengakibatkan masalah, yakni timbulnya retakan pada saat pendinginan. Pada beberapa struktur beton, terutama struktur beton mutu tinggi, retakan ini tidak diinginkan. Oleh karena itu perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (*curing*) selama masa pelaksanaan.

Panas hidrasi naik sesuai dengan nilai temperatur pada saat hidrasi terjadi. Pada semen biasa, panas hidrasi bervariasi mulai 37 kalori/gram pada

temperatur 5°C hingga 80 kalori/gram pada temperatur 40°C. Semua jenis semen umumnya telah membebaskan sekitar 50% panas totalnya pada satu hingga tiga hari pertama, 70% pada hari ketujuh, serta 83-91% setelah 6 bulan. Laju perubahan panas ini tergantung pada komposisi semen. Perkembangan panas hidrasi untuk berbagai semen pada suhu 21°C diperlihatkan pada tabel 2,4 berikut.

Tabel 2.4 Perkembangan Panas Hidrasi Semen Portland pada Suhu 21°C

Jenis Semen Portland	Hari					
	1	2	3	7	28	90
Tipe I	33	53	61	80	96	104
Tipe II	-	-	-	58	75	-
Tipe III	53	67	75	92	101	107
Tipe IV	-	-	41	50	66	75
Tipe V	-	-	-	45	50	-

(Sumber : Neville, A.M. *Properties of Concrete*. Longmand.1995. Tabel 1.7 hal 38)

j. Kekekalan (*Perubahan Volume*)

Kekekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan suatu kemampuan pengembangan bahan-bahan campurannya. Ketidak kekalan semen disebabkan oleh terlalu banyaknya jumlah kapur bebas yang pembakarannya tidak sempurna serta magnesia yang terdapat dalam campuran tersebut. Kapur bebas mengikat air kemudian menimbulkan gaya-gaya

ekspansi. Alat untuk menentukan nilai kekekalan semen portland adalah "Autoclave Expansion of Portland Cement" cara ASTM C-151, atau cara Inggris , BS "Expansion by Le Chatellier".

k. Kuat Tekan

Kuat tekan semen diuji dengan cara membuat mortar yang kemudian ditekan sampai hancur. Contoh semen yang akan diuji dicampur dengan pasir silika dengan perbandingan tertentu, kemudian dicetak dengan kubus ukuran 5x5x5 cm. Setelah berumur 3, 7, 14 dan 28 hari dan setelah mengalami perawatan dengan perendaman, benda uji tersebut diuji kuat tekannya.

2.6.3 Air

Air merupakan bahan yang penting juga dalam pembuatan suatu campuran beton. Air yang dicampur dengan semen akan membungkus agregat halus dan agregat kasar menjadi satu kesatuan. Pencampuran semen dan air akan menimbulkan suatu reaksi kimia yang disebut dengan istilah reaksi hidrasi. Dalam reaksi hidrasi komponen-komponen pokok dalam semen bereaksi dengan molekul air membentuk hidrat atau produk hidrasi. Dalam pembuatan campuran beton, hendaknya digunakan air yang bersih yang tidak tercampur dengan kotoran kotoran kimia yang memungkinkan timbulnya reaksi sampingan dari reaksi hidrasi. Hampir semua air alami yang dapat diminum dan tidak memiliki rasa atau bau dapat digunakan sebagai air pencampuran dalam pembuatan beton. Adanya kotoran yang berlebih pada air tidak saja berpengaruh pada waktu ikat beton, kekuatan beton, dan stabilitas volume (perubahan panjang), namun juga dapat mengakibatkan pengkristalan atau korosi tulangan.

Air yang digunakan secara berlebihan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan mempengaruhi kekuatan beton. Jika beton menggunakan air yang tidak memenuhi syarat, kekuatan beton pada umur 7 hari atau 28 hari tidak boleh kurang dari 90% jika dibandingkan dengan kekuatan beton yang menggunakan air standar/suling (PB 1989:9).

Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar yang dapat diminum. Air yang digunakan dalam pembuatan beton pratekan dan beton yang akan ditanami logam aluminium (termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat) tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan (ACI 318-89:2-2).

Untuk perlindungan terhadap korosi, konsentrasi ion klorida maksimum yang terdapat dalam beton keras umur 28 hari yang dihasilkan dari bahan campuran termasuk air, agregat, semen dan bahan tambah tidak boleh melampaui nilai batas yang diberikan pada tabel 2.6 berikut.

Tabel 2.5 Batas Maksimum Ion Klorida

Jenis Beton	Batas (%)
Beton pratekan	0.06
Beton bertulang yang terus berhubungan dg klorida	0.15
Beton bertulang yang selamanya kering atau terlindung dari basah	1.00
Konstruksi beton bertulang lainnya	0.30

(Sumber : SNI 03-2854-1992)

2.7 Bahan Tambah

Bahan tambah (*admixtures*) adalah material yang ditambahkan dalam campuran beton selain semen, agregat, dan air. Bahan tambah ini diberikan segera sebelum atau pada saat proses pengadukan campuran beton dimulai. Secara umum fungsi dari bahan tambah adalah untuk menghasilkan beton yang lebih baik dari sisi pengerjaan, mutu maupun keekonomisannya.(setiawan 2016)

2.7.1 Superplasticizer

Superplasticizer (high range water reducer admixtures) sangat meningkatkan kelecakan campuran. Campuran dengan slump sebesar 7,5 cm akan menjadi 20 cm. Digunakan terutama untuk beton mutu tinggi, karena dapat mengurangi air sampai 30%.

Pada prinsipnya mekanisme kerja dari setiap *superplasticizer* sama, 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.

Semua *superplasticizer* juga memiliki kelemahan yang cukup mengkhawatirkan. *Flowability* yang tinggi pada campuran beton yang mengandung *superplasticizer* umumnya dapat bertahan sekitar 30 sampai 60 menit dan setelah itu berkurang dengan cepat. Kita sering menyebut hal ini sebagai *slump loss*.

Butiran partikel semen mempunyai kecenderungan untuk menjadi satu dan membentuk kumpulan ketika bercampur dengan air. Hal ini menyebabkan air terjebak di antara kumpulan partikel semen tersebut. Dampak dari air yang

terjebak di antara partikel semen ini antara lain mengurangi *flowability* dan kelecakan dari campuran, juga menghasilkan rongga-rongga yang dapat mengurangi kekuatannya. Agar partikel semen tidak berkumpul, partikel semen tersebut perlu didispersikan dengan *superplasticizer*.

Secara umum, penyebaran (dispersion) oleh *superplasticizer* disebabkan oleh *electrostatic repulsion* dan *steric repulsion*. *Electrostatic repulsion* terjadi pada saat partikel semen diberi muatan ion negatif oleh molekul-molekul *superplasticizer* sehingga partikel-partikel semen itu saling tolak-menolak. Sedangkan *steric repulsion* terjadi pada saat partikel-partikel semen saling tolak-menolak karena adanya overlapping dari cabang-cabang polimer (*side chain*) yang berasal dari batang polimer (*main chain*) yang melekat pada permukaan semen. Dosis yang disarankan adalah 1% sampai 2% dari berat semen, dosis yang berlebihan dapat menyebabkan menurunnya kuat tekan beton.

a. Kegunaan

1. Meningkatkan workability sehingga menjadi lebih besar daripada water reducer biasa, mengurangi kebutuhan air (25 - 35%).
2. Memudahkan pembuatan beton yang sangat cair. Memungkinkan penuangan pada tulangan yang rapat atau pada bagian yang sulit dijangkau oleh pepadatan yang memadai.
3. Karena tidak terpengaruh oleh perawatan yang dipercepat, dapat membantu mempercepat pelepasan kabel prategang dan acuan.
4. Dapat membantu penuangan dalam air karena gangguan menyebarnya beton dihindari.

b. Kelemahan

1. Slump loss perlu lebih diperhatikan untuk tipe naphthalene; dipengaruhi oleh temperatur dan kompatibilitas antara merek semen dan *superplasticizer*.
2. Kadar udara hanya 1.2 -2,7%, bahkan tanpa pepadatan apapun.
3. Ada risiko pemisahan (segregasi) dan pendarahan (*bleeding*) jika mix design tidak dikontrol dengan baik.
4. Harga relatif mahal.

2.7.2. Cangkang Kerang Darah

Kerang darah merupakan kelompok moluska bivalvia yang merupakan produk laut yang mempunyai nilai ekonomi. Kelompok bivalvia (Pelecypoda) ditandai dengan adanya dua keping cangkang. Kerang darah hidup berkelompok di substrat yang mengandung nutrisi yang tinggi. Sumber makanan kerang darah diantaranya adalah sejenis fitoplakton dan alga (Munawar, 2016). Kerang darah memiliki bagian tubuh yang lunak, bagian ini dapat dimakan.

Kerang darah termasuk family Arcidae dan genus *Anadara*. Berikut ini diuraikan klasifikasi kerang darah (Broom, 1985). Kerang darah masuk dalam kelas Lamellibranchiata bersama dengan tiram, remis, dan sebangsanya. Adapun klasifikasi kerang darah adalah sebagai berikut:

Kingdom : Animalia
Filum : Mollusca
Kelas : Bivalvia
Subkelas : Lamelladibranchia
Ordo : Arcoida
Famili : Arcidae
Sub famili : Anadarinae
Genus : *Anadara*
Spesies : *Anadara granosa*

Kerang dewasa panjangnya berukuran 5 sampai 6 cm dan lebar 4 sampai 5 cm. Laju pertumbuhan 0,098 mm/hari, untuk tumbuh sepanjang 4-5 mm memerlukan waktu sekitar 6 bulan (Pathansali, 1966 dalam Broom, 1985). Hasil penelitian Ekawati (2010) menunjukkan pola pertumbuhan kerang darah jantan bersifat allometrik negatif, sedangkan kerang darah betina bersifat isometrik. Dalam penelitiannya juga menemukan bahwa nisbah kelamin kerang darah di Perairan Teluk Lada Labuan adalah 1:1,2. Kerang darah jantan siap memijah sudah ditemukan pada ukuran 11,70-13,40 mm, sedangkan ukuran kerang darah betina yang sudah siap mulai pada ukuran 15,30-17,00 mm.

Adapun komposisi kimia dalam cangkang kerang kulit kerang darah (Andara Granosa) adalah sebagai berikut :

Tabel 2.6 Komposisi Kimia Cangkang Kerang

Komponen Kimia	Komposisi (%)
CaO	66,70
SiO ₂	7,88
Fe ₂ O ₃	0,03
MgO	22,28
Al ₂ O ₃	1,25

(Sumber : Addriyanus, 2015)

2.8 Prosedur Pengujian di Laboratorium

2.8.1 Pengujian Analisa Saringan dan Berat Jenis Penyerapan Agregat

Dalam pengujian ini terdapat beberapa prosedur kerja yang harus diikuti sesuai dengan langkah- langkah kerja sesuai dengan acuan yang dipakai, sehingga pengujian yang dilakukan akan menghasilkan nilai yang sebenarnya. Pengujian ini meliputi sebagai berikut:

a. Pengujian analisa saringan agregat

Modulus halus butir (MHB) ialah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekerasan butir-butir agregat. Maka semakin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar ukuran butir-butir agregatnya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MHB = \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100} \dots\dots\dots (2.2)$$

b. Pengujian berat jenis penyerapan agregat halus

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui berat jenis penyerapan agregat halus yang digunakan untuk menentukan nilai volume yang diisi oleh agregat. Pengujian berat jenis penyerapan agregat halus dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-1969-1990 sebagai berikut:

1. Berat jenis kering (*Bulk dry spesific graffity*)

$$= \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (2.3)$$

2. Berat jenis jenuh kering permukaan/SSD (*Bulk SSD spesific graffity*)

$$= \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (2.4)$$

3. Berat jenis semu (*Bulk dry spesific graffity*)

$$= \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \dots\dots\dots (2.5)$$

4. Penyerapan

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

B_k : berat benda uji kering oven, dalam gram

B_j : berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram

B_a : berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air, dalam gram

Pengujian kadar air agregat halus dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-1971-1990 sebagai berikut:

1. Kadar air agregat

$$= \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

W_3 : berat benda uji semula, (gram)

W_5 : berat benda uji kering, (gram)

Pengujian kadar lumpur agregat halus dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-4142-1996 sebagai berikut:

1. Berat kering benda uji awal

$$W_3 = W_1 - W_2 \dots\dots\dots (2.8)$$

2. Berat benda uji setelah pencucian

$$W_5 = W_4 - W_2 \dots\dots\dots (2.9)$$

3. Berat benda uji setelah pencucian

$$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

W_1 : berat kering benda uji + wadah (gram)

W_2 : berat wadah (gram)

W_3 : berat kering benda uji awal (gram)

W_4 : berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram)

W_5 : berat kering benda uji setelah pencucian (gram)

W_6 : % bahan lolos saringan nomor 200 (0,075 mm)

- c. Pengujian berat jenis penyerapan agregat kasar

Pengujian agregat kasar dilakukan untuk mengetahui berat jenis penyerapan

agregat kasar yang digunakan untuk menentukan nilai volume yang diisi oleh agregat. Pengujian ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

Pengujian berat jenis penyerapan agregat halus dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-1969-1990 sebagai berikut:

1. Berat jenis kering (*Bulk dry spesific graffity*)

$$= \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (2.11)$$

2. Berat jenis jenuh kering permukaan/SSD (*Bulk SSD spesific graffity*)

$$= \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (2.12)$$

3. Berat jenis semu (*Bulk dry spesific graffity*)

$$= \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \dots\dots\dots (2.13)$$

4. Penyerapan

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

B_k : berat benda uji kering oven, dalam gram

B_j : berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram

B_a : berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air, dalam gram

Pengujian kadar air agregat kasar dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-1971-1990 sebagai berikut:

1. Kadar air agregat

$$= \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\% \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

W_3 : berat benda uji semula, (gram)

W_5 : berat benda uji kering, (gram)

Pengujian kadar lumpur agregat kasar dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-4142-1996 sebagai berikut:

1. Berat kering benda uji awal

$$W_3 = W_1 - W_2 \dots\dots\dots (2.16)$$

2. Berat benda uji setelah pencucian

$$W_5 = W_4 - W_2 \dots\dots\dots (2.17)$$

3. Berat benda uji setelah pencucian

$$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\% \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan :

W_1 : berat kering benda uji + wadah (gram)

W_2 : berat wadah (gram)

W_3 : berat kering benda uji awal (gram)

W_4 : berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram)

W_5 : berat kering benda uji setelah pencucian (gram)

W_6 : % bahan lolos saringan nomor 200 (0,075 mm)

2.8.2 Pengujian Bobot Isi Agregat

Standar metode pengujian ini yaitu untuk menghitung berat isi dalam kondisi padat atau gembur dan rongga udara dalam agregat. Ukuran butir agregat kasar adalah 5mm – 40mm, agregat halus terbesar 5mm. pengujian dalam kondisi padat dilakukan dengan cara ditusuk. Dalam kondisi gembur dengan cara sekaop sendok. Bobot isi kering udara agregat dihitung dalam kondisi kering oven dan kering permukaan. Pada kondisi padat dan gembur memiliki berat isi yang berbeda karena pada berat isi gembur masih terdapat rongga-rongga udara, berbeda dengan bobot isi padat yang di padatkan dengan cara ditusuk sehingga berat isi padat lebih berat daripada berat isi gembur karena berat isi padat tidak memiliki rongga udara. Berat isi pada agregat sangat di pengaruhi oleh beberapa faktor seperti berat jenis, gradasi agregat, bentuk agregat, diameter maksimum agregat. Dalam SII No.52-1980, berat isi untuk agregat beton diisyaratkan harus lebih dari 1,2 - 1,5 gr/cm². Pengujian bobot isi agregat dilakukan berdasarkan rumus dari PEDC Bandung sebagai berikut:

1. Bobot isi gembur

$$= \frac{W}{V} \dots\dots\dots (2.19)$$

2. Bobot isi padat

$$= \frac{W}{V} \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan :

W = berat agregat

V = volume takaran

2.8.3 Pengujian Kekerasan Agregat Kasar

Beton yang dibuat harus menggunakan bahan agregat normal tanpa bahan tambahan. Dengan ketentuan demikian perlu dilakukan terlebih dahulu percobaan kekerasan agregat kasar untuk mengetahui agregat tersebut bisa atau tidaknya digunakan untuk membuat beton dengan berat isi 2200 – 2500 kg/m³ (beton normal). Untuk memeriksa agregat kasar, kerikil alam dan batu pecah. Dilakukan sama seperti pengujian pada pasir ditambah dengan pemeriksaan kekerasan dan ketahanan aus. Pengujian kekerasan agregat kasar dilakukan berdasarkan rumus dari BS 812-110 1990 sebagai berikut:

1. Kekerasan agregat kasar

$$= \frac{M_2}{M_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan :

W₁ = berat benda uji (gram)

W₂ = berat agregat lolos saringan 2,36 mm (gram)

2.8.4 Pengujian Berat Jenis Semen

Semen Portland merupakan bahan perekat hidrolis, yang dibuat dari campuran bahan yang mengandung oksigen utamanya : kalsium, silika, alumina, dan besi. Umumnya semen Portland dibuat dalam satu industri berteknologi modern dengan pengaturan komposisi dan lamanya semen Portland dalam penyimpanan memungkinkan dan pengurangan mutu. Salah satu pengujian yang dapat mengindikasikan kepada hal tersebut adalah dengan pengujian berat jenisnya.

Berat jenis semen Portland pada umumnya berkisar antara 3,10 sampai 3,20 dengan angka rata-rata 3,15 untuk semen tipe I sampai V. Pengujian berat jenis semen dilakukan berdasarkan rumus dari PEDC Bandung sebagai berikut :

1. Berat jenis semen

$$= \frac{\text{Berat Semen (w)}}{V_2 - V_1} \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan :

W = Berat benda uji (gram)

V₂ = Volume akhir (ml)

V₁ = Volume awal (ml)

2.8.5 Pengujian Konsistensi Semen

Konsistensi normal semen adalah suatu kondisi pasta semen dalam keadaan standar basah yang artinya merata dari ujung satu keujung yang lainnya. Maksud dari konsistensi normal semen itu sendiri untuk menentukan waktu mulainya pengikatan semen mulai dari di campurnya semen dengan air. Konsistensi normal akan tercapai jika jarum vicat yang digunakan dalam praktikum ini menembus pasta semen sedalam 10 mm pada detik ke-3 dihitung mulai dari jarum dilepaskan. Pengujian konsistensi semen dilakukan berdasarkan rumus dari SNI 03-6826-2002 sebagai berikut :

1. Konsistensi semen

$$W = \frac{W_a}{W_s} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan :

W = konsistensi dinyatakan dalam kadar air pasta (%)

W_a = berat air (gram)

W_s = berat semen kering (gram)

2.9 Perencanaan Campuran Beton

Tujuan perancangan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi bahan baku beton yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, dan air yang memenuhi kriteria workabilitas, kekuatan, durabilitas, dan penyelesaian akhir yang sesuai dengan spesifikasi. Proporsi yang dihasilkan oleh rancangan pun harus optimal, dalam arti penggunaan bahan yang minimum dengan tetap mempertimbangkan kriteria teknis. Perancangan campuran beton merupakan suatu hal yang kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunnya. Karena itu, sifat dan karakteristik masing-masing bahannya tersebut akan menyebabkan produksi beton yang dihasilkan cukup bervariasi. Selanjutnya perlu diketahui beberapa faktor lainnya yang mempengaruhi pekerjaan pembuatan rancangan campuran beton, diantaranya adalah kondisi dimana pekerjaan dilaksanakan, kekuatan beton yang direncanakan, kemampuan pelaksana, tingkat pengawasan, peralatan yang digunakan, dan tujuan peruntukan bangunan.

2.9.1 Metode Perencanaan Campuran Beton

Dalam praktek ada beberapa metode rancangan campuran beton yang telah dikenal, antara lain seperti metode DOE yang dikembangkan oleh *Department of Environment* di Inggris dan Metode ACI (*American Concrete Institute*). Metode rancangan campuran beton dengan cara DOE ini di Indonesia dikenal sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan dimuat dalam Standar SNI 03-2834-2000, "Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal". Sedangkan SNI 7656:2012, "Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa" mengacu pada ACI. Secara garis besar kedua metode tersebut didasarkan pada hubungan empiris, bagan, grafik dan tabel, tetapi pada beberapa procedural terdapat perbedaan.

2.10 Perawatan (*Curing*)

Jumlah air di dalam beton cair sebetulnya sudah lebih dari cukup (sekitar 12 liter per sak semen) untuk menyelesaikan reaksi hidrasi. Namun sebagian air hilang karena menguap sehingga hidrasi selanjutnya terganggu. Karena hidrasi relative cepat pada hari-hari pertama, perawatan paling penting adalah pada umur mudanya. Kehilangan air yang cepat juga menyebabkan beton menyusut, terjadi tegangan tarik pada beton yang sedang mengering sehingga dapat menimbulkan retak. Beton yang dirawat selama 7 hari akan lebih kuat sekitar 50% dari pada yang tidak dirawat,

Jadi perawatan perlu untuk mengisi pori-pori kapiler dengan air, karena hidrasi terjadi di dalamnya.

Ada 3 jenis metode perawatan:

a. Cara terus memberi air

Dengan menggenangi, membuat empang, menyemprot, memasang *springle*, memberi kabut air atau penutup yang basah. Cocok untuk lantai pavement, *sidewalk*. Genangan air dibuat dengan membuat bendungan dari pasir/tanah pada tepi lantai yang dicor. Bisa memakai penyemprot kebun. Bila disemprot atau diberi kabut secara berkala, jangan sampai beton kering di antaranya, karena akan retak. Penutup bisa memakai pasir, karung goni, jerami, terpal

yang basah. Untuk beton yang tegak seperti kolom atau dinding, biarkan dulu bekistingnya tetap terpasang dan disiram.

b. Cara mencegah hilangnya air dari permukaan

Dengan lapisan tipis, dari kertas tak tembus air (misalnya kertas aspal) atau plastik, atau membran kimia, tanpa tambahan air. Merupakan perlindungan agar air di dalam tidak menguap keluar. Harus segera dipasang setelah beton cukup keras. Secara praktis harus selebar lembaran. Bagian tepi harus saling menumpuk beberapa sentimeter lalu ditutup rapat dengan pasir, papan, *cellotape*, mastic (resin) atau lem. Jenis ini juga melindungi beton dari gangguan aktivitas konstruksi.

c. Cara mempercepat dicapainya kekuatan dengan memberi panas dan kelengasan.

Dengan uap air, coil pemanas atau bekisting yang dipanaskan secara elektrik. Bila temperatur dinaikkan maka hidrasi akan berlangsung lebih cepat sehingga didapat kekuatan awal yang tinggi. Sepintas kelihatannya kontroversial, mengingat di depan telah dikemukakan bahayanya pengecoran dalam keadaan panas. Karena itu perlu diingat bahwa panas kita berikan dengan uap air sehingga beton tetap dalam keadaan jenuh air, Secara teoritis kekuatan dapat dihubungkan dengan kematangan (*maturity*), yang tergantung pada faktor waktu dikalikan temperatur.

Secara teoritis kekuatan dapat dihubungkan dengan kematangan (*maturity*), yang tergantung pada faktor waktu dikalikan temperature Tujuan pemakaian uap air adalah untuk mendapatkan kekuatan awal yang tinggi dan supaya dapat cepat membongkar acuan, terutama pada pabrik pracetak. supaya acuan bisa digunakan lebih efisien. Cara ini juga digunakan pada pabrik pratekan

Steam curing dilakukan dalam ruang tertutup. Sering memakai terpal supaya panas/kelembapan tidak hilang. Dimulai sedikitnya 2 jam setelah pengecoran. Temperatur ditahan pada 65°C sampai dicapai kekuatan. Kekuatan tidak akan bertambah bila temperatur dinaikkan lagi. Pada tekanan atmosfer, kecepatan menaikkan dan menurunkan panas tidak boleh drastis (karena perubahan volume), kurang dari 22°C per jam. Dalam 1 hari didapat kekuatan 2-2,5 kali kekuatan

normal (20°C). Namun kekuatan akhir berkurang sampai 10%. Ada siklus pendek dan panjang.

2.10.1 Lama Perawatan

Tergantung pada jenis semen, kekuatan, cuaca, rasio permukaan terekspose per volume, dan kondisi terekspos. Lama perawatan bisa selama 3 minggu untuk beton kurus (*lean*) yang mengandung bahan pozzolanic, misalnya bangunan masif seperti bendungan. Sebaliknya, perawatan hanya perlu untuk beberapa hari saja untuk beton yang kaya (*rich*), khususnya jika memakai semen jenis III. Steam curing juga lebih pendek waktunya. Karena perawatan memperbaiki mutu beton maka perawatan semakin lama semakin baik, selama hal itu praktis untuk dilakukan. Untuk plat beton yang terletak di tanah dan beton struktural dibutuhkan minimum 7 hari perawatan, atau bila tercapai 70% kekuatannya

2.11 Kuat Tekan Beton

Dalam perencanaan suatu komponen struktur beton, biasanya diasumsikan bahwa beton memikul tagangan tekan dan bukannya tegangan Tarik. Oleh karena itu kuat tekan beton pada umumnya dijadikan acuan untuk menentukan mutu atau kualitas suatu material beton. Pada umumnya sifat mekanik beton yang lainnya, dapat diperkirakan berdasarkan kuat tekan beton. Untuk menentukan besarnya kuat tekan beton dapat dilakukan uji kuat tekan dengan mengacu pada standar astm C 39-12 a "*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*". Benda uji yang digunakan berupa silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm titik di beberapa negara lain seperti Inggris, Jerman dan negara-negara Eropa lainnya digunakan benda uji kubus berukuran Sisi 150 mm atau 200 mm

Kekuatan beton yang utama adalah kuat tekannya. Nilai kuat tekan beton meningkat sejalan dengan peningkatan umurnya dan pada umur 28 hari, beton mencapai kekuatan maksimal. Perbandingan kuat tekan silinder dan kubus menurut ISO Standard 3893 – 1977 disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2.7 Perbandingan Kuat Tekan Antara Silinder Dan Kubus

Silinder (MPa)	2	4	6	8	10	12	16	20	25	30	35	40	45	50
Kubus (MPa)	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Ratio silinder / kubus	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,83	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91

(Sumber : ISO Standard 3893 – 1977)

Pada umumnya, beton mencapai kuat tekan 70% pada umur 7 hari, dan pada umur 14 hari, kekuatannya mencapai 85 – 90% dari kuat tekan beton umur 28 hari. Pengukuran kuat tekan beton didasarkan pada SK SNI M14-1989-F (SNI 03-1974-1990). Pembebanan pada pengujian kuat tekan termasuk pembebanan statik monotorik dengan menggunakan *Compressive Test*. Beban yang bekerja akan terdistribusi secara kontinue melalui titik berat.

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.24)$$

Keterangan :

f'_c = kuat tekan beton (kg/cm²)

P = beban (kg)

A = luas penampang (cm²)

Dari hasil perhitungan diatas perlu dilakukan konversi satuan terlebih dahulu mengingat mutu yang ingin dicapai adalah 20MPa. Sementara itu, benda uji yang akan dibuat ialah menggunakan cetakan berbentuk silinder dimana hasil pengujiannya memiliki satuan kg/cm². Untuk mengkonversi satuan dari kg/cm² menjadi MPa dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

Tabel 2.8 Faktor Koreksi Kuat Tekan Silinder Berdasarkan Rasio Tinggi Terhadap Diameter Benda Uji

Rasio H/D	2,00	1,75	1,50	1,25	1,10	1,00	0,75	0,50
Faktor koreksi kuat tekan	1,00	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87	0,70	0,50
Kuat tekan relatif terhadap silinder standar	1,00	1,02	1,04	1,06	1,11	1,18	1,43	2,00

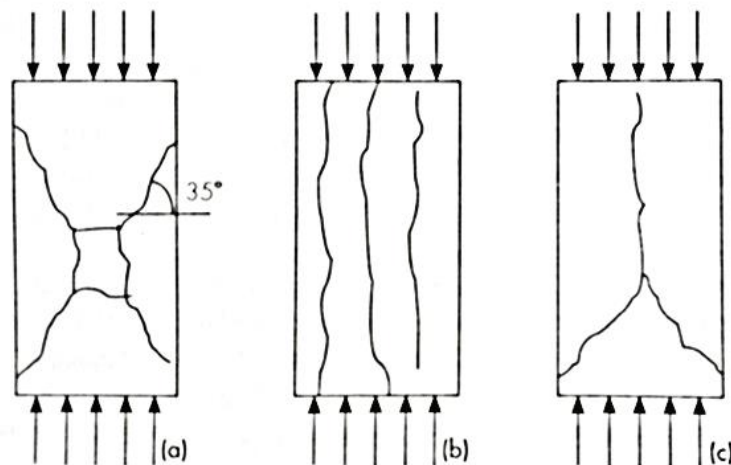
(sumber : Hassoun et a., 2005)

Tabel 2.9 Rasio Kuat Tekan Benda Uji Silinder Terhadap Kubus

Kuat Tekan (MPa)	7,0	15,5	20,0	24,5	27,0	34,0	37,0	41,5	45,0	51,5
Rasio Kuat Tekan Silinder Terhadap Kubus	0,77	0,76	0,81	0,87	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96

(sumber: Neville, A. M., 1999)

Kegagalan suatu benda uji Dalam uji tekan biasanya dapat terjadi dalam tiga kemungkinan yang pertama, akibat beban aksial tekan, benda uji gagal dalam geser (gambar 2. 1. a) Didik tahanan yang muncul adalah dari kohesi dan friksi internal dalam benda uji titik kemungkinan kedua, kegagalan pada benda uji ditandai dengan pecahnya benda uji menjadi potongan-potongan berbentuk kolom-kolom atau dikatakan beton membelah (gambar 2.1.b) Kegagalan ini terjadi pada beton dengan kuat tekan tinggi titik kegagalan ketiga merupakan gabungan dari kemungkinan pertama dan kedua yaitu antara geser dan belah (gambar 2.1.c).



Gambar 2.1 Kegagalan pada uji kuat tekan beton : (a) gagal geser; (b) gagal belah; (c) gagal gabungan

(sumber: Setiawan, 2016:19)