

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan umum

Salah satu material yang banyak digunakan untuk struktur bangunan adalah beton. beton didefinisikan sebagai campuran antara semen Portland, Agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau bahan tambah membentuk masa padat (SK SNI T-15-1991-03).

Agregat merupakan jenis bahan yang umumnya menggunakan bahan alam seperti batu. agregat dibedakan menjadi agregat kasar (batu pecah/kerikil) dan agregat halus (pasir). Agregat merupakan bahan pengisi beton, adapun semen dan air akan bereaksi melalui proses hidrasi membentuk pasta semen yang akan mengeras dan akan merekatkan antara butiran agregat. Campuran tersebut bilamana dituang dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan. Pengerasan terjadi oleh peristiwa reaksi kimia antara air dan semen yang berlangsung selama waktu yang panjang dan akibatnya campuran itu selalu bertambah keras sesuai dengan bertambahnya umur. Kekuatan, keawetan, dan sifat beton yang lain tergantung pada sifat-sifat bahan dasar tersebut diatas, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan beton, cara pemadatan, dan cara perawatan selama proses pengerasannya (Tjokrodimulyo, 1996).

3.2 Material Penyusun Beton

Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentuknya (Nawy, 1990). Materi penyusun terdiri dari beberapa bahan sebagai berikut ini.

3.2.1 Semen Portland

Semen Portland merupakan semen *hidrolis* yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat dan kalsium dengan gips sebagai bahan tambah (PUBI-1982)

Semen Portland merupakan bahan ikat yang berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat dan juga berfungsi untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat. Pada dasarnya komposisi kimia Semen Portland terdiri dari oksida kapur (CaO), oksida silika (SiO₂), oksida alumina (Al₂O₃) dan oksida besi (Fe₂O₃) yang merupakan senyawa dominan. Senyawa magnesia (MgO), sulfur (SO₃) serta senyawa lain prosentasenya kecil sekali. susunan pembentuk semen seperti terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Susunan unsur semen Portland

Oksida	Nama Unsur	Persen
CaO	Kapur.	60 - 67
SiO ₂	Silika	17 - 25
Al ₂ O ₃	Alumina	3 - 8
Fe ₂ O ₃	Besi	0,5 - 6
MgO	Magnesia	0,1 - 4
SO ₃	Sulfur	1 - 3
Na ₂ O + K ₂ O	Soda/Potash	0,2 – 1,3

Sumber : Triono Budi Astanto (2001)

Keempat oksida utama pada semen akan membentuk senyawa-senyawa yang menyebabkan ikatan dan pengerasan yang biasa disebut:

1. Trikalsium silikat, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ disingkat C_3S (tiga molekul kapur pada satu silikat)

Sifat C_3S hampir sama dengan sifat semen, yaitu apabila ditambahkan air akan menjadi kaku dan dalam beberapa jam saja pasta akan mengeras, C_3S menunjang kekuatan awal semen dan menimbulkan panas hidrasi ± 500 joule/gram. Kandungan C_3S pada semen Portland bervariasi antara 35% - 55% tergantung pada jenis semen portland.

2. Dikalsium silikat $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ disingkat C_2S (dua molekul kapur pada satu silikat)

Sifat C_2S pada penambahan air segera terjadi reaksi, menyebabkan pasta mengeras dan menimbulkan sedikit panas ± 250 joule/gram. Pasta yang mengeras, perkembangannya stabil dan lambat pada beberapa minggu, kemudian mencapai kekuatan tekan akhir hampir sama dengan C_3S . Kandungan C_2S pada semen portland bervariasi antara 15% - 35% dan rata-rata 25%.

3. Trikalsium alumina, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ disingkat C_3A (tiga molekul kapur terikat pada satu alumina)

Sifat C_3A , dengan air bereaksi menimbulkan panas hidrasi yang tinggi yaitu ± 850 joule/gram. Perkembangan kekuatan terjadi pada satu sampai dua hari, tetapi sangat rendah. Kandungan C_3A pada semen portland bervariasi antara 7%-15%.

4. Tetra kalsium alumino ferrite, $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ disingkat C_4AF (empat molekul kapur pada satu alumina dan satu besi oksida).

Sifat C_4AF , dengan air bereaksi dengan cepat dan pasta terbentuk dalam beberapa menit, menimbulkan panas hidrasi ± 420 joule/gram. Warna abu-abu pada semen dipengaruhi oleh C_4AF . Kandungan C_4AF pada semen portland bervariasi antara 5%-10%.

Menurut SII 0013-81 Semen Portland di Indonesia dibagi menjadi 5 jenis sesuai tujuan pemakaiannya yaitu :

- Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan jenis lain.
- Jenis II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Jenis III : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
- Jenis IV : Semen Portland yang dalam penggunaan menuntut persyaratan panas hidrasi rendah.
- Jenis V : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

3.2.2 Air

Air mempunyai pengaruh yang penting dalam pengikatan campuran serta sifat mudah dikerjakan (*workability*). Namun demikian pemakaian air tidak boleh berlebihan, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan

beton itu sendiri. Selain itu kelebihan air akan mengakibatkan beton menjadi *bleeding*, yaitu air bersama - sama semen akan bergerak keatas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan sambungan yang lemah. Dalam pemakaian air untuk beton, sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut (Tjokrodimulyo, 1996) :

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/lit.
2. Tidak mengandung garam – garam yang dapat merusak (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gr/lit.
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0.5 gr/lit
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/lit.

3.2.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar atau beton. Walaupun hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonna, sehingga pemilihan agregat merupakan sesuatu bagian penting dalam pembuatan mortar/beton (Tjokrodimulyo, 1996).

Dalam praktek agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok yaitu:

- a. Batu, untuk besar butiran dari 40 mm.
- b. Kerikil, untuk besar butiran antara 5 mm dan 40 mm.
- c. Pasir, untuk besaran butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

Sifat paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil, dan pasir) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatan dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan (Murdock dan Brook, 1978).

Dalam pelaksanaan pekerjaan beton, besar butir agregat selalu dibatasi oleh ketentuan maksimal persyaratan agregat, ketentuan itu antara lain :

- a. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih dari $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih antara baja tulangan dan cetakan.
- b. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{3}$ kali tebal pelat.
- c. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{5}$ kali jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

Untuk menghasilkan beton dengan kekompakan yang baik, diperlukan gradasi agregat yang baik. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran kekasaran butiran agregat. Gradasi diambil dari hasil pengayakan dengan lubang ayakan 10 mm, 20 mm, 30 mm, dan 40 mm untuk kerikil. Untuk pasir lubang ayakan 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, dan 0,15 mm

Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1990-03, (1990). Kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar. Batas-batas jenis pasir tercantum dalam tabel 3.2. Adapun gradasi

kerikil yang baik sebaiknya masuk dalam batas – batas yang tercantum dalam tabel 3.3.

Tabel 3.2 Gradasi pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : Triono Budi Astanto (2001)

Keterangan :

Daerah I : Pasir kasar

Daerah III : Pasir agak halus

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah IV : Pasir halus

Tabel 3.3 Gradasi kerikil

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan berat butir maksimum :	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Sumber: Triono Budi Astanto (2001)

Dalam peraturan ini juga ditetapkan gradasi agregat campurannya, yaitu campuran pasir dan kerikil dengan diameter maksimum 40 mm, 30 mm, 20 mm, 10 mm. Indek yang dipakai untuk ukuran kehalusan dan kekasaran butir agregat ditetapkan dengan modulus halus butir. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus 1,5 sampai 3,8 dan kerikil antara 5 sampai 8. Modulus halus butir campuran dihitung dengan rumus :

$$W = \frac{K - C}{C - P} \times 100 \%$$

Dengan W : Persentase berat pasir terhadap berat kerikil

K : Modulus halus butir kerikil

P : Modulus halus butir pasir

C : Modulus halus butir campuran

3.2.4 Bahan Tambah

Bahan tambah ialah bahan selain unsur pokok beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, segera atau selama pengadukan beton. Penggunaan bahan tambah ini bertujuan untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya *workability*, mempercepat atau memperlambat pengerasan, menambah kuat tekan, menambah daktilitas (mengurangi fase getas), mengurangi retak-retak pengerasan, dan sebagainya (Tjokrodimulyo, 1996).

Ada berbagai macam bahan tambah yang bersifat kimiawi yang dicampurkan pada adukan beton untuk memperoleh sifat-sifat yang berbeda pada

beton segar atau beton yang dihasilkan, misalnya sifat pengerjaannya yang lebih mudah, sifat pengikatan yang lebih cepat, dan laju kenaikan kekuatan yang lebih cepat. Pemakaian *accelerator* misalnya dipakai untuk mempercepat pengerasan, pemakaian *retarder* untuk memperlambat pengerasan, dan pemakaian *water reducer* untuk mengurangi kebutuhan jumlah air dimana bahan ini memiliki efek memplastiskan beton sehingga dapat meningkatkan *workability* beton sehingga beton mudah untuk dikerjakan.

Menurut SK SNI S – 18 – 1990 : 03 tentang spesifikasi bahan tambah untuk beton terdapat 7 tipe, yaitu sebagai berikut :

1. Bahan tambah tipe A, adalah bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan.
2. Bahan tambah tipe B, adalah bahan tambah yang digunakan untuk memperlambat waktu pengikatan beton.
3. Bahan tambah tipe C, adalah bahan tambah yang digunakan untuk mempercepat waktu pengikatan dan menambah kekuatan awal beton.
4. Bahan tambah tipe D, adalah bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai konsistensi yang ditetapkan dan juga untuk memperlambat waktu pengikatan beton.
5. Bahan tambah tipe E, adalah bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan

konsistensi yang ditetapkan dan juga untuk mempercepat waktu pengikatan serta menambah kekuatan awal beton.

6. Bahan tambah tipe F, adalah bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% atau lebih, untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan.
7. Bahan tambah tipe G, adalah bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% atau lebih, untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan dan juga untuk memperlambat waktu pengikatan beton.

Selanjutnya dalam penelitian ini akan dibahas bahan tambah gula pasir sebagai bahan *set retarder* untuk memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton.

3.2.4.1 Bahan tambah gula pasir (gula tebu)

1. komponen penyusun gula

Gula terdapat dalam cairan tebu yang disebut nira atau sari tebu. Untuk menghasilkan kristal gula, nira harus diperah keluar dari bagian tebu yang padat kemudian dipisahkan dari komponen-komponen lainnya termasuk air.

Bila tebu digiling maka akan menghasilkan nira dari ampas. Dalam usaha untuk memisahkan gula (sukrosa) dari komponen lainnya, maka perlu dikaji semua komponen tersebut. Untuk itu harus diketahui komposisi tabu dan nira, seperti yang terlihat pada tabel 3.4.

Gula (sukrosa) sangat larut dalam air dan alkohol encer. Kelarutannya dalam air meningkat dengan meningkatnya suhu larutannya. Kelarutan berkurang dengan adanya garam organik dan anorganik dalam jumlah kecil, tetapi meningkat dengan adanya garam anorganik dalam jumlah banyak. Kelarutan gula dalam air berubah dengan kemurnian larutan sedangkan variasinya tergantung pada macam non-gula yang ada dalam larutan.

Tabel 3.4 Komposisi tebu dan nira

Komponen (%)	Tebu	Nira
Air	69-75	75-88
Sukrosa	8-16	10-21
Gula reduksi	0,5-2	0,3-3
Bahan organik lain	0,5-1	0,5-1
Bahan organik	0,2-0,6	0,2-0,6
Bahan bernitrogen	0,5-1	0,5-1
Abu	0,3-0,8	-
Serat	10-16	-
Brix total	-	12-13

Sumber : Suparmo dkk, 1990

2. Pengaruh penambahan gula pada campuran adukan beton

Menurut ashworth (1995), Pengaruh penambahan gula pada campuran adukan beton memberikan efek perlambatan secara kompleks dan tidak begitu dapat dipahami. (Dijabarkan Husen, 1952 dalam Ashwort, 1965) bahwa adukan gula yang berisi kelompok HO – C – H yang membentuk lapisan pada bidang rengkah (*grains*) pada senyawa semen, sehingga memperlambat timbulnya panas hidrasi. Begitu semen perlambatan selesai, beton akan mengeras secara normal.

3.3 Waktu Ikatan

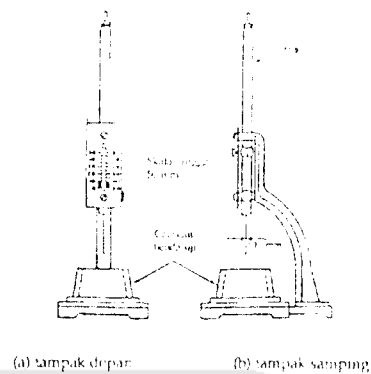
Waktu ikatan adalah proses dari saat semen bercampur dengan air dan membentuk adonan yang perlahan – lahan menjadi sedikit plastis dan akhirnya menjadi massa yang keras/kaku untuk menahan suatu tekanan. Waktu ikatan dibagi menjadi dua bagian yaitu waktu ikatan awal (*initial setting time*) dan waktu ikatan akhir (*final setting time*). Waktu dari percampuran semen dan air sampai saat kehilangan sifat keplastisannya disebut waktu ikatan awal, dan waktu ikatan sampai mencapai pasta menjadi massa yang keras disebut waktu ikatan akhir. Pada semen Portland biasa ikatan awal tidak boleh terjadi kurang dari 60 menit (1 jam) setelah dicampur air. Syarat ini diperlukan untuk mengolah, mengangkut, mengecor, dan memadatkan adukan betonnya. Sedangkan waktu ikatan akhir tidak boleh lebih dari 480 menit (8 jam).

Proses ikatan ini disertai dengan perubahan temperatur. Temperatur naik dengan cepat dari ikatan awal dan mencapai puncaknya pada waktu berakhir ikatan akhir. Waktu ikatan yang pendek kenaikan temperaturnya sampai 30°C. dalam praktek lama waktu ikatan dipengaruhi oleh jumlah air campuran yang digunakan dan suhu udara disekitarnya.

Ikatan awal tercapai jika ujung jarum tipis (beban 300 gr) pada pesawat Vicat, setelah dilepas bebas, menembus adukan pasta semen selam 30 detik dan berhenti tetap pada jarak 5-7 mm dari dasar kaca (Antono, 1976).

Pengujian untuk mengetahui waktu ikatan digunakan alat vicat, sebagai mana tampak pada Gambar 3.1. komponen alat ini terdiri dari jarum vicat

berdiameter 1 mm, beban 300 gram, cincin ebonite dengan diameter atas 80 mm dan diameter bawah 90 mm.



Gambar 3.1 Alat Vicat (midness dan Young, 1981)

Manfaat yang dapat diambil dengan diketahuinya waktu ikatan adalah sebagai berikut :

- a. Merencanakan waktu pengadukan beton,
- b. Membantu merencanakan jadwal penyelesaian pekerjaan,
- c. Petunjuk efektifitas dari berbagai variasi tingkatan jika digunakan bahan tambah.

3.4 *Workability*

Istilah kemudahan pengerjaan (*workability*) sulit untuk didefinisikan dengan tepat. Murdock dan Brook menyebutkan bahwa Newman (1965) mengusulkan agar didefinisikan pada sekurang – kurangnya tiga buah sifat yang terpisah :

1. Kompaktibilitas atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga-rongga udara diambil.

2. Mobilitas atau kemudahan dimana beton dapat mengalir ke dalam cetakan dan dituang kembali.
3. Stabilitas atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, koheren, dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi agregasi/pemisahan butiran dari bahan-bahan utamanya.

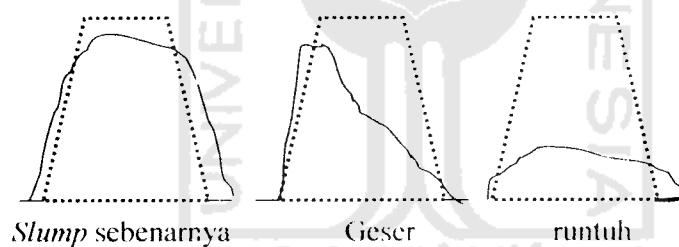
Unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan adukan beton antara lain sebagai berikut :

1. Kandungan air dalam campuran adukan beton. Semakin banyak air yang dipakai makin mudah beton segar dikerjakan. Namun penambahan air dapat menyebabkan segregasi dan *bleeding*.
2. Jumlah dan sifat agregat. Jumlah agregat dan komposisi agregat halus/kasar akan mempengaruhi workabilitas. Pada faktor air semen konstan, peningkatan perbandingan agregat dan semen akan menurunkan tingkat workabilitas. Bentuk dan tekstur agregat juga mempengaruhi workabilitas. Agregat berbentuk bulat akan menghasilkan beton yang lebih mudah dikerjakan.
3. Temperatur. Peningkatan temperatur akan menurunkan Workabilitas.
4. Jenis semen yang digunakan. Jenis semen akan mempengaruhi tingkat workabilitas. Sebagai contoh penggunaan semen tipe III (cepat mengeras) pada nilai *fas* yang sama akan mengurangi *workability* karena akan terhidrasi lebih cepat.
5. Bahan tambah. Berbagai bahan tambah diantaranya zat memperlambat pengerasan dan plasticizer, akan memberikan pengaruh pada workabilitas.

3.5 Slump

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan ini berkaitan erat dengan kemudahan pengerjaan (*workability*). Semakin tinggi nilai *slump*, maka adukan beton akan semakin encer, berarti makin mudah dikerjakan. Nilai *slump* yang umumnya disyaratkan berkisar antara 5 – 12,5 cm. Dalam praktek *slump* yang terjadi dalam beberapa ukuran seperti gambar 3.2 (Murdock dan Brooks, 1978).

- Slump* sebenarnya, terjadi bila penurunan seragam tanpa ada yang pecah
- Slump* geser, terjadi bila separuh puncaknya bergeser dan tergelincir kebawah pada bidang miring
- Slump* runtuh, terjadi bila kerucut runtuh semua.



Gambar 3.2 jenis – jenis *slump*

3.6 Modulus Elastisitas

Hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan analisis dan desain juga prosedur-prosedur pada struktur beton. Kurva hubungan tegangan-regangan diperoleh dari pengujian terhadap benda uji silinder beton selama beberapa menit. Sampai sekitar 40% dari f_c , pada umumnya untuk tujuan praktis kurva hubungan tegangan-regangan dapat dianggap linier.