

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Pozzolan

Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina, yang tidak mempunyai sifat semen, akan tetapi dalam bentuk halusya dan dengan adanya air dapat menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air (Tjokrodimuljo, 1996).

Menurut Gunawan (2000), pozzolan dibagi atas dua jenis sebagai berikut ini.

1. Pozzolan alam: Bahan alam yang merupakan sedimentasi dari abu atau lahar gunung yang mengandung silika aktif, yang bila bercampur dengan kapur akan terjadi proses sementasi.
2. Pozzolan buatan: Bahan yang didapat dari sisa pembakaran dari tungku maupun pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika aktif dengan proses pembakaran, seperti abu terbang (*fly ash*), silika fume, dan lain-lain.

Pozzolan dapat digunakan sebagai bahan tambah campuran mortar dengan komposisi tertentu. Komposisi yang optimal memberikan dampak baik terhadap mortar, menjadikan mortar mudah diaduk, lebih kedap air, dan kuat tekan mortar menjadi lebih kuat. Pemakaian pozzolan sangat menguntungkan karena menghemat semen, dan mengurangi panas hidrasi yang mengakibatkan retakan serius (Tjokrodimuljo, 1996).

B. Mortar

Mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), air suling dan semen *portland* dengan komposisi tertentu. Bahan pengikat antara semen dan air bereaksi secara kimia sehingga membuat suatu bahan yang padat dan tahan lama (SNI 03-6825-2002).

Bahan perekat pada mortar dapat berupa tanah liat, kapur, maupun semen *portland*. Bila tanah liat maka disebut dengan mortar lumpur (*mud mortar*), bila dari kapur disebut mortar kapur, dan begitu pula bila dari semen *portland* yang dipakai sebagai bahan perekat maka disebut mortar semen. Agregat halus berfungsi sebagai bahan pengisi bahan yang direkat (Tjokrodimuljo, 1996).

Adapun macam-macam mortar antara lain sebagai berikut:

1. mortar lumpur (*mud mortar*) yaitu mortar dengan bahan perekat tanah liat,
2. mortar kapur yaitu mortar dengan bahan perekat kapur, dan
3. mortar semen yaitu mortar dengan bahan perekat semen.

C. Bahan Penyusun Mortar

Mortar disusun atas beberapa bahan penyusun seperti semen *portland*, agregat halus dan air. Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan mortar adalah sebagai berikut ini.

1. Semen *Portland*

Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker* yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982).

Semen *portland* merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik. Terdapat berbagai macam semen dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi-kondisi tertentu sesuai dengan sifat-sifatnya yang khusus.

Semen jika diaduk dengan air akan berbentuk adukan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir menjadi mortar semen, dan jika ditambah lagi dengan kerikil atau batu pecah disebut beton.

Bahan-bahan tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu bahan aktif dan bahan pasif. Kelompok aktif yaitu semen dan air, sedangkan kelompok pasif yaitu pasir dan kerikil. Kelompok yang aktif disebut bahan pengikat atau perekat sedangkan kelompok yang pasif disebut bahan pengisi.

Semen mengandung unsur-unsur kimia dengan persentase tertentu. Unsur-unsur kimia yang terkandung pada semen yaitu kapur (CaO) pada umumnya sebanyak 60 - 65 %, silika (SiO₂) sebesar 17 - 25 %, alumina (Al₂O₃) sebesar 3 - 8 %, Besi (Fe₂O₃) sebesar 0,5 - 6 %, magnesia (MgO) sebesar 0,5 - 4 %, sulfur (SO₃), dan soda atau potash (Na₂O + K₂O) sebesar 0,5 - 1 %.

Berdasarkan tujuan pemakaiannya, semen *portland* di Indonesia (SII 0013-81) dibagi menjadi 5 jenis, sebagai berikut ini.

- a. Jenis I merupakan semen *portland* untuk penggunaan umum yang memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
 - b. Jenis II merupakan semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
 - c. Jenis III merupakan semen *portland* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
 - d. Jenis IV merupakan semen *portland* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
 - e. Jenis V merupakan semen *portland* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.
2. Agregat Halus

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Adukan ini kira-kira menempati sebanyak 70 % volume mortar atau beton. Walaupun namanya hanya sebagai bahan pengisi akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton.

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah dengan didasarkan pada ukuran butir-butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran butir-butir $> 1,2$ mm disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berukuran $< 1,2$ mm disebut agregat halus.

Beberapa jenis agregat yang ditentukan berdasarkan ukuran yaitu agregat yang ukurannya $< 1,2$ mm disebut pasir halus, agregat yang ukurannya $< 0,075$ mm disebut *silt*, dan agregat yang ukurannya $< 0,002$ disebut *clay* (SK SNI T-15-1991-03).

a. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan massa jenis relatif sebuah zat dengan massa jenis air murni. Agregat dapat dibedakan berdasarkan berat jenisnya, agregat normal, agregat berat dan agregat ringan. Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya adalah antara 2,5 –

2,7. Agregat ini biasanya berasal dari agregat granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya.

Agregat berat berberat jenis lebih dari 2,8 misalnya magnetik (Fe_3O_4), barytes (BaSO_4) atau serbuk besi.

Agregat ringan mempunyai berat jenis kurang dari 2 yang biasanya untuk beton non struktural, akan tetapi dapat pula untuk beton struktural atau blok dinding tembok.

Penentuan berat jenis dapat dilakukan dengan Persamaan 3.1 berikut ini.

$$BJ = \frac{(SSD)}{B+SSD+Bt} \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan :

- BJ = berat jenis,
- SSD = *saturated surface dry* (gr),
- B = berat pasir + berat air (gr),
- Bt = berat pasir setelah di oven (gr).

b. Kadar Air Agregat

Kadar air adalah kandungan air suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah atau berat kering dengan satuan persen (%).

Air yang ada pada suatu agregat perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang perlu dipakai dalam campuran adukan beton dan untuk mengetahui berat satuan agregat. Keadaan kandungan air dalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, sebagai berikut ini.

1. Kering tungku; benar-benar tidak berair, dan ini berarti dapat secara penuh menyerap air.
2. Kering udara; butir-butir agregat kering permukaannya tetapi mengandung sedikit air di dalam porinya. Oleh karena itu pasir dalam tingkat ini masih dapat sedikit mengisap air.
3. Jenuh kering-muka; pada tingkat ini tidak ada air di permukaan tetapi butir-butirnya berisi air sejumlah yang dapat diserap. Dengan demikian butiran-butiran agregat pada tahap ini tidak menyerap dan

juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.

4. Basah; pada tingkat ini butir-butir mengandung banyak air, baik di permukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai untuk campuran akan memberi air.

Keadaan jenuh kering muka (*Saturated Surface Dry, SSD*) lebih sering digunakan dan dapat ditentukan dengan Persamaan 3.2 berikut ini.

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{berat semula} - \text{berat kering}}{\text{berat kering}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

c. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit dengan kata lain kemampatannya tinggi.

Susunan ayakan adalah ayakan dengan lubang : 76 mm, 38 mm, 19 mm, 9,6mm, 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm dan 0,15 mm.

Secara teoritis gradasi agregat yang terbaik yaitu gradasi yang memiliki nilai kemampatan tinggi.

Klasifikasi agregat terdiri dari 4 daerah, yaitu daerah 1 sifat agregatnya kasar, daerah 2 sifat agregatnya agak kasar, daerah 3 sifat agregatnya halus dan daerah 4 sifat agregatnya sangat halus. Pembagian daerah gradasi agregat dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Daerah gradasi butiran (Mulyono, 2003)

Lubang Ayakan	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
2	100	100	100	100
4	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
8	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
16	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
30	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
50	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

d. Serapan Air dalam Agregat

Karena adanya udara yang terjebak dalam suatu butiran agregat ketika pembentukannya atau karena dekomposisi mineral pembentuk tertentu oleh perubahan cuaca, maka terbentuklah lubang, atau rongga kecil di dalam butiran agregat, atau yang disebut dengan pori. Pori dalam butiran agregat mempunyai ukuran yang bervariasi cukup besar, dari yang besar sehingga mampu dilihat dengan kasat mata, sampai yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop.

Agregat menempati sampai 75 % dari volume beton, oleh karena itu porositas agregat memberikan kontribusi pada porositas beton secara keseluruhan.

Pori-pori bisa saja menampung air bebas di dalam agregat. Persentase berat air yang mampu diserap oleh suatu agregat jika direndam dalam air disebut serapan air.

Jika agregat basah ditimbang beratnya W , kemudian dikeringkan dalam tungku (*oven*) pada suhu 105°C sampai beratnya tetap W_k , maka kadar air agregat basah dapat ditentukan dengan Persamaan 3.3 berikut ini.

$$K = \frac{W - W_k}{W_k} \times 100\% \dots\dots\dots(3.3)$$

dengan :

K = penyerapan air agregat (%),

W = berat agregat sebelum di oven (gr),
 W_k = berat agregat setelah di oven (gr).

e. Berat Satuan

Volume agregat terdiri atas:

1. volume butiran (zat padatnya),
2. volume pori tertutup,
3. volume pori terbuka.

Berat satuan agregat ialah berat agregat dalam satu satuan volume, dinyatakan dalam kg/liter atau ton/m³. Berat satuan dihitung berdasarkan berat agregat dalam suatu tempat tertentu, sehingga yang dihitung volumenya adalah volume padat (meliputi pori tertutup) dan volume pori terbukanya.

Dengan demikian maka secara matematis dapat ditentukan dengan Persamaan 3.4 berikut ini.

$$B_{sat} = \frac{B_2 - B_1}{V} \dots \dots \dots (3.4)$$

dengan :

B_{sat} = berat satuan (gr/cm³),
 B_1 = berat gelas ukur kosong (gr),
 B_2 = berat pasir dan gelas ukur (gr),
 V = volume gelas ukur (cm³).

f. Kadar Lumpur

Kadar lumpur yang diizinkan menurut SNI 03 – 6820 - 2002 maksimal 5 %. Kadar lumpur dapat ditentukan dengan Persamaan 3.5 berikut ini.

$$KL = \frac{B_2}{B_1} \times 100 \% \dots \dots \dots (3.5)$$

dengan :

KL = kadar lumpur (%),
 B_2 = berat kering tungku (gr),
 B_1 = berat lolos saringan 200 (gr).

3. Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25 % dari berat semen, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air ini yang dipakai sebagai pelumas tetapi perlu dicatat bahwa tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah serta betonnya porous. Selain itu, kelebihan air akan menyebabkan air dan semen bergerak ke permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih yang dikenal dengan selaput tipis (*laitance*). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah.

Secara umum, air yang dapat digunakan sebagai bahan pencampur beton adalah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 % kekuatan beton yang memakai air suling. Kekuatan beton dan daya tahannya berkurang jika air mengandung kotoran.

Air yang digunakan harus bersih, tidak terkandung minyak, alkali berlebih dan tidak terdapat zat yang dapat merusak mortar.

Dalam pemakaian air sebaiknya air yang digunakan memenuhi syarat sebagai berikut ini.

- a. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/liter.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gr/liter.
- c. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter.

4. Abu merang

Bahan tambah adalah bahan selain unsur pokok mortar (air, semen, dan agregat) yang ditambah pada adukan mortar, sebelum, segera, atau selama pengadukan beton.

Bahan kimia tambahan dapat dibedakan menjadi 5 jenis sebagai berikut ini.

- a. Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Pemakaian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen sama.
- b. Bahan kimia tambahan untuk perlambatan proses ikatan beton. Bahan ini digunakan pada satu kasus dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan cukup jauh, sehingga selisih waktu antara mulai pencampuran dan pemadatan lebih dari 1 jam.
- c. Bahan kimia tambahan untuk percepatan proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan dibawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan waktu penyelesaian segera, misalnya perbaikan landasan pacu pesawat udara, balok prategang, jembatan, dan sebagainya.
- d. Bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan.
- e. Bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

Bahan tambahan yang digunakan adalah abu merang. Abu merang merupakan abu yang diperoleh dari hasil pembakaran tangkai padi. Abu merang memiliki kandungan silika yang merupakan sumber utama pozzolan yang dapat mengikat material campuran mortar.

D. Sifat Mortar Segar

1. Pengujian meja sebar

Pengujian meja sebar dilakukan untuk mengetahui ukuran kelecakan mortar. Pengujian meja sebar dilakukan dengan menggunakan alat meja sebar (*flow table*) sesuai dengan acuan ASTM 2010 C-270-10. Adonan mortar yang telah disediakan dituangkan ke dalam cetakan berbentuk kerucut dengan ukuran diameter bawah 7 cm, diameter atas 6 cm, dan tinggi 4 cm. Campuran yang telah dituangkan ke dalam cetakan kemudian

diletakkan di atas meja sebar yang berdiameter 30 cm dan tebal 2 cm. Setelah diletakkan di meja sebar maka selanjutnya dilakukan penggetaran dengan cara menaikkan meja sebar setinggi 1,25 cm lalu dijatuhkan. Hal ini dilakukan sebanyak 25 kali dengan durasi waktu selama 15 detik, kemudian diukur diameter dasar dari adonan mortar tersebut. Nilai kelecakan yang baik berkisar antara 70 % - 115 %, apabila diperoleh nilai kurang dari 70 % maka mortar tersebut kental. Sebaliknya apabila diperoleh nilai lebih dari 115% maka mortar tersebut encer.

Nilai sebar dapat ditentukan dengan Persamaan 3.5 berikut ini.

$$\text{Nilai sebar} = \frac{(d_1 - d_0)}{d_0} \times 100\% \dots\dots\dots(3.5)$$

dengan :

d_0 = diameter cetakan (cm),

d_1 = diameter sebaran adonan terjauh (cm).

2. *Bleeding*

Kecenderungan air untuk naik kepermukaan mortar yang baru dipadatkan dinamakan *bleeding*. Air yang naik membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada saat mortar mengeras nantinya akan membentuk selaput (*laitance*). Menurut Mulyono (2004) *bleeding* dipengaruhi sebagai berikut ini.

a. Susunan butir agregat

Jika komposisinya sesuai, kemungkinan untuk terjadinya *bleeding* kecil.

b. Banyaknya air

Semakin banyak air berarti semakin besar pula kemungkinan terjadinya *bleeding*.

c. Kecepatan hidrasi

Semakin cepat beton mengeras, semakin kecil kemungkinan terjadinya *bleeding*.

d. Proses pemadatan

Pemadatan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya *bleeding*.

Beberapa solusi yang digunakan untuk mengurangi *bleeding* adalah sebagai berikut ini.

- a. Memberi lebih banyak semen.
- b. Menggunakan air sedikit mungkin.
- c. Menggunakan butir halus lebih banyak.
- d. Memasukkan sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus.

E. Sifat Fisik Mortar

Sifat fisik mortar adalah sifat fisik yang ditinjau berdasarkan bentuk dan dimensi dari mortar. Syarat-syarat mortar adalah sebagai berikut ini.

1. Sifat Tampak

Mortar harus berbentuk persegi, mempunyai rusuk-rusuk yang siku, bidang-bidang yang rata, dan tidak menunjukkan retak.

2. Dimensi atau Ukuran Mortar

Ukuran mortar yang digunakan sebagai benda uji mempunyai ukuran-ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Pemeriksaan ukuran mortar dilakukan dengan menggunakan *kaliper*.

F. Sifat Mekanik Mortar

1. Kadar Air

Kadar air merupakan perbandingan antara berat mortar sebelum dimasukkan *oven* dengan berat mortar setelah dimasukkan *oven*. Kadar air biasanya dinyatakan dalam persen dan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.6 berikut ini.

$$Kadar\ air = \frac{Berat\ semula - Berat\ kering}{Berat\ kering} \times 100\% \dots\dots\dots(3.6)$$

2. Berat Jenis (BJ)

Berat jenis adalah perbandingan massa benda dengan volume benda. Penentuan berat jenis dapat dilakukan dengan Persamaan 3.7 berikut ini.

$$BJ = \frac{W_b}{V_b} \dots\dots\dots(3.7)$$

dengan :

BJ = berat jenis,

Wb = berat benda uji (gr),
 Vb = volume benda uji (cm³).

3. Penyerapan Air (K)

Penyerapan air dapat ditentukan dengan Persamaan 3.8 berikut ini.

$$K = \frac{W-Wk}{Wk} \times 100\% \dots\dots\dots(3.8)$$

dengan :

K = penyerapan air (%),
 W = berat sebelum di oven (gr),
 Wk = berat setelah di oven (gr).

4. Kerapatan (*density*)

Penentuan kerapatan dapat ditentukan dengan Persamaan 3.9 dan Persamaan 3.10 berikut ini.

$$Qsch = \frac{Md}{Vsch} \text{ gr/cm}^3 \dots\dots\dots(3.9)$$

$$Qsch = \frac{Md}{C-B} \times dw \text{ gr/cm}^3 \dots\dots\dots(3.10)$$

dengan :

Md = berat kering oven (gr),
 B = berat didalam air (gr),
 C = berat setelah direndam (gr),
 $Vsch$ = volume mortar (m³),
 dw = kerapatan (*density*).

5. Initial Rate of Suction (IRS)

Merupakan pengujian untuk mengetahui kemampuan dari mortar dalam menyerap air pertama kali dalam waktu satu menit pertama. Hal ini sangat berguna pada saat penentuan kadar air mortar (Nur, 2008). Penentuan *initial rate of suction (IRS)* dapat ditentukan dengan Persamaan 3.11 berikut ini.

$$IRS = \frac{m_1-m_2}{k} \dots\dots\dots(3.11)$$

dengan :

m_1 = massa setelah direndam air (gr),

m_2 = massa kering (gr).

Karena *IRS* menggunakan satuan $\frac{gr}{mnt} cm^2$, maka harus dikalikan dengan suatu faktor berikut ini.

$$K = \frac{193,55}{luas\ area} \dots\dots\dots(3.12)$$

6. Kuat Tekan Mortar

Kuat tekan merupakan pengujian yang mengidentifikasi mutu dari suatu sampel tersebut. Pengujian kuat tekan yang dilakukan pada mortar adalah untuk mengetahui mutu dari mortar. Penentuan nilai kuat tekan mortar dapat dilakukan dengan Persamaan 3.12 berikut ini dan lihat Tabel 3.2.

$$F_c = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots(3.13)$$

dengan :

F_c = kuat tekan benda uji (kg/cm^2),

P_{maks} = maksimum besaran gaya tekan (kg),

A = luas tampang benda uji (cm^2).

Tabel 3.2 Spesifikasi mutu bata beton pejal (SNI 03-0348-1989)

Mutu	Kuat tekan minimum (kg/cm^2)		Penyerapan air maksimum % volume
	Rata-rata 5 buah	Masing-masing	
B 25	25	21	-
B 40	40	35	-
B 70	70	65	35
B 100	100	90	25