



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Beton Dan Mortar

Beton merupakan campuran antara semen *portland* atau semen hidolik, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI 03-2847-2002).

Berdasarkan berat isinya beton dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu beton ringan, normal, dan berat. Beton ringan adalah beton yang mempunyai berat jenis beton antara 1000-2000 kg/m³. Beton ringan merupakan beton yang mempunyai berat jenis beton yang lebih kecil dari beton normal. Beton normal memiliki berat jenis 2300-2400 kg/m³, nilai kekuatan, dan daya tahan (*durability*) beton terdiri dari beberapa faktor, diantaranya adalah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya (Dipohusodo, 1994). Beton berat adalah beton yang mempunyai berat jenis beton lebih dari 3000 kg/m³. Beton berat merupakan beton yang memiliki berat jenis beton yang lebih besar dari pada beton normal dan ringan.

Kekuatan beton ditentukan oleh padat tidaknya campuran bahan penyusun beton. Semakin kecil rongga yang dihasilkan dalam campuran beton, maka semakin tinggi kuat desak beton yang dihasilkan. Adukan beton harus benar-benar homogen dengan kelecakan tertentu agar tidak terjadi segregasi. Di samping kualitas bahan penyusunnya, kualitas pelaksanaan pun menjadi penting dalam pembuatan beton. Kualitas pekerjaan suatu konstruksi sangat dipengaruhi oleh pelaksanaan pekerjaan beton. Syarat yang terpenting dari pembuatan beton adalah:

1. Beton segar harus dapat dikerjakan atau dituang.
2. Beton yang dikerjakan harus cukup kuat untuk menahan beban dari yang telah direncanakan.
3. Beton tersebut harus dapat dibuat secara ekonomis.

Agar dihasilkan kuat desak beton yang sesuai dengan rencana maka diperlukan *mix design* untuk menentukan jumlah masing-masing bahan yang dibutuhkan. *Mix design* dapat didefinisikan sebagai proses merancang dan memilih bahan yang cocok dan menentukan proporsi relatif dengan tujuan memproduksi beton dengan kekuatan tertentu, daya tahan tertentu dan ekonomis.

Beton memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan beton diantaranya dapat dengan mudah dibentuk sesuai kebutuhan, mampu memikul beban yang berat, tahan terhadap suhu tinggi, dan biayanya pemeliharaan yang relatif murah sedangkan kekurangan beton adalah sulit merubah bentuk yang telah dibuat, berat, pengerjaan



membutuhkan ketelitian tinggi, daya pantul suara yang besar, dan kuat tarik yang rendah. Mortar (sering disebut juga mortel atau spesi) adalah campuran yang terdiri dari pasir, bahan perekat serta air, dan diaduk sampai homogen. Pasir sebagai bahan bangunan dasar harus direkatkan dengan bahan perekat. Bahan perekat yang digunakan dapat bermacam-macam, yaitu dapat berupa tanah liat, kapur, semen merah (bata merah yang dihaluskan), maupun semen potland.

Agregat halus (pasir) merupakan butir-butir partikel yang diikat oleh pasta semen dalam mortar harus dapat terlapisi dengan sempurna agar mempunyai kohesi dan adhesi. Kekuatan mortar tergantung pada kohesi pasta semen terhadap partikel agregat halusnya. Mortar mempunyai nilai penyusutan yang relatif kecil.

Tjokrodinuljo (1992) membagi mortar berdasarkan jenis bahan ikatnya menjadi empat jenis, yaitu diantaranya sebagai berikut :

1) Mortar Semen Portland

Mortar semen merupakan campuran semen, pasir dan air pada proporsi yang sesuai. Perbandingan volume semen dan pasir berkisar pada 1 : 2 sampai dengan 1 : 6 atau lebih tergantung penggunaannya. Mortar semen lebih kuat dari jenis mortar lain, sehingga mortar semen sering digunakan untuk tembok, pilar, kolom atau bagian-bagian lain yang menahan beban. Karena mortar ini rapat air, maka juga sering digunakan untuk bagian luar dan yang berada di bawah tanah. Dalam adukan beton atau mortar, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori diantara butir-butir agregat halus, juga bersifat sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak atau padat.

2) Mortar Kapur

Mortar kapur dibuat dari campuran pasir, kapur, semen merah dan air. Kapur dan pasir mula-mula dicampur dalam keadaan kering kemudian ditambahkan air. Air diberikan secukupnya untuk memperoleh adukan dengan kelecakan yang baik. Selama proses pelekatan kapur mengalami susutan sehingga jumlah pasir yang umum digunakan adalah tiga kali volume kapur. Kapur yang dapat digunakan adalah *fat lime* dan *hydraulic lime*

3) Mortar Polimer

Mortar polimer terdiri dari perekat polimer bisa saja termoplastik tetapi termosetting lebih sering di pakai. Pemakaian polimer untuk pengganti semen portland menyebabkan peningkatan biaya, untuk itu penambahan polimer akan efektif dan sepadan dengan kenaikan biaya pada aplikasi yang sesuai dimana biaya tinggi dapat setara dengan properties yang superior yang dituntut, terkompensasi dengan rendahnya biaya pekerja atau pemakaian



energi yang rendah selama proses dan pemeliharaan. Pemakaian mortar pada kondisi bangunan tertentu disyaratkan untuk memenuhi mutu adukan yang tertentu pula. Sebagai contoh untuk bangunan gedung bertingkat banyak diisyaratkan menggunakan mortar yang kuat tekan minimumnya 3,0 MPa.

4) Mortar Pozzolan

Pozzolan adalah bahan tambah yang baik yang berasal dari alam atau limbah industri yang mengandung silika dan alumina yang jika dicampur dengan air akan bereaksi dengan kapur bebas, mortar pozzolan adalah campuran antara mortar semen yang ditambahkan dengan pozzolan

Adapun tipe-tipe mortar menurut SNI 03-6882-2002 sebagai berikut :

1. Mortar tipe M adalah mortar yang mempunyai kekuatan 17,2 Mpa.
2. Mortar tipe S adalah mortar yang mempunyai kekuatan 12,5 Mpa.
3. Mortar tipe N adalah mortar yang mempunyai kekuatan 5,2 Mpa.
4. Mortar tipe O adalah mortar yang mempunyai kekuatan 2,4 Mpa.

Dalam SNI 03-6882-2002 disebutkan mutu mortar untuk yang dipersiapkan dilaboratorium dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Mutu Mortar SNI 03-6882-2002

Mortar	Tipe	Kuat Tekan Rata – rata 28 hari (Mps)	Retensi Air Min (%)	Kadar Udara Maks (%)
Kapur Semen	M	17,2	75	12
	S	12,4	75	12
	N	5,2	75	14 a)
	O	2,5	75	14 a)
Semen Pasangan	M	17,2	75 b)
	S	12,4	75 b)
	N	5,2	75 b)
	O	2,5	75 b)

Sumber SNI 03-6882-2002

Keterangan :

- a) Bila terdapat tulangan struktur dalam mortar kapur semen, maka kadar udara maksimum harus 12 %.
- b) Bila terdapat tulangan struktur dalam mortar semen pasangan maka kadar udara maksimum harus 18 %.

Tabel diatas tidak dapat digunakan sebagai persyaratan pengawasan mutu mortar di lapangan karena jumlah air yang digunakan akan lebih banyak.



2.2 Bahan Penyusun Mortar

Masalah yang dihadapi oleh seorang perencana adalah bagaimana merencanakan komposisi dari bahan-bahan penyusun mortar tersebut agar dapat memenuhi spesifikasi teknik yang ditentukan. Mortar merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (portland cement), agregat halus, air dan bahan tambah (admixture atau additive). Oleh karena itu perlu adanya perencanaan yang baik agar bahan-bahan penyusun beton sesuai dengan spesifikasi teknik yang ditentukan.

2.2.1 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat mortar yang penting. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan mortar. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran mortar. Air yang mengandung senyawa-senyawa, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas mortar, bahkan dapat mengubah sifat-sifat mortar yang dihasilkan. Fungsi air di dalam campuran mortar adalah sebagai berikut :

1. Sebagai pelicin bagi agregat halus dan agregat kasar.
2. Bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta semen.
3. Penting untuk mencairkan bahan / material semen ke seluruh permukaan agregat.
4. Perawatan terhadap adukan beton guna menjamin pengerasan yang optimal.
5. Membasahi agregat, untuk melindungi agregat dari penyerapan air vital yang diperlukan pada reaksi kimia. Memungkinkan campuran beton mengalir ke dalam cetakan.

Penggunaan banyaknya air dapat dinyatakan dalam suatu berat atau satuan volume. Dalam praktik yang normal, air biasa diukur dengan satuan volume yaitu liter. Kuantitas (jumlah) air yang akan dipergunakan untuk mortar dengan mutu tertentu harus dihitung setelah melalui kelembaban (kadar air) dari agregat halus dan agregat kasar. Kadar air dari agregat akan mengurangi jumlah air yang diperlukan untuk campuran mortar. Sebaliknya, kadang-kadang agregat dapat menyerap air dari campuran mortar. Dalam hal ini, maka perlu ditemukan cara untuk mengatasi penyerapan tersebut yaitu dengan meningkatkan jumlah air yang perlu ditambahkan dalam campuran mortar. Persyaratan dari air yang digunakan sebagai campuran bahan bangunan adalah sebagai berikut (**W. Wiratman, 1971**):



1. Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam-garam, bahan-bahan organik atau bahan lain yang dapat merusak daripada beton.
2. Apabila dipandang perlu maka contoh air dapat dibawa ke Laboratorium Penyelidikan Bahan untuk mendapatkan pengujian sebagaimana yang dipersyaratkan.
3. Jumlah air yang digunakan adukan beton dapat ditentukan dengan ukuran berat dan harus dilakukan setepat-tepatnya.

Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Hidrasi adalah proses di mana ion dikelilingi oleh molekul-molekul air yang tersusun dalam keadaan tertentu (penggabungan dengan air). Sumber -sumber air yang ada disekitar kita adalah sebagai berikut.

a. Air Yang Terdapat Di Udara

Air yang terdapat di udara atau atmosfer adalah air yang terdapat di awan. Kemurniannya sangat tinggi. Air ini sama dengan air suling, sehingga sangat mungkin mendapatkan beton yang baik dengan air ini.

b. Air Tanah

Air tanah yang terdapat dalam lapisan tanah atau bebatuan di bawah permukaan tanah yang terdiri dari unsur kation dan anion.

c. Air Hujan

Air hujan menyerap gas-gas serta uap dari udara ketika jatuh ke bumi. Bahan-bahan padat serta garam yang larut dalam air hujan terbentuk akibat peristiwa kondensasi.

d. Air Permukaan

Air permukaan dibagi menjadi air sungai, danau dan situ, air genangan. Air sungai atau danau dapat digunakan sebagai campuran beton asal tidak tercemar oleh buangan industri.

e. Air Laut

Air laut mengandung 3,5% larutan garam (sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida). Garam-garam pada air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20% (**Bilqis,2012**). Air laut sebaiknya tidak digunakan untuk campuran beton pra-tegang atau beton bertulang karena akan mengakibatkan korosi pada tulangan.

Air harus memenuhi syarat sebagai bahan bangunan dengan kriteria sebagai berikut (**SKSNI S-04-1989-F**) :



- Tidak mengandung lumpur atau benda tersuspensi lebih dari gram/litar.
- Tidak mengandung garam-garaman yang merusak beton (asam dan zat organik) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan klorida (Cl) tidak lebih dari 500 ppm dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1.000 ppm sebagai SO_3 .
- Derajat keasaman (pH) normal ± 7 .
- Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- Jika dibanding dengan kekuatan tekan adukan beton yang memakai air suling, penurunan kekuatan adukan yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
- Semua air yang mutunya meragukan dianalisa secara kimia dan evaluasi mutunya menurut pemakaian.
- Khusus untuk beton pra-tekan, kecuali syarat-syarat di atas, air tidak boleh mengandung klorida lebih dari 50 ppm.

2.2.2 Portland Cement (PC)

Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam konstruksi beton. Semen portland didefinisikan sebagai 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**).

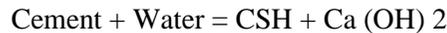
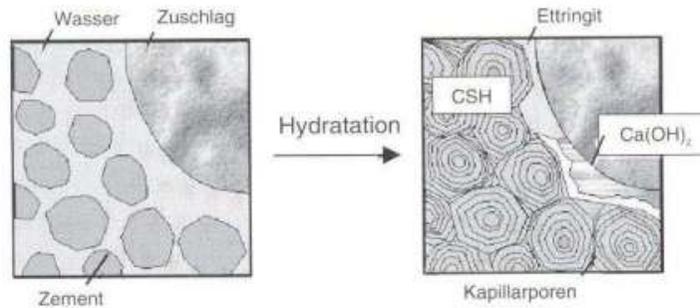
Klinker dibuat dari batu kapur ($CaCO_3$), tanah liat dan bahan dasar berkadar besi. Semen portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat Standar Nasional Indonesia Semen Portland dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut.

Secara garis besar, ada 4 (empat) senyawa kimia utama yang menyusun semen portland, yaitu Trikalsium Silikat ($3CaO \cdot SiO_2$) yang disingkat menjadi C3S, Dikalsium Silikat ($2CaO \cdot SiO_2$) yang disingkat menjadi C2S, Trikalsium Aluminat ($3CaO \cdot Al_2O_3$) yang disingkat menjadi C3A, Tertrakalsium Aluminoferrit ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) yang disingkat menjadi C4AF. Komposisi C3S dan C2S adalah 70%-80% dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen (**Tjokrodinuljo, 1992**).

Semen portland merupakan bahan pengikat yang sangat penting dan banyak digunakan dalam pembangunan. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*).



Bila semen dan air bereaksi maka akan terjadi CSH (*Calcium Silicate Hydrates*), yang bersifat sebagai perekat agregat. Sedangkan Ca(OH)_2 adalah sebagai calcium (kapur) yang tidak berfungsi sebagai perekat dan menjadikan bagian yang lemah dari mortar. Adapun pembentuk CSH pada rekasi semen pada air dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pembentukan CSH pada rekasi semen dan air

Pada umumnya fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat halus dan kasar hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat halus dan kasar. Komposisi oksida semen portland terdiri dari :

Tabel 2.2 Komposisi Oksida Semen Portland

Nama Senyawa	Rumus Kimia	Komposisi (% berat)
Kalsium Oksida	CaO	60 – 67
Silika Dioksida	SiO ₂	17 – 25
Alumina Trioksida	Al ₂ O ₃	3 – 8
Besi Trioksida	Fe ₂ O ₃	0,5 – 6
Magnesium Oksida	MgO	0,1- 5,5
Alkalis	1A	0,2 – 1.3
Sulfur Trioksida	SO ₃	1 – 3

(Sumber : A.M. Neville, Concrete Technology, 2010)

Ada 2 macam cara pembuatan semen :

- Proses Basah

Proses ini dimulai dengan mencampur semua baha baku dengan air. Setelah dihancurkan. Kemudian bahan yang sudah dihancurkan tadi dibakar menggunakan bahan bakar minyak. Karena membutuhkan banyak BBM, proses ini sudah jarang dilakukan oleh produsen semen.



- Proses Kering

Proses ini dimulai dengan penggilingan yang dilanjutkan dengan proses pembakaran. Ada lima tahapan dalam proses ini, seperti proses pengeringan dan penggilingan bahan baku di *rotary dryer* dan *roller meal*, proses pencampuran untuk mendapatkan campuran yang homogen, proses pembakaran bahan baku untuk menghasilkan terak, proses pendinginan terak, dan terakhir proses penggilingan *clinker* dan gypsum. Proses ini sering dilakukan oleh produsen semen.

Pembuatan semen portland dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yaitu :

- a. Penambahan di *quarry*.
- b. Pemecahan di *crushing plant*.
- c. Penggilingan.
- d. Pencampuran bahan-bahan.
- e. Pembakaran.
- f. Penggilingan kembali hasil pembakaran.
- g. Penambahan bahan tambahan (gypsum).
- h. Pengikat (*packing plant*).

Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Dalam semen portland terdapat kandungan senyawa semen akan membentuk karakter dan jenis semen.

Tabel 2.3 Tipe-Tipe Semen Portland

No	Tipe semen	Penggunaan	Karakteristik Umum
1	Tipe I	Semua bangunan beton yang tidak akan mengalami perubahan yang dahsyat atau dibangun dalam lingkungan korosif	Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2	Tipe II	Memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.	Relatif sedikit pelepasan panas. Dipakai di pondasi yang mengandung air agresif.
3	Tipe III	Memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi	Mencapai kekuatan awal yang tinggi pada umur 3 hari. Dipakai di daerah yang bertemperatur rendah (dingin)
4	Tipe IV	Memerlukan panas hidrasi yang rendah	Di pakai pada bendungan beton, pondasi berukuran besar



			dan pekerjaan besar lainnya.
5	Tipe V	Memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat	Dipakai pada saluran dan struktur yang diekspos terhadap sulfat. Berhubungan dengan air laut, air buangan industri, dan bangunan yang terkena gas atau uap.

(Standar Industri di Amerika (ASTM) maupun di Indonesia (SNI))

2.2.3 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun hasil buatan. Komposisi agregat tersebut berkisar 60-70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi tetapi karena komposisinya yang cukup besar, mengakibatkan agregat sangat penting untuk campuran beton. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar.

Untuk menghasilkan beton dengan kekompakan yang baik, diperlukan gradasi agregat yang baik. Penggunaan bahan batuan dalam adukan beton berfungsi:

- Menghemat penggunaan semen portland.
- Menghasilkan kekuatan yang besar pada betonnya.
- Mengurangi susut pengerasan.
- Mencapai susunan pampat beton dengan gradasi beton yang baik.
- Mengontrol *workability* adukan beton dengan gradasi bahan batuan baik

Agregat biasanya tidak ditempatkan pada ruang tertutup tetapi diletakkan di udara terbuka. Ada persyaratan yang harus dipenuhi dalam penyimpanan agregat ini, antara lain :

- Pengawasan agregat harus dimulai dari saat kedatangannya sampai dengan pengembalian kembali.
- Agregat harus ditimbun di atas bak-bak berlantai jika volumenya di bawah 10 m³. Jika volumenya besar, sebaiknya dibuatkan landasan menggunakan *land concrete* campuran 1 : 3 : 5 untuk menghindari tercampurnya tanah dengan agregat pada saat pengambilan.



- 3) Jika agregat yang ditimbun dalam keadaan kering terutama untuk agregat yang ditimbun di *stock field* sebaiknya agregat disiam menggunakan *sprinkle* (sling air).
- 4) Agregat diuji secara berkala sebelum digunakan sebagai kontrol kualitas bahan.

Agregat yang digunakan pada campuran beton bila dilihat dari sumbernya digolongkan menjadi dua yaitu: agregat alam dan agregat buatan. Contoh agregat yang berasal dari alam adalah pasir alami dan kerikil, sedangkan untuk agregat buatan adalah agregat yang berasal dari pecahan genteng, pecahan beton, residu terak tanur tinggi dll. Secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

2.2.3.1 Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus adalah batuan yang ukuran butirnya lebih kecil dari 4,75 (standar ASTM) dan 4.80 mm (*British Standard*). Agregat halus yang memiliki agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm (**SNI 02-6820-2002**). Agregat halus ini yang didapat dari hasil disintegrasi (penghancuran) batuan lam (*natural sand*) atau dapat juga dengan memecahkannya tergantung dari kondisi pembentukan terjadinya.

Agregat halus pada umumnya terdiri dari pasir atau partikel yang lewat saringan No. 4. Agar diperoleh mutu beton yang baik, pasir yang akan digunakan harus memenuhi beberapa kriteria tertentu. Pasir harus terdiri dari butiran tajam, keras dan bersifat kekal. Selain itu pasir tidak boleh mengandung banyak lumpur dan bahan-bahan organik karena dapat mengurangi kekuatan beton.

Pasir di dalam campuran beton sangat menentukan kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*), dan tingkat keawetan (*durability*) dari beton yang dihasilkan. Untuk memperoleh hasil beton yang seragam, mutu pasir harus benar-benar dikendalikan. Oleh karena itu, pasir sebagai agregat halus harus benar-benar memenuhi gradasi dan persyaratan yang ditentukan.

Kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar. Pasir yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut (**SK-SNI-T-15-1990-03**):



- Pasir harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras. Hal ini dikarenakan dengan adanya bentuk pasir yang tajam, maka kaitan antar agregat akan lebih baik, sedangkan sifat keras untuk menghasilkan beton yang keras pula.
- Butirnya harus bersifat kekal. Sifat kekal ini berarti pasir tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca, sehingga beton yang dihasilkan juga tahan terhadap pengaruh cuaca.
- Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering pasir, lumpur yang ada akan menghalangi ikatan antara pasir dan pasta semen, jika konsentrasi lumpur tinggi maka beton yang dihasilkan akan berkualitas rendah.
- Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.
- Gradasinya harus memenuhi syarat seperti Tabel 2.5 berikut ini:

Tabel 2.4 Batas Gradasi Agregat Halus

Presentase Lolos				
Lubang Ayakan (mm)	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	90 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	13 – 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 : *British Standard*,1982)

Keterangan :

- Daerah Gradasi I = Pasir Kasar
- Daerah Gradasi II = Pasir Agak Kasar
- Daerah Gradasi III = Pasir Halus
- Daerah Gradasi IV = Pasir Agak Halus

Pasir alam digolongkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu ::

1) Pasir galian.

Pasir ini diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali. Bentuk pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam walaupun biasanya harus dibersihkan dari kotoran tanah dengan jalan dicuci terlebih dahulu.



2) Pasir sungai.

Pasir ini diperoleh langsung dari dasar sungai, yang pada umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan. Daya lekatan antar butiran agak kurang karena bentuk butiran yang bulat.

3) Pasir laut.

Pasir laut adalah pasir yang diambil dari pantai. Butir-butirnya halus dan bulat karena gesekan. Pasir ini merupakan pasir yang jelek karena mengandung banyak garam. Garam ini menyerap kandungan air dari udara dan mengakibatkan pasir selalu agak basah serta menyebabkan pengembangan volume bila dipakai pada bangunan. Selain dari garam ini mengakibatkan korosi terhadap struktur beton, oleh karena itu pasir laut sebaiknya tidak dipakai.

Tabel 2.5 Batas Syarat Mutu Agregat Halus

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persen Lolos Kumulatif
9,5	100
4,75	95 – 100
2,36	80 – 100
1,18	50 – 85
0,6	25 – 60
0,3	10 – 30
0,15	2 - 10

(Menurut : ASTM C-33-1995)

2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kuat Tekan

Beberapa faktor yang mempengaruhi mutu dari kekuatan mortar tersebut, yaitu

- Faktor Air semen
- Umur Mortar
- Perawatan Mortar
- Sifat-Sifat Mortar
- Pengaruh Air Laut Terhadap Mortar

2.3.1 Faktor Air Semen

Faktor air semen adalah perbandingan berat air dan berat semen yg digunakan dalam adukan beton. Faktor air semen yang tinggi dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang rendah dan semakin rendah faktor air semen kuat tekan beton semakin tinggi. Namun demikian, nilai faktor air semen yang



semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton maupun mortar semakin tinggi.

Nilai faktor air semen yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Oleh sebab itu ada suatu nilai faktor air semen optimum yang menghasilkan kuat desak maksimum. Umumnya nilai faktor air semen minimum untuk beton maupun mortar normal sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 dan dapat dihitung berdasarkan nilai perbandingan antara berat air dan berat semen portland pada campuran adukan.

Semen portland akan terus bereaksi dengan air saat pengikatan terjadi. Setelah 4 jam pada temperatur kamar, 30% – 40%, semen biasanya mengalami proses hidrasi (Mulyono,2004).Pembentukan lapisan penutup dengan bertambahnya kepadatan dan ketebalan yang melapisi partikelnya, terjadinya perubahan kepadatan beton dari umur 7 – 90 hari beton semakin dengan agregat dan air.

2.3.2 Umur Mortar

Kekuatan beton maupun mortar akan terus bertambah dengan naiknya umur mortar tersebut. Kekuatan mortar akan naik secara cepat (linier) sampai umur 28 hari, lalu setelah itu kenaikannya akan menjadi relatif lebih kecil (Mulyono,2004), Kecepatan bertambahnya kekuatan mortar tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain : semen portland, faktor air semen, suhu perawatan dan faktor lain yang mempengaruhi kuat tekan.

Semakin tinggi faktor air semen semakin lambat kenaikan beton maupun mortar, dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan beton maupun mortar. Untuk struktur bangunan yang ingin kekuatan awal tinggi , maka perlu adanya campuran yang dikombinasikan dengan semen khusus atau ditambah bahan kimia.

2.3.3 Perawatan Mortar

Perawatan ini dilakukan setelah mortar mencapai *final setting*, artinya mortar telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Pelaksanaan *curing*/perawatan beton dilakukan segera setelah mortar mengalami atau memasuki fase hardening (untuk permukaan mortar yang terbuka) atau setelah pembukaan cetakan/acuan/bekisting, selama durasi tertentu yang dimaksudkan untuk memastikan terjaganya kondisi yang diperlukan untuk proses reaksi senyawa kimia yang terkandung dalam campuran mortar.Cara dan bahan serta alat yang digunakan untuk perawatan akan menentukan sifat dari beton keras yang



dibuat, terutama dari sisi kekuatannya. Waktu-waktu yang dibutuhkan harus terjadwal sesuai dengan perawatan mortar.

Perawatan dilakukan minimal selama 7 (tujuh) hari dan mortar berkekuatan awal tinggi minimal 3 (tiga) hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat. Fungsi utama dari perawatan mortar adalah sebagai berikut :

- a. Kehilangan air- semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete*
- b. Kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama
- c. Perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar

Untuk menjaga agar proses hidrasi mortar dapat berlangsung dengan sempurna maka di perlukan *curing* untuk menjaga kelembabannya. *Curing* dapat dilakukan dengan berbagai macam cara antara lain :

- a. Menyemprotkan dengan lapisan khusus (semacam Vaseline) pada permukaan.
- b. Memasahi secara terus menerus permukaan dengan air. Setelah proses *curing*, di lakukan pengurugan tanah kembali lapis demi lapis.

2.3.3.1 Perawatan Dengan Pembasahan

Perawatan dengan contoh benda uji laboratorium dan lapangan dilakukan beberapa cara yaitu :

- a. Menaruh beton segar dalam ruangan yang lembab.
- b. Menaruh beton segar dalam genangan air.
- c. Menaruh beton segar dalam air.

Perawatan beton di lapangan yang permukannya mendatar :

- a. Menyelimuti permukaan beton dengan air.
- b. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah.
- c. Menyirami permukaan beton secara kontinyu.

Perawatan beton di lapangan yang permukannya vertikal :

- a. Menyirami permukaan beton secara kontinyu
- b. Melapisi permukaan beton dengan air

2.3.3.2 Perawatan Dengan Penguapan/Steam

Perawatan dengan uap dapat dibagi menjadi dua, yaitu perawatan dengan tekanan rendah dan perawatan dengan tekanan tinggi. Perawatan tekanan rendah berlangsung selama 10-12 jam pada suhu 40°-55°C, sedangkan penguapan dengan suhu tinggi dilaksanakan selama 10-16 jam pada suhu 65°-95°C, dengan suhu akhir 40°-55°C. Sebelum perawatan dengan penguapan dilakukan, beton harus dipertahankan pada suhu 10°-30°C selama beberapa jam.



Perawatan dengan penguapan berguna pada daerah yang mempunyai musim dingin. Perawatan ini harus diikuti dengan perawatan dengan pembahasan setelah lebih dari 24 jam, minimal selama umur 7 hari, agar kekuatan tekan dapat tercapai sesuai dengan rencana pada umur 28 hari.

2.3.3.3 Perawatan Dengan Membran

Membran yang digunakan untuk perawatan merupakan penghalang fisik untuk menghalangi penguapan air. Bahan yang digunakan harus kering dalam waktu 4 jam (sesuai *final setting time*), dan membentuk selebar film yang kontinyu, melekat dan tidak bergabung, tidak beracun, tidak selip, bebas dari lubang-lubang halus dan tidak membahayakan beton.

Lembaran plastik atau lembaran lain yang kedap air dapat digunakan dengan sangat efisien. Perawatan dengan menggunakan membran sangat berguna untuk perawatan pada lapisan perkerasan beton (*rigid pavement*). Cara ini harus dilaksanakan sesegera mungkin setelah waktu pengikatan beton. Perawatan dengan cara ini dapat juga dilakukan setelah atau sebelum perawatan dengan pembahasan.

2.3.4 Sifat-Sifat Mortar

Pada standar ASTM C 91, SNI 03-6882-2002 diterangkan sifat mortar antara lain adalah :

a) Sifat mortar segar

Sifat mortar segar adalah sifat ketika mortar belum mengeras. Beberapa sifat mortar segar tersebut antara lain *workability* dan waktu ikat.

- *Workability*

Workability mortar dapat dilihat dari nilai *flow* yang dihasilkan oleh adukan tersebut. Salah satu unsur yang mempengaruhi kemudahan pengerjaan adalah jumlah air pencampur. Semakin banyak air semakin mudah dikerjakan.

Pengujian *flow* dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan adukan mortar. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan alat *flow table*.

- Waktu Ikat

Waktu ikat merupakan waktu yang dibutuhkan suatu adukan untuk mencapai kekuatan 500 psi. Untuk mengetahui waktu ikat suatu adukan mortar dilakukan dengan alat penetrometer. Alat tersebut ditusukkan kedalam adukan mortar segar sedalam 25 cm sampai mencapai 500 psi. Waktu yang dicapai untuk mendapatkan angka 500 psi itulah merupakan waktu ikat aduk mortar.



b) Sifat Mortar Keras

Sifat mortar keras merupakan sifat dimana mortar telah mengeras. Ada beberapa sifat mortar keras diantaranya penyerapan air dan kuat tekan.

- Penyerapan Air

Penyerapan air adalah prosentase berat air yang mampu diserap oleh agregat jika direndam oleh air (Sitorus,2009). Dalam adukan mortar, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta tersebut berfungsi sebagai pengisi rongga antar butiran-butiran agregat halus serta bersifat sebagai pengikat antara butiran-butiran agregat halus sehingga membentuk suatu massa yang padat.

Prosentase penyerapan air dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Penyerapan air (\%)} = \frac{mb - mk}{mk}$$

(sumber : Van Vlack yang dikutip oleh Sitorus,2009)

Dimana :

mb : Berat kering jenuh permukaan dari benda uji (gram)

mk : Berat kering oven dari benda uji (gram)

- Kuat Tekan

Kekuatan tekan mortar adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji mortar berbentuk kubus dengan ukuran tertentu dan umur tertentu (SNI 3-6825-2002). Kuat tekan mortar diwakili oleh kuat tekan maksimum dengan satuan MPa.

Kuat tekan mortar sangat dipengaruhi oleh proporsi campurannya. Disamping itu, air juga berpengaruh terhadap kuat tekan mortar. Semakin rendah faktor air semen, maka semakin tinggi kuat tekan yang akan dimilikinya. Namun, faktor air semen yang rendah menyebabkan *workability* menurun.

Kuat tekan mortar dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan mortar } \sigma_m = \frac{P_{maks}}{A}$$

(Sumber : SNI 3-6825-2002)

Dimana :

σ_m : Kekuatan tekan mortar, MPa

P_{maks} : Gaya tekan maksimum, N

A : Luas penampang benda uji, mm²



2.3.5 Pengaruh Air Laut Terhadap Mortar

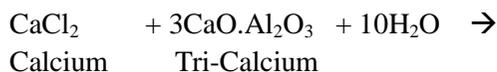
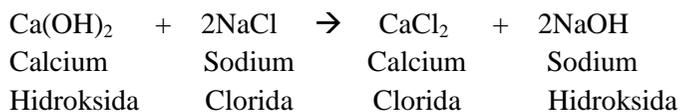
Air laut yang mengandung 30.000-36.000 mg garam per liter (3%-3,6%) (Mulyono,2004). Air laut tidak boleh digunakan untuk pembuatan beton pra tegang atau pra-tekan, karena batang-batang baja pra-tekan langsung berhubungan dengan betonnya. Air laut sebaiknya tidak digunakan untuk beton yang ditanami alumunium di dalamnya, beton yang memakai tulangan atau akan yang mudah mengalami korosi pada tulangannya akibat perubahan (temperatur) dan lingkungan yang lembab. Unsur unsur yang terkandung dalam air laut adalah :

Tabel 2.6 Unsur-Unsur Senyawa Yang Ada Pada Air Laut

Nama Senyawa	Rumus Kimia	Kandungan (ppm)
Clorida	Cl	19.000
Natrium	Na	10.600
Magnesium	Mg	1.270
Sulfur	S	880
Calium	Ca	400
Kalsium	K	380
Brom	Br	65
Carbon	C	28
Koromium	Cr	13
Boron	B	4,6

(Sumber : *Concrete Technology and Practice*, 1977)

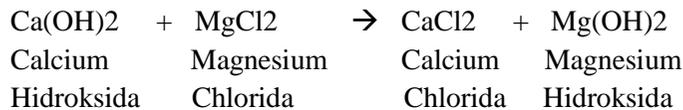
Dari tabel diatas menunjukkan bahwa kandungan terbesar di dalam air laut adalah Clorida (Cl). Clorida merupakan senyawa yang sangat berbahaya untuk beton. Proses serangan clorida pada beton dituliskan dalam reaksi kimia sebagai berikut (Moinul Islam dkk, 2010) :



(Calcium chloroaluminate)Garam Friedls



MgCl₂ setelah bereaksi dengan Ca(OH)₂ dari hidrat semen, membentuk calcium clorida yang akan larut lalu merembes dalam beton sebagai awal terjadinya kemunduran material menjadi lebih lunak; reaksi kimianya ditulis seperti di bawah ini (Mehta, 1986) :

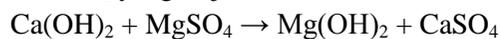


Proses terjadinya ettringite yang dapat mengakibatkan beton rusak dapat dijelaskan sebagai berikut:

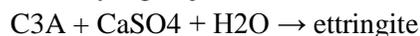
Proses hidrasi antara semen (C₃S dan C₂S) dengan air menjadi pasta semen (3CaO.2SiO₂.3H₂O disingkat CSH).



Ca(OH)₂ yang terjadi kemudian bereaksi dengan garam sulfat dari tanah atau laut



CaSO₄ yang terjadi bereaksi kembali dengan C₃A dari semen dan air → ettringite



Penampilan dari *ettringite* (calcium aluminat sulfat) yang mengembang biasanya dianggap sebagai serangan sulfat. *Ettringite* dan gypsum, keduanya menempati 20% dari besar volume kristal pori-pori beton, sehingga kristal tersebut akan menimbulkan tegangan di dalam beton. Clorida bereaksi dengan senyawa semen sehingga akan membentuk *ettringite-ettringite* yang akan mendesak keluar dari beton. Hal ini lah yang akan mengakibatkan mortar mengembang dan pecah. Pecahan dari mortar kemudian akan menjadi sedimen dan *leaching*. Kandungan clorida (Cl) yang begitu tinggi pada air laut merupakan garam yang bersifat agresif terhadap bahan lain, termasuk mortar. Kerusakan dapat terjadi pada mortar akibat reaksi antara air laut yang agresif yang masuk ke dalam mortar dengan senyawa-senyawa di dalam mortar yang mengakibatkan mortar kehilangan sebagian massa, kehilangan kekuatan dan kekakuannya serta mempercepat proses pelapukan. Kekuatan awal mortar meningkat tetapi untuk kekuatan akhirnya menurun dan konsentrasi sulfat pada air laut juga bisa menyebabkan kerusakan pada pasta.



Selain reaksi kimia, kristalisasi garam dalam rongga mortar dapat mengakibatkan kehancuran akibat tekanan kristalisasi tadi. Karena kristalisasi terjadi pada titik penguapan air, bentuk serangan terjadi di dalam mortar di atas permukaan air. Garam naik di dalam beton dengan aksi kapiler, jadi serangan terjadi hanya jika air dapat terserap dalam beton.

Disetiap tempat terdapat perbedaan kandungan garam laut yang dibagi menjadi tiga yaitu :

Tabel 2.7 Kandungan Garam Laut

Tingkat Kadar Garam	Mg garam / liter
Rendah	1000 – 5000
Sedang	2000 – 10000
Tinggi	20000 – 30000

(Sumber : Teknologi Beton Mulyono,2004)

Dari hasil tabel diatas untuk tingkat kadar garam tertinggi terdapat di daerah pinggir pantai. Pada bangunan tepi pantai, beton akan bersinggungan dengan air garam yang mengandung NaCl yang dapat meresap ke dalam beton sehingga dapat merusak dan bahkan menghancurkan mortar. Kerusakan mortar terjadi ketika NaCl tersebut menguap sehingga di dalam pori-pori beton timbul kristal - kristal yang akan mendesak pori-pori dinding beton. Akibatnya mortar pecah menjadi serpihan-serpihan lepas.

Oleh karena itu untuk mengurangi kerugian karena pengaruh air laut terhadap beton, seringkali digunakan beton mutu tinggi. Hal ini dimaksudkan agar penetrasi air laut ke dalam beton menjadi semakin sulit karena tingkat kepadatan beton yang tinggi. Sehingga kekuatan beton yang berada di lingkungan laut tidak mengalami perubahan.

2.4 Bahan Tambahan Mineral (*Additive*)

Bahan tambah adalah bahan selain unsur pokok beton (air , semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton. Penambahan bahan tambah dalam sebuah campuran beton tidak mengubah komposisi yang besar dari bahan lainnya, karena penggunaan bahan tambah ini cenderung merupakan pengganti atau susbtitusi dari dalam campuran beton itu sendiri. Karena tujuannya memperbaiki atau mengubah sifat dan karakteristik tertentu dari beton yang akan dihasilkan, maka kecenderungan perubahan komposisi dalam berat-volume tidak terasa secara langsung dibandingkan dengan komposisi awal beton tanpa bahan tambah. Selain itu penambahan additive ini bisa menghemat biaya pembelian material yang ingin di ganti atau di susbtitusikan.



Beberapa keuntungan penggunaan bahan tambah mineral (additive) antara lain (Cain , 1994) :

- Memperbaiki kinerja *workability*.
- Mengurangi panas hidrasi dan biaya pekerjaan beton.
- Mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat.
- Mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika.
- Mempertinggi usia beton.
- Mengurangi penyusutan.
- Mempertinggi kekuatan tekan beton.
- Mengurangi penyusutan.
- Mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton.

Pada bahan tambah mineral digunakan untuk memperbaiki kinerja dari tekan beton, sehingga cenderung bersifat penyemenan. Ada beberapa bahan tambah mineral ini adalah sebagai berikut

a. Pozzolan

Material *pozzolan* adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan Alumina dimana bahan pozzolan itu sendiri tidak mempunyai sifat seperti semen, akan tetapi dengan bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi secara kimiawi dengan kalsium hidroksida (senyawa hasil reaksi antara semen dan air) pada suhu kamar membentuk senyawa kalsium aluminat hidrat yang mempunyai sifat seperti semen. Standar mutu pozzolan dibedakan menjadi tiga kelas (ASTM C 618-86) :

1. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran pozzolan alam, yang dapat digolongkan ke dalam jenis seperti: tanah diatomic, opaline cherts, shales, tuff dan abu terbang vulkanik atau punicite. Semuanya bisa diproses melalui pembakaran atau tanpa pembakaran

2. Kelas C

Fly ash mengandung CaO diatas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub bitumen batu bara.

3. Kelas F

Fly ash mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara.

Dilihat dari proses pembentukannya, bahan pozzolan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu : pozzolan buatan dan pozzolan alam.



- a) Pozzolan alam adalah bahan alam yang merupakan timbunan-timbunan atau bahan sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung silika aktif dan bila dicampur dengan kapur padam akan terjadi proses sedimentasi. Salah satu contoh pozzolan alam adalah batu apung.
- b) Pozzolan buatan berasal dari tungku maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika reaktif melalui proses pembakaran, seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam (*rice huck ash*) dan mikro silika (*silica fume*).

b. Abu terbang (Fly ash)

Abu terbang (Fly ash) di definisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batubara (ASTM,1995). Fly ash dibedakan menjadi dua, yaitu abu terbang yang normal yang dihasilkan oleh batubara antrasit dan abu kelas C yang dihasilkan dari batubara jenis lignite atau subbitumeus. Komponen utama fly ash batu bara murni adalah silika (SiO_2) + Oksida alumina (Al_2O_3) + oksida besi (Fe_2O_3) 50-70%, trioksida sulfur (SO_3) 5 %, kadar air 3 %, kehilangan panas 6 % (Mulyono,2004).

Kelebihan dari abu terbang (fly ash) ini adalah meningkatkan ketahanan beton terhadap oksidasi akibat lingkungan yang bersifat asam (utamanya daerah rawa), dapat menurunkan panas hidrasi yang terjadi dan relatif menghemat biaya pemakaian semen. Kekurangan dari proses ini adalah pengerasan dan penambahan kekuatan betonnya sedikit melambat karena terjadinya reaksi pozzollon, pengendalian mutu harus sering dilakukan karena mutu abu terbang sangat bergantung pada proses pembakaran.

c. Copper Slag

Copper slag (terak tembaga) adalah hasil limbah industri peleburan tembaga, berbentuk pipih dan runcing (tajam) dan sebagian besar mengandung oksida besi dan silikat serta mempunyai sifat kimia yang stabil dan sifat fisik yang sama dengan pasir. Oleh karena itu, *copper slag* lebih banyak digunakan sebagai pengganti agregat halus. Tetapi juga bisa dimanfaatkan untuk pengganti semen tetapi materialnya harus dihaluskan dulu hampir seperti semen agar didapat hasil optimum.

Slag adalah produk non-metal yang merupakan material berbentuk halus, granular hasil pembakaran yang kemudian didinginkan misalnya dicelupkan dengan air (ASTM,1995). Kandungan kimia dari *Copper slag*



adalah silica (SiO_2) 30-36 % , alumunium oksida (Al_2O_3) 3-6 % , kalsium oksida (CaO) 2-7 % dan besi oksida (FeO) 45-55 % (**Kadhafi M. , 2015**).

Keuntungan menggunakan *copper slag* adalah mempertinggi kekuatan tekan beton karena kecenderungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan, menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan beton ,memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton. Kelemahan menggunakan *copper slag* adalah beton yang dihasilkan berwarna kehitam-hitaman dan untuk mendapatkan barang ini sangat sulit karena masih minimnya produksi di berbagai daerah.

d. Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*)

Abu sekam padi merupakan suatu material yang merupakan limbah dari hasil pengolahan padi menjadi beras pada pabrik penggilingan padi, yang tidak digunakan untuk proses lanjutan, sehingga abu sekam padi tersebut merupakan limbah yang tidak mengalami pengolahan kembali. . Sekam padi yang dihasilkan dari proses penggilingan sebesar 20% dari produksi padi, sedangkan jumlah abu sekam mencapai 18 % dari jumlah sekam (**Folletto, 2006**).

Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50% selulosa, 25–30% lignin, dan 15–20% silika (**Ismail and Waliuddin,1996**) Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis yang terdiri dari dua belahan yang disebut *lemma* dan *palea* yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Pada proses pembakaran akibat panas yang terjadi akan menghasilkan perubahan struktur silika yang berpengaruh pada dua hal yaitu tingkat aktivitas pozzolan dan kehalusan butiran abu.

Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi pada suhu 400-500°C akan menjadi silika amorphous dan pada suhu lebih besar dari 1.000°C akan menjadi silika kristalin. Silika amorphous yang dihasilkan dari abu sekam padi diduga sebagai sumber penting untuk menghasilkan silikon murni, karbid silikon, dan tepung *nitrid silicon*.



Tabel 2.8 Komposisi Abu Sekam Padi

Nama Senyawa	Rumus Kimia	Presentase %
Silikon Dioksida	SiO ₂	94,4
Alumunium Oksida	Al ₂ O ₃	0,61
Besi Oksida	Fe ₂ O ₃	0,03
Kalsium Oksida	CaO	0,83
Magnesium Oksida	MgO	1,21
Kalium Oksida	K ₂ O	1,06
Natrium Diaoksida	Na ₂ O	0,77
Sulfur Trioksida	SO ₃	-

(Sumber : *Material Research*, 2006)

Pada penelitian ini penulis memilih menggunakan bahan tambah mineral (*additive*) pozzolan buatan Silica Fume yang diperoleh dari hasil kerjasama penelitian dengan PT SIKI INDONESIA .

2.4.1 Silica Fume

Silica fume adalah material pozzollan yang halus dimana komposisi silika lebih banyak yang dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau alloy besi silikon (dikenal sebagai gabungan antara microsilika dengan silika fume) (ASTM,1995). Silica fume merupakan bahan pengisi (filler) dalam beton yang mengandung kadar silika yang tinggi. Kandungan SiO₂ mencapai lebih dari 90%. Ukuran butir silika yang sangat halus berkisar antara 0,1-1 mikron, lebih kecil dibandingkan butiran semen yang berkisar antara 5-50 mikron. Jika ditambahkan pada adukan beton, maka silika akan mengisi rongga-rongga diantara butiran semen sehingga beton akan menjadi lebih kompak dan padat.

Selain itu juga silika akan bereaksi dengan C₃S dan C₂S dalam semen dan menghasilkan gel CSH₂ yang akan membentuk suatu ikatan gel yang kuat dan padat di dalam beton. Selanjutnya, reduksi kalsium hidroksida (CaOH) oleh SiO₂ akan mengurangi unsur pembentuk etteringite sehingga mengurangi sensitivitas beton terhadap serangan sulfat. Karenanya beton tidak mudah ditembus air serta tidak mudah mengalami korosi.



Komposisi kimia dan fisika dari silica fume dapat dilihat pada Tabel 2.9

Tabel 2.9 Komposisi Kimia Silica Fume

Nama Senyawa	Rumus Kimia	Presentase %
Silikon Dioksida	SiO ₂	92-94
Karbon	C	0,61
Besi Oksida	Fe ₂ O ₃	0,10 – 0,50
Kalsium Oksida	CaO	0,10 – 0,15
Alumunium Oksida	Al ₂ O ₃	0,20 – 0,40
Mangan (II) Oksida	MnO	0,008
Magnesium Oksida	MgO	0,10 – 0,20
Kalium Oksida	K ₂ O	0,10
Natrium Diaoksida	Na ₂ O	0,10

Tabel 2.10 Komposisi Fisika Silica Fume

Fisika	Presentase %
Berat Jenis	2,02
Rata-rata ukuran partikel (Makron)	0,1
Lolos ayakan no. 325 dalam %	99,00
Keasaman PH (10% air dalam <i>slurry</i>)	7,3

(Sumber: Yogendran., et al., ACI Material Journal, Maret/April, 1987:125)

Kandungan silica yang tinggi ini bisa menjadikan pengganti semen sehingga menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi pula. Beton dengan kekuatan tinggi biasanya untuk struktur kolom atau dinding geser, pre-cast atau pra-tegang dan beberapa keperluan lain. Kriteria beton mutu tinggi ini sekitar 50-70 Mpa untuk umur 28 hari.

Karena secara harga *silica fume* masih mahal, maka pada umumnya penggunaan *silica fume* hanya sekitar 3%-10% dari berat semen dalam adukan beton. Penggunaan silica fume berkisar 0-30 % untuk memperbaiki karakteristik kekuatan dan keawetan beton dengan faktor air semen sebesar 0.34 dan 0.28 dengan atau tanpa bahan superplastizer dan nilai slump 50 mm (*Yogedran, et al, 1987*).

Sifat kimia dari silica fume merupakan material yang bersifat pozzollonic. Dalam penggunaannya, silica fume berfungsi sebagai pengganti sebagian dari jumlah semen dalam campuran beton, yaitu sebanyak 5%-15% dari total berat semen. Kandungan SiO₂ dalam silica fume akan bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen pada saat proses pembentukan senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) yang berpengaruh dalam proses pengerasan semen.



Sifat-sifat fisik dari *silica fume* adalah sebagai berikut :

- a. Warna: bervariasi mulai dari abu-abu sampai abu-abu gelap.
- b. *Spesifik gravity*: 2,0-2,5.
- c. *Bulk density*: 250-300 kg/m³.
- d. Ukuran: 0,1-1,0 mikron (1/100 ukuran partikel semen).

Keunggulan-keunggulan penggunaan *silica fume* dalam beton adalah sebagai berikut:

- a. Meningkatkan kuat tekan beton;
- b. Meningkatkan kuat lentur beton;
- c. Memperbesar modulus elastisitas beton;
- d. Mengecilkan regangan beton;
- e. Meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan unsur kimia;
- f. Mencegah reaksi alkali silika dalam beton;
- g. Meningkatkan kepadatan (density) beton;
- h. Meningkatkan ketahanan terhadap abrasi dan korosi;
- i. Menyebabkan temperatur beton menjadi lebih rendah sehingga mencegah terjadinya retak pada beton.

Kendala-kendala dalam penggunaan *silica fume* sebagai campuran beton adalah sebagai berikut:

- a. *Silica fume* merupakan material yang sangat lembut sehingga mudah terbawa oleh angin. Hal ini menyebabkan kesulitan dalam pelaksanaan loading, pengangkutan, penyimpanan dan pencampuran.
- b. Terhirupnya partikel halus *silica fume* dapat mengganggu saluran pernafasan



2.5 Penelitian terdahulu

Adapun tugas akhir ini di dasari oleh hasil dari dua penelitian yang terdahulu yaitu :

1. APLIKASI METODE *ANALYSIS OF VARIANCE* (ANOVA) UNTUK MENGKAJI PENGARUH PENAMBAHAN SILICA FUME TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK MORTAR Jauhar (Fajrin, Pathurahman, Lalu Gita Pratama 2016)

Percobaan penelitian ini membahas tentang bahan pengganti semen dengan menggunakan silica fume dengan tujuan mengetahui mortar menjadi lebih kedap air, pengujian pH mortar dan kemampuan maksimal kuat tekan mortar dengan menggunakan metode *analysis of variance* (ANOVA). Perbandingan prosentase proporsisi semen terhadap *silica fume* 0% , 3%, 5%, 7% dan 10% dengan jumlah benda uji 25 benda uji. Ukuran benda uji 50 x 50 x 50 mm dengan perawatan mortar direndam air laut selama 28 hari. Kesimpulan yang diperoleh adalah :

- Terjadi penurunan daya serap air sebesar 18,335% ketika mortar diberi tambahan silica fume sebesar 3% dari berat semen. Selanjutnya terjadi penurunan secara konstan sebesar 22,716%, 33,234% dan 35,202% ketika ditambahkan silica fume sebesar 5, 7 dan 10%. Dari hasil ANOVA diperoleh nilai F tabel ($F_{0.05,4,10}$) sebesar 3,48. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai F hitung (90,70), maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan diantara nilai rata-rata perlakuan.
- Adapun persentase penurunan pH akibat adanya penambahan silica fume dari setiap variabel terhadap M0 secara berturut-turut sebesar 0,004%, 0,009% , 0,015 % dan 0,024%. Penurunan ini sekilas terlihat tidak terlalu signifikan. Tetapi hasil ANOVA menunjukkan bahwa nilai F0 atau F hitung (16,724) lebih besar dibandingkan dengan nilai F tabel ($F_{0.05,4,10}$) sebesar 3,48 yang mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai rata-rata level faktor atau variabel penelitian.



- Untuk sifat mekanik,. Rata-rata kuat tekan mortar normal tanpa campuran silica fume adalah 39,97 Mpa. Sementara kuat tekan rata-rata mortar dengan campuran silica fume secara berturut–turut adalah 40,41 MPa, 42,33 MPa, 43,25 MPa dan 45,10 MPa untuk variabel 1 sampai 4. Peningkatan kuat tekan yang terjadi berturut-turut adalah sebesar 1,10%, 5,90%, 8,20%, dan 12,84 % untuk variabel 1 sampai 4. Nilai F hitung (7,68) lebih besar dari nilai F tabel (2,87) yang bermakna bahwa hipotesis nol harus ditolak dan menerima hipotesis alternatifnya yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan diantara variabel-variabel penelitian yang diteliti. Secara teknis hal ini berarti

2. STUDI KEKUATAN BETON YANG MENGGUNAKAN AIR LAUT SEBAGAI AIR PENCAMPUR PADA DAERAH PASANG SURUT (M. Wihardi Tjaronge, Rita Irmawaty)

Percobaan penelitian ini membahas tentang perawatan beton dan bahan campuran beton menggunakan air laut. *Curing* yang dilakukan menggunakan dua metode yaitu dengan *wet curing* dan *wet and dry curing*. Pengujian yang dilakukan antara lain : pengaruh kuat tekan beton, modulus elastisitas. Untuk perawatan beton selama umur 3 , 14, 28, dan 91 hari. Jumlah benda uji 24 buah.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a) nilai kuat tekan yang dihasilkan pada beton air laut dengan *curing* basah air laut, menunjukkan nilai kuat tekan yang sama dengan beton air tawar dengan *curing* basah air tawar. Peningkatan kuat tekannya sebesar 0,9% dari kuat tekan beton air tawar umur 28 hari.
- b) pada pengujian kuat tekan beton air laut dan air tawar dengan *curing* kering-basah air laut. Nilai kuat tekan pada beton air laut menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton air tawar. Peningkatan kuat tekannya sebesar 2,75% dari kuat tekanbeton air tawar dengan perawatan sama.
- c) Padabeton dengan *curing* basah, menunjukkan nilaikuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton dengan *curing* kering-basah (daerah pasang surut) menggunakan air laut. Penurunan kuat tekan beton air laut mencapai 4,09% dan kuat tekan beton air tawar mencapai 6,73% dari beton biasa.
- d) Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka sebaiknya dilakukan perawatan (*curing*) yang lebih lama, mengingat pengaruh



air laut terhadap beton terjadi secara perlahan-lahan dengan jangka waktu yang panjang.

- e) Selain itu perlu perbandingan antara beton dengan menggunakan semen yang berbeda untuk mengetahui karakteristik berbagai jenis semen terhadap serangan air laut. Hal ini dimaksudkan agar dapat diketahui jenis semen yang paling tahan terhadap air laut.