

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. BETON

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture atau additive*). Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen gabungan (*bahan-bahan penyusun beton*), kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen.

Nawy (1985:8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. Dengan demikian, masing-masing komponen tersebut perlu dipelajari sebelum mempelajari beton secara keseluruhan. Perencana (*engineer*) dapat diperoleh beton yang efisien, memenuhi kekuatan batas yang diisyaratkan oleh perencana dan memenuhi persyaratan *serviceability* yang dapat diartikan juga sebagai pelayanan yang handal dengan memenuhi kriteria ekonomi.

Dalam usaha untuk memahami karakteristik bahan penyusun campuran beton sebagai dasar perancangan beton, Departemen Pekerjaan Umum melalui LPMB banyak mempublikasikan standar-standar yang berlaku. DPU-LPMB memberikan definisi tentang beton sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk massa padat (SK.SNI T-15-1990-03:1).

Beton yang digunakan sebagai struktur dalam konstruksi teknik sipil, dapat dimanfaatkan untuk banyak hal. Dalam teknik sipil, struktur beton digunakan untuk bangunan pondasi, kolom, balok, pelat atau pelat cangkang. Dalam teknik sipil hidro, beton digunakan untuk bangunan air seperti bendung, bendungan, saluran, dan drainase perkotaan. Beton juga digunakan dalam teknik sipil transportasi untuk pekerjaan *rigid pavement* (lapis keras permukaan kaku), saluran samping, gorong-gorong, dan lainnya. Jadi, beton hampir digunakan dalam semua aspek ilmu teknik sipil. Artinya, semua struktur dalam teknik sipil akan menggunakan beton, minimal dalam pekerjaan pondasi.

Struktur beton dapat didefinisikan sebagai bangunan beton yang terletak di atas tanah yang menggunakan tulangan atau tidak menggunakan tulangan (AC 318-89,1990:1-1). Struktur beton sangat dipengaruhi oleh komposisi dan kualitas bahan-bahan pencampur beton, yang dibatasi oleh kemampuan daya tekan beton (*in a state of compression*) seperti yang tercantum dalam perencanaannya. Hal tersebut bergantung juga pada kemampuan daya dukung tanah (*supported by soil*), kemampuan struktur yang lain atau kemampuan struktur atasnya (*vertical support*).

Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah :

1. Kualitas semen;
2. Proporsi semen terhadap campuran;
3. Kekuatan dan kebersihan agregat;
4. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat;
5. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton;

6. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pembentuk beton;
7. Perawatan beton dan;
8. Kandungan klorida tidak melebihi 0.15% dalam beton yang dieskpos dan 1% bagi beton yang tidak dieskpos (Nawy, 1985:24).

Dalam keadaan yang mengeras, beton bagaikan batu karang dengan kekuatan tinggi. Dalam keadaan segar, beton dapat diberi bermacam bentuk, sehingga dapat digunakan untuk membentuk seni arsitektur atau semata-mata untuk tujuan dekoratif. Beton juga akan memberikan hasil akhir yang bagus jika pengolahan akhir dilakukan dengan cara khusus, umpamanya dieskpos agregatnya (agregat yang mempunyai bentuk yang bertekstur seni tinggi diletakkan dibagian luar, sehingga nampak jelas pada permukaan betonnya). Selain tahan terhadap serangan api seperti, yang telah disebutkan diatas, beton juga tahan terhadap serangan korosi.

Secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah :

- a. Kelebihan :
 1. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi;
 2. Mampu memikul beban yang berat;
 3. Tahan terhadap temperatur yang tinggi;
 4. Biaya pemeliharaan yang kecil.

b. Kekurangan :

1. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah;
2. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi;
3. Berat;
4. Daya pantul suara yang besar.

Sebagian besar bahan pembuat beton adalah bahan lokal (kecuali semen portland atau bahan tambah kimia), sehingga sangat menguntungkan secara ekonomi. Namun, pembuat beton akan menjadi mahal jika perencana tidak memahami karakteristik bahan-bahan penyusun beton yang harus disesuaikan dengan perilaku struktur yang akan dibuat.

Nilai kuat tekan beton dengan kuat tariknya tidak berbanding lurus. Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai oleh peningkatan yang kecil dari kuat tariknya. Menurut perkiraan kasar, nilai kuat tarik berkisar antara 9% - 15% kuat tekannya. Nilai pastinya sulit diukur, pendekatan hitungan biasanya dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture* yaitu tegangan tarik beton yang muncul pada saat pengujian tekan beton normal (*normal concrete*).

Kecilnya kuat tarik beton ini merupakan salah satu kelemahan dari beton biasa. Untuk mengatasinya, beton dikombinasikan dengan tulangan beton dimana baja biasa digunakan sebagai tulangannya. Alasan penggunaan baja sebagai tulangan beton adalah koefisien baja hampir sama dengan koefisien beton. Beton tersebut didefinisikan sebagai beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah yang tidak kurang dari jumlah minimum yang diisyaratkan dalam pedoman perencaan, dengan atau tanpa pratekan, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja sama dalam menahan gaya yang bekerja (SKBI.1.4.53 1989:4).

Beton dapat juga dicampur dengan bahan lain seperti *composite* atau bahan lain sesuai dengan perilaku yang akan diberikan terhadap beton tersebut, misalnya beton pra-tekan atau beton pra-tegang (*pre-stressing*), beton pra-cetak (*precast*). Beton juga dapat digunakan untuk struktur yang memerlukan bahan struktur yang ringan, misalnya beton ringan struktural (SKBI 1.4.53, 1989:5) yaitu beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai massa kering udara yang sesuai dengan syarat seperti yang ditentukan oleh “*Testing Method for Unit Weight of Structural Lightweight Concrete*” (ASTM C-567) beratnya tidak lebih dari 1900 kg/m³.

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naiknya secara cepat (linier) sampai umur 28 hari. Tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Kekuatan tekan beton pada kasus-kasus tertentu terus akan bertambah sampai beberapa tahun dimuka. Biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung pada umur 28 hari. Untuk struktur yang menghendaki kekuatan awal tinggi, maka campuran dikombinasikan dengan semen khusus atau ditambah dengan bahan tambah kimia dengan tetap menggunakan jenis semen tipe I. Laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja tekannya.

Ada 4 (empat) bagian utama yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton tersebut :

1. Proporsi bahan-bahan penyusunnya;
2. Metode perancangan;
3. Perawatan;

4. Keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat.

2.2 AGREGAT

Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Berdasarkan pengalaman, komposisi agregat tersebut berkisar antara 60% - 70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat ini pun menjadi penting. Karena itu perlu dipelajari karakteristik agregat yang akan menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan.

Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*). beton yang memakai agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m³ kondisi kering permukaan jenuh dan harus memenuhi persyaratan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural. Secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Batasan antara agregat halus dan agregat kasar berbeda antara disiplin ilmu yang satu dengan yang lainnya. Meskipun demikian, dapat diberikan batasan ukuran antara agregat halus dengan agregat kasar yaitu 4.80 mm (*british standard*) atau 4.75 mm (*standar ATM*). Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4.80 mm (4.75 mm) agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4.80 mm (4.75 mm). Agregat dengan ukuran lebih besar dari 4.80

mm dibagi lagi menjadi 2 (dua) : yang berdiameter antara 4.80 – 40 mm disebut kerikil beton dan yang lebih dari 40 mm disebut kerikil kasar.

Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm. Agregat yang ukurannya lebih besar dari 40 mm digunakan untuk pekerjaan sipil lainnya, misalnya untuk pekerjaan jalan, tanggul-tanggul penahan tanah, beronjong, atau bendungan, dan lainnya. Agregat halus biasanya dinamakan pasir dan agregat kasar dinamakan kerikil, split, batu pecah, kricak, dan lainnya.

Jika dilihat dari sumbernya, agregat dapat dibedakan menjadi 2 (dua) golongan yaitu agregat yang berasal dari alam dan agregat buatan (*artificial aggregates*). Contoh agregat yang berasal dari sumber alam adalah pasir alami dan kerikil, sedangkan contoh agregat buatan adalah agregat yang berasal dari stone crusher, hasil residu terak tanur tinggi (*blast furnance slag*), pecahan genteng, pecahan beton, *fly ash* dari residu PLTU, *extended shale*, *expanded slag* dan lainnya.

Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan agregat dalam campuran beton ada 5 (lima) yaitu :

1. Volume padat

Udara yang terdapat dalam campuran beton akan mempengaruhi proses pembuatan beton, terutama setelah terbentuknya pasta semen.

2. Volume padat

Kepadatan volume agregat akan mempengaruhi berat isi dari beton jadi.

3. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat akan mempengaruhi proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol

4. Penyerapan

Penyerapan berpengaruh pada berat jenis

5. Kadar air permukaan agregat

Kadar air permukaan agregat berpengaruh pada penggunaan air saat pencampuran.

2.2.1 Jenis Agregat

Agregat dapat dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecahan). Agregat alam dan pecahan ini pun dapat dibedakan berdasarkan bentuknya, tekstur permukaannya, dan ukuran butir nominal (gradasi). Berikut penjelasan mengenai pembagian jenis-jenis agregat yang digunakan pada pencampuran beton.

A. Jenis Agregat Berdasarkan Bentuk

Bentuk agregat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya dipengaruhi oleh proses geologi batuan yang terbentuk secara alamiah. Setelah dilakukannya penambangan, bentuk agregat dipengaruhi oleh mesin pemecah batu maupun cara peledakan yang digunakan.

Jika dikonsolidasikan butiran yang bulat akan menghasilkan campuran beton yang lebih baik bila dibandingkan dengan butiran yang pipih dan lebih ekonomis penggunaan pasta semennya. Klasifikasi agregat berdasarkan bentuknya adalah :

1. Agregat bulat

Agregat ini terbentuk karena terjadinya pengikisan oleh air tau keseluruhannya terbentuk karena penggeseran. Rongga udaranya minimum 33%, sehingga rasio luas permukaan kecil. Beton yang dihasilkan dari agregat ini kurang cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan, sebab ikatan antar agregat kurang kuat.

2. Agregat bulat sebagian atau tidak teratur

Agregat ini secara alamiah berbentuk tidak teratur. Sebagian terbentuk karena pergeseran sehingga permukaan atau sudut-sudutnya berbentuk bulat. Rongga udara pada agregat ini lebih tinggi, sekitar 35% - 38%, sehingga membutuhkan lebih banyak pasta semen agar mudah dikerjakan. Beton yang dihasilkan dari agregat ini belum cukup baik untuk beton mutu tinggi, karena ikatan antara agregat belum cukup baik (masih kurang kuat).

3. Agregat bersudut

Agregat ini mempunyai sudut-sudut yang tampak jelas, yang terbentuk di tempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Rongga udara pada agregat ini sekitar 38% - 40%, sehingga membutuhkan lebih banyak lagi pasta semen agar mudah dikerjakan. Beton yang dihasilkan dari agregat ini cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan karena ikatan antar agregatnya baik (kuat).

4. Agregat panjang

Agregat ini panjangnya jauh lebih besar dari pada lebarnya dan lebarnya jauh lebih besar dari pada tebalnya. Agregat ini disebut panjang jika ukuran terbesarnya lebih dari 9/5 dari ukuran rata-rata. Ukuran rata-rata

ialah ukuran ayakan yang meloloskan dan menahan butiran agregat. Sebagai contoh, agregat dengan ukuran rata-rata 15 mm akan lolos ayakan 19 mm dan tertahan oleh ayakan 10 mm. Agregat ini dinamakan panjang jika ukuran terkecil butirannya lebih kecil dari 27 mm ($9/5 \times 15$ mm). Agregat jenis ini akan berpengaruh buruk pada mutu beton yang akan dibuat. Kekuatan tekan beton yang dihasilkan agregat ini adalah buruk.

5. Agregat pipih

Agregat disebut pipih jika perbandingan tebal agregat terhadap ukuran-ukuran lebar dan tebalnya lebih kecil. Agregat pipih sama dengan agregat panjang, tidak baik untuk campuran beton mutu tinggi. Dinamakan pipih jika ukuran terkecilnya kurang dari $3/5$ ukuran rata-ratanya.

6. Agregat pipih dan panjang

Pada agregat ini mempunyai panjang yang jauh lebih besar dari pada lebarnya, sedangkan lebarnya jauh lebih besar dari tebalnya.

B. Jenis Agregat Berdasarkan Tekstur Permukaan

Umumnya jenis agregat dengan permukaan kasar lebih disukai. Karena permukaan yang kasar akan menghasilkan ikatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan permukaan agregat yang licin. Jenis agregat berdasarkan tekstur permukaannya dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Kasar

Agregat ini dapat terdiri dari batuan berbutir halus atau kasar yang mengandung bahan-bahan berkristal yang tidak dapat terlihat dengan jelas melalui pemeriksaan visual.

2. Berbutir (*granular*)

Pecahan agregat jenis ini memiliki bentuk bulat dan seragam.

3. Agregat licin/halus (*glassy*)

Agregat jenis ini lebih sedikit membutuhkan air dibandingkan dengan agregat dengan permukaan kasar. Agregat licin terbentuk akibat dari pengikisan oleh air, atau akibat patahnya batuan (*rocks*) berbutir halus atau batuan yang berlapis-lapis. Dari hasil penelitian, kekasaran agregat akan menambah kekuatan gesekan antara pasta semen dengan permukaan butir agregat sehingga beton yang menggunakan agregat ini cenderung mutunya akan lebih rendah.

4. Kristalin (*crystalline*)

Agregat jenis ini mengandung kristal-kristal tampak dengan jelas melalui pemeriksaan visual.

5. Berbentuk sarang lebah (*honeycombs*)

Agregat ini tampak dengan jelas pori-porinya dan rongga-rongganya. Melalui pemeriksaan visual kita dapat melihat lubang-lubang pada batuannya.

C. Jenis Agregat Berdasarkan Ukuran Butir Nominal

Agregat dapat dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecahan). Agregat alam dan pecahan ini pun dapat dibedakan berdasarkan beratnya, asalnya, diameter butirnya (gradasi), dan tekstur permukaannya.

Dari ukuran butirannya, agregat dapat dibedakan menjadi 2 (dua) golongan yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat halus

Agregat halus (pasir) adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butir kurang dari 5 mm atau lolos saringan no. 4 dan tertahan pada saringan no. 200. Agregat halus (pasir) berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (*stone crusher*).

Agregat halus yang akan digunakan harus memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh ASTM. Jika seluruh spesifikasi yang ada telah terpenuhi maka barulah dapat dikatakan agregat tersebut bermutu baik.

Adapun spesifikasi tersebut adalah :

a. Susunan Butiran (Gradasi)

Agregat halus yang digunakan harus mempunyai gradasi yang baik, karena akan mengisi ruang-ruang kosong yang tidak dapat diisi oleh material lain sehingga menghasilkan beton yang padat disamping untuk mengurangi penyusutan. Analisa saringan akan memperlihatkan jenis dari agregat halus tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh angka Fine Modulus . melalui Fine Modulus ini dapat digolongkan 3 (tiga) jenis pasir yaitu :

- Pasir Kasar : $2.9 < FM < 3.2$
- Pasir Sedang : $2.6 < FM < 2.9$
- Pasir Halus : $2.2 < FM < 2.6$

Selain itu ada juga batasan gradasi untuk agregat halus, sesuai dengan ASTM C 33 – 74 a. Batasan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.1 Batasan Gradasi untuk Agregat Halus

Ukuran Saringan ASTM	Persentase berat yang lolos pada tiap saringan
9.5 mm (3/8 in)	100
4.76 mm (no. 4)	95 – 100
2.36 mm (no. 8)	80 – 100
1.19 mm (no. 16)	50 – 85
0.595 mm (no. 30)	25 – 60
0.300 mm (no. 50)	10 - 30
0.150 mm (no. 100)	2 – 10

(Sumber : Department Pekerjaan Umum)

- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no. 200), tidak boleh melebihi 5% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat harus dicuci.
- c. Kadar liat tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering)
- d. Agregat halus harus bebas dari pengotoran zat organik yang akan merugikan beton, atau kadar organik jika diuji di laboratorium tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari standart percobaan Abrams – Harder dengan batas standarnya pada acuan no. 3.

- e. Agregat halus yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton dengan semen kadar alkalinya tidak lebih dari 0.60% atau dengan penambahan yang bahannya dapat mencegah pemuaihan.
- f. Sifat kekal (keawetan) diuji dengan larutan garam sulfat :
- Jika dipakai Natrium – Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%
 - Jika dipakai Magnesium – Sulfat, bagian yang hancur maksimum 15%

2. Agregat kasar

Agregat harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri dari butiran yang beragam besarnya, sehingga dapat mengisi rongga-rongga akibat ukuran yang besar, sehingga akan mengurangi penggunaan semen atau penggunaan semen yang minimal.

Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Susunan butiran (gradasi)

Agregat kasar harus mempunyai susunan butiran dalam batas-batas seperti yang terlihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Susunan Besar Butiran Agregat Kasar

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persentase Lolos Kumulatif (%)
38.10	95 – 100
19.10	35 – 70
9.52	10 - 30
4.75	0 - 5

(Sumber : ASTM, 1991)

1. Agregat kasar yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang akan berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton. Agregat yang reaktif terhadap alkali dapat dipakai untuk pembuatan beton dengan semen yang kadar alkalinnya tidak lebih dari 0.06% atau dengan penambahan bahan yang dapat mencegah terjadinya pemuaihan.
2. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori atau tidak akan pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan.
3. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no. 200), tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat harus dicuci.
4. Kekerasan butiran agregat diperiksa dengan bejana Rudeloff dengan beban penguji 20 ton dimana harus dipenuhi syarat berikut :

- Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9.5 – 19.1 mm lebih dari 24% berat.
- Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19.1 – 30 mm lebih dari 22% berat.

5. Kekerasan butiran agregat kasar jika diperiksa dengan mesin Los Angeles dimana tingkat kehilangan berat lebih kecil dari 50%.

2.3 SEMEN

Beton umumnya tersusun dari 3 (tiga) bahan penyusun utama yaitu semen, agregat, dan air. Jika diperlukan, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dan beton yang bersangkutan.

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah pengadukan selesai dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan.

Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40%, dan agregat (agregat kasar dan halus) sekitar 60% - 75%. Untuk mendapatkan kekuatan yang baik, sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusun tersebut perlu dipelajari.

2.3.1 Sejarah Semen

Beton mulai ditinggalkan orang seiring dengan mundurnya kerajaan Romawi. Baru sekitar tahun 1790, J. Smeaton dari Inggris menemukan bahwa kapur yang mengandung lempung dan dibakar akan mengeras di dalam air. Bahan ini mirip dengan yang semen yang dibuat oleh bangsa Romawi.

Penyelidikan lebih lanjut yang mengarah pada kepentingan komersial dilakukan oleh J. Parker pada masa yang sama. Bahan tersebut mulai digunakan sekitar awal abad ke – 19 di Inggris dan kemudian di Prancis. Karya konstruksi sipil pertama dikerjakan pada tahun 1816 di Suuillac, Prancis berupa jembatan yang dibuat dengan beton tak bertulang. Nama semen Portland (*Portland cement*) diusulkan oleh Joseph Aspdin pada tahun 1824 karena campuran air, pasir, dan batu-batuan yang bersifat pozzolan dan berbentuk bubuk ini pertama kali diolah di Pulau Portland, dekat pantai Dorset, Inggris. Semen Portland pertama kali diproduksi di pabrik oleh David Saylor di Coplay Pennsylvania, Amerika Serikat pada tahun 1875. Sejak saat itu, semen portland berkembang dan terus-menerus dibuat sesuai dengan kebutuhan.

Indonesia telah pula memiliki banyak pabrik semen portland modern dengan mutu internasional. Pabrik yang terbesar di Sumatera, Jawa, dan Sulawesi itu antara lain :

1. Pabrik semen Indarung yang memproduksi Semen Padang di Padang, Sumatera Barat serta pabrik semen Baturaja yang memproduksi semen Tiga Gajah. Keduanya terletak di Sumatera;
2. Pabrik semen Gresik, Semen Cibinong, Semen Tiga Roda, dan Semen Nusantara d Jawa;

3. Pabrik semen Tonasa di Sulawesi.

2.3.2 Jenis Semen

Semen merupakan hasil industri yang sangat kompleks, dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda. Semen dapat dibedakan menjadi 2 (dua) kelompok, yaitu :

1. Semen Non-hidrolik
2. Semen Hidrolik.

A. Semen Non-hidrolik

Semen non-hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non-hidrolik adalah kapur. Kapur dihasilkan oleh proses kimia dan mekanis di alam. Kapur telah digunakan selama berabad-abad lamanya sebagai bahan adukan dan plesteran untuk bangunan.

Hal tersebut terlihat pada piramida-piramida di Mesir yang dibangun 4500 tahun sebelum masehi. Kapur digunakan sebagai bahan pengikat selama zaman Romawi dan Yunani. Orang-orang Romawi menggunakan beton untuk membangun Colloseum dan Parthenon, dengan cara mencampur kapur dengan abu gunung yang mereka peroleh di dekat Pozzuoli, Italia dan mereka namakan Pozzolan.

Jenis kapur yang baik adalah kapur putih, yaitu yang mengandung kalsium oksida yang tinggi ketika masih berbentuk kapur tohor (belum berhubungan dengan air) dan akan mengandung banyak kalsium hidroksida ketika telah berhubungan dengan air. Kapur tersebut dihasilkan dengan membakar batu kapur

atau kalsium karbonat bersama bahan-bahan pengotornya, yaitu magnesium, silikat, besi, alkali, alumina dan belerang.

B. Semen Hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh semen hidrolik antara lain kapur hidrolik, semen pozzolan, semen terak, semen alam, semen portland, semen portland-pozzolan, semen portland terak tanur tinggi, semen alumina dan semen expansif. Contoh lainnya adalah semen portland putih, semen warna, dan semen-semen untuk keperluan khusus.

1. Kapur Hidrolik

Kapur hidrolik memperlihatkan sifat hidroliknya, namun tidak cocok untuk bangunan-bangunan di dalam air, karena membutuhkan udara yang cukup mengeras. Sifat umum dari kapur adalah sebagai berikut :

1. Kekuatannya rendah;
2. Berat jenis rata-rata 1000 kg/m³;
3. Bersifat hidrolik;
4. Tidak menunjukkan pelapukan;
5. Dapat terbawa arus.

Sebagian besar (65% - 75%) bahan kapur hidrolik terbuat dari batu gamping, yaitu kalsium karbonat beserta bahan pengikatnya berupa silika, alumina, magnesia, dan oksida besi. Kapur hidrolik dibuat dengan cara membakar batu kapur yang mengandung silika dan lempung sampai menjadi klinker dan mengandung cukup kapur dan silika untuk menghasilkan kapur hidrolik. Klinker

yang dihasilkan harus mengandung cukup kapur bebas sehingga massa klinker itu dapat menghasilkan kapur tohor setelah berhubungan dengan air.

Bila kadar alumina dan silika dalam batu kapur bertambah, maka panas yang terjadi berkurang dan pada suatu saat reaksi antara air dan kapur tersebut berhenti. Pada suhu tinggi, alumina dan silika berpadu dengan kalsium oksida, kalsium silikat, dan alumina yang tidak mudah bergabung dengan air bila berada dalam bentuk gumpalan-gumpalan. Oleh karena itu, kapur tohor ditambahkan pada saat pemberian air, sehingga gumpalan-gumpalan yang besar terpecah-pecah menjadi serbuk halus akibat pengembangan kapur tohor.

2. Semen pozzolan

Semen pozzolan adalah sejenis bahan yang mengandung silisium atau aluminium, yang tidak mempunyai sifat penyemenan. Butirannya halus dan dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu ruang serta membentuk senyawa-senyawa yang mempunyai sifat-sifat semen. Semen pozzolan adalah bahan ikat yang mengandung silika amorf, yang apabila dicampur dengan kapur akan membentuk benda padat yang keras. Bahan yang mengandung pozzolan adalah teras, semen merah, abu terbang, dan bubukan terak tanur tinggi (SK.SNI T-15-1990-03:2).

Teras alam dapat dibagi menjadi :

1. Batu apung, obsidian, scoria, tuff, santorin, dan teras yang dihasilkan dari batuan vulkanik.
2. Teras yang mengandung silika amorf halus yang tersebar dalam jumlah banyak dan dapat bereaksi dengan kapur jika dibubuhi air serta membentuk silikat yang mempunyai sifat hidrolis.

3. Teras buatan, meliputi abu batu, abu terbang (fly ash) dari hasil residu PLTU dan hasil tambahan dari pengolahan bijih bauksit. Teras buatan ini dibuat dengan pembakaran batuan vulkanik dan kemudian menggilingnya. Semen teras meliputi semua bahan semen yang dibuat dengan menggunakan teras dan kapur tohor, yang tidak membutuhkan pembakaran. Teras buatan ini digunakan sebagai bahan tambah dan digunakan pada bangunan yang tidak memerlukan persyaratan konstruksi yang khusus, tetapi menggunakan banyak bahan semen.

3. Semen terak

Semen terak adalah semen hidrolis yang sebagian besar terdiri dari suatu campuran seragam serta dari terak tanur kapur tinggi dan kapur tohor. Sekitar 60% beratnya berasal terak tanur tinggi. Campuran ini biasanya tidak dibakar. Jenis semen terak ada 2 (dua) yaitu :

1. Bahan yang dapat digunakan kombinasi *portland cement* dalam pembuatan beton dan sebagai kombinasi kapur dalam pembuatan adukan tembok.
2. Bahan yang mengandung bahan pembantu berupa udara yang digunakan seperti halnya jenis pertama.

Terak tanur tinggi adalah suatu bahan non metalik yang sebagian besar terdiri dari silikat, alumina silikat, kalsium dan senyawa basa lainnya yang terbentuk dalam keadaan cair bersama-sama dengan besi di dalam tanur tinggi.

Semen terak dibuat melalui proses tertentu yakni penggilingan yang menyebabkan terak itu bersifat hidrolis sekaligus berkurang jumlah sulfatnya yang dapat merusak. Terak tersebut kemudian dikeringkan dan ditambahi kapur

tohor dengan perbandingan tertentu. Seluruh bahan kemudian dicampur dan dihaluskan kembali menjadi butiran yang halus.

Semen terak tidak begitu penting dalam struktur beton, tetapi cukup menguntungkan jika digunakan untuk pekerjaan yang besar yang tidak begitu mementingkan aspek kekuatan. Karena kadar alkali sehingga dapat digunakan untuk pekerjaan yang khusus.

4. Semen alam

Semen alam dihasilkan melalui pembakaran batu kapur yang mengandung lempung pada suhu lebih rendah dari suatu pengerasan. Hasil pembakaran kemudian digiling menjadi serbuk halus. Kadar silika, alumina dan oksida besi pada serbuk cukup untuk membuatnya bergabung dengan kalsium oksida sehingga membentuk senyawa kalsium silika dan aluminat yang dapat dianggap mempunyai sifat hidrolis.

Semen alam dapat dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu :

1. Semen alam yang digunakan bersama-sama dengan *portland cement* dalam suatu konstruksi
2. Semen alam yang lebih dibubuhi bahan pembantu, yaitu udara, yang fungsinya sama dengan jenis pertama.

5. Semen portland

Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150, 1985, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama

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

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen, jika ditambah agregat halus pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*). Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Pemilihan tipe semen ini kelihatannya mudah dilakukan karena semen dapat langsung diambil dari sumbernya (pabrik). Hal itu hanya benar jika standar deviasi yang ditemui kecil, sehingga semen yang berasal beberapa sumber langsung dapat digunakan. Akan tetapi, jika standar deviasi hasil uji kekuatan semen besar, hal tersebut akan menjadi masalah. Saat ini banyak tipe semen yang ada di pasaran sehingga kemungkinan variasi kekuatannya pun besar (ACI 318-89:2-1).

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting.

Semen portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti

batu. Berat jenis yang dihasilkan berkisar antara 3.12 dan 3.16 dan berat volume sekitar 1500 kg/cm³ (Nawy, 1985:9). Bahan utama pembentuk semen portland adalah kapur (CaO), silika (SiO₃), alumina (Al₂O₃), sedikit magnesia (MgO), terkadang sedikit alkali. Untuk mengontrol komposisinya, terkadang ditambahkan oksida besi, sedangkan gipsum (CaSO₄.2H₂O) ditambahkan untuk mengatur waktu ikat semen.

Klinker dibuat dari batu kapur, tanah liat dan bahan dasar berkadar besi. Bahan kapur di Indonesia tersedia melimpah. Kebanyakan pabrik semen dibangun di dekat gunung kapur. Pembuatan semen portland dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yaitu :

1. Penambangan di *quarry* ;
2. Pemecahan di *crushing plant* ;
3. Penggilingan (*blending*);
4. Pencampuran bahan-bahan;
5. Pembakaran (*ciln*);
6. Penggilingan kembali hasil pembakaran;
7. Penambahan bahan tambah (*gypsum*);
8. Pengikatan (*packing plant*).

Tabel 2.3 Karakteristik senyawa penyusun semen portland

Nilai	Trikalsium Silikat 3CaO.SiO₂ atau C3S	Dikalsium Silikat 2CaO.SiO₂ atau C2S	Trikalsium Aluminat 3CaO.Al₂O₃ atau C3A	Tetrakalsium Aluminoferrit 4CaO.Al₂O₃ Fe₂O₃ atau C4AF
Penyemenan	Baik	Baik	Buruk	Buruk
kecepatan reaksi	Sedang	Lambat	Cepat	Lambat
pelepasan panas hidrasi	Sedang	Sedikit	Banyak	Sedikit

(Sumber : Teknologi Beton, Ir. Tri Mulyono, MT)

Dari uraian nampak bahwa perbedaan persentase senyawa kimia akan menyebabkan perbedaan sifat semen. Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen akan membentuk karakter dan jenis semen. Peraturan Beton 1989 (SKBI. 1.4.53,1989) dalam ulasannya di halaman 1, membagi semen portland menjadi 5 (lima) jenis (SK. SNI T-15-1990-03:2) yaitu :

1. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya;
2. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang;
3. Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi;
4. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah;

5. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Tabel 2.4 Persentase Komposisi Semen Portland

	Komposisi dalam persen (%)							Karakter Umum
	C3S	C2S	C3A	C4AF	CaSO4	CaO	MgO	
Tipe I, Normal	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	Semen untuk semua tujuan
Tipe II, Modifikasi	46	29	6	12	2.8	0.6	3	Relatif sedikit pelepasan panas, digunakan untuk struktur besar
Tipe III, Kekuatan Awal Tinggi	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6	Mencapai kekuatan awal yang tinggi pada umur 3 hari
Tipe IV, Panas Hidrasi Rendah	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	Dipakai pada bendungan beton
Tipe V, Tahan Sulfat	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	Dipakai pada saluran dan struktur yang diekspose terhadap sulfat.

(Sumber : Teknologi Beton, Ir. Tri Mulyono, MT)

Dalam SII 0013-1981 dan ulasan PB 1989, semen tipe I digunakan untuk bangunan-bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Semen tipe II yang memiliki kadar C₃A tidak lebih dari 8% digunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus-menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau untuk pondasi yang tertanam di dalam tanah yang mengandung air agresif (garam-garam sulfat) dan saluran air buangan atau bangunan yang

berhubungan langsung dengan rawa. Semen tipe III, memiliki kadar C₃A serta C₃S yang tinggi dan butirannya digiling sangat halus, sehingga cepat mengalami proses hidrasi. Semen jenis ini dipergunakan pada daerah yang bertemperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin (*winter season*). Semen tipe IV mempunyai panas hidrasi yang rendah, kadar C₃S nya dibatasi maksimum sekitar 35% dan kadar C₃A nya maksimum 5%.

Semen tipe ini digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang besar dan masif, umpamanya untuk pekerjaan bendung, pondasi berukuran besar atau pekerjaan besar lainnya. Semen tipe V digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industri, bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia yang agresif serta untuk bangunan yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dalam prosentase yang tinggi total alkali yang terkandung dalam semen dalam campuran beton harus dibatasi sekitar 0.5% - 0.6% (Stanton, 1940).

Banyaknya air yang dipakai selama proses hidrasi akan mempengaruhi karakteristik kekuatan beton jadi. Pada dasarnya jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi tersebut adalah sekitar 25 % dari berat semen. Jika air yang digunakan kurang dari 25 %, maka kelecakan atau kemudahan dalam pengerjaan tidak akan tercapai. Beton yang memiliki *workability* didefinisikan sebagai beton yang dapat dengan mudah dikerjakan atau dituangkan (*poured*) kedalam cetakan (*forms, molds*) dan dapat dengan mudah dibentuk (Iisley Hewes, 1942:224). Identifikasi dari kemudahaan pekerjaan ini adalah nilai konsistensi dari beton segar. Kekuatan beton akan turun jika air yang ditambahkan ke dalam campuran

semakin banyak. Karena itu penambahan air harus dilakukan sedikit demi sedikit sampai nilai maksimum yang tercantum dalam rencana tercapai.

Faktor air semen (FAS) atau *water cement ratio (wcr)* adalah indikator yang penting dalam perancangan campuran beton. Faktor ini semen adalah berat air dibagi dengan berat semen, yang dituliskan sebagai :

$$\text{FAS} = \text{berat air/berat semen}$$

FAS yang rendah menyebabkan air yang berada di antara bagian-bagian semen sedikit dan jarak antara butiran-butira semen menjadi pendek. Akibatnya, massa semen lebih menunjukkan keterkaitannya (kekuatan awal lebih berpengaruh). Batuan semen mencapai kepadatan yang tinggi dan kekuatan tekannya menjadi lebih tinggi (normal ratio sekitar 0.25 – 0.65). Duff dan Abrams (1919) meneliti hubungan antara faktor air semen dengan kekuatan beton pada umur 28 hari dengan uji silinder. Jika faktor air semen semakin besar, kekuatan tekan akan menurun.

6. Semen Portland Pozzolan

Semen portland pozzolan adalah campuran semen portland bahan-bahan yang bersifat pozzolan seperti terak tanur tinggi dan hasil residu PLTU. Semen jenis ini biasanya digunakan untuk beton yang diekspos terhadap sulfat. Menurut (SK. SNI T-15-1990-03:2), semen portland-pozzolan dihasilkan dengan mencampurkan bahan semen portland dan pozzolan (15% - 40%) dari berat total campuran). Sehingga dengan kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ dalam pozzolan minimum 70% (SK. SNI T – 1991-03:2)

Suatu konstruksi sipil yang menggunakan semen portland pozzolan sebagai bahan ikat harus memenuhi standar SII 0132 “ mutu dan cara uji semen

portland pozzolan atau syarat ASTM C.595-82, yaitu “*spesification for blend hydraulic cement*”

Abu terbang (*fly ash*) atau bahan pozzolan lainnya yang dipakai sebagai bahan campuran tambahan harus memenuhi “*spesification for fly ash and raw or calcined natural pozzollan for use as a mineral admixture in portland cement*”

7. Semen Putih

Semen putih adalah semen portland yang kadar oksida besinya rendah, kurang dari 0.5 %. Bahan baku yang digunakan harus kapur murni, lempung putih yang tidak mengandung oksida besi dan pasir silika. Semen putih digunakan untuk membuat siar ubin/keramik dan benda yang lebih banyak nilai semennya, tetapi biasanya tidak digunakan untuk bangunan struktur. Semen putih telah diproduksi secara massal di pabrik.

8. Semen Alumina

Semen alumina dihasilkan melalui pembakaran batu kapur dan bauksit yang telah digiling halus pada temperatur 1600°C. Hasil pembakaran tersebut klinker dan selanjutnya dihaluskan hingga menyerupai bubuk. Jadilah semen alumina yang berwarna abu-abu.

Semen alumina mempunyai kekuatan tekan awal yang tinggi, tahan terhadap serangan asam dan garam-garam sulfat dan tahan api. Akan tetapi, jika dipergunakan pada suhu lebih dari 29°C, kekuatannya berangsur-angsur akan berkurang. Oleh karena itu, jenis semen ini hanya dapat dipergunakan untuk negara yang mempunyai musim dingin.

2.4 AIR

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

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut sebagai faktor air semen (*water cement ratio*). Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi yang tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Untuk air yang tidak memenuhi syarat mutu, kekuatan beton pada umur 7 hari atau 28 hari tidak boleh kurang dari 90% jika dibandingkan dengan kekuatan beton yang menggunakan air standar/suling (PBI 1989:9).

2.4.1 Sumber-Sumber Air

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ, dan lainnya). Air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air laut umumnya mengandung 3.5% larutan garam (sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida).

Garam-garaman dalam air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20%. Air laut tidak boleh digunakan sebagai bahan campuran beton pra-tegang ataupun beton bertulang karena resiko terhadap karat lebih besar. Air buangan industri yang mengandung asam alkali juga tidak boleh digunakan. Sumber-sumber air yang ada adalah sebagai berikut :

A. Air yang terdapat di udara

Air yang terdapat di udara atau di atmosfer adalah air yang terdapat di awan. Kemurnian air ini sangat tinggi. Sayangnya, hingga sekarang belum ada teknologi untuk mendapatkan air atmosfer ini secara mudah. Air yang terdapat dalam atmosfer ini kondisinya sama dengan air suling, sehingga sangat mungkin untuk mendapatkan beton yang baik dengan air ini.

B. Air hujan

Air hujan menyerap gas-gas serta uap dari udara ketika jatuh ke bumi. Udara terdiri dari komponen-komponen utama yaitu zat asam atau oksigen, nitrogen, dan karbondioksida. Bahan-bahan padat serta garam yang larut dalam air hujan terbentuk akibat peristiwa kondensasi.

C. Air tanah

Air tanah terutama terdiri dari unsur kation (seperti Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{+} , dan K^{+}) dan unsur anion (seperti CO_3 , HCO_3 , SO_4 , Cl , NO_3) pada kadar yang lebih rendah, terdapat juga unsur Fe, Mn, Al, B, F dan Se. Disamping itu air tanah juga menyerap gas-gas serta bahan-bahan organik seperti CO_2 , H_2S , dan NH_3 .

D. Air Permukaan

Air permukaan dibagi menjadi air sungai, air danau, dan situ, air genangan dan air *reservoir*. Erosi yang disebabkan oleh aliran air permukaan, membawa serta bahan-bahan organik dan mineral-mineral. Air sungai atau air danau dapat

digunakan sebagai bahan campuran beton asal tidak tercemar oleh air buangan industri. Air rawa-rawa atau air genangan tidak dapat digunakan sebagai bahan campuran beton, kecuali setelah melalui pengujian kualitas air.

E. Air laut

Air laut yang mengandung 30.000 – 36.000 mg garam per liter (3% - 3.6%) pada umumnya dapat digunakan sebagai campuran untuk beton tidak bertulang, beton pra-tegang dan beton pra-tekan atau dengan kata lain untuk beton-beton mutu tinggi.

Air asin yang terdapat di pedalaman mengandung 1000 – 5000 mg garam per liter. Air dengan kadar garam sedang, mengandung 2000 – 10000 mg per liter. Air di daerah pantai, memiliki kadar garam sekitar 20000 – 30000 mg per liter.

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 aluminium di dalamnya, beton yang memakai tulangan atau yang mudah mengalami korosi pada tulangnya akibat perubahan panas (temperatur) dan lingkungan yang lembab (ACI 318-89:2-2).

Tabel 2. 5 Unsur-unsur dalam air laut

Unsur 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
Cr	13
B	4.6

Sumber : *Concrete Technology and Practice*

2.4.1 Syarat Umum Air

Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organis atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar yang dapat diminum. Air yang digunakan dalam pembuatan beton pra-tekan dan beton yang akan ditanami logam aluminium (termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat) tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan (ACI 318-89:2-2). Untuk perlindungan terhadap korosi. Konsentrasi ion klorida maksimum yang terdapat dalam beton yang telah mengeras pada umur 28 hari

yang dihasilkan dari bahan campuran termasuk air, agregat, bahan bersemen dan bahan campuran tambahan tidak boleh melampaui nilai batas yang diberikan.

Tabel 2.6 Batas Maksimum Ion Klorida

Jenis Beton	Batas (%)
Beton pra-tekan	0.06
Beton bertulang yang selamanya berhubungan dengan klorida	0.15
Beton bertulang yang yang selamanya kering atau terlindung dari basah	1.00
Konstruksi beton bertulang lainnya	0.30

Sumber : PBI 1989:23

Bila beton akan berhubungan dengan air payau, air laut, atau air siraman dari sumber-sumber tersebut, maka persyaratan faktor air semen serta tebal selimut beton untuk tulangan dalam Peraturan Beton 1989:37-39 harus dipenuhi. Tebal minimum tersebut rata-rata adalah sekitar 50 mm.

2.5 BAHAN TAMBAH

Admixture adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya.

Admixture atau bahan tambah didefinisikan dalam *Standard Definitions of Terminology Relating of Concrete and Concrete Aggregates* (ASTM C.125-11995:61) dan dalam *Cement and Concrete Terminology* (ACI SP-19) sebagai material selain air, agregat dan semen hidrolis yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan

tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi.

Di Indonesia bahan tambah telah banyak dipergunakan. Manfaat dari penggunaan bahan tambah ini perlu dibuktikan dengan menggunakan bahan agregat dan jenis semen yang sama dengan bahan yang akan dipakai di lapangan. Dalam hal ini bahan yang dipakai sebagai bahan tambah harus memenuhi ketentuan yang diberikan oleh SNI. Untuk bahan tambah yang merupakan bahan tambah kimia harus memenuhi syarat yang diberikan dalam ASTM C.494, "*Standard Spesification for Chemical Admixture for Concrete*"

Penambahan bahan tambah dalam sebuah campuran beton atau mortar tidak mengubah komposisi yang besar dari bahan yang lainnya, karena penggunaan bahan tambah ini cenderung merupakan pengganti atau substitusi dari dalam campuran beton itu sendiri. Karena tujuannya memperbaiki atau mengubah sifat dan karakteristik tertentu dari beton atau mortar yang akan dihasilkan, maka kecenderungan perubahan komposisi dalam berat-volume tidak terasa secara langsung dibandingkan dengan komposisi awal beton tanpa bahan tambah.

Penambahan bahan biaya mungkin baru terasa efeknya pada saat pengadaan bahan tambah tersebut yang meliputi biaya transportasi, penempatannya di lapangan dan biaya diluar dari biaya yang langsung tetap menjadi perhatian dalam aspek ekonominya. Penggunaan bahan tambah dalam sebuah campuran beton harus dikonfirmasi dengan standar yang berlaku seperti SNI, ASTM atau ACI. Selain itu, yang terpenting adalah memperhatikan

petunjuk dalam manualnya jika menggunakan bahan “paten” yang diperdagangkan.

Beberapa evaluasi yang perlu dilakukan jika menggunakan bahan tambah yaitu :

1. Penggunaan semen dengan tipe yang khusus;
2. Penggunaan satu atau lebih bahan tambah;
3. Petunjuk umum mengenai penggunaan atau temperatur yang diijinkan pada saat pengadukan dan pengecoran.

Selanjutnya hal yang menjadi perhatian adalah :

1. Penggantian tipe semen atau sumber dari atau jumlah dari semen yang digunakan atau memodifikasi gradasi agregat, atau proporsi campuran yang diharapkan;
2. Banyak bahan tambah mengubah lebih dari satu sifat beton, sehingga kadang-kadang justru merugikan;
3. Efek bahan tambah sangat nyata untuk mengubah karakteristik beton misalnya FAS, tipe dan gradasi agregat, tipe dan lama pengadukan.

2.5.1 Jenis Bahan Tambah

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah bersifat mineral (*additive*). Bahan tambah *admixture* ditambahkan saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran (*placing*),

sedangkan bahan tambah aditif yaitu yang bersifat mineral ditambahkan saat pengadukan dilaksanakan.

Bahan tambah ini biasanya merupakan bahan tambah kimia yang dimaksudkan lebih banyak mengubah perilaku beton saat pelaksanaan pekerjaan jadi dapat dikatakan bahwa bahan tambah kimia (*chemical admixture*) lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan. Bahan tambah adiktif merupakan bahan tambah yang lebih banyak bersifat penyemenan jadi bahan tambah adiktif lebih banyak digunakan untuk perbaikan kinerja kekuatannya.

Bahan tambah mineral ini merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Pada saat ini, bahan tambah mineral ini lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja tekan beton, sehingga bahan tambah mineral ini cenderung bersifat penyemenan. Beberapa bahan tambah mineral ini adalah *pozzolan*, *fly ash*, *bottom ash*, *slag*, dan *silica fume*. Beberapa keuntungan penggunaan bahan tambah mineral ini antara lain (Cain, 1994:500-508) :

1. Memperbaiki kinerja workability;
2. Mengurangi panas hidrasi;
3. Mengurangi biaya pekerjaan beton;
4. Mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat;
5. Mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika;
6. Mempertinggi usia beton;

7. Mempertinggi kekuatan tekan beton;
8. Mempertinggi keawetan beton;
9. Mengurangi penyusutan;
10. Mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton.

Batu bara adalah suatu lapisan yang padat, yang pembentukannya atau penyebarannya secara horizontal dan vertikal, dan merupakan suatu lapisan yang bersifat heterogen. Karena sifat batubara yang heterogen maka pada (eksplorasi pemborannya) Recovery harus memenuhi syarat maksimal 90% yang diambil, bila kurang dari 90% maka tidak Refresentatif dan penyebaran batubara menunjukkan perbedaan kualitas maka penyebaran batubara sangat mempengaruhi kualitas.

Berdasarkan proses terjadinya batubara terbagi menjadi dua yaitu :

1. Proses biokimia yakni proses penghancuran oleh bakteri-bakteri “anaerobic” terhadap kayu-kayuan (sisa tumbuhan) sehingga terbentuk gel atau biasa disebut gelly. Bakteri anaerobic bakteri yang hidup pada tempat (air) yang kurang mengandung oksigen pada air kotor, contohnya pada daerah rawa-rawa.
2. Proses termodinamika yakni proses perubahan beat menjadi lapisan batu bara oleh adanya panas dan tekanan, juga proses dari luar seperti proses geologi.

Penggunaan batu bara sebagai sumber energi akan menghasilkan abu yaitu berupa abu layang (fly ash) maupun abu dasar (bottom ash). Kandungan abu layang sebesar 84 % dari total abu batubara. Produksi abu layang batubara dunia yang diperkirakan tidak kurang dari 500 juta ton per tahun dan ini diperkirakan akan bertambah. Hanya 15 % dari produksi abu layang yang digunakan. Sisa dari abu layang cenderung sebagai reklamasi (Tanaka dkk., 2002). Hal ini dapat menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap lingkungan. Oleh karena itu masalah abu layang batubara harus segera diselesaikan agar tidak terjadi penumpukan dalam jumlah yang besar baik di Indonesia maupun di dunia. Salah satu alternatif untuk memanfaatkan abu layang batubara adalah dengan mengubah abu layang tersebut menjadi zeolit. Zeolit dapat dimanfaatkan untuk beragam kegunaan seperti katalis, absorben, sumber kation penyaring molekul (Smart dkk., 1993) dan yang tidak kalah pentingnya lagi adalah sebagai builder detergent (Hui dkk., 2006)

Abu layang didapatkan sebagai mineral yang terdapat pada batubara. Selama pembakaran batubara, sebagian dari mineral melebur menjadi partikel abu layang yang dapat membentuk fase kristal seperti kuarsa dan mulit yang masih berada pada batubara, meskipun fase gelas menutupi permukaan aluminosilikat. Abu layang batubara mengandung silika dan alumina, yang dapat diubah ke dalam zeolit melalui proses pelarutan fase gelas pada komponen alkali. Fase gelas sangat penting dalam pembentukan zeolit karena memiliki kelarutan yang sangat tinggi di dalam larutan alkali (Inada dkk., 2005). Komponen utama dari abu layang terdiri dari SiO_2 dan Al_2O_3 dengan beberapa kristal seperti kuarsa (SiO_2) dan mulit ($2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan magnetit (Fe_3O_4).

2.5.2 Pengertian Abu Batubara (Fly Ash)

Fly ash batubara adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batubara dan terdiri dari partikel yang halus. Gradasi dan kehalusan fly ash batubara dapat memenuhi persyaratan gradasi AASTHO M17 untuk mineral filler. Penggunaan mineral filler dalam campuran aspal beton adalah untuk mengisi rongga dalam campuran, untuk meningkatkan daya ikat aspal beton, dan untuk meningkatkan stabilitas dari campuran. Dari penelitian tentang penggunaan fly ash batubara sebagai mineral filler untuk menggantikan filler bubuk marmer pada campuran aspal beton menunjukkan kadar optimum lebih rendah dari pada filler bubuk marmer, yaitu 3.5 % untuk filler fly ash batubara dan 4.5 % untuk filler bubuk marmer.

Fly-ash atau abu terbang yang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang telah digunakan sebagai bahan campuran pada beton. Fly-ash atau abu terbang di kenal di Inggris sebagai serbuk abu pembakaran. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat.

Menurut ACI Committee 226 dijelaskan bahwa, fly-ash mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan N0. 325 (45 mili mikron) 5-27%, dengan specific gravity antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman. Sifat proses pozzolanic dari fly-ash mirip dengan bahan pozzolan lainnya. Menurut ASTM C.618 (ASTM, 1995:304) abu terbang (fly-ash) didefinisikan sebagai

butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batubara. Fly-ash dapat dibedakan menjadi dua, yaitu abu terbang yang normal yang dihasilkan dari pembakaran batubara antrasit atau batubara bitomius dan abu terbang kelas C yang dihasilkan dari batubara jenis lignite atau subbitumes. Abu terbang kelas C kemungkinan mengandung zat kimia SiO₂ sampai dengan dengan 70%.

A. Limbah Padat Abu Terbang Batubara (Fly Ash)

Abu batubara sebagai limbah tidak seperti gas hasil pembakaran, karena merupakan bahan padat yang tidak mudah larut dan tidak mudah menguap sehingga akan lebih merepotkan dalam penanganannya. Apabila jumlahnya banyak dan tidak ditangani dengan baik, maka abu batubara tersebut dapat mengotori lingkungan terutama yang disebabkan oleh abu yang beterbangan di udara dan dapat terhisap oleh manusia dan hewan juga dapat mempengaruhi kondisi air dan tanah di sekitarnya sehingga dapat mematikan tanaman. Akibat buruk terutama ditimbulkan oleh unsur-unsur Pb, Cr dan Cd yang biasanya terkonsentrasi pada fraksi butiran yang sangat halus (0,5 – 10 µm). Butiran tersebut mudah melayang dan terhisap oleh manusia dan hewan, sehingga terakumulasi dalam tubuh manusia dengan konsentrasi tertentu dapat memberikan akibat buruk bagi kesehatan (Putra,D.F. et al, 1996). Abu terbang batubara umumnya dibuang di ash lagoon atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukan abu terbang batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini abu terbang batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton.

Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam:

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. Penimbun lahan bekas pertambangan
3. Recovery magnetic, cenosphere, dan karbon
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori
5. Bahan penggosok (polisher)
6. Filler aspal, plastik, dan kertas
7. Pengganti dan bahan baku semen
8. Aditif dalam pengolahan limbah (waste stabilization)
9. Konversi menjadi zeolit dan adsorben

1. Sifat Kimia dan Sifat Fisika Fly Ash

Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika (SiO_2), alumina, (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), kalsium (CaO) dan sisanya adalah magnesium, potasium, sodium, titanium dan belerang dalam jumlah yang sedikit.

Tabel 2.7 Komposisi kimia abu terbang batu bara

Komponen	Bituminous	Sub- bituminous	Lignite
SiO ₂	20-60%	40-60%	15-45%
Al ₂ O ₃	5-35%	20-30%	10-25%
Fe ₂ O ₃	10-40%	4-10%	4-15%
CaO	1-12%	5-30%	15-40%
MgO	0-5%	1-6%	3-10%
SO ₃	0-4%	0-2%	0-10%
Na ₂ O	0-4%	0-2%	0-6%
K ₂ O	0-3%	0-4%	0-4%
LOI	0-15%	0-3%	0-5%

(Sumber : Sucofindo, Padang (2009))

Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan subbituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak dari pada jenis bituminous. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit dari pada bituminous. Kandungan karbon dalam abu terbang diukur dengan menggunakan Loss Of Ignition Method (LOI), yaitu suatu keadaan hilangnya potensi nyala dari abu terbang batubara. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya

berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara Blaine) antara 170 sampai 1000 m²/kg, sedangkan ukuran partikel rata-rata abu terbang batubara jenis sub-bituminous 0,01mm – 0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m²/g, massa jenis (specific gravity) 2,2 – 2,4 dan bentuk partikel mostly spherical, yaitu sebagian besar berbentuk seperti bola, sehingga menghasilkan kelecakan (workability) yang lebih baik (Nugroho,P dan Antoni, 2007)

2. Abu Terbang Sebagai Adsorben untuk Penyisihan Polutan pada Gas Buang

Abu terbang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben untuk penyisihan polutan pada gas buang proses pembakaran yang berpotensi untuk merusak lingkungan seperti gas sulfur oksida yang menyebabkan hujan asam, gas nitrogen oksida yang menyebabkan pemanasan global, dan merkuri (Hg) yang berbahaya bagi makhluk hidup.

a. Penyisihan Sox

Industri-industri berusaha untuk mengurangi emisi SO_x dengan cara memasang unit flue gas desulphurization (FGD) dan unit scrubber. Dua unit tersebut banyak digunakan karena memiliki efisiensi yang tinggi terhadap proses de-SO_x. Namun, dua unit tersebut membutuhkan air dalam jumlah yang besar dan akibatnya menghasilkan limbah cair yang banyak. FGD tipe kering tidak membutuhkan pengolahan limbah cair tetapi tipe ini membutuhkan adsorben dalam jumlah besar untuk mencapai efisiensi de-SO_x yang tinggi. Abu terbang

batubara lebih dipilih untuk digunakan sebagai adsorben pada FGD tipe kering dalam skala besar dibandingkan karbon aktif karena biayanya lebih murah. Dua tipe abu terbang batubara yang berasal dari fluidized bed combustion (FBC) dan pulverized coal combustion (PCC) telah diuji coba untuk menyisihkan SO₂ dengan bantuan kalsium hidroksida (CaOH₂)[2]. Hasil uji coba tersebut adalah konversi CaO menjadi CaSO₄ mencapai 92-100% dalam pereaksian selama 1 jam.

b. Penyisihan Nox

Abu terbang batubara juga memiliki potensi sebagai adsorben untuk menyisihkan NO_x dari aliran gas buang. Emisi NO_x diserap oleh karbon tidak terbakar yang terdapat di dalam abu terbang batubara. Partikel karbon tersebut dapat juga diaktivasi untuk meningkatkan kinerja penyerapan NO_x. Penelitian yang dilakukan oleh Rubel et al menunjukkan bahwa perbandingan kapasitas penyerapan NO_x karbon dari abu terbang batubara yang diaktivasi dengan karbon aktif komersial adalah 1/3.

c. Penyisihan merkuri (Hg)

Emisi merkuri yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada unit boiler mendapat perhatian yang besar dari pemerhati lingkungan karena berpotensi merusak lingkungan dan menjadi ancaman bagi kesehatan makhluk hidup. Abu terbang batubara dapat dijadikan salah satu adsorben untuk mengontrol emisi merkuri dengan bantuan filter dari bahan kain misalnya dengan memakai baghouse filter. Peneliti Serre dan Silcox menyatakan bahwa karbon yang tidak terbakar di dalam abu terbang batubara dapat digunakan sebagai substitusi karbon

aktif yang murah dan efektif. Abu terbang batubara dapat diinjeksikan secara berkala di dalam baghouse filter yang digunakan untuk menyisihkan merkuri. Luas permukaan dan struktur abu terbang batubara yang berpori merupakan dua hal yang menyebabkan abu terbang batubara berpotensi untuk menyerap emisi merkuri.

d. Penyisihan gas-gas organik

Selain dapat digunakan untuk menyisihkan tiga polutan diatas, abu terbang batubara juga dapat digunakan untuk menyisihkan gas organik. Penelitian yang dilakukan oleh Peloso, menunjukkan bahwa abu terbang batubara yang telah melewati proses aktivasi secara termal dapat menyisihkan uap toluene.

3. Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash

Fly ash dan bottom ash adalah terminology umum untuk abu terbang yang ringan dan abu relatif berat yang timbul dari suatu proses pembakaran suatu bahan yang lazimnya menghasilkan abu. Fly ash dan bottom ash dalam konteks ini adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Sistem pembakaran batubara umumnya terbagi 2 yakni sistem unggun terfluidakan (fluidized bed system) dan unggun tetap (fixed bed system atau grate system). Disamping itu terdapat system ke-3 yakni spouted bed system atau yang dikenal dengan unggun pancar. Fluidized bed system adalah sistem dimana udara ditiup dari bawah menggunakan blower sehingga benda padat di atasnya berkelakuan mirip fluida. Teknik fluidisasi dalam pembakaran batubara adalah teknik yang paling efisien dalam menghasilkan energi. Pasir atau corundum yang berlaku sebagai medium pemanas dipanaskan terlebih dahulu. Pemanasan biasanya dilakukan dengan

minyak bakar. Setelah temperatur pasir mencapai temperature bakar batubara (300oC) maka diumpankanlah batubara.

Sistem ini menghasilkan abu terbang dan abu yang turun di bawah alat. Abu-abu tersebut disebut dengan fly ash dan bottom ash. Teknologi fluidized bed biasanya digunakan di PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Komposisi fly ash dan bottom ash yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah : (80-90%) berbanding (10-20%). Fixed bed system atau Grate system adalah teknik pembakaran dimana batubara berada di atas conveyoryang berjalan atau grate. Sistem ini kurang efisien karena batubara yang terbakar kurang sempurna atau dengan perkataan lain masih ada karbon yang tersisa. Ash yang terbentuk terutama bottom ash masih memiliki kandungan kalori sekitar 3000 kkal/kg. Di China, bottom ash digunakan sebagai bahan bakar untuk kerajinan besi (pandai besi). Teknologi Fixed bed system banyak digunakan pada industri tekstil sebagai pembangkit uap (steam generator). Komposisi fly ash dan bottom ash yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah : (15-25%) berbanding (75-25%).

A. Persoalan di Sekitar Fly ash dan Bottom ash

Fly ash/bottom ash yang dihasilkan oleh fluidized bed system berukuran 100-200 mesh (1 mesh = 1 lubang/inch²). Ukuran ini relative kecil dan ringan, sedangkan bottom ash berukuran 20-50 mesh. Secara umum ukuran fly ash/bottom ash dapat langsung dimanfaatkan di pabrik semen sebagai substitusi batuan trass dengan memasukkannya pada cement mill menggunakan udara tekan (pneumatic system). Disamping dimanfaatkan di industri semen, fly/bottom ash dapat juga dimanfaatkan menjadi campuran asphalt (ready mix), campuran beton (concrete) dan dicetak menjadi paving block/batako.

Dari suatu penelitian empiric untuk campuran batako, komposisi yang baik adalah sbb : .

1. Kapur : 40%
2. Fly ash : 10%
3. Pasir : 40%
4. Semen : 10%

Persoalan lingkungan muncul dari bottom ash yang menggunakan fixed bed atau grate system. Bentuknya berupa bongkahan-bongkahan besar. Seperti yang telah disinggung di atas bahwa bottom ash ini masih mengandung fixed carbon (catatan : fixed carbon dalam batubara dengan nilai kalori 6500-6800 kkal/kg sekitar 41-42%). Jika bottom ash ini langsung dibuang ke lingkungan maka lambat laun akan terbentuk gas Metana (CH_4) yang sewaktu-waktu dapat terbakar atau meledak dengan sendirinya (*self burning dan self exploding*).

Di sisi yang lain, jika akan dimanfaatkan di pabrik semen maka akan merubah desain feeder, sehingga pabrik semen tidak tertarik untuk memanfaatkan bottom ash tsb. 2.5.2 Solusi Persoalan Fly ash dan Bottom ash Dari situasi dan keadaan di atas maka dapat dikatakan bahwa solusi terhadap munculnya fly/bottom ash serta pemanfaatan yang dikaitkan dengan keamanan terhadap lingkungan adalah sbb : Fly ash/bottom ash yang berasal dari sistem pembakaran fluidized bed dapat digunakan untuk :

- a. Campuran semen tahan asam

- b. Campuran asphalt (ready mix) dan beton
- c. Campuran paving block/batako Fly ash yang berasal dari fixed bed system dapat langsung digunakan seperti point 1.a, 1b dan 1c.

Sedangkan untuk bottom ash yang masih dalam bentuk bongkahan maka harus mengalami perlakuan pengecilan ukuran (size reduction treatment) sebelum dimanfaatkan lebih lanjut.

B. Abu Batubara Pada Pembuatan Beton

Bottom ash merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang telah digunakan sebagai bahan campuran pada beton. Bottom ash atau abu terbang di kenal di Inggris sebagai serbuk abu pembakaran. Bottom ash sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat.

Menurut ACI Committee 226 dijelaskan bahwa, fly-ash/bottom ash mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No.. 325 (45 mili mikron) 5-27%, dengan specific gravity antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman. Sifat proses pozzolanic dari fly-ash mirip dengan bahan pozzolan lainnya. Menurut ASTM C.618 (ASTM, 1995:304) abu terbang (fly-ash) didefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batubara. Fly-ash dapat dibedakan menjadi dua, yaitu abu terbang yang normal yang dihasilkan dari pembakaran batubara antrasit atau batubara bitomius dan abu

terbang kelas C yang dihasilkan dari batubara jenis lignite atau subbitumes. Abu terbang kelas C kemungkinan mengandung zat kimia SiO_2 sampai dengan dengan 70%. Tingkat pemanfaatan abu terbang dalam produksi semen saat ini masih tergolong amat rendah. Cina memanfaatkan sekitar 15 persen, India kurang dari lima persen, untuk memanfaatkan abu terbang dalam pembuatan beton. Abu terbang ini sendiri, kalau tidak dimanfaatkan juga bisa menjadi ancaman bagi lingkungan. Karenanya dapat dikatakan, pemanfaatan abu terbang akan mendatangkan efek ganda pada tindak penyelamatan lingkungan, yaitu penggunaan abu terbang akan memangkas dampak negatif kalau bahan sisa ini dibuang begitu saja dan sekaligus mengurangi penggunaan semen Portland dalam pembuatan beton.

Sebagian besar abu terbang yang digunakan dalam beton adalah abu kalsium rendah (kelas "F" ASTM) yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau batu bara bituminous. Abu terbang ini memiliki sedikit atau tidak ada sifat semen tetapi dalam bentuk yang halus dan kehadiran kelambaban, akan bereaksi secara kimiawi dengan kalsium hidrosida pada suhu biasa untuk membentuk bahan yang memiliki sifat-sifat penyemenan. Abu terbang kalsium tinggi (kelas ASTM) dihasilkan dari pembakaran lignit atau bagian batu bara bituminous, yang memiliki sifat-sifat penyemenan di samping sifat-sifat pozolan.

Hasil pengujian yang dilakukan oleh Poon dan kawan-kawan, memperlihatkan dua pengaruh abu terbang di dalam beton, yaitu sebagai agregat halus dan sebagai pozzolan. Selain itu abu terbang di dalam beton menyumbang kekuatan yang lebih baik dibanding pada pasta abu terbang dalam komposisi yang sama. Ini diperkirakan lekatan antara permukaan pasta dan agregat di dalam

beton. More dan kawan-kawan, Mendapatkan workabilitas meningkat ketika sebagian semen diganti oleh abu terbang. Beton yang mengandung 10 persen abu terbang memperlihatkan kekuatan awal lebih tinggi yang diikuti perkembangan yang signifikan kekuatan selanjutnya.

Kekuatan meningkat 20 persen dibanding beton tanpa abu terbang. Penambahan abu terbang menghasilkan peningkatan kekuatan tarik langsung dan modulus elastis. Kontribusi abu terbang terhadap kekuatan di dapati sangat tergantung kepada faktor air-semen, jenis semen dan kualitas abu terbang itu sendiri. Dalam suatu kajian, abu terbang termasuk ke dalam kategori kelas F dengan kandungan CaO_2 rendah sebesar 1,37 persen lebih kecil daripada 10 persen yang menjadi persyaratan minimum kelas C. Namun demikian kandungan SiO_2 cukup tinggi yaitu 57,30 persen. Abu terbang ini, selain memenuhi kriteria sebagai bahan yang memiliki sifat pozzolan, abu terbang juga memiliki sifat-sifat fisik yang baik, yaitu jari-jari pori rata-rata 0,16 mili mikron, ukuran median 14,83 mili-mikron, dan luas permukaan spesifik 78,8 m^2/gram . Sifat-sifat tersebut dihasilkan dengan menggunakan uji Porosimeter.

Hasil-hasil pengujian menunjukkan bahwa abu terbang memiliki porositas rendah dan pertikelnya halus. Bentuk partikel abu terbang adalah bulat dengan permukaan halus, dimana hal ini sangat baik untuk workabilitas, karena akan mengurangi permintaan air atau superplastiscizer.