

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Mulai tahap perencanaan hingga tahap analisis, penelitian dilaksanakan berdasarkan sumber yang berkaitan dengan topik yang dipilih, yaitu penelitian tentang limbah *fly ash* yang difungsikan sebagai pengganti sebagian semen pada beton.

Materi yang dibahas berdasarkan referensi maupun peraturan mengenai teknologi beton yaitu :

- Teori tentang beton
- Material pada beton
- Teori tentang beton mutu tinggi
- Teori tentang *fly ash*
- Penelitian sejenis yang pernah dilakukan.

2.2. Teori Tentang Beton

Beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen *portland* dan air. Tetapi belakangan ini definisi dari beton sudah semakin luas, dimana beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan, abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain (*Neville dan Brooks, 1987*).

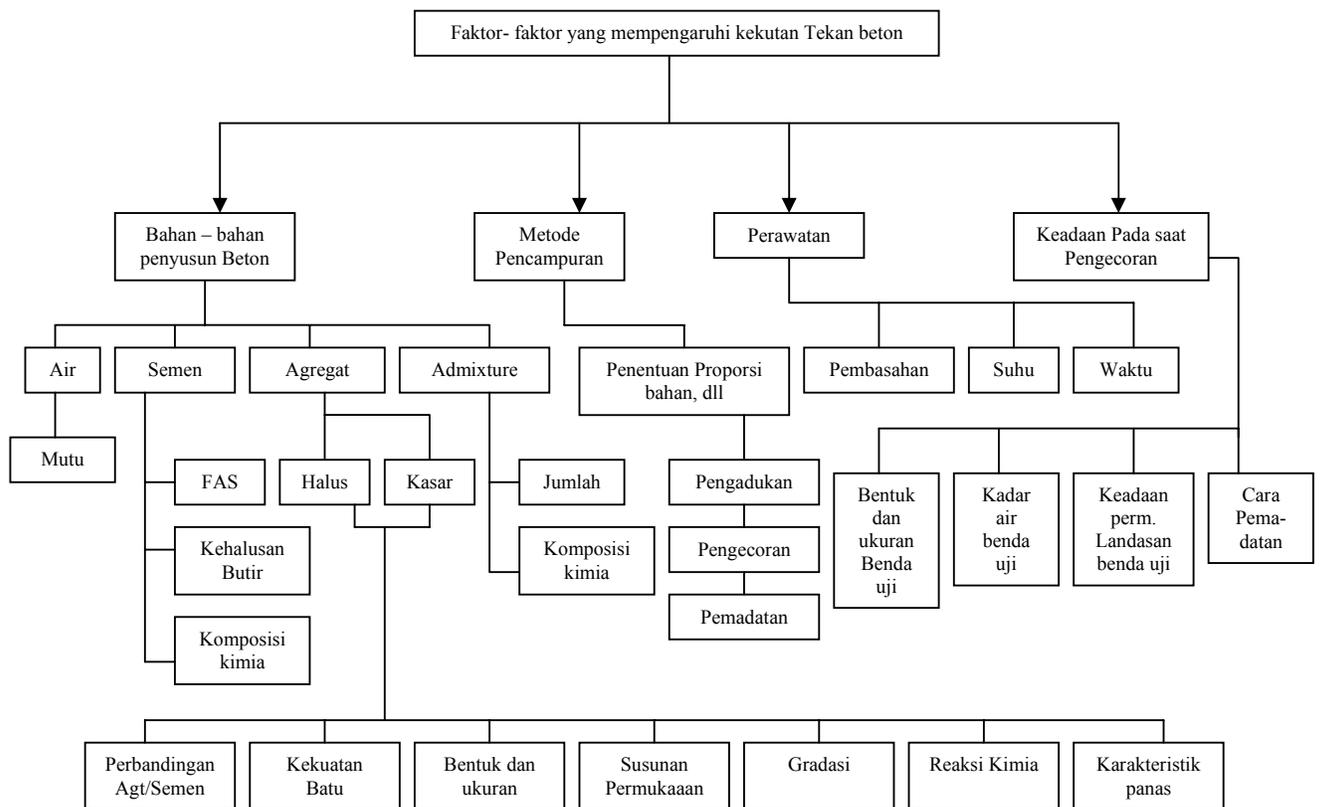
Perancangan beton harus memenuhi kriteria perancangan yang berlaku. Perancangan sendiri dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang baik dimana harus memenuhi kriteria dua kinerja yang utamanya, yaitu kuat tekan yang tinggi (minimal sesuai dengan rencana) dan pengerjaan yang mudah (*Workability*). Selain itu juga harus memenuhi kriteria antara lain, tahan lama (*durability*), murah (*aspect economic cost*) dan tahan aus.

2.2.1. Karakteristik Beton

2.2.1.1. Kuat Tekan Beton

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton, yaitu :

1. Proporsi bahan-bahan penyusun
2. Metode perancangan
3. Perawatan
4. Keadaan pada saat pengecoran. (*Tri Mulyono, 2003*)



Gambar 2.1 Faktor – faktor yang mempengaruhi Kekuatan Baton (*Tri Mulyono,2003*)

2.2.1.2. Workabilitas Beton.

Workabilitas adalah bahwa bahan-bahan beton setelah diaduk bersama, menghasilkan adukan yang bersifat sedemikian rupa sehingga adukan mudah diangkut, dituang / dicetak, dan dipadatkan menurut tujuan pekerjaannya tanpa terjadi perubahan yang menimbulkan kesukaran atau penurunan mutu.

Beberapa parameter untuk mengetahui workabilitas beton segar adalah :

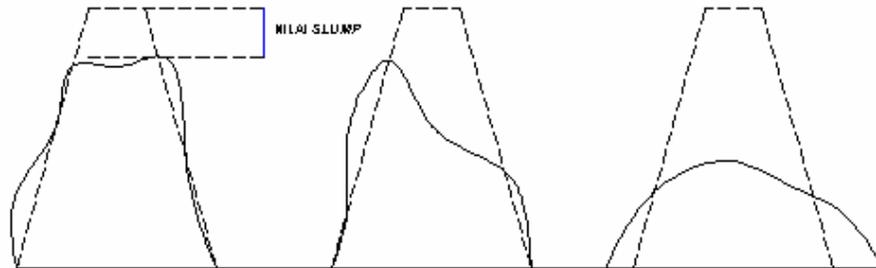
1. *Compactible*, yaitu kemudahan beton untuk dipadatkan dengan baik. Pemasakan bertujuan untuk mengurangi rongga-rongga udara yang terjebak di dalam beton sehingga diperoleh susunan yang padat dan memperkuat ikatan antar partikel beton.
2. Mobilitas, yaitu kemudahan beton untuk mengalir atau dituang dalam cetakan dan dibentuk. Adukan beton juga harus dapat mengisi ruang di antara tulangan-tulangan .
3. Stabilitas, yaitu kemampuan beton untuk tetap stabil, homogen selama pencampuran, serta tidak terjadi segregasi dan bleeding.

Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari nilai *slump* yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton semakin mudah pengerjaannya.

Unsur – unsur yang mempengaruhi nilai *slump* antara lain :

1. Jumlah air pencampur
Semakin banyak air semakin mudah dikerjakan
2. Kandungan Semen
Jika FAS tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisannyapun akan lebih tinggi
3. Gradasi Campuran pasir-kerikil
Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mudah dikerjakan
4. Bentuk butiran agregat kasar
Agregat berbentuk bulat – bulat lebih mudah dikerjakan
5. Butir maksimum
6. Cara Pemasakan dan alat pematat (*Tri Mulyono, 2003*)

Ada tiga jenis *slump* yaitu *Slump* Sejati, *Slump* Geser, dan *Slump* Runtuh. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Jenis Slump berdasarkan Nilai FAS

2.2.1.3. Susut Beton.

Susut didefinisikan sebagai perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Jika dihalangi secara merata proses susut dalam beton akan menimbulkan deformasi yang umumnya bersifat menambah deformasi rangkak. Kerugian yang didapat dari susut beton adalah menyebabkan beton retak

Pada umumnya, beton yang semakin tahan terhadap susut akan mempunyai kecenderungan rangkak yang rendah, sebab kedua fenomena ini berhubungan dengan proses hidrasi pasta semen. Nilai susut akan semakin besar dengan meningkatnya nilai FAS dan kandungan semen. Demikian pula semakin banyak agregat yang digunakan semakin sedikit susut yang terjadi.

Faktor – faktor yang mempengaruhi besarnya susut dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Sifat bahan dasar beton (komposisi dan kehalusan semen, kualitas adukan, dan kandungan mineral dalam agregat),
2. Rasio air terhadap jumlah semen (*Water cement ratio*)
3. Suhu pada saat pengerasan (*temperature*)
4. Kelembaban nisbi pada saat proses penggunaan (*humidity*)
5. Umur beton pada saat beban bekerja
6. Nilai *slump* (*slump test*)
7. Lama pembebanan

8. Nilai tegangan
9. Nilai Ratio permukaan komponen struktur.

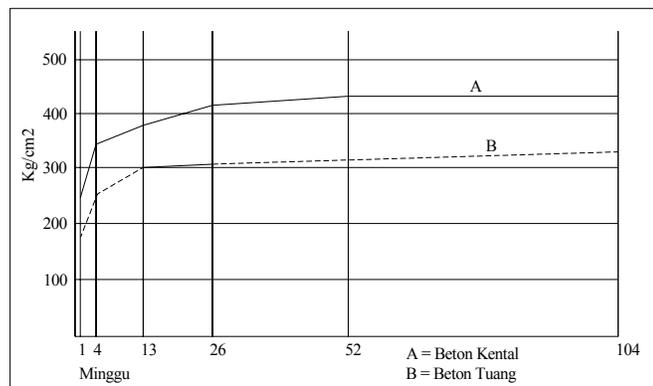
2.2.1.4. Rongga Udara (*Air Content*) Pada beton

Pada umumnya beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40% dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% - 75%. (Tri Mulyono, 2003).

Dengan banyaknya pori-pori yang mengandung udara tersebut, maka akan mengakibatkan kekuatan beton akan semakin menurun. Dengan penambahan bahan tertentu yang bersifat sebagai *Filler* akan mengisi rongga-rongga udara sehingga beton lebih kedap air

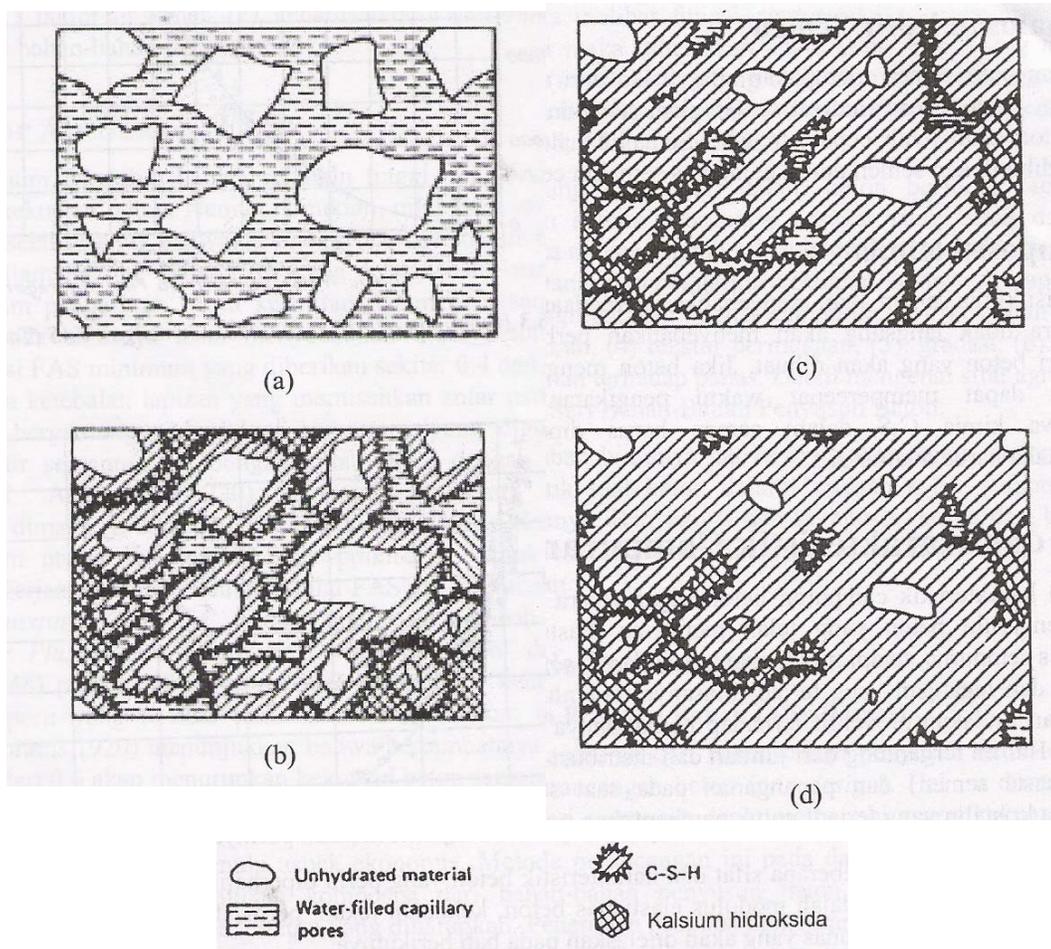
2.2.2. Umur Beton

Kuat tekan beton bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain : faktor air - semen dan suhu perawatan. Semakin tinggi faktor air - semen semakin lambat kenaikan kekuatan beton, semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan beton. (Tjokroadimuljo.K, 1996). Laju kenaikan kuat tekan beton ini mula - mula cepat, akan tetapi semakin lama laju kenaikan itu makin lambat seperti yang terlihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3. hubungan kuat tekan dan umur beton.
(Honing, 1982)

Semen portland akan terus bereaksi dengan air pada saat pengikatan awal terjadi. Setelah 24 jam pada temperatur kamar, 30% - 40% semen biasanya mengalami Proses Hidrasi, pembentukan lapisan penutup dengan bertambahnya kepadatan dan ketebalan yang melapisi partikelnya. Hidrasi partikel Klinker yang besar secara parsial dan keseluruhan akan membentuk beton (Tri Mulyono, 2003). Proses pembentukan beton dari saat mulai mengeras sampai umur beton 90 hari dapat dilihat pada gambar 2.4



Keterangan : a) Terjadinya pencampuran pertama; b) Kondisi beton setelah berumur 7 hari; c) Kondisi beton setelah berumur 28 hari; d) Kondisi beton setelah berumur 12 bulan.

Gambar 2.4 Proses terjadinya Pengikatan dalam beton (Tri Mulyono,2003)

2.3. Material Penyusun Beton

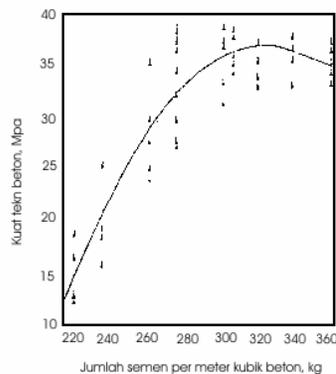
Material penyusun pada beton dengan campuran *fly ash* ini tidak berbeda dengan material penyusun beton pada umumnya, yaitu terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air dan *fly ash* sebagai tambahan. Semua bahan-bahan diatas mempunyai karakteristik yang berbeda bila digunakan sebagai bahan adukan dalam beton. Dengan alasan ini maka perlu diketahui sifat dan karakteristik masing-masing material penyusun beton agar dalam pelaksanaan nanti tidak terjadi kesalahan pemilihan dan penggunaan material, sehingga dapat menghasilkan beton dengan kekuatan karakteristik yang dikehendaki.

2.3.1 Semen Portland (PC)

Portland cement (PC) atau lebih dikenal dengan semen merupakan suatu bahan yang mempunyai sifat hidrolis, semen membantu pengikatan agregat halus dan agregat kasar apabila tercampur dengan air. Selain itu, semen juga mampu mengisi rongga-rongga antara agregat tersebut.

Banyaknya kandungan semen dalam beton berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Jumlah semen yang terlalu sedikit, berarti banyaknya air juga sedikit mengakibatkan adukan beton sulit dipadatkan, sehingga kuat tekan beton menjadi rendah. Kelebihan jumlah semen, berarti banyaknya air juga berlebihan sehingga beton menjadi banyak pori, dan akibatnya kuat tekan beton menjadi rendah.

Hubungan antara jumlah semen dan kuat tekan beton dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.5. Pengaruh jumlah semen terhadap kuat tekan beton pada faktor air - semen sama
(Tjokroadimuljo,k.1986)

2.3.1.1 Sifat Kimia Semen

Sifat kimia dari semen portland sangat rumit, dan belum dimengerti sepenuhnya. Hampir dua pertiga bagian semen terbentuk dari zat kapur yang proporsinya berperan penting terhadap sifat-sifat semen. Zat kapur yang berlebihan kurang baik untuk semen karena menyebabkan terjadinya *disintegrasi* (perpecahan) semen setelah timbul ikatan. Kadar kapur yang tinggi tetapi tidak berlebihan cenderung memperlambat pengikatan, tetapi menghasilkan kekuatan awal yang tinggi. Kekurangan zat kapur menghasilkan semen yang lemah. (*L.J. Murdock dan K.M. Brook, 1979*)

Dalam semen pada dasarnya ada 4 senyawa penting, yaitu :

- Trikalsium silikat (C_3S)
- Dikalsium silikat (C_2S)
- Trikalsium aluminat (C_3A)
- Tetrakalsium aluminoforit (C_4AF)

Senyawa C_3S dan C_2S merupakan senyawa penyusun utama dari semen dengan prosentase sekitar 70 % - 80 % yang menyebabkan semen bersifat sebagai perekat, selain itu senyawa ini juga berpengaruh terhadap pengerasan semen. Kadar C_3S yang lebih besar dari C_2S , umumnya menyebabkan semen menjadi cepat mengeras. Semen portland yang cepat mengeras (*rapid hardening cement portland*) mengandung kadar C_3S yang cukup tinggi, yaitu sekitar 60 %.

Senyawa C_3A jika bercampur dengan air akan mengalami hidrasi sangat cepat disertai dengan pelepasan sejumlah panas dan kemudian hancur. Oleh karena itu senyawa ini tidak mempunyai sifat mengikat. Kandungan senyawa C_3A yang lebih besar dari 18 % mengakibatkan semen menjadi tidak kekal bentuk karena sifatnya yang hancur, sehingga menjadikan semen mengembang pada waktu pengerasan. Senyawa yang keempat C_4AF , kurang berpengaruh pada semen portland. Senyawa ini hanya memperlambat pengerasan jika kadarnya tinggi.

2.3.1.2 Sifat Fisik Semen

Semen portland mempunyai beberapa sifat fisik,

a. Kehalusan butir

Semakin halus semen, maka permukaan butirannya akan semakin luas, sehingga persenyawaannya dengan air akan semakin cepat dan membutuhkan air dalam jumlah yang besar pula. Kehalusan dari semen dapat ditentukan dengan berbagai cara, antara lain dengan analisa saringan. Semen pada umumnya mampu lolos saringan 44 mikron dalam jumlah 80 % beratnya.

b. Berat jenis dan berat isi

Berat jenis semen pada umumnya berkisar 3.15 kg/liter. Berat jenis ini penting untuk diketahui karena semen dengan berat jenis yang rendah dan dicampur dengan bubuk batuan lain, pada pembakarannya menjadi titik sempurna. Berat isi semen bergantung pada cara pengisiannya ke dalam takaran. Cara pengisian gembur, berat isinya akan rendah sekitar 1.1 Kg/liter, sedangkan cara pengisian padat akan menghasilkan berat isi yang relatif tinggi sekitar 1.5 Kg/liter.

c. Waktu pengerasan semen

Pada pengerasan semen dikenal dengan adanya waktu pengikatan awal (*initial setting*) dan waktu pengikatan akhir (*final setting*). Waktu pengikatan awal dihitung sejak semen tercampur dengan air hingga mengeras. Pengikatan awal untuk semua jenis semen harus diantara 60 – 120 menit. Pada percobaan untuk mengetahui pengikatan awal harus diperhatikan semen dan air yang digunakan, karena mempengaruhi pengerasan dari semen. Alat *vicat* dapat digunakan untuk mengetahui pengikatan awal.

d. Kekekalan bentuk

Bubur semen yang dibuat dalam bentuk tertentu dan bentuknya tidak berubah pada waktu mengeras, maka semen tersebut mempunyai sifat kekal bentuk. Demikian juga sebaliknya jika bubur semen tersebut mengeras dan menunjukkan adanya cacat (retak, melengkung, membesar dan menyusut), berarti semen tersebut tidak mempunyai sifat kekal bentuk.

Sifat kekal bentuk sangat dipengaruhi oleh kandungan senyawa C_3A , karena kandungan C_3A dalam jumlah tinggi menyebabkan bubur semen mengembang pada saat proses pengerasan karena dilepaskannya panas oleh senyawa tersebut.

e. Kekuatan semen

Pengukuran kekuatan semen biasanya dilakukan menggunakan nilai kuat tekan semen yang dicampur dengan pasir. Kekuatan semen sangat berpengaruh terhadap kualitas beton, karena semen sebagai bahan pengikat material beton.

f. Pengaruh suhu

Pengikatan semen sangat tergantung oleh suhu di sekitarnya. Pengikatan semen berlangsung dengan baik pada suhu $35^{\circ}C$ dan berjalan dengan lambat pada suhu di bawah $15^{\circ}C$.

2.3.2. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Kira-kira 70 % volume mortar atau beton diisi oleh agregat. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. Dari segi ekonomis lebih menguntungkan jika digunakan campuran beton dengan sebanyak mungkin bahan pengisi dan sedikit mungkin jumlah semen. Namun keuntungan dari segi ekonomis harus diseimbangkan dengan kinerja beton baik dalam keadaan segar maupun setelah mengeras.

Pengaruh kekuatan agregat terhadap beton begitu besar, karena umumnya kekuatan agregat lebih besar dari kekuatan pasta semennya. Namun kekasaran permukaan agregat berpengaruh terhadap kekuatan beton. Agregat dapat dibedakan berdasarkan ukuran butiran. Agregat yang mempunyai ukuran butiran besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berbutir kecil disebut agregat halus. Dalam bidang teknologi beton nilai batas daerah agregat kasar dan agregat halus adalah 4,75 mm atau 4,80 mm. Agregat yang butirannya lebih kecil dari 4,8 mm disebut agregat halus. Secara umum agregat kasar sering disebut kerikil, kericak, batu pecah atau *split*. Adapun agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai, tanah galian atau dari hasil

pemecahan batu. Agregat yang butirannya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butiran yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut lanau, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut lempung.

Agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu:

- Batu, umumnya besar butiran lebih dari 40 mm
- Kerikil, untuk butiran antara 5 sampai 40 mm
- Pasir, untuk butiran antara 0,15 sampai 5 mm

Agregat harus mempunyai bentuk yang baik (bulat dan mendekati kubus), bersih, keras, kuat dan gradasinya baik. Bila butiran agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butirannya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini karena butiran yang kecil dapat mengisi pori diantara butiran yang lebih besar sehingga pori-pori menjadi sedikit, dengan kata lain agregat tersebut mempunyai kemampuan tinggi.

Agregat harus pula mempunyai kestabilan kimiawi dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus dan tahan cuaca.

2.3.3. Air

Fungsi air pada campuran beton adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya proses pengikatan serta sebagai pelicin antara campuran agregat dan semen agar mudah dikerjakan.

Air diperlukan pada pembentukan semen yang berpengaruh terhadap sifat kemudahan pengerjaan adukan beton (*workability*), kekuatan, susut dan keawetan beton. Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25 % dari berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit jika kurang dari 0,35. Kelebihan air dari jumlah yang dibutuhkan dipakai sebagai pelumas, tambahan air ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton menjadi rendah dan beton menjadi keropos. Kelebihan air ini dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih dan terbentuk suatu selaput tipis (*laitance*). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah (*Tjokrodimuljo, 1996*).

Pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan (*PBI 1971*) :

1. Tidak mengandung Lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organic, dan sebagainya) lebih dari 15 gr/liter
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter
4. Tidak mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter.

2.4. Beton Mutu Tinggi

Sesuai dengan perkembangan teknologi beton yang demikian pesat, ternyata kriteria beton tinggi juga berubah sesuai dengan dengan perkembangan jaman dan kemajuan tingkat mutu yang berhasil dicapai. Menurut *SK SNI T-15-1991-03*, yang dikatakan Beton Mutu Tinggi adalah jika $f'c$ melebihi 40 Mpa.

Pada umumnya jika ingin mendapatkan beton dengan mutu dan keawetan yang tinggi, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan, meliputi faktor air semen (FAS), Agregat (baik agregat kasar maupun halus), dan penggunaan bahan tambah (*admixture* dan *Additif*)

1. FAS (Faktor Air Semen)

Secara umum semakin besar nilai FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Dengan demikian untuk menghasilkan beton dengan mutu tinggi, nilai FAS dalam beton haruslah rendah., karena pengurangan nilai fas akan dapat meminimalkan porositas beton.

2. Kualitas Agregat Halus

Disamping gradasi yang bagus (*well Graded*), kualitas agregat halus sangat menentukan kualitas beton, Salah satunya adalah kehalusan dari agregat. Semakin halus tekstur permukaan agregat halus akan membutuhkan air yang lebih sedikit dibandingkan dengan agregat halus yang mempunyai permukaan kasar.

Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi dari mutu beton yang kan dibuat terutama dari zat – zat yang dapat merusak baik itu pada saat beton muda maupun beton yang suda mengeras. (*Trimulyono, 2003*)

3. Kualitas Agregat Kasar

Kekuatan utama dari beton adalah Agregat kasar, maka pemilihan agregat haruslah tepat. Baik itu dari kekasaran permukaan, bentuk maupun kekuatannya. Disamping itu, gradasi agregat kasar yang baik adalah ditiap zona ayakan tidak boleh lebih dari 45 %.

4. Bahan Tambah

Penggunaan bahan tambah mineral (*additif*) untuk membentuk beton mutu tinggi pada saat ini sudah merupakan bagian yang mutlak. Bahan tambah yang umumnya digunakan dan populer adalah abu terbang yang merupakan residu pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan batu bara jenis antrasit atau bitumen. Karena sifatnya yang mengandung *pozzolan* maka bahan ini sangat baik jika digunakan untuk membentuk beton mutu tinggi. *Pozzolan* adalah bahan yang mempunyai kandungan utama silika dan alumina dan didapat dari sumber alam maupun buatan yang berfungsi sebagai pengisi *interface* pada beton.

2.5. Fly Ash

Fly ash adalah limbah dari sisa pembakaran batubara, suatu pembangkit listrik tenaga Uap yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. 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 *sputed 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 (300°C) 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.

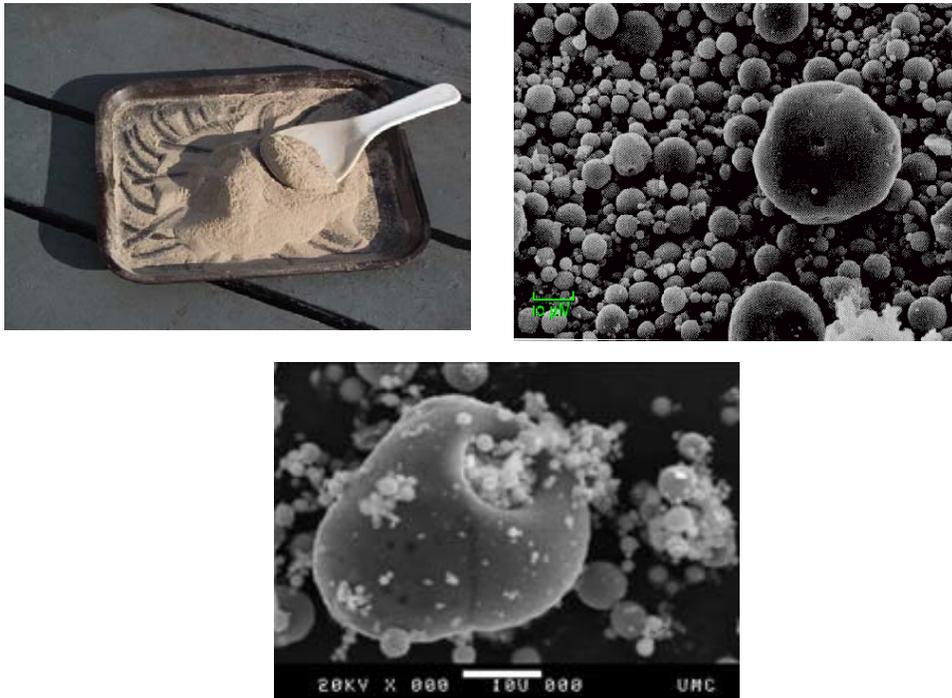
Teknologi *fluidized bed* biasanya digunakan di PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah : (80-90%) berbanding (10-20%).

Fixed bed system atau *Grate system* adalah teknik pembakaran dimana batubara berada di atas *conveyor* yang 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%).

2.5.1 Karakteristik *Fly Ash*

a) Karakteristik Fisik

Fly ash/*bottom ash* yang dihasilkan oleh *fluidized bed system* berukuran 100-200 mesh (1 mesh = 1 lubang/inch²). Bubuk halus ini berwarna abu-abu terang sampai gelap atau bias kecoklatan / kekuning-kuningan. Di mana titik didih / titik leleh dari *fly ash* > 1400 ° C dan mempunyai berat jenis 2.05 – 2.8 , serta tidak mudah larut dalam air (tetapi bebarapa kelas c mudah larut dalam air karena memiliki *sodium sulfat*(1-8%)). Ukuran partikel dibawah 7 mikron sekitar 20 – 40 %.



Gambar 2.6 Bentuk Visual *Fly ash*

b) Karakteristik Kimia

Komposisi kimia dari *Fly ash* yaitu silika, alumina dan besi dengan sedikit kalsium, magnesium, sulfat, dan komponen yang lain.

Unsur kimia yang terkandung dalam *Fly ash* dapat dilihat pada Tabel 2.1 .

| Parameter | Hasil Pengujian | Satuan | Metode |
|---------------|-----------------|--------|------------|
| Organik Total | 9.50 | % | Kalkulasi |
| Kadar Air | 1.04 | % | Oven |
| Kadar Abu | 89.46 | % | Gravimetri |
| Silica (Si) | 39.50 | % | AAS |

Tabel 2.1 Unsur Kimia *Fly Ash* Dari PT. Pura Group Kudus

2.5.2. Keuntungan Penggunaan *Fly ash*

Beberapa keuntungan penggunaan *Fly Ash* yaitu :

1. Mengurangi keberadaan unsur *kalsium-hidroksida* di dalam beton, yang merupakan bagian yang lemah pada beton, serta menggantikannya setelah bereaksi dengan SiO_2 menjadi *kalsium-silikat-hidrat* (*CSH gel*) yang selanjutnya memberikan peningkatan kekuatan beton
2. *Pozzolan* yang berbutir halus akan mengisi pori-pori sehingga porositasnya menjadi rendah.
3. Pengurangan *kalsium-hidroksida* oleh SiO_2 akan mengurangi sensitivitas terhadap ketahanan *sulfat* yang juga didukung oleh meningkatnya kerapatan beton yang pada akhirnya akan meningkatkan kedapannya terhadap air.

(Sumber : *Tri Mulyono, 2003*)