

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian telah dilakukan tentang pengaruh *fly ash* dan *bottom ash* terhadap beton, dengan berbagai macam jenis bahan tambah yang digunakan pada campuran beton. Tujuan dari bahan tambah pada beton untuk memperbaiki sifat-sifat beton serta untuk berinovasi pada pembuatan beton.

Pemakaian abu terbang dalam campuran beton yang digunakan menurunkan hidrasi pada *mass concrete*. Hasilnya menunjukkan bahwa *pozzolan* merupakan material yang dapat dimanfaatkan sebagai campuran beton dengan memberikan hasil yang cukup baik dan harganya relatif murah (Marzuki, 1996).

Pengaruh abu terbang dalam beton mutu tinggi adalah sifat *pozzolan* dari abu terbang yang halus membuat beton lebih padat sehingga dapat memperkecil pori-pori pada beton dan dengan takaran yang tepat abu terbang terbukti dapat meningkatkan kekuatan beton, (Mardiono).

Menurut Alfian Hendri Umboh (2014) tentang persentase *fly ash* sebesar 30%, 40%, 50%, dan 60%, 70% memiliki nilai kuat beton tertinggi pada persentase *fly ash* sebesar 30% yaitu 24,18 MPa pada umur beton 28 hari. Dan nilai kuat tekan terendah pada presentase *fly ash* sebesar 70% yaitu sebesar 3,645 MPa pada umur beton 7 hari.

Beton menggunakan bahan tambah superplasticizer dan *fly ash* menghasilkan kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari sebesar 57,11 MPa dengan kadar *superplasticizer* yang digunakan sebesar 2% dan *fly ash* 12%, dan slump sebesar 14,95 cm dengan faktor air semen sebesar 0,3. (Pujiyanto, 2010). Selain itu juga, pujiyanto telah melakukan penelitian beton menggunakan *admixture superplasticizer* dan *silica fume* yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum 65,06 MPa dengan kadar *silica fume* 10%, kadar

superplasticizer 2%, dan slump sebesar 9,20 cm dengan faktor air semen sebesar 0,3.

Dari penelitian Polinus Laia (2012) mengungkapkan pengaruh *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dan *superplasticizer* pada kuat tekan beton $f'c$ 38,5 MPa. Akibat pengganti sebagian semen dengan *fly ash* dan *superplasticizer* kuat tekan beton mengalami peningkatan. Kuat tekan maksimum yang diperoleh sebesar 55,95 MPa dengan *fly ash* 20% dan kuat tekan minimum yang diperoleh sebesar 16,49 MPa dengan *fly ash* 10%. Dalam hal ini bahwa menggunakan 20% *fly ash* mempunyai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan variasi campuran *fly ash* lainnya.

Penelitian menggunakan bahan tambah *superplasticizer viscocrete-10* sebanyak 1,5%, *fly ash* 20%, serat baja (kawat bendrat) dengan panjang 60 mm, diameter 8 mm, dan faktor air semen sebesar 0,4. Hasil penelitian ini kuat tekan tertinggi beton pada umur 28 hari sebesar 47,66 MPa, sedangkan kuat tekan beton umur 56 hari sebesar 60,80 MPa. (Laurensius Agil Damar Kusumo, 2013).

Penelitian dengan menggunakan pasir kuarsa sebagai *filler* sebanyak 10% dari berat semen, *silica fume* sebanyak 10%, *viscocrete-10* dengan kadar 2%, dan variasi penambahan *fly ash* 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat semen. Telah menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari, pada variasi kadar *fly ash* 5% sebesar 75,06 MPa yang meningkatkan kuat tekan sebesar 99,15% dari beton tanpa *fly ash*. (Marsianus Danasi, 2014).

Penelitian mengenai beton mutu tinggi menggunakan bahan *viscocrete-10* dengan kadar 1,328%, *silica fume*, *cooperslag* sebagai pengganti sebagian pasir sebanyak 30%, menggunakan fiber untuk menaikkan daktilitas beton dan mengurangi faktor air semen sebesar 0,2. Hasil kuat tekan yang tercapai pada penelitian ini sebesar 60 MPa pada umur 14 hari dengan *slump flow* sebesar 500 mm. (Denny Ervianto, 2012).

Dari berbagai penelitian di atas, maka penulis ingin meneliti tentang perbandingan kuat tekan beton antara *fly ash* dan *bottom ash* dari PLTU Air Anyir – Bangka dengan bahan tambah *silica fume* dan *superplasticizer*. Dengan variasi dari abu terbang (*fly ash*) dan *bottom ash* sebesar 5%, 10%, 15%, 20%,

25% dari berat semen, yang dikombinasi dengan variasi dari *silica fume* sebesar 2%, 4%, 6%, 8%, 10 % dari berat semen yang sudah dikurangi dengan berat semen *fly ash* dan *bottom ash*, dan ditambah dengan *superplasticizer* sebesar 2% dari kebutuhan air. Adapun yang ditinjau tentang penelitian ini yaitu perbandingan kuat tekan beton, nilai *slump test*, suhu pada saat pengecoran beton dan *setting time*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Beton

Beton adalah campuran semen *Portland*, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) tertentu. Material pembentuk beton tersebut dicampur merata dengan komposisi tertentu yang menghasilkan suatu campuran yang homogen sehingga dapat dituang dalam cetakan untuk dibentuk sesuai keinginan. Campuran beton tersebut apabila dibiarkan akan mengalami pengerasan sebagai akibat reaksi kimia antara semen dan air yang berlangsung selama jangka waktu panjang atau dengan kata lain campuran beton akan bertambah keras sejalan dengan umurnya.

Berdasarkan SNI 2847 : 2013 beton (*concrete*) adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*).

Menurut Asroni (2010), secara sederhana beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah atau kerikil). Kadang-kadang ditambahkan pula campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton.

2.2.1.1 Material Penyusun beton

Berikut ini bahan-bahan penyusun yang digunakan untuk membuat beton :

1. Semen

Semen berasal dari bahasa latin *caementum* yang berarti bahan perekat. Secara sederhana, Definisi semen adalah bahan perekat atau lem, yang bisa merekatkan bahan – bahan material lain seperti batu bata dan batu koral

hingga bisa membentuk sebuah bangunan. Sedangkan dalam pengertian secara umum semen diartikan sebagai bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat bahan – bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. (Bonardo Pangaribuan, Holcim).

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, sedangkan jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*hardened concrete*).

Sesuai dengan kebutuhan konstruksi beton dan adukan mortar tentang semen portland dan semen campuran, yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia adalah :

- SNI 15-2049-2004 (Semen Portland)
- SNI 15-0302-2004 (Semen Portland Pozolan)
- SNI 15-7064-2004 (Semen Portland Komposit)
- SNI 15-3500-2004 (Semen Portland Campur)

Berikut adalah penjelasan secara ringkas tentang jenis semen *portland* yang digunakan :

a. Semen *Portland* (OPC = *Ordinary Portland Cement*)

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, semen *portland* adalah semen hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (Clinker) *portland* terutama yang terdiri dari kalsium silikat ($x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang bersifat hidrolis dan digiling bersama – sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (*Mineral in component*).

Hidrolis berarti sangat senang bereaksi dengan air, senyawa yang bersifat hidrolis akan bereaksi dengan air secara cepat. Semen *portland* bersifat hidrolis karena di dalamnya terkandung kalsium silikat ($x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) dan kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) yang bersifat hidrolis dan sangat cepat bereaksi dengan air. Reaksi semen dengan air

berlangsung secara *irreversibel*, artinya hanya dapat terjadi satu kali dan tidak bisa kembali lagi ke kondisi semula.

Jenis-jenis semen *portland* (OPC) pada SNI 15-2049-2004 dikelompokkan berdasar penggunaannya sebagai berikut :

- Tipe I : Semen *portland* untuk penggunaan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- Tipe II : Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang.
- Tipe III : Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- Tipe IV : Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah.
- Tipe V : Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi pada sulfat.

b. Semen *Portland Pozolan* (PPC = *Portland Pozzolan Cement*)

Berdasarkan SNI 15-0302-2004 mengenai semen *portland pozolan* (PPC = *Portland pozzoland cement*). Semen *portland pozolan* adalah semen yang dibuat dari campuran homogen semen portland bersamaan dengan bahan yang mempunyai sifat *pozzolan*. Campuran beton dan mortar menggunakan PPC mempunyai sifat pengerjaan yang mudah, namun akan terjadi perpanjangan waktu pengikatan. Kekuatan tekan beton dengan semen *pozzolan* pada umur awal lebih rendah tetapi pada umur lama akan semakin tinggi karena masih terjadi reaksi antara silika aktif *pozzolan* dengan Ca(OH)_2 membentuk senyawa CSH.

Jenis-jenis semen *portland pozolan* (PPC) pada SNI 15-0302-2004 dikelompokkan sebagai berikut :

- IP-U : Dapat digunakan untuk semua adukan beton.
- IP-K : Dapat digunakan untuk semua adukan beton, dengan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.
- P-U : Dapat digunakan untuk kebutuhan beton yang tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.
- P-K : Dapat digunakan untuk kebutuhan beton yang tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, dengan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.

Jadi semen PPC mengandung 2 unsur utama yaitu semen *portland* (OPC) dan pozolan (misal *fly ash*). Persyaratan kimia dan fisik untuk semen *portland pozolan* (PPC) termasuk pengujian mutunya yang harus dipenuhi masing-masing tipe ditetapkan dalam SNI 15-0302-2004.

c. Semen *Portland* Komposit (PCC = *Portland Composite Cement*)

Menurut SNI 15-7064-2004 maka defenisi Semen *Portland Composite* adalah bahan pengikat hidrolisis hasil penggilingan bersama-sama terak semen *portland* dan *gyphs* dengan satu atau lebih bahan anorganik atau hasil pencampuran antara bubuk semen *portland* dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain Terak Tanur Tinggi (*blast Furnace Slag*), *pozzolan*, senyawa *silika*, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6% – 35 % dari massa semen *portland komposite*. Sifat-sifat yang dimiliki semen PCC :

1. Mempunyai panas hindrasi rendah sampai sedang.
2. Tahan terhadap serangan sulfat.
3. Kekuatan tekan awal kurang, namun kekuatan akhir lebih tinggi.

Ditinjau dari sifat yang dimiliki oleh semen PCC maka semen tersebut dapat digunakan sebagai alternatif atau pengganti semen *portland* tipe II,IV atau V. Pada umumnya semen PCC mengandung 3 unsur utama :

- semen *portland* (OPC).
- *gips*.
- bahan anorganik (bisa lebih dari 1 macam bahan anorganik seperti terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), *pozolan*, senyawa silikat, batu kapur).

d. Semen *Portland* Campur (SMC = *Super Masonry Cement*)

Menurut SNI 15-3500-2004 *super masonry cement* didefinisikan sebagai semen *hidrolis*, yang digunakan terutama dalam pekerjaan menembok dan memplester konstruksi, yang terdiri dari campuran dari semen *portland* atau campuran semen hidrolis dengan bahan yang bersifat menambah keplastisan (seperti batu kapur, kapur yang terhidrasi atau kapur hidrolis) bersamaan dengan bahan lain yang digunakan untuk meningkatkan satu atau lebih sifat seperti waktu pengikatan (*setting time*), kemampuan kerja (*workability*), daya simpan air (*water retention*), dan ketahanan (*durability*). Semen ini cocok digunakan untuk bahan pengikat dan direkomendasikan untuk penggunaan sebagai berikut :

- Konstruksi ringan ($K < 225 \text{ kg/cm}^2$ atau fc' setinggi - tingginya 20 MPa).
- Pembuatan bahan bangunan (*hollow brick*, batako, *paving block*, genteng, ubin dan lain-lain).
- Pemasangan keramik, *hollow brick*, bata dan lain-lain.

2. Air

Dalam pembuatan beton, air merupakan faktor yang sangat penting karena air dapat bereaksi dengan semen yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat desak beton, karena jika kelebihan penggunaan air akan berakibat pada penurunan kekuatan beton tersebut. Sebaliknya jika kelebihan penggunaan air akan mengakibatkan beton menjadi *bleeding*, yaitu air bersama sama dengan semen akan naik ke atas permukaan adukan segar yang baru dituang.

Berdasarkan SNI 2847 : 2013 air yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi ASTM C1602M (Standar Spesifikasi untuk Air Campuran yang Digunakan dalam Produksi Beton Semen Hidrolis).

Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, bila dihembuskan dengan udara tidak keruh dan lain-lain, tetapi tidak berarti air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum. Penggunaan air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut ini, (Tjokrodimulyo, 2007) :

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
3. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.

Tabel 2.1 Perkiraan Kebutuhan Air Per Meter Kubik Beton

Besarnya maks. Agregat (mm)	Jenis Agregat	Kebutuhan air per meter kubik beton (liter)			
		Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : SNI 03-2834-2002

3. Agregat

Agregat merupakan butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami batu-batuan atau juga berupa hasil mesin pemecah batu dengan memecah batu alam. Agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada beton, namun demikian peranan agregat pada beton sangat penting. Kandungan agregat dalam beton kira-kira mencapai 60% - 80% dari volume total beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton. Agregat dibedakan

menjadi dua macam yaitu agregat kasar dan agregat halus, agregat kasar dapat didapat secara alami dan buatan.

Untuk menghasilkan beton dengan kekompakan yang baik, diperlukan gradasi agregat yang baik. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran kekerasan butiran agregat. Gradasi diambil dari hasil pengayakan dengan lubang ayakan 37,5 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, pan untuk agregat kasar. Untuk pasir lubang ayakan 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, 0,075 mm, pan. Penggunaan bahan batuan dalam adukan beton berfungsi :

1. Menghemat penggunaan semen portland.
2. Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton.
3. Mengurangi susut pengerasan.
4. Mencapai susunan pampat beton dengan gradasi beton yang baik.
5. Mengontrol *workability* adukan beton dengan gradasi bahan batuan baik. (Paul Nugraha & Antoni, 1995).

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah dengan berdasarkan pada ukuran butiran-butirannya. Agregat yang mempunyai butiran-butiran yang besar disebut agregat kasar yang ukurannya lebih besar dari 4,75 mm. Sedangkan butiran agregat yang kecil disebut agregat halus yang memiliki ukuran lebih kecil dari 4,75 mm.

Agregat halus adalah pasir alam sebagai disintegrasi alami dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran terbesar 4.8 mm. Agregat halus dapat digolongkan menjadi 5 (lima) macam (Hanafiah., dkk, 2010), yaitu :

1. Pasir sungai
Pasir ini biasanya dengan kandungan lumpur yang lebih tinggi. Bentuk butirannya membulat.
2. Pasir gunung
Jenis pasir ini biasanya berupa hasil letusan gunung berapi, mempunyai bentuk butiran yang menyudut dan biasanya mempunyai kadar lumpur yang lebih rendah.

3. Pasir laut

Bila akan memakai pasir laut, perlu dicuci dahulu, dan untuk pekerjaan – pekerjaan tertentu perlu diadakan penelitian.

4. Pasir dari batu pecah

Pasir ini biasanya diperoleh dari pemecahan bongkahan batu saat membuat batu pecah alami (*natural crushed stone*). Bentuk butirannya pipih dan lebih tajam sehingga akan mengurangi *workability* dan menghasilkan beton yang lebih berat.

5. Pasir kwarsa

Pasir kwarsa biasanya diperoleh dari suatu penambangan di darat, dan kandungan terbesarnya adalah silika. Beton dari pasir kwarsa akan memberikan *bleeding* yang berlebihan dan harus diperiksa kemungkinan terjadinya AAR. (*Alkali Aggregate Reaction*).

Tabel 2.2 Syarat Gradasi Agregat Halus

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	% Berat Butir Lewat Ayakan			
	Kasar (Zona I)	Agak Kasar (Zona II)	Agak Halus (Zona III)	Halus (Zona IV)
9,6	100	100	100	100
4,8	90 – 100	95 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	80 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	50 – 85	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	25 – 60	60 – 79	80 – 100
0,3	5 – 20	10 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 – 10	2 – 10	0 – 10	0 – 15

Sumber : SNI 03-2834-2002

Agregat kasar berupa pecahan batu, pecahan kerikil atau kerikil alami dengan ukuran butiran minimal 5 mm dan ukuran butiran maksimal 40 mm. ukuran maksimum dari beton bertulang diatur berdasarkan kebutuhan agregat tersebut harus dengan mudah dapat mengisi cetakan dan lolos dari celah-celah

yang terdapat diantara batang-batang baja tulangan. Berdasarkan berat jenisnya, agregat kasar dibedakan menjadi 3 (tiga) golongan (Tri Mulyono, 2005), yaitu :

1. Agregat Normal

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2.5-2.7 gram/cm³. Agregat ini biasanya berasal dari agregat basalt, granit, kuarsa dan sebagainya. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis sekitar 2.3 gram/cm³

2. Agregat berat

Agregat berat adalah agregat yang mempunyai berat jenis lebih dari 2.8 gram/cm³, misalnya magnetik (FeO₄) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis tinggi sampai 5 gram/cm³. Penggunaannya sebagai pelindung dari radiasi.

3. Agregat ringan

Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis kurang dari 2.3 gram/cm³, yang biasanya dibuat untuk beton non struktural atau dinding beton. Kebaikannya adalah berat sendiri yang rendah sehingga struktural ringan dan pondasinya lebih ringan. Dalam pelaksanaan pekerjaan beton, besar butir agregat selalu dibatasi oleh ketentuan maksimal persyaratan agregat, ketentuan itu antara lain :

- a. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih dari 3/4 kali jarak bersih antara baja tulangan atau antara tulangan dan cetakan.
- b. Ukuran maksimum butiran agregat tidak boleh lebih besar dari 1/3 kali tebal plat.
- c. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari 1/5 kali jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

Agregat yang dapat dipakai harus memenuhi syarat-syarat (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992) :

1. Kerikil harus merupakan butir yang keras dan tidak berpori. Kerikil tidak boleh hancur adanya pengaruh cuaca. Sifat keras diperlukan agar diperoleh beton yang keras juga. Sifat tidak berpori, untuk menghasilkan beton yang tidak mudah tembus air.

2. Agregat harus bersih dari unsur organik.
3. Kerikil tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 10% berat kering, lumpur yang dimaksud adalah agregat yang melalui ayakan diameter 0,063 mm, bila lumpur melebihi 1% berat kering maka kerikil harus dicuci terlebih dahulu.
4. Kerikil mempunyai bentuk yang tajam. Dengan bentuk yang tajam maka timbul gesekan yang lebih besar pula yang menyebabkan ikatan yang lebih baik, selain itu dengan bentuk tajam akan membuat pasta semen mengikat agregat dengan baik.

Besar ukuran maksimum agregat mempengaruhi kuat tekan betonya. Pada pemakaian ukuran butir agregat maksimum lebih besar memerlukan jumlah pasta semen lebih sedikit untuk mengisi rongga-rongga antar butirannya, berarti sedikit pula pori-pori betonnya (karena pori-pori beton sebagian besar berada dalam pasta, tidak dalam agregat) sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Namun sebaliknya, karena butir-butir agregatnya besar maka luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan antara permukaan agregat dan pastanya kurang kuat. (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992).

Tabel 2.3 Syarat Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persentase Berat Bagian Yang Lewat Ayakan		
	Ukuran Nominal Agregat (mm)		
	40	20	10
38,1	95 – 100	100	-
19,0	37 – 70	95 – 100	100
9,52	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,76	0 - 5	0 - 10	0 – 10

Sumber : SNI 03-2834-2002

2.2.2 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly ash adalah istilah umum untuk abu terbang yang ringan dan abu relatif berat yang timbul dari suatu proses pembakaran suatu bahan yang lazimnya menghasilkan abu. *Fly ash* dalam konteks ini adalah abu yang dihasilkan untuk pembakaran batu bara. Abu terbang (*fly ash*) umumnya diperoleh dari sisa pembakaran Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) atau sisa pembakaran dari *boiler* kayu yang menggunakan batu bara sebagai sumber energi. Sisa pembakaran berupa partikel halus dan berkisar 75% - 90% limbah batu bara akan keluar melalui cerobong asap, serta hanya tersisa sebagian kecil di tungku api. Limbah batu bara sebelum keluar ditangkap dengan *electrostatic precipitator* sehingga limbah batu bara berupa butiran padat. Komponen utama pada kandungan abu terbang adalah Oksida Silika (SiO_2).

Menurut *ACI Committee 226* dijelaskan bahwa, *fly-ash* mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan N0. 325 (45 milimikron) 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.

Komposisi abu terbang dalam campuran pembuatan bahan bangunan dipakai sekitar 20% (Pelaihari, 2007). Fly ash dimanfaatkan sebagai pengganti semen *portland*, batu bata beton ringan, material konstruksi jalan, material pekerjaan tanah (Wardani, 2008). Selain itu Fly Ash juga dimanfaatkan sebagai bahan baku keramik, refraktori, bahan penggosok (*polisher*) filler aspal, bahan baku semen aditif dalam pengolahan limbah, *adsorben* (Acosta, 2009), filler di *aluminium alloy* dan *pozolana* di beton (Aggarwal, 2010).

SNI 03-2460-1991 (Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton) Menurut klasifikasinya abu terbang (*fly ash*) dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu :

a. Kelas C

- Abu terbang (*Fly ash*) yang mengandung CaO di atas 10%, dan abu terbang (*Fly ash*) yang dihasilkan melalui pembakaran *lignit* atau batu bara dengan kadar karbon $\pm 60\%$ atau sub *bitumen*.

- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50%.
- Kadar Na_2O mencapai 10%.
- Memiliki sifat *pozzolanik* dan *hidrolis*.

b. Kelas F

- Abu terbang (*Fly ash* yang mengandung CaO yang lebih kecil 10%, dan abu terbang (*Fly ash*) yang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis *anthracite* pada suhu 1560°C Abu terbang (*Fly ash*) ini mempunyai sifat *pozzolan*.
- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70%.
- Kadar Na_2O < 5%.
- Memiliki sifat *pozzolanik* dan *hidrolis* yang lebih tinggi dari abu terbang (*Fly ash*) C.

c. Kelas N

- *Pozzolan* alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opalinechertz* dan *shales*, *tuff* dan abu vulkanik, dimana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat *pozzolan* yang baik.

Berikut ini adalah kelebihan dan kelemahan dari *Fly Ash* (Abu Terbang) :

1. Kelebihan

Pada beton segar :

- a. Memperbaiki sifat pengerjaan.
- b. Mengurangi terjadinya *bleeding* dan segregasi.
- c. Mengurangi jumlah panas hidrasi yang terjadi
- d. Mengurangi jumlah air campuran.

Pada beton keras :

- a. Meningkatkan kerapatan pada beton.
- b. Menambah daya tahan beton terhadap serangan agresif (sulfat).
- c. Meningkatkan kekuatan beton pada jangka panjang

2. Kelemahan

- a. Pemakaian abu terbang kurang baik untuk pengerjaan beton yang memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi karena proses pengerasan dan penambahan kekuatan betonnya agak lambat yang disebabkan karena terjadinya reaksi pozzolan.
- b. Pengendalian mutu harus sering dilakukan karena mutu abu terbang sangat tergantung pada proses (suhu pembakaran) serta jenis abu batu baranya (Kusumo, 2013).

2.2.3 Bottom Ash

Bottom ash adalah limbah dari sisa pembakaran batubara. Pada waktu pembakaran batubara pada suatu pembangkit tenaga batubara, akan menghasilkan sisa pembakaran yang terdiri dari 80 % berupa *fly ash* dan sisanya 20 % berupa *bottom ash*. *Bottom ash* mempunyai karakteristik fisik berwarna abu-abu gelap, berbentuk butiran, berporos, mempunyai ukuran butiran antara pasir hingga kerikil.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jesse J. Nowak, Alliant Energy, Coal Combustion Products Manager – Western Region (2004) bahwa limbah batu bara berupa *bottom ash* mengandung larutan kapur dan lumpur dengan jumlah terkecilnya Oksida yang mengandung aluminium (Al), besi (Fe), Magnesium (Mg), Sulfur (S) dan sisa-sisa material. *Bottom ash* mempunyai butiran partikel sangat berpori pada permukaannya. Partikel *bottom ash* mempunyai batasan ukuran dari kerikil sampai pasir. *Bottom ash* merupakan material dengan gradasi yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda. Ukuran *bottom ash* lebih mendekati ukuran pasir. Komposisi kimia dari *bottom ash* yaitu silika, alumina dan besi dengan sedikit kalsium, magnesium, sulfat, dan komponen yang lain.

Salah satu cara pengolahan limbah batu bara yaitu dengan proses solidifikasi / stabilisasi (SS) dengan sementasi yang memanfaatkan limbah batu bara (*bottom ash*) sebagai agregat atau bahan baku tambahan pembuatan bahan bangunan. Berdasarkan komposisi yang terkandung dalam *bottom ash* maka ada beberapa kemungkinan manfaat atau kegunaan dari *bottom ash* antara lain :

- Sebagai *filler* atau pengisi pada campuran aspal dan beton.
- Sebagai lapisan base dan sub base pada perkerasan jalan.
- Sebagai bahan filtrasi.
- Sebagai agregat dalam semen dan beton ringan.

Ada beberapa keuntungan yang dapat kita peroleh apabila kita menggunakan *bottom ash* antara lain :

- Bagi pembeli / pengguna : *bottom ash* lebih murah dan tidak beracun.
- Bagi perusahaan / industri : penggunaan limbah batu bara sebagai bahan yang bermanfaat akan mengurangi pencemaran lingkungan dan menekan biaya penggunaan lahan untuk menampung limbah tersebut.
- Bagi masyarakat : penggunaan limbah batubara merupakan solusi yang tepat untuk mengurangi permasalahan lingkungan akibat pencemaran limbah sehingga lingkungan menjadi lebih nyaman.

2.2.4 Silica Fume

Menurut standar *Spesification for Silica Fume for Use in Hydraulic Cemen Concrete and Mortar* (ASTM C 618-86), *silica fume* merupakan bahan yang mengandung SiO₂ lebih besar dari 85% dan merupakan bahan yang sangat halus berbentuk bulat dan berdiameter 1/100 diameter semen (Kusumo, 2013). Menurut Subakti, *silica fume* mempunyai peranan penting terhadap pengaruh sifat kimia dan mekanik beton. Ditinjau dari sifat kimianya, secara geometris *silica fume* mengisi rongga-rongga diantara bahan semen, dan mengakibatkan diameter pori mengecil serta total volume pori juga berkurang. Sedangkan dari sifat mekaniknya, *silica fume* memiliki reaksi yang bersifat pozzolan yang bereaksi terhadap batu kapur yang dilepas semen (Kusumo, 2013). Karena

kandungan SiO_2 yang cukup tinggi, hidrasi air dan semen akan menghasilkan Ca(OH)_2 yaitu bahan yang mudah larut dalam air. Kalsium hidroksida Ca(OH)_2 ini bereaksi dengan silica oksida (SiO_2) membentuk kalsium silikat hidrat, dimana C-S-H ini mempengaruhi kekerasan beton.

Keuntungan dalam penggunaan *silica fume* dapat ditinjau pada dua kondisi :

1. Saat beton dalam proses pengikatan :
 - a. Memudahkan pengerjaan (*workability*).
 - b. Mengurangi perembesan air dan beton (*bleeding*).

2. Saat beton dalam kondisi keras :
 - a. Meningkatkan kuat tekan.
 - b. Memperkecil susut dan rangkakan.
 - c. Sebagai penetrasi klorida.
 - d. Permeabilitas lebih kecil.

Keuntungan fisik yang diperoleh dari partikel silica fume yang halus untuk menempati ruang yang sangat rapat dengan partikel agregat dengan adonan semen yang merupakan daerah kelemahan dari beton yang merupakan alasan timbulnya efek dinding yang mencegah bersatunya semen *portland* dengan permukaan agregat. Bagian ini yang nantinya akan diisi oleh partikel dari silica fume yang sangat halus sehingga air tidak terperangkap didalam partikel padat sehingga sifat menyerap dari daerah bidang pemisah agregat lebih kecil dibanding dengan tanpa *silica fume*.

Menurut Neville, penggunaan silica fume dengan jumlah yang rendah (dibawah 5% dari berat semen) tidak menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dari beton karena jumlah silica fume tidak akan mencukupi untuk menutupi permukaan seluruh partikel dari agregat kasar, namun penggunaan *silica fume* yang menguntungkan juga terbatas tidak lebih dari 10% dari berat semen yang digunakan, hal ini disebabkan oleh penggunaan *silica fume* yang berlebih tidak akan dapat menutupi permukaan agregat (Kusumo, 2013).

2.2.5 Sika Viscocret-3115N

Sika Viscocrete-3115N adalah superplasticizer generasi ketiga untuk beton dan mortar. Hal ini terutama dikembangkan untuk produksi beton mutu tinggi dengan sifat retensi aliran luar biasa. *Sika viscocrete-3115N* memfasilitasi pengurangan air yang ekstrim, dengan kohesi optimal dan kompaksi yang kuat.

Sika Viscocrete-3115N memberikan pengurangan air dalam jumlah besar, kemudahan mengalir yang sangat baik dalam waktu bersamaan dengan kohesi yang optimal dan sifat beton yang memadat dengan sendirinya.

Sika Viscocrete-3115N digunakan untuk tipe-tipe beton sebagai berikut:

1. Beton dengan kebutuhan pengurangan air yang sangat tinggi (hingga 30%).
2. Beton berkekuatan tinggi.
3. Beton kedap air (*Watertight Concrete*).
4. Beton pracetak (*Precast Concrete*).

Kombinasi pengurangan air dalam jumlah besar, kemampuan mengalir yang tinggi dan kuat awal yang tinggi menghasilkan keuntungan-keuntungan yang jelas seperti tersebut dalam aplikasi di atas.

Sika Viscocrete-3115N bekerja melalui penyerapan permukaan partikel-partikel semen yang menghasilkan suatu efek-efek separasi sterikal. Beton yang dihasilkan dengan *Sika Viscocrete-3115N* memperlihatkan sifat-sifat sebagai berikut:

1. Pengurangan air yang sangat ekstrim (ditunjukkan pada tingginya berat jenis dan kuat beton).
2. Mengurangi penyusutan dan keretakan.
3. Meningkatkan hasil akhir.

Sika Viscocrete-3115N tidak mengandung klorin atau bahan-bahan lain yang dapat menyebabkan karat / bersifat korosif pada tulangan baja. Sehingga cocok digunakan untuk beton dengan tulangan atau pra-tekan.

Sika Viscocrete-3115N memberikan beton dengan kelecekan yang panjang dan tergantung pada desain pencampuran dan kualitas material yang digunakan, partikel-partikel self-compacting dapat dipertahankan lebih dari 1 jam pada suhu 30°C.

2.2.6 Kuat Tekan Beton

Menurut Tri Mulyono (2004), kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Kusumo, 2013).

Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm, diameter 150 mm.

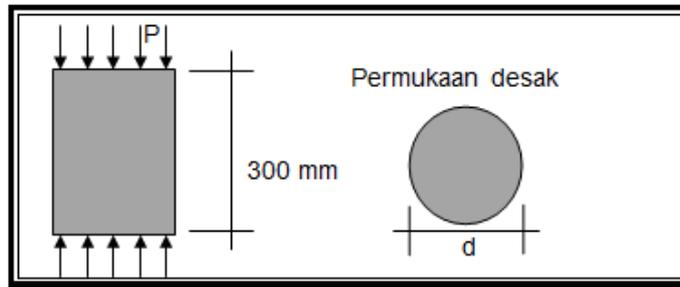
Perlu catatan bahwa nilai f_c' berarti kuat tekan beton dengan benda uji silinder jika diketahui nilai K , maka kuat tekan perlu dikonversi. Berdasarkan SNI 03-1974-1990 dicantumkan sebagai bahan pertimbangan dan perbandingan.

Tabel 2.4 Daftar Konversi

Notasi	Bentuk benda uji	Ukuran	Perbandingan
K	Kubus	15x15x15 cm	1
		20x20x20 cm	0,95
F'_c	Silinder	Diameter 15 cm, Tinggi 30 cm	0,83

Sumber : SNI 03-1974-1990

Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm, diameter 150 mm. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f_c') yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996). Nilai kuat tekan beton untuk benda uji dimensi yang berbeda dapat diperoleh dengan mengkonversikan hasil kali yang telah tersedia pada SNI 03-1974-1990.



Gambar 2.1 Pengetesan Kuat Tekan Benda Uji Beton

Persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai kuat tekan beton adalah :

$$K = \frac{P}{A}$$

Dimana :

K = kuat tekan beton (MPa)

P = Beban hancur (N)

A = Luas silinder (mm²)

Beton akan mempunyai kuat tekan yang tinggi jika tersusun dari bahan lokal yang berkualitas baik. Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mencapai 70-75% volume beton (Dipohusodo, 1996). Oleh karena kekuatan agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton, maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada agregat adalah:

- a. permukaan dan bentuk agregat,
- b. gradasi agregat, dan
- c. ukuran maksimum agregat.

2.2.7 Suhu Beton Pada Saat Pengecoran

Berdasarkan SNI 03-4807-1998 thermometer mampu mengukur suhu beton segar antara 0 sampai 50⁰C dengan ketelitian ± 0,5⁰C. Termometer harus memiliki tanda yang pasti dan tetap sebagai batas penunjuk kedalaman pencelupannya yaitu 75 mm. Untuk pengikatan semen sendiri sangat tergantung oleh suhu di sekitarnya. Pengikatan semen berlangsung dengan baik pada suhu 35⁰C dan berjalan dengan lambat pada suhu di bawah 15⁰C.

2.2.8 Slump Test

Nilai *slump* digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kelecakan suatu adukan beton, yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). Semakin besar nilai *slump* maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan, sebaliknya semakin kecil nilai *slump*, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan.

Slump pada dasarnya salah satu pengetesan sederhana untuk mengetahui *workability* beton segar sebelum diterima dan diaplikasikan dalam pekerjaan pengecoran.

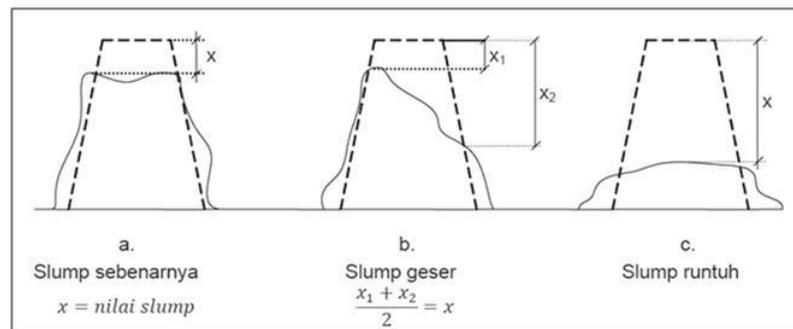
Workability beton segar pada umumnya diasosiasikan dengan:

- Homogenitas atau kerataan campuran adukan beton segar (*homogeneity*).
- Kelekatan adukan pasta semen (*cohesiveness*).
- Kemampuan alir beton segar (*flowability*).
- Kemampuan beton segar dalam mempertahankan kerataan dan kelekatan jika dipindah dengan alat angkut (*mobility*).
- Mengindikasikan apakah beton segar masih dalam kondisi plastis (*plasticity*).

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan atau keenceran adukan beton. Makin cair adukan maka makin mudah cara pengerjaannya. Untuk mengetahui kelecakan suatu adukan beton biasanya dengan dilakukan pengujian *slump*. Semakin tinggi nilai *slump* berarti adukan beton makin mudah untuk dikerjakan.

Dalam praktek, ada tiga macam tipe *slump* yang terjadi yaitu :

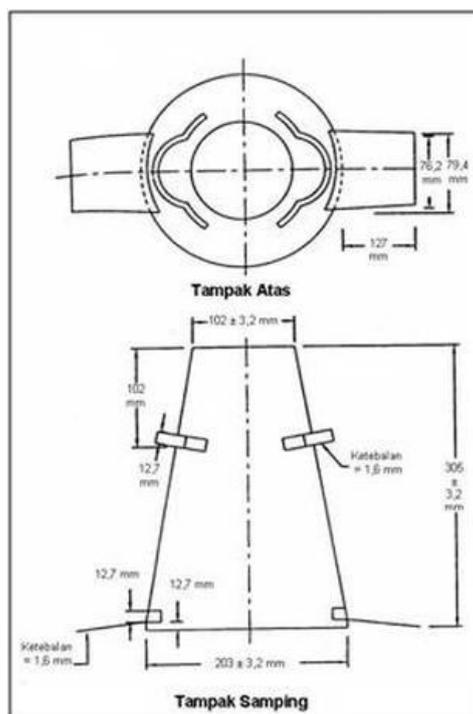
- a. *Slump* sebenarnya, terjadi apabila penurunannya seragam tanpa ada yang runtuh.
- b. *Slump* geser, terjadi bila separuh puncaknya bergeser dan tergelincir ke bawah pada bidang miring.
- c. *Slump* runtuh, terjadi bila kerucut runtuh semuanya.



Gambar 2.2 Tipe-tipe Keruntuhan *Slump*

Pengukuran *slump test* mengacu pada aturan yang ditetapkan dalam SNI 1972-2008 (Cara Uji *Slump* Beton). Pengukuran *Slump* berdasarkan peraturan ini dilakukan dengan alat sebagai berikut :

- a. Kerucut Abrams :
 - Kerucut terpancung, dengan bagian atas dan dibawah terbuka.
 - Diameter atas 102 mm.
 - Diameter bawah 203 mm.
 - Tebal plat minimal 1,5 mm.
- b. Bentang besi penusuk :
 - Diameter 16 mm.
 - Panjang 60 cm.
 - Memiliki salah satu atau kedua ujung berbentuk bulat setengah bola dengan diameter 16mm.
- c. Alas : datar, dalam kondisi lembab tidak menyerap air dan kaku.



Gambar 2.3 Tampak Atas dan Samping Kerucut Abrams

Tabel 2.5 Kategori Nilai *Slump Test*

Keterangan	Nilai <i>Slump</i> (mm)	Air Yang Diperlukan (%)
Sangat Kering	-	78
Sangat Keras	-	83
Keras	0-30	88
Agak Plastis	30-80	92
Plastis	80-130	100
Encer	130-180	106

Sumber : buku referensi "*Properties of Concrete*" oleh AM Neville

2.2.9 *Setting Time*

Berdasarkan ASTM C 403 / C 403 M-99 *setting time* adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan.

Berdasarkan ASTM C 403 / C 403 M-99 menetapkan bahwa waktu yang dibutuhkan beton agar memiliki kuat desak sebesar 500 Psi disebut sebagai *Initial Setting Time*, Sedangkan waktu yang dibutuhkan pasta beton memiliki kekuatan desak sebesar 4000 Psi disebut sebagai *Final Setting Time*. Tujuan dari *setting time* ini untuk mengetahui waktu yang telah dilalui pada saat mortar semen tersebut mulai mengikat, mortar semen tidak boleh diganggu lagi ataupun diubah kembali kedudukannya.

Cara pengujian *setting time* meliputi penentuan waktu pengaturan beton, dengan kemerosotan lebih besar dari nol, dengan cara pengukuran resistansi *penetration* pada mortar yang diayak dari campuran beton. Pengujian ini sangat cocok saat pengujian fraksi mortar yang akan memberikan informasi yang dibutuhkan.

Pengujian ini bisa digunakan untuk mengetahui efek dari kadar air, merek dan jumlah semen yang terpakai, atau pencampuran saat proses pengadukan. Selain itu juga, pengujian ini dapat digunakan untuk menentukan kepatuhan terhadap persyaratan penetapan waktu yang ditentukan.

Untuk suhu penyimpanan *setting time* sekitar 20 sampai 25⁰C, hindari kontak langsung dari sinar matahari. Untuk pengujian *setting time* dilapangan disimpan dalam kondisi suhu sekitar lapangan atau juga bisa dijaga suhunya dengan menutup benda uji menggunakan plastik selama masa uji.