

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Kumpulan Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Kesimpulan
1	Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>) Dalam Beton Mutu Tinggi	2011	Mardiono	Butiran <i>fly ash</i> yang halus membuat beton lebih padat karena rongga antara butiran agregat diisi oleh <i>fly ash</i> sehingga dapat memperkecil pori - pori yang ada dan memanfaatkan sifat pozzolan dari <i>fly ash</i> . Selain itu, penggunaan <i>fly ash</i> dengan takaran tertentu terbukti dapat meningkatkan kekuatan beton.
2	Tinjauan Kuat Tekan Beton <i>Geopolimer</i> dan <i>Fly Ash</i> Sebagai Bahan Pengganti Semen	2015	Ginanjari Bagus Prasetyo	Semakin tinggi perbandingan Na_2SiO_3 : NaOH yang digunakan dalam campuran, maka terdapat kecenderungan semakin tingginya kuat tekan yang dihasilkan oleh masing – masing beton.

3	<i>Fly Ash</i> sebagai Alternatif Pengganti Semen pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan	2019	Indrayani, Jessica D, Mutiara Selmina, Andi Herius, Revias Noerdin	Semakin tinggi perbandingan Na ₂ SiO ₃ /NaOH, maka kuat tekan beton geopolimer dengan menggunakan <i>fly ash</i> semakin tinggi.
---	--	------	--	--

Hasil penelitian (Mardiono, 2011), “Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*) Dalam Beton Mutu Tinggi”. Mutu beton yang direncanakan 40 MPa pada umur 28 hari. Hasil perhitungan diketahui bahwa faktor air semen diperoleh sebesar 0,420 dan kadar *superplasticizer* ditentukan sebesar 1% dari berat semen dan hasil yang didapat yaitu kuat tekan beton yang tertinggi terdapat ada campuran beton penggantian semen dengan *fly ash* 10% yaitu sebesar 41,57 MPa dan kuat tekan beton yang terendah terdapat pada campuran beton dengan *fly ash* 40% yaitu sebesar 33,91 MPa. Disarankan dilakukan penelitian selanjutnya dengan variasi *fly ash* yang berbeda lagi (persentase kadar lebih kecil) atau dikombinasikan dengan bahan pozzolan/mineral lain penggunaan *superplasticizer* dengan kadar dan jenis lain. Bahwa dengan menggunakan *fly ash* sebesar 10% sebagai pengganti semen akan didapatkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal.

Hasil penelitian (Ginjar Bagus Prasetyo. 2015), “Tinjauan Kuat Tekan Beton *Geopolymer* dan *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen”, Untuk beton *geopolymer* 75 : 25 - F 444kg, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan Na₂SiO₃:NaOH = 5:2. Untuk beton *geopolymer* 70 : 30 - F 533kg, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan Na₂SiO₃:NaOH = 5:2. Dan untuk beton *geopolymer* 65 : 35 - F 622kg, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan Na₂SiO₃:NaOH = 4:2. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi perbandingan Na₂SiO₃:NaOH yang

digunakan dalam campuran, maka terdapat kecenderungan semakin tingginya kuat tekan yang dihasilkan oleh masing – masing beton.

Hasil penelitian (Indrayani, Jessica Delvianty, Mutiara Selmina, Andi Herius, Revias Noerdin, 2019) “*Fly Ash* sebagai Alternatif Pengganti Semen pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan” yaitu untuk menambah nilai kuat tekan beton dari rancangan beton normal pada umur 28 hari. Dari hasil pengujian kuat tekan beton normal pada umur 28 hari didapatkan nilai kuat tekan sebesar 232,59 kg/cm², sedangkan pada beton geopolimer dengan perbandingan 1 : 1 pada umur 28 hari didapatkan kuat tekan sebesar 13,33 kg/cm², jika dibandingkan dengan kekuatan beton normal maka nilai kuat tekan ini berada jauh dibawah kekuatan beton normal pada umur yang sama, sehingga beton *geopolymer* dengan perbandingan 1 : 1 tidak dapat digunakan sebagai pengganti beton normal. Hal ini didukung dengan penelitian yang telah dilakukan dan menyebutkan bahwa beton polimer dengan penambahan *fly ash* tidak menyebabkan perbedaan yang signifikan dengan beton normal. Kuat tekan beton *geopolymer* dengan perbandingan 3:1 pada umur 28 hari sebesar 237,78 kg/cm², nilai kuat tekan ini lebih tinggi 2,18% dari kuat tekan beton normal pada umur yang sama, dari hasil ini maka beton geopolimer dengan perbandingan 3 : 1 dapat digunakan sebagai pengganti beton normal. Sedangkan kuat tekan beton *geopolymer* dengan perbandingan 5 : 1 pada umur 28 hari sebesar 395,56 kg/cm², nilai kuat tekan mengalami kenaikan sebesar 41,20% dari kuat tekan beton normal. Dari hasil yang ada maka semakin tinggi perbandingan Na₂SiO₃/ NaOH, maka kuat tekan beton *geopolymer* dengan menggunakan *fly ash* semakin tinggi, didukung pula oleh penelitian yang dilakukan sebelumnya bahwa semakin besar penambahan Na₂SiO₃/NaOH terhadap *fly ash* mengakibatkan penambahan kuat tekan walaupun penambahan yang dilakukan penelitian sebelumnya tidak signifikan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Beton

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus,

agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk. (Kardiyono Tjokrodimulyo,2007).

Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah :

- a. Kualitas Semen,
- b. Proporsi terhadap campuran,
- c. Kekuatan dan kebersihan agregat
- d. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dan agregat,
- e. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton,
- f. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton,
- g. Perawatan beton, dan
- h. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15% dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos (Nawy, 1985:24)

Disamping kualitas bahan penyusunnya, kualitas pelaksanaan pun menjadi penting dalam pembuatan beton. Kualitas pekerjaan suatu konstruksi sangat dipengaruhi oleh pelaksanaan pekerjaan beton. (Murdock dan Brook, 1991:6) mengatakan “Kecakapan tenaga kerja adalah salah satu faktor penting dalam produksi suatu bangunan bermutu, dan kunci keberhasilan untuk mendapatkan tenaga kerja yang cakap adalah untuk pengetahuan dan daya tarik pada pekerjaan yang sedang dikerjakan”

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) beton memiliki beberapa kelebihan antara lain :

- a. Harga yang relatif lebih murah karena menggunakan bahan-bahan dasar yang umumnya mudah didapat. Termasuk bahan yang awet, tahan aus, tahan panas, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan, sehingga biaya perawatan menjadi lebih murah
- b. Mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan yang mempunyai kuat tarik tinggi sehingga dapat menjadi satu kesatuan struktur yang tahan tarik dan tahan tekan, untuk itu struktur beton bertulang dapat diaplikasikan atau dipakai untuk pondasi,

kolom, balok, dinding, perkerasan jalan, landasan pesawat udara, penampung air, pelabuhan, bendungan, jembatan dan sebagainya.

- c. Pengerjaan atau *workability* mudah karena beton mudah untuk dicetak dalam bentuk dan ukuran sesuai keinginan. Cetakan beton dapat dipakai beberapa kali sehingga secara ekonomi menjadi lebih murah

Walaupun beton mempunyai beberapa kelebihan, beton juga memiliki beberapa kekurangan, menurut (Tjokrodimuljo, 2007) kekurangan beton antara lain :

- a. Bahan dasar penyusun beton agregat halus maupun agregat kasar bermacam-macam sesuai dengan lokasi pengambilannya, sehingga cara perencanaan dan cara pembuatannya bermacam-macam
- b. Beton mempunyai beberapa kelas kekuatannya sehingga harus direncanakan sesuai dengan bagian bangunan yang akan dibuat, sehingga cara perencanaan dan cara pelaksanaan bermacam-macam pula
- c. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga getas atau rapuh dan mudah retak. Oleh karena itu perlu diberikan cara-cara untuk mengatasinya, misalnya dengan memberikan baja tulangan, serat baja dan sebagainya agar memiliki kuat tarik yang tinggi.

2.2.2 Sifat Beton

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) beton memiliki beberapa sifat yang dimiliki beton dan sering di pergunakan untuk acuan adalah sebagai berikut :

- a. Kekuatan

Beton bersifat getas sehingga mempunyai kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah. Oleh karena itu kuat tekan beton sangat berpengaruh pada sifat yang lain.

Tabel 2. 2 Beton Menurut Kuat Tekannya

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton sederhana	Sampai 10 MPa
Beton normal	15 – 30 MPa
Beton pra tegang	30 – 40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40 – 80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	> 80 MPa

(Sumber ; Tjokrodinuljo, 2007)

b. Berat jenis

Tabel 2.3 menjelaskan mengenai berat jenis beton yang digunakan untuk konstruksi bangunan.

Tabel 2. 3 Berat Jenis Beton

Jenis beton	Berat jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1,00	Non struktur
Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktur ringan
Beton normal	2,30 – 2,40	Struktur
Beton berat	> 3,00	Perisai sinar X

(Sumber ; Tjokrodinuljo, 2007)

c. Modulus elastisitas beton

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastanya. Persamaan modulus elastisitas beton dapat diambil sebagai berikut (Tjokrodinuljo,2007:77)

$$E_e = (W_e)^{1,5} \times 0,043 \sqrt{f'_c} \text{ untuk } W_e = 1,5-2,5$$

$$E_e = \sqrt{4700/f'_c} \text{ untuk beton normal}$$

dimana :

E_e = Modulus elastisitas beton (MPa)

W_e = Berat jenis beton

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

2.2.3 Jenis beton

Pada umumnya beton sering digunakan sebagai struktur dalam konstruksi suatu bangunan. Dalam teknik sipil, beton digunakan untuk bangunan fondasi, 22 kolom, balok dan pelat. Menurut Mulyono (2005). terdapat beberapa jenis beton yang dipakai dalam konstruksi suatu bangunan yaitu sebagai berikut ini :

- a. Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat normal.
- b. Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja secara bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.
- c. Beton pracetak adalah beton yang elemen betonnya tanpa atau dengan tulangan yang dicetak di tempat yang berbeda dari posisi akhir elemen dalam struktur.
- d. Beton pratekan adalah beton dimana telah diberikan tegangan dalam bentuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.
- e. Beton ringan adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran antara agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m³ kering udara dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural.

2.2.4 Bahan penyusun beton

Bahan penyusun beton meliputi air, semen portland, agregat kasar dan halus serta bahan tambah, di mana setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Sifat yang penting pada beton adalah kuat tekan, bila kuat tekan tinggi maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor air semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan dan perawatan) serta umur beton

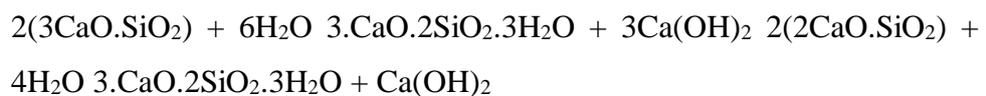
(Tjokrodimuljo, 1996). Berikut adalah bahan penyusun beton yang digunakan adalah sebagai berikut ini :

a. Semen portland

Portland Cement (PC) atau semen adalah bahan yang bertindak sebagai bahan pengikat agregat, jika dicampur dengan air semen menjadi pasta. Dengan proses waktu dan panas, reaksi kimia akibat campuran air dan semen menghasilkan sifat perkerasan pasta semen. Penemu semen (*Portland Cement*) adalah Joseph Aspdin pada tahun 1824, seorang tukang batu kebangsaan Inggris. Dinamakan semen Portland, karena awalnya semen dihasilkan mempunyai warna serupa dengan tanah liat alam di Pulau Portland. Unsur utama yang terkandung dalam semen dapat digolongkan ke dalam empat bagian yaitu : trikalsium silikat (C_3S), dikalsium silikat (C_2S), trikalsium aluminat (C_3A), dan tetrakalsium aluminoforit (C_4AF). Selain itu, pada semen juga terdapat unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil, misalnya : MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O dan Na_2O . Soda atau potasium (Na_2O dan K_2O) merupakan komponen minor dari unsur-unsur penyusun semen yang harus diperhatikan, karena keduanya merupakan alkalis yang dapat bereaksi dengan silika aktif dalam agregat, sehingga menimbulkan disintegrasi beton (Neville dan Brooks, 1987). Unsur C_3S dan C_2S merupakan bagian terbesar (70% - 80%) dan paling dominan dalam memberikan sifat semen (Tjokrodimuljo, 1996). Bila semen terkena air, maka C_3S akan segera berhidrasi dan memberikan pengaruh yang besar dalam proses pengerasan semen, terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Unsur C_2S bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh setelah beton berumur 7 hari. Unsur C_3A bereaksi sangat cepat dan memberikan kekuatan setelah 24 jam. Semen yang mengandung unsur C_3A lebih dari 10% akan berakibat kurang tahan terhadap sulfat. Unsur yang paling sedikit dalam semen adalah C_3AF , sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan pasta semen atau beton. (SK SNI S04- 1989F) semen portland dibagi menjadi 5 jenis, yaitu sebagai berikut ini :

- 1) Jenis I, yaitu semen portland untuk konstruksi umum yang penggunaan tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lain.
- 2) Jenis II, yaitu semen portland untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- 3) Jenis III, yaitu semen portland untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
- 4) Jenis IV, yaitu semen portland untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- 5) Jenis V, yaitu semen portland untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Proses hidrasi yang terjadi pada semen portland dapat dinyatakan dalam persamaan kimia sebagai berikut :



Hasil utama dari proses hidrasi semen adalah $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ (*tobermorite*) yang berbentuk gel dan menghasilkan panas hidrasi selama reaksi berlangsung. Hasil yang lain berupa kapur bebas $\text{Ca}(\text{OH})_2$, yang merupakan sisa dari reaksi antara C_3S dan C_2S dengan air. Kapur bebas ini dalam jangka panjang cenderung melemahkan beton, karena dapat bereaksi dengan zat asam maupun sulfat yang ada di lingkungan sekitar, sehingga menimbulkan proses korosi pada beton.

b. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Pemilihan agregat merupakan bagian yang sangat penting karena karakteristik agregat akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 1996). Agregat juga adalah suatu bahan yang berasal dari butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain. Faktor lain yang

perlu diperhatikan adalah gradasi atau distribusi ukuran butir agregat, karena bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang seragam berakibat volume pori lebih besar tetapi bila ukuran butirnya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini disebabkan butir yang lebih kecil akan mengisi pori di antara butiran yang lebih besar. Agregat sebagai bahan penyusun beton diharapkan mempunyai kemampuan yang tinggi, sehingga volume pori dan bahan pengikat yang dibutuhkan lebih sedikit. SNI 03-2834-1993 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus menjadi empat daerah atau zona yaitu : zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus) dan zona IV (halus).

Tabel 2. 4 Batas-batas Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan	Persentase Berat Yang Lolos Saringan			
	Gradasi Zone I	Gradasi Zone II	Gradasi Zone III	Gradasi Zone IV
9,60 mm	100	100	100	100
4,80 mm	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40 mm	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20 mm	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60 mm	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30 mm	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15 mm	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber ; SNI 03-2834-1992)

Tabel 2. 5 Batas-batas Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan	Persentase Berat Yang Lolos Saringan	
	5 mm sampai 38 mm	5 mm sampai 18 mm
38,0 mm	90-100	100
19,0 mm	35-70	90-100
9,6 mm	10-40	50-85
4,8 mm	0-5	0-10

(Sumber ; SNI 03-2834-1992)

Ukuran agregat dalam prakteknya secara umum digolongkan ke dalam 3 kelompok yaitu :

- 1) Batu, jika ukuran butiran lebih dari 40 mm.
- 2) Kerikil, jika ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm.
- 3) Pasir, jika ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Persyaratan pengujian agregat halus selengkapnya dapat dilihat pada tabel 2.6 sebagai berikut :

Tabel 2. 6 Persyaratan Pengujian Agregat Halus

No	Pengujian	Nilai	Satuan
1	Modulus Halus Butir	1,50 – 3,80	-
2	Kandungan lumpur	< 5	%

(Sumber ; SNI S-04-1989-F)

Berkaitan dengan pekerjaan konstruksi beton bertulang, ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi:

- 1) 1/5 jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan.
- 2) 1/3 ketebalan pelat lantai.
- 3) 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan atau kawat-kawat, bundel tulangan, atau tendon-tendon pratekan atau selongsong-selongsong.

Persyaratan pengujian agregat kasar selengkapnya dapat dilihat pada tabel 2.7 sebagai berikut :

Tabel 2. 7 Persyaratan Pengujian Agregat Kasar

No	Pengujian	Nilai	Satuan
1	Modulus Halus Butir	6,0 – 7,1	-
2	Kandungan lumpur	< 1	%

(Sumber ; SNI S-04-1989-F)

c. Air

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan. Dalam kenyataan, jika nilai faktor air semen kurang dari 35%, beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna, sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Kelebihan air dari proses hidrasi diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan (*consistency*), agar dapat dicapai suatu kelecakan (*workability*) yang baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap atau tertinggal di dalam beton yang sudah mengeras, sehingga menimbulkan pori-pori (*capillary poreous*). Hal-hal yang perlu diperhatikan pada air, yang akan digunakan sebagai bahan pencampur beton, meliputi kandungan lumpur maksimal 2 gr/lt, kandungan garam-garam yang dapat merusak beton maksimal 15 32 gr/lt, tidak mengandung khlorida lebih dari 0,5 gr/lt, serta kandungan senyawa sulfat maksimal 1 gr/lt. Secara umum, air dinyatakan memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan pencampur beton, apabila dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling (Tjokrodimuljo, 1996). Secara praktis, air yang baik untuk digunakan sebagai bahan campuran beton adalah air yang layak diminum, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa.

2.3 Bahan Tambah

Bahan tambah yaitu bahan selain unsur pokok pada beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, baik sebelum, segera atau selama pengadukan beton dengan tujuan mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Fungsi-fungsi bahan tambah antara lain: mempercepat pengerasan, menambah kelecakan (*workability*) beton segar, menambah kuat tekan beton, meningkatkan daktilitas atau

mengurangi sifat getas beton, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya. Bahan tambah diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang berakibat memperburuk sifat beton (Tjokodimuljo, 1996). Bahan tambah menurut maksud penggunaannya dibagi menjadi dua golongan yaitu *admixtures* dan *additives*. *Admixtures* ialah semua bahan penyusun beton selain air, semen hidrolis dan agregat yang ditambahkan sebelum, segera atau selama proses pencampuran adukan di dalam *batching*, untuk merubah sifat beton baik dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Definisi *additive* lebih mengarah pada semua bahan yang ditambahkan dan digiling bersamaan pada saat proses produksi semen (Taylor, 1997). Menurut Tjokodimuljo (1996), salah satu bahan tambah *chemical admixtures* merupakan bahan tambah bersifat kimiawi yang dicampurkan pada adukan beton dengan maksud agar diperoleh sifat-sifat yang berbeda pada beton dalam keadaan segar maupun setelah mengeras, misalnya sifat pengerjaannya yang lebih mudah dan waktu pengikatan yang lebih lambat atau lebih cepat.

2.3.1 *Fly ash*

Menurut SNI 03-6414-2002 mendefinisikan pengertian abu terbang (*fly ash*) batubara adalah limbah hasil pembakaran batubara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik. Abu terbang (*fly ash*) merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara. Pada intinya abu terbang (*fly ash*) mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), 5 alumina (Al_2O_3), ferro oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan Karbon (Anonim, 2008).

Sebenarnya abu terbang (*fly ash*) tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, oksida silika yang dikandung didalam abu batubara akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan akan

menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat (Djiwantoro, 2001). Menurut PP 18 tahun 1999 juncto PP 85 tahun 1999 abu terbang (*fly ash*) digolongkan sebagai limbah B-3 (bahan berbahaya dan beracun) dengan kode limbah D 223 dengan bahan pencemar utama adalah logam berat, yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan (BAPEDAL, 1999).

Menurut ACI Committee 226, dijelaskan bahwa abu terbang (*fly ash*) mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili mikron) 5 – 27 % dengan specific gravity antara 2,15 – 2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. Abu terbang (*fly ash*) batubara mengandung silika dan alumina sekitar 80 % dengan sebagian silika berbentuk amorf. Sifat-sifat fisik abu terbang (*fly ash*) batubara antara lain densitasnya 2,23 gr/cm³, kadar air sekitar 4 % dan komposisi mineral yang dominan adalah α -kuarsa dan mullite. Selain itu, abu terbang (*fly ash*) batubara mengandung SiO₂ = 58,75 %, Al₂O₃ = 25,82 %, Fe₂O₃ = 5,30 %, CaO = 4,66 %, alkali = 1,36 %, MgO = 3,30 % dan bahan lainnya = 0,81 % (Misbachul Munir, 2008). Beberapa logam berat yang terkandung dalam abu terbang (*fly ash*) batubara seperti tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), kadmium (Cd), chrom (Cr).

Tabel 2. 8 Komposisi (%) Fly Ash Batubara

Senyawa	Jenis Batubara		
	Bituminous (%)	Sub- Bituminous (%)	Lignite (%)
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₂	5-35	20-30	10-25
Fe ₂ O ₃	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	14-40
MgO	0-5	1-6	3-10
K ₂ O	0-3	0-4	0-4
Na ₂ O	0-4	0-2	0-6
SO ₃	0-4	0-2	0-10
LOI	0-15	0-3	0-5

(Sumber : Bruce Ramme, 2004)

Sifat kimia dari abu terbang (*fly ash*) 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 (*fly ash*) diukur dengan menggunakan *Loss Of Ignition Method* (LOI), yaitu suatu keadaan hilangnya potensi nyala dari abu terbang (*fly ash*) batubara. Abu terbang (*fly ash*) batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang (*fly ash*) hasil pembakaran batubara *bituminous* lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang (*fly ash*) 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 (*fly ash*) batubara jenis *subbituminous* 0,01 mm – 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)

Penggolongan abu terbang (*fly ash*) pada umumnya dilakukan dengan memperhatikan kadar senyawa kimiawi ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), kadar CaO (*high calcium* dan *low calcium*), dan kadar karbon (*high carbon* dan *low carbon*). Menurut ASTM C618 abu terbang (*fly ash*) dibagi menjadi dua kelas yaitu :

a. Abu terbang (*fly ash*) kelas F

Abu terbang (*fly ash*) kelas F merupakan abu terbang (*fly ash*) yang diproduksi dari pembakaran batubara *anthracite* atau *bituminous*, mempunyai sifat *pozzolanic* dan untuk mendapatkan sifat *cementitious* harus diberi penambahan *quick lime*, *hydrated lime*, atau semen. Abu terbang (*fly ash*) kelas F ini kadar kapurnya rendah ($\text{CaO} < 10\%$). Abu terbang (*fly ash*) yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau *bituminous*. Abu terbang (*fly ash*) kelas F disebut juga *low-calcium fly ash*, yang tidak mempunyai sifat *cementitious* dan hanya bersifat *pozzolanic*.

b. Abu terbang (*fly ash*) kelas C

Abu terbang (*fly ash*) kelas C disebut juga *high-calcium fly ash*. Ini dikarenakan mempunyai sifat *pozolanic* juga mempunyai sifat *self-cementing* (kemampuan untuk mengeras dan menambah *strength* apabila bereaksi dengan air dengan waktu sekitar 45 menit) dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur (Sri Prabandiyani Retno Wardani, 2008). Abu terbang (*fly ash*) yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batubara (batubara muda/*sub-bituminous*) (Wardani, 2008).

Perbedaan utama dari kedua abu tersebut adalah banyaknya calcium, silika, aluminium dan kadar besi di ash tersebut. Walaupun kelas F dan kelas C sangat ketat ditandai untuk digunakan abu terbang (*fly ash*) yang memenuhi spesifikasi ASTM C618, namun istilah ini lebih umum digunakan berdasarkan asal produksi batubara atau kadar CaO. Yang penting diketahui, bahwa tidak semua abu terbang (*fly ash*) dapat memenuhi persyaratan ASTM C618, kecuali pada aplikasi untuk beton, persyaratan tersebut harus dipenuhi (Wardani, 2008).

2.3.2 Abu sekam padi (*rice husk ash*)

Sekam padi adalah kulit yang membungkus butiran beras, dimana kulit padi akan terpisah dan menjadi limbah atau buangan. Jika sekam padi dibakar akan menghasilkan abu sekam padi. Secara tradisional, abu sekam padi digunakan sebagai bahan pencuci alat-alat dapur dan bahan bakar dalam pembuatan batu bata. Penggilingan padi selalu menghasilkan kulit gabah / sekam padi yang cukup banyak yang akan menjadi material sisa. Ketika bulir padi digiling, 78% dari beratnya akan menjadi beras dan akan menghasilkan 22% berat kulit sekam. Kulit sekam ini dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam proses produksi. Kulit sekam terdiri 75% bahan mudah terbakar dan 25% berat akan berubah menjadi abu. Abu ini dikenal sebagai *Rice Husk Ash* (RHA) yang memiliki kandungan silika reaktif sekitar 85% - 90%. Dalam setiap 1000 kg padi yang digiling akan dihasilkan 220 kg (22%) kulit sekam.

Jika kulit sekam itu dibakar pada tungku pembakar, akan dihasilkan sekitar 55 kg (25%) RHA. Sekitar 20% dari berat padi adalah sekam padi, dan bervariasi dari 13 sampai 29% dari komposisi sekam adalah abu sekam yang selalu dihasilkan setiap kali sekam dibakar. Nilai paling umum kandungan silika (SiO_2) dalam abu sekam padi adalah 94 – 96% dan apabilam nilainya mendekati atau dibawah 90% kemungkinan disebabkan oleh sampel sekam yang telah terkontaminasi oleh zat lain yang kandungan silikanya rendah. Abu sekam padi apabila dibakar secara terkontrol pada suhu tinggi sekitar ($500 - 600^\circ\text{C}$) akan menghasilkan abu silika yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai proses kimia (Prasetyoko, 2001).

Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50% selulosa, 25–30% lignin, dan 15–20% silica (Ismail and Waliuddin, 1996).

Pembakaran sekam padi dengan menggunakan metode konvensional seperti *fluidised bed combustors* menghasilkan emisi CO antara 200 – 2000 mg/Nm^3 dan emisi NO_x antara 200 – 300 mg/Nm^3 (Armestoetal, 2002). Metode pembakaran sekam padi yang dikembangkan oleh COGEN-AIT mampu mengurangi potensi emisi CO_2 sebesar 14.762 ton, CH_4 sebesar 74 ton, dan NO_2 sebesar 0,16 ton pertahun dari pembakaran sekam padi sebesar 34.919 ton pertahun (Mathias, 2000).

Pada proses pembakaran akibat panas yang terjadi akan menghasilkan perubahan struktur silika yang berpengaruh pada dua hal yaitu tingkat aktivitas pozolan dan kehalusan butiran abu. Pada tahap awal pembakaran, abu sekam padi menjadi kehilangan berat pada suhu 100°C , pada saat itulah hilangnya sejumlah zat dari sekam padi tersebut. Pada suhu 300°C , zat-zat yang mudah menguap mulai terbakar dan memperbesar kehilangan berat. Kehilangan berat terbesar terjadi pada suhu antara 400°C - 500°C , pada tahap ini pula terbentuk oksida karbon. Di atas suhu 600°C ditemukan beberapa formasi kristal quartz. Jika temperatur ditambah, maka sekam berubah menjadi kristal silica (Wijanarko, W., 2008).

Sekam padi saat ini telah dikembangkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan abu yang dikenal di dunia sebagai RHA (*rice husk ash*). Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi pada suhu 400-500°C akan menjadi silika amorphous dan pada suhu lebih besar dari 1.000°C akan menjadi silika kristalin. Silika amorphous yang dihasilkan dari abu sekam padi diduga sebagai sumber penting untuk menghasilkan silikon murni, karbid silikon, dan tepung nitrid silikon (Katsuki et al., 2005).

Tabel 2. 9 Komposisi Kimia dari Abu Sekam Padi pada Perlakuan Temperatur yang Berbeda

Bahan	Temperature				
	Orgin° (%)	400° (%)	600° (%)	700° (%)	1000° (%)
SiO ₂	88.01	88.05	88.67	92.15	95.48
MgO	1.17	1.13	0.84	0.51	0.59
SO ₃	1.12	0.83	0.81	0.79	0.09
CaO	2.56	2.02	1.73	1.60	1.16
K ₂ O	5.26	6.48	6.41	3.94	1.28
Na ₂ O	0.79	0.76	1.09	0.99	0.73
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	0.29	0.74	0.46	0.00	0.43

(Sumber : HWANG, C.L., 2002)

2.3.3 Cairan *alkaline*

Kombinasi cairan sodium silikat dan sodium hidroksida digunakan untuk membantu terjadinya reaksi kimia dengan aluminium dan silika yang terdapat pada abu terbang. cairan sodium silikat terdiri atas Na₂O : 14,7%, SiO₂: 29,45 dan air : 55,9% terhadap berat cairan. Sodium hidroksida dengan tingkat kemurnian komersial 97% berbentuk *pellets* dicairkan dengan menggunakan air. Konsentrasi cairan sodium hidroksida sekitar 14 molar. Melalui pemeriksaan laboratorium cairan ini memiliki 40,4% sodium hidroksida dan 50,6% air dengan perbandingan

berat. Cairan *alkaline* dicampur satu hari sebelum cairan itu digunakan (Marthin. D.J sumajouw dan Service O. Dapas,2013)

2.4 Kuat Tekan Beton

Kinerja dalam sebuah beton dapat dibuktikan dengan nilai kuat tekan beton. Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima beban persatuan luas (Mulyono, 2004). Benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Nilai kuat tekan beton sering kali menjadi parameter utama untuk mengenali mutu sebuah konstruksi, karena kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Faktor yang berpengaruh pada nilai kuat tekan beton biasanya adalah :

- a. Umur beton, karena semakin lama umur beton maka kuat tekannya pun akan semakin menurun, hal ini tidak dapat dilihat pada umur beton muda seperti 28 hari karena biasanya pada umur tersebut beton masih mengalami peningkatan, tetapi jika beton sudah berumur 360 hari ke atas baru akan terlihat penurunan tersebut .
- b. *Workability* pada saat pengerjaan beton, karena biasanya pada beton normal beton yang memiliki *workability* yang tinggi akan cenderung mengalami segregasi dan bleeding yang menyebabkan nilai kuat tekannya pun menurun.
- c. Gradasi butiran, pada saat pembuatan sampel beton tentu dibutuhkan gradasi yang tidak seragam dari gradasi yang paling kecil hingga besar untuk mengisi rongga-rongga atau celah pada saat pembuatan cetakan/silinder beton, hal ini sangat berpengaruh karena jika jumlah gradasi agregat kasar yang seragam terlalu besar maka rongga-rongga pada beton tidak akan tertutup sempurna dan mengakibatkan terjadinya lubang-lubang atau keropos pada bagian beton, ini akan berakibat pada kekuatan beton yang menurun.

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan maksimum f'_c dengan satuan kg/cm^2 atau MPa (*Mega Pascal*) yang bisa didapatkan pada persamaan 2.1 (SNI 031974- 1990). Nilai kuat tekan beton umumnya relatif lebih tinggi dibandingkan

dengan kuat tariknya, oleh karena itu untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat tekannya saja (Tjokrodimuljo, 2007). Kuat tekan beton mengalami kenaikan seiring bertambahnya hari sampai umur 28, Menurut (Mulyono 2004) kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

σ = Kuat tekan beton (kg/cm²)

P = Beban tekan maksimum (kg)

A = Luas bidang tekan (cm²)

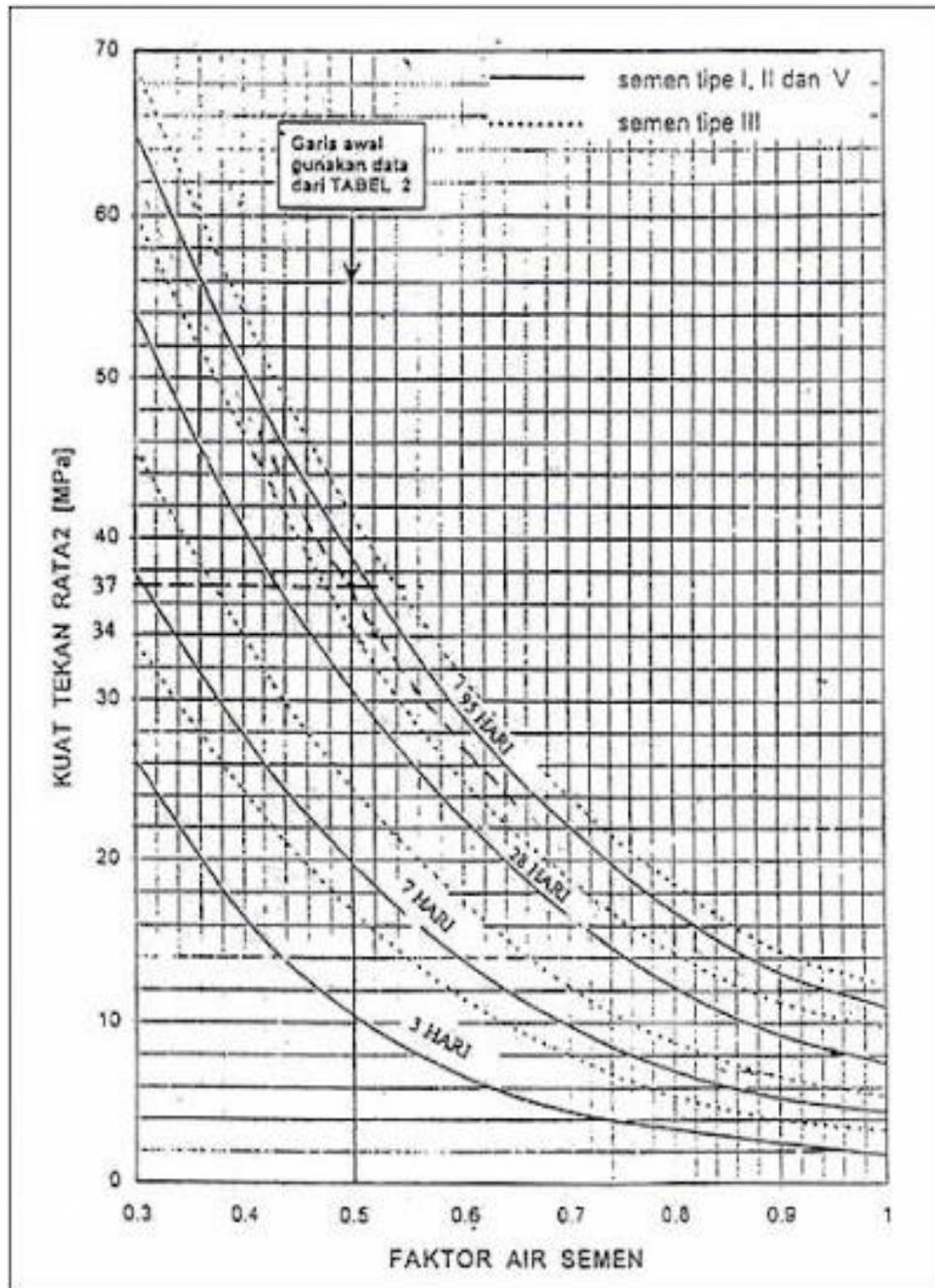
2.5 *Slump* dan Faktor Air Semen (FAS)

Pada setiap pengerjaan beton, ada hal-hal yang penting yang harus diperhatikan salah satu diantaranya adalah kelecakan beton segar. Kelecakan beton biasanya di periksa dengan uji *slump* untuk dapat memperoleh nilai *slump* yang kemudian dipakai sebagai tolak ukur kelecakan beton segar untuk kemudahannya dalam mengerjakan. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kelecakan beton antara lain (Tjokrodimuljo, 2007) sebagai berikut ini :

- a. Jumlah air yang dipakai dalam adukan beton
- b. Jumlah pasta dalam campuran adukan
- c. Gradasi agregat
- d. Besar butir maksimum agregat.

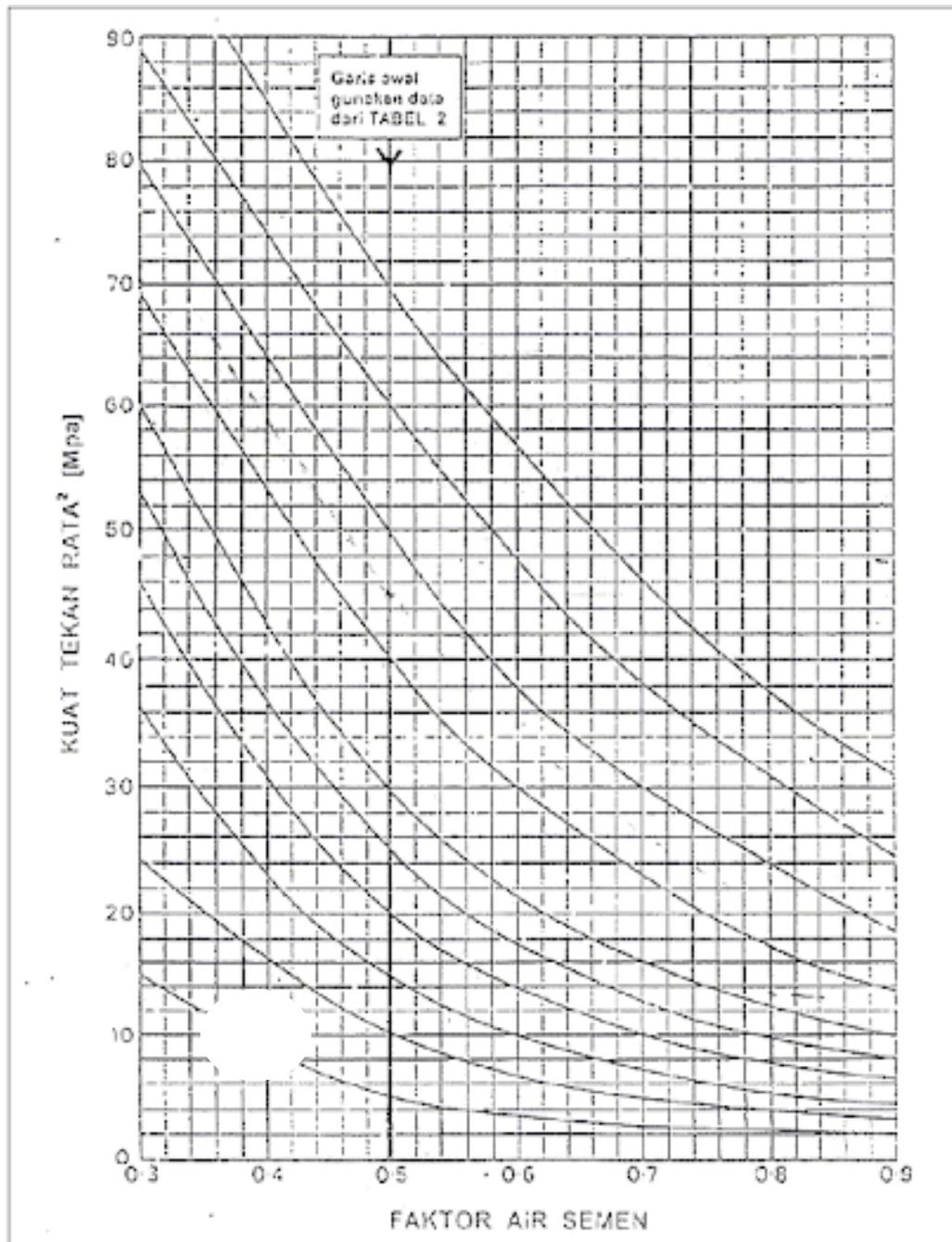
Slump pada beton sangat berhubungan dengan faktor air semen (fas) yang ada pada beton, semakin tinggi nilai faktor air semen pada sebuah beton maka biasanya akan semakin tinggi pula nilai *slump* yang didapatkan berarti jika nilai *slump* tinggi maka kuat tekanpun akan semakin kecil, karena menurut Gambar 2.1 dapat terlihat grafik yang menunjukkan semakin besar nilai fas pada beton maka nilai kuat tekanpun akan semakin kecil dan sebaliknya semakin kecil nilai fas

yang diperoleh maka kuat tekan akan semakin tinggi. Nilai *slump* dan kandungan fas pada beton akan sangat mempengaruhi nilai kuat tekan pada beton tersebut.



Gambar 2. 1 Grafik hubungan antara kuat tekan beton dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

(Sumber : SNI 03-2834-1993)



Gambar 2. 2 Grafik hubungan antara kuat tekan beton dan faktor air semen (benda uji berbentuk kubus 150 x 150 x 150 mm)

(Sumber : SNI 03-2834-1993)

2.6 Perawatan Beton

Perawatan beton ialah suatu tahap akhir pekerjaan pembetonan, yaitu menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak dipadatkan sampai proses hidrasi cukup sempurna (kira-kira selama 28 hari). Kelembaban permukaan beton itu harus dijaga agar air didalam beton segar tidak keluar. Hal ini untuk menjamin proses hidrasi semen (reaksi semen dan air) berlangsung dengan sempurna. Bila hal ini tidak dilakukan, maka oleh udara panas akan terjadi proses penguapan air dari permukaan beton segar, sehingga air dari dalam beton segar mengalir keluar, dan beton segar kekurangan air untuk hidrasi, sehingga timbul retak-retak pada permukaan betonya. (Tjokrodinuljo, 2007). Pada *curing* yang akan dilakukan, Air laut sendiri mengandung 3,5% zat garam, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel tak terlarut. Zat garam utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida sebanyak 55%, natrium 31%, sulfat 8%, magnesium 4%, kalsium 1%, potassium 1% dan sisanya terdiri dari bikarbonat, bromide, asam borak, strontium dan florida kurang dari 1%. Untuk menghindari terjadinya retak-retak pada beton karena proses hidrasi yang terlalu cepat, maka dilakukan perawatan beton dengan cara sebagai berikut ini :

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

Menurut SNI-2493-2011 perawatan benda uji beton di laboratorium dapat dilakukan sebagai berikut :

- a. Benda uji beton ditutup setelah pekerjaan akhir untuk menghindari penguapan air dari beton yang belum mengeras, benda segera ditutup setelah pekerjaan akhir, lebih dipilih plat yang tak menyerap dan reaktif atau lembaran plastik yang kuat, awet dan kedap air. Goni basah dapat digunakan untuk menutup, tetapi harus diperhatikan untuk menjaga goni tetap basah hingga benda uji dibuka dari cetakan. Letakan lembaran plastik di atas goni akan melindungi goni untuk tetap basah. Lindungi permukaan luar cetakan papan dari kontak dengan goni basah atau sumber air lainnya

sedikitnya untuk 24 jam setelah silinder dicetak. Air dapat menyebabkan cetakan mengembang dan merusakkan benda uji pada umur awal.

- b. Benda uji dibuka dari cetakan 24 jam \pm 8 jam setelah pencetakan.
- c. Semua benda uji dirawat basah pada temperatur $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ mulai dari waktu pencetakan sampai saat pengujian, dengan catatan temperatur dalam pasir basah atau di bawah goni basah atau bahan yang serupa akan selalu lebih rendah dari atmosfer sekitarnya jika penguapan terjadi. Penyimpanan selama 48 jam pertama perawatan harus pada lingkungan bebas getaran. Seperti yang diberlakukan pada perawatan benda uji yang dibuka, perawatan basah berarti bahwa benda uji yang akan diuji harus memiliki air bebas yang dijaga pada seluruh permukaan pada semua waktu. Kondisi ini dipenuhi dengan merendam dalam air jenuh kapur dan dapat dipenuhi dengan penyimpanan dalam ruang jenuh air sesuai dengan (ASTM M 201). Benda uji tidak boleh diletakkan pada air mengalir atau air yang menetes. Rawat silinder beton struktur ringan sesuai dengan standar ini atau sesuai dengan (SNI 03-3402- 1994).
- d. Merawat benda uji kuat lentur sesuai dengan SNI, kecuali selama dalam penyimpanan untuk masa minimum 20 jam segera sebelum pengujian benda uji direndam dalam cairan jenuh kapur pada $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ saat terakhir masa perawatan, antara waktu benda uji dipindahkan dan perawatan sampai pengujian diselesaikan. Pengeringan benda uji harus dihindarkan. Dengan catatan jumlah pengeringan yang relatif sedikit dari permukaan benda uji lentur akan menyebabkan tegangan tarik pada serat ekstrim yang akan mengurangi secara berarti kuat lentur yang seharusnya.

Lama pelaksanaan *curing*/perawatan beton sendiri berpengaruh pada

beberapa hal antara lain sebagai berikut ini :

- a. Mutu / kekuatan beton (*strength*)
- b. Keawetan struktur beton (*durability*)
- c. Kekedapan air beton (*water tightness*)
- d. Ketahanan permukaan beton (*wear resistance*)

- e. Kestabilan volume yang berhubungan dengan susut atau pengembangan (*volume stability : shrinkage and expansion*)

Berikut adalah beberapa peraturan mengenai berapa lama pelaksanaan *curing*/perawatan beton sebagai berikut ini.

- a. SNI 03-2847-2002 mensyaratkan *curing* selama :
 - 1) 7 hari untuk beton normal
 - 2) 3 hari untuk beton dengan kuat tekan awal tinggi
- b. ASTM C – 150 mensyaratkan *curing* selama :
 - 1) Semen tipe I, waktu minimum *curing* selama 7 hari
 - 2) Semen tipe II, waktu minimum *curing* selama 10 hari
 - 3) Semen tipe III, waktu minimum *curing* selama 3 hari
 - 4) Semen tipe IV, waktu minimum *curing* selama 14 hari

2.7 Perencanaan Campuran Beton

Metode perhitungan yang digunakan dalam campuran beton normal adalah SNI 03-2834-2000.

2.7.1 Persyaratan kinerja

Beton mempunyai persyaratan kinerja sebagai berikut :

- a. Umur uji

Kuat tekan yang disyaratkan untuk menentukan proporsi campuran beton normal dapat dipilih untuk umur beton 7,14 dan 28 hari.
- b. Kuat tekan yang disyaratkan

Untuk mencapai kuat tekan yang disyaratkan, campuran beton normal harus diproporsikan sedemikian rupa sehingga kuat tekan rata-rata dari hasil pengujian dilapangan lebih tinggi daripada kuat tekan yang disyaratkan (f_c').
- c. Persyaratan lain

Beberapa persyaratan lain yang dapat mempengaruhi bahan dan proporsi campuran beton antara lain :

 - 1) Modulus elastisitas
 - 2) Kuat tekan dan kuat lentur

- 3) Panas hidrasi
- 4) Rangkak dan susut akibat pengeringan
- 5) Permeabilitas
- 6) Waktu pengikatan
- 7) Metode pengecoran
- 8) Kelecekan

2.7.1 Faktor-faktor yang menentukan

Untuk menghasilkan beton yang berkualitas baik, maka komposisi campuran antara agregat, semen dan air harus diperhatikan. Tujuan dari campuran ini adalah agar beton memenuhi kebutuhan kuat tekan yang disyaratkan dalam perencanaan konstruksi. Adapun faktor yang menentukan nya antara lain:

a. Pemilihan bahan

Proporsi campuran yang optimum harus ditentukan dengan mempertimbangkan karakteristik semen portland dan abu terbang, kualitas agregat, proporsi pasta, interaksi agregat pasta, macam dan jumlah bahan campuran tambahan dan pelaksanaan pengadukan. Hasil evaluasi tentang semen portland, abu terbang, bahan campuran tambahan, agregat dari berbagai sumber, serta berbagai macam proporsi campuran, dapat digunakan untuk menentukan kombinasi bahan yang optimum.

b. Semen Portland (PC)

Semen portland harus memenuhi SNI 15-2049-1994 tentang Mutu dan Cara Uji Semen Portland. Semen yang dipakai adalah Semen Portland Tipe I yaitu Semen Baturaja.

c. Abu terbang (*fly ash*)

Abu terbang (*fly ash*) harus memenuhi SNI 03-2460-1991 tentang Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton. Abu terbang yang disarankan untuk digunakan dalam beton kekuatan tinggi adalah yang mempunyai nilai hilang pijar maksimum

3%, kehalusan butir yang tinggi, dan berasal dari suatu sumber dengan mutu seragam.

d. Air

Air harus memenuhi SK SNI S-04-1989-F tentang Spesifikasi Bahan Bangunan bagian A (Bahan Bangunan bukan Logam).

e. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah agregat normal yang sesuai dengan SNI 03-1750-1990 tentang Mutu dan Cara Uji Agregat Beton. Ukuran nominal agregat maksimum 20 mm atau 25 mm, jika digunakan untuk membuat beton berkekuatan sampai 62,1 MPa, dan ukuran 10 mm atau 15 mm, jika digunakan untuk beton berkekuatan lebih besar dari pada 62,1 MPa. Secara umum, untuk rasio air bahan bersifat semen $W/(c+p)$ yang sama, agregat yang ukuran maksimumnya lebih kecil akan menghasilkan kekuatan beton yang lebih tinggi.

f. Agregat halus

Agregat halus harus memenuhi ketentuan SNI 03-1750-1990 tentang Mutu dan Cara Uji Agregat beton. Bila digunakan pasir buatan, adukan beton harus mencapai kelecakan adukan yang sama dengan pasir alam

g. *Superplasticizer*

Superplasticizer harus memenuhi SNI 03-2495-1991 tentang Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton. Bila *superplasticizer* yang digunakan berbentuk cair, maka kadarnya dinyatakan dalam satuan mL/kg (c + p), dan bila berbentuk tepung halus jumlahnya dinyatakan dalam berat kering gr/kg (c + p). *Superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini berupa cairan *alkaline* yaitu kombinasi cairan sodium silikat dan sodium hidroksida digunakan untuk membantu terjadinya reaksi kimia dengan alumina dan silika yang terdapat pada abu terbang. Menurut ASTM C494 dan British Standard 5075, *Superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang air yang sangat efektif. Dengan pemakaian bahan tambahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama atau

diperoleh adukan dengan kekentalan lebih encer dengan faktor air semen yang sama, sehingga kuat tekan beton lebih tinggi.

h. Ukuran benda uji

Ukuran benda uji yang digunakan dalam penelitian ini yaitu benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15x15x15cm.

i. Cetakan

Cetakan benda uji yang bersentuhan dengan beton harus terbuat dari baja, besi tuang atau bahan kedap lainnya, non reaktif terhadap beton yang mengandung semen portland atau semen hidrolis lainnya sesuai dengan peraturan SNI 03-2493-1991 yang telah direvisi menjadi SNI 2493:2011.