

Dari persamaan reaksi tersebut, terlihat bahwa pada reaksi kimia pembentukan senyawa geopolimer juga menghasilkan air yang dikeluarkan selama proses *curing*. (Garcia-Loreido, I., Palomo, A. & Fernandez-Jimenez, A., 2007)

Palomo, Grutzeck, dan Blanco (1999) mempelajari pengaruh suhu, waktu, dan rasio larutan alkali pada abu terbang pada kekuatan awal geopolimer. Dilaporkan bahwa faktor suhu dan waktu perawatan mempengaruhi kuat tekan material geopolimer. Penggunaan larutan *sodium silikat* (Na_2SiO_3) dan *sodium hidroksida* (NaOH) sebagai larutan alkali menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi

3.2 Bahan Penyusun Beton Geopolimer

3.2.1 Abu Sekam Padi

Rice husk ash (abu sekam padi) didapatkan dari pembakaran kulit sekam padi. Abu yang dihasilkan dari pembakaran normal, permukaan partikelnya akan terkristalisasi dan memiliki aktivitas pozzolan yang rendah. Namun, jika pembakaran dikontrol pada suhu antara $500\text{ }^\circ\text{C}$ – $700\text{ }^\circ\text{C}$ lapisan pozzolan pada permukaan partikel abu dapat terbentuk hasil dari pembakaran tersebut akan melepaskan carbon dan meninggalkan silika sebagai residu dalam jumlah besar. Namun, abu sekam padi sama sekali tidak mengandung alumina (Al_2O_3) seperti halnya abu terbang (Pugar Septia, 2011). Karakteristik abu sekam padi ditunjukkan oleh tabel 3.1.

Tabel 3.1. Karakteristik abu sekam padi

Karakteristik Fisika	Nilai
Spesific Gravity	2,28
Finnes-median size	7
Surface Area	30,24
Karakteristik Kimia	(%)
Silicon dioxide (SiO ₂)	87,90
Carbon (C)	5,32

(Sumber : *Strength and durability of rice Husk Ash-Modified Concrete in the Marina Environment*, Marcelina Alvarez)

3.2.2 Abu Terbang (*fly ash*)

Menurut ASTM C618 (ASTM, 1995:304) abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batu bara. Banyaknya hasil material, hanya abu terbang dan slag telah terbukti menjadi sumber material yang dapat membuat geopolimer. Abu terbang dianggap menguntungkan karena reaktivitas partikelnya lebih halus daripada slag. Selain itu, abu terbang yang mengandung rendah kalsium lebih diharapkan dibandingkan slag yang digunakan sebagai bahan baku (Hardjito dan Rangan, 2005).. Kandungan karbon dalam abu terbang harus sedikit mungkin sedangkan kandungan silika harus tinggi. Kandungan unsur unsur pada abu terbang ditunjukkan seperti pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Komposisi *fly ash* kelas F berdasarkan tes XRF

Komponen	Persen (%)	Komponen	Persen (%)
SiO ₂	52,2	K ₂ O	0,4
Al ₂ O ₃	38,6	Mgo	0,5
Fe ₂ O ₃	2,9	SO ₃	1,2
CaO	0,7	SO ₂	-
Na ₂ O	0,5	LOI	1,4

Sumber: *januarti & triwulan, 2011*

Ada beberapa zat senyawa kimia yang berada pada abu terbang yaitu : silika dioksida (SiO₂), aluminium oksida (Al₂O₃), karbon dalam bentuk batu bara, besi

oksida (Fe_2O_3), sulfur trioksida (SO_3), dan lain – lain. Menurut SNI 06-6867-2002, persyaratan mutu pada abu terbang sebagai berikut:

Tabel 3.3 Persyaratan Mutu *Fly Ash*

No.	Senyawa	Kadar , %
1	Jumlah oksida $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ minimum	30
2	SO_3 maksimum	5
3	Hilang pijar maksimum *)	6
4	Kadar air maksimum	3
5	Total alkali dihitung sebagai Na_2O maksimum ⁺⁺)	1,5

Sumber : SNI 06-6867-2002

3.2.3 Aktivator

Aktivator yang secara umum digunakan adalah kombinasi antara larutan *sodium silikat* dan *sodium hidroksida*.

a) *Sodium Silikat* (Na_2SiO_3)

Sodium silikat (Na_2SiO_3) atau biasa disebut *waterglass* berfungsi untuk mempercepat reaksi polimer. Campuran antara abu terbang dan *sodium silikat* membentuk ikatan yang sangat kuat namun banyak terjadi retakan-retakan antar mikrostruktur.

b) *Sodium Hidroksida* (NaOH)

Sodium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si dengan menambah ion Na^+ . Campuran abu terbang dan *sodium hidroksida* membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan.

3.2.4 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume

mortar atau beton. Dari jenis, agregat dibedakan menjadi dua yaitu agregat alami dan agregat buatan (pecahan). Pada penelitian yang dilaksanakan digunakan dua agregat yaitu agregat halus dan kasar.

a. Agregat halus

Menurut Tjokrodimuljo (2007), agregat halus (pasir) adalah batuan yang mempunyai ukuran butir antara 0,15 mm–5 mm. Agregat halus dapat diperoleh dari dalam tanah, dasar sungai atau dari tepi laut. Oleh karena itu, pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam, yaitu: pasir galian, pasir sungai dan pasir laut. Agregat halus (pasir) menurut gradasinya sebagaimana tercantum pada tabel 3.4 seperti di bawah ini.

Tabel 3.4 Batas-batas gradasi agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat butir yang lewat ayakan dalam persen			
	Kasar	Agak Kasar	Agak Halus	Halus
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

b. Agregat kasar

Menurut Mulyono (2004), agregat kasar adalah batuan yang mempunyai ukuran butir lebih besar dari 4,80 mm (4,75 mm), sedangkan menurut Tjokrodimuljo (2007) agregat kasar dibedakan menjadi 3 berdasarkan berat jenisnya, yaitu sebagai berikut:

1. Agregat normal

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antar 2,5–2,7 gram/cm³. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basal, kuarsa dan lain sebagainya. Beton yang dihasilkan mempunyai berat 2,3 gram/cm³ dan biasa disebut beton normal.

2. Agregat berat

Agregat berat adalah agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 gram/cm³, misalnya magnetit (Fe₃O₄), barites (BaSO₄) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis yang tinggi yaitu sampai dengan 5 gram/cm³ yang digunakan sebagai dinding pelindung atau radiasi sinar X.

3. Agregat ringan

Agregat ringan adalah agregat yang berat jenisnya kurang dari 2 gram/cm³ misalnya tanah bakar (*bloated clay*), abu terbang (*fly ash*), busa terak tanur tinggi (*foamed blast furnace slag*). Agregat ini biasanya digunakan untuk beton ringan yang biasanya dipakai untuk elemen non-struktural.

3.2.5 Bahan Tambah (*admixture*)

Bahan tambah (*admixture*) adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. (Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton, SK SNI S-18-1990-03).

Berdasarkan ACI (American Concrete Institute), bahan tambah adalah material selain air, agregat dan semen hidrolis yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung.

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

Penggunaan bahan tambah dalam sebuah campuran beton harus memperhatikan standar yang berlaku seperti SNI (Standar Nasional Indonesia), ASTM (American Society for Testing and Materials) atau ACI (American Concrete Institute) dan yang paling utama memperhatikan petunjuk dalam manual produk dagang.

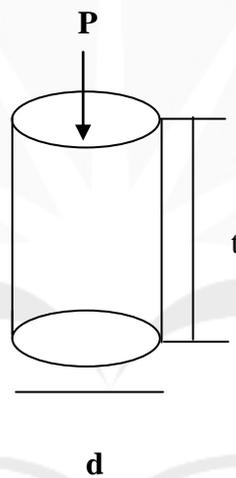
Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (chemical admixture) dan bahan tambah yang bersifat mineral (additive). Menurut standar ASTM, terdapat 7 jenis bahan tambah kimia, yaitu:

1. Tipe A, Water-Reducing Admixtures
2. Tipe B, Retarding Admixtures
3. Tipe C, Accelerating Admixtures
4. Tipe D, Water Reducing and Retarding Admixtures

5. Tipe E, Water Reducing and Accelerating Admixtures
6. Tipe F, Water Reducing, High Range Admixtures
7. Tipe G, Water Reducing, High Range Retarding Admixtures

3.3 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan beton 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 (Mulyono, Tri, 2004).



Gambar 3.1 Benda Uji Silinder

Rumus yang digunakan untuk mencari besarnya kuat tekan beton adalah adalah seperti yang terdapat pada :

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (3-2)$$

dimana f_c' = kuat tekan (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

Benda uji yang lazim digunakan dalam pengujian nilai kuat tekan beton adalah benda uji yang berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar yang digunakan adalah dengan tinggi = 300 mm dan diameter = 150 mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f_c') yang dicapai benda uji pada umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996).

Dalam penelitian ini, dimensi benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan tinggi = 140 mm dan diameter = 70 mm. Karena tidak menggunakan ukuran dimensi benda uji standar, maka diperlukan konversi ukuran benda uji untuk mengetahui nilai kuat tekannya. Untuk angka konversi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan angka 0,86 sesuai dengan benda uji dengan tinggi 140 mm dan diameter 70 mm (Troxell and David, 1956)

3.4 Nilai Slump

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. Penetapan nilai *slump* untuk berbagai pengerjaan beton dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Penetapan nilai *slump* adukan beton

Pemakaian beton (berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12.5	5
Fondasi telapak tidak bertulang, kaisan, dan struktur dibawah tanah	9	2.5
Pelat, balok, kolom, dinding	15	7.5
Perkerasan jalan	7.5	5
Pembetonan masal (beton massa)	7.5	2.5

Sumber : Trokrodimuljo, 2007

3.5 Workability

Salah satu sifat beton sebelum mengeras (beton segar) adalah kemudahan pengerjaan (*workability*). *Workability* adalah tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam mencampur, mengaduk, menuang dalam cetakan dan pemadatan tanpa homogenitas beton berkurang dan beton tidak mengalami *bleeding* (pemisahan) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan.

Workability akan lebih jelas pengertiannya dengan adanya sifat-sifat berikut:

- *Mobility* adalah kemudahan adukan beton untuk mengalir dalam cetakan.
- *Stability* adalah kemampuan adukan beton untuk selalu tetap homogen, selalu mengikat (koheren), dan tidak mengalami pemisahan butiran (*segregasi* dan *bleeding*).
- *Compactibility* adalah kemudahan adukan beton untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat berkurang.

- *Finishibility* adalah kemudahan adukan beton untuk mencapai tahap akhir yaitu mengeras dengan kondisi yang baik.
- Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat *workability* antara lain:
 - Jumlah air yang digunakan dalam campuran adukan beton. Semakin banyak air yang digunakan, maka beton segar semakin mudah dikerjakan.
 - Penambahan semen ke dalam campuran juga akan memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai *fas* tetap.
 - Gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan, maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
 - Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
 - Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan.
 - Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan tangan (Tjokrodimuljo, 2007).

Sama halnya untuk beton geopolimer, konsep dari sifat dan unsur tersebut juga berlaku. Perlu diketahui bahwa dalam pembuatan beton geopolimer, adukan

yang dihasilkan tampak begitu padat dan kental sehingga proses pengerjaannya lebih sulit.

3.6 Umur Beton

Menurut Tjokrodimuljo (2007), kuat tekan beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksud umur disini adalah dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan beton mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu akan semakin lambat dan laju kenaikan itu akan menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari. Sebagai standar kuat tekan beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari.

Laju kenaikan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis semen portland, suhu keliling beton, faktor air-semen dan faktor lain yang sama dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton. Sedangkan untuk beton geopolimer, kuat tekan yang dihasilkan sangat tergantung pada perbandingan aktivator, jenis precursor yang digunakan, dan proses *curing* (suhu dan waktu). Hubungan antara umur dan kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Rasio kuat tekan beton pada berbagai umur

Umur beton	3	7	14	21	28	90	365
Semen portland biasa	0.4	0.65	0.88	0.95	1	1.2	1.35

Sumber : PBI 1971, NI-2, dalam Tjokrodimuljo, 2007