

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

Beton Geopolimer merupakan jenis beton yang dibuat tanpa menggunakan SP sebagai bahan pengikat. Sebagai pengganti SP dapat digunakan cairan *alkaline activator* seperti Sodium Silikat, Potassium Silikat, dan NaOH/KOH yang dicampur dengan solid material seperti Abu Terbang (*Fly Ash*), Metakaolin, Slag, dan Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) dengan perbandingan tertentu.

3.2 Material Beton Geopolimer

3.2.1 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang merupakan salah satu material hasil sampingan (*by-product*) industri pada pembakaran batu bara yang dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada beton geopolimer. Abu terbang dikategorikan dalam material pozzolan yakni material siliceous atau aluminous yang di dalamnya terdapat sedikit sekali atau tidak sama sekali material cementious sebagaimana yang dimiliki SP. Material abu terbang dapat saja bereaksi secara kimia dengan cairan alkali pada suhu tertentu untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen. Abu terbang memiliki sifat pozzolanik mirip dengan material pozzolan yang secara natural terdapat di alam bebas, seperti pada abu dari gunung api atau material sedimen lainnya (ACI 232.2R-03).

Menurut SNI 06-6867-2002, persyaratan mutu pada abu terbang adalah seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Persyaratan Mutu Abu Terbang

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

3.2.2 Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*)

Abu Sekam Padi merupakan salah satu material hasil sampingan (*by-product*) industri pada pembakaran batu bata dengan sekam padi. Material ini juga dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada beton geopolimer karena kandungan silikanya yang sangat besar. Komposisi kimia yang terkandung dalam abu sekam padi adalah seperti pada table 3.2.

Tabel 3.2 Komposisi Kimia Abu Sekam Padi (%)

Oksida	Kandungan
SiO_2	86.90-97.30
K_2O	0.58-2.50
Na_2O	0.00-1.75
CaO	0.20-1.50
MgO	0.12-1.96
Fe_2O_3	0.00-0.54
P_2O_5	0.20-2.84
SO_3	0.10-1.13
Cl	0.00-0.42

Sumber: Houston, D.F. 1972 dalam Sihombing

3.2.3 Cairan Alkali

Kombinasi cairan Sodium Silikat dan Natrium Hidroksida digunakan untuk membantu terjadinya reaksi kimia dengan aluminium dan silika yang terdapat pada abu terbang dan abu sekam padi.

Natrium Hidroksida merupakan senyawa alkali yang sangat reaktif apabila dicampur dengan air atau aquades. Natrium Hidroksida berbentuk padat dan berfungsi untuk mereaksikan Si dan Al sehingga menghasilkan ikatan polimerisasi yang kuat. Campuran *fly ash* dengan natrium hidroksida akan membentuk ikatan yang kuat, lebih padat dan tidak ada retakan (Septia, 2011).

Sodium Silikat berbentuk gel dan berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Ketika dilarutkan dalam air atau *aquades*, sodium silikat akan membentuk larutan alkali.

3.2.4 Aquades

Aquades adalah air hasil penyulingan. *Aquades* digunakan sebagai bahan dasar campuran cairan *alkaline activator* yang nantinya akan dicampur dengan material lainnya (abu terbang dan abu sekam padi) sehingga menghasilkan pasta geopolimer.

3.2.5 Agregat

Agregat adalah material (pasir dan kerikil) yang dipakai bersama dengan media pengikat untuk pembentukan beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton yang dihasilkan. Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi dan jumlahnya sekitar 75% dari volume beton. Tujuan lain pemakaian agregat dalam adukan beton adalah untuk penghematan penggunaan SP (menyebabkan beton menjadi lebih murah), menghasilkan kekuatan besar pada betonnya, mengurangi terjadinya susut pengerasan, mencapai ukuran pampat beton, dan *workability* yang baik.

Dalam campuran beton, agregat yang diperhitungkan adalah agregat dalam keadaan *Saturated Surface Dry* (SSD/Jenuh Kering Permukaan). SSD adalah keadaan di mana permukaan agregat telah mengering tetapi bagian dalamnya masih jenuh air.

3.2.5.1 Agregat Halus

Menurut Tjokrodimuljo (2007), agregat halus (pasir) adalah batuan yang mempunyai ukuran butir antara 0,15 mm–5,00 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 3.3 seperti di bawah ini:

Tabel 3.3 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

3.2.5.2 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:

a. 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.

b. Agregat berat

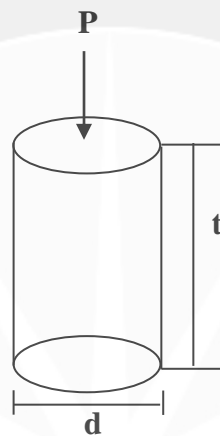
Agregat berat adalah agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 gram/cm³, misalnya magnetit (Fe₃O₄), barites (BaSO₄) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis yang tinggi yaitu sampai dengan 5 gram/cm³ yang digunakan sebagai dinding pelindung.

c. Agregat ringan

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

3.3 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).



Gambar 3.1 Benda Uji Silinder

Rumus yang digunakan untuk mencari besarnya kuat tekan beton adalah adalah seperti yang terdapat pada 3-2.

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

Keterangan: 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. Ukuran benda uji yang digunakan sebagai konversi adalah benda uji dengan tinggi = 150 mm dan diameter = 75 mm.

Tabel 3.4 Konversi Ukuran Benda Uji Silinder

Ukuran Silinder (mm)		Kuat Tekan (%)	Faktor Pengali
Diameter	Tinggi		
50	100	108	0,917
75	150	106	0,943
100	200	104	0,962
150	300	100	1,000
200	400	96	1,042

Sumber: *Properties of Concrete, A.M. Neville*

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 3.5.

Tabel 3.5. 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, kaison, dan stuktur 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 : Tjokrodimuljo, 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 3.3.

Tabel 3.6 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