

BAB III

LANDASAN TEORI

A. BETON

1. Definisi Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*Portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah (Mulyono, 2004).

Beton adalah campuran antara semen *portland* atau hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture* atau *additive*) membentuk massa padat (DPU-LPMB dalam Mulyono, 2004).

2. Kelebihan dan Kekurangan beton

Dalam keadaan segar beton mudah dibentuk sesuai dengan yang diinginkan. Apabila campuran beton dibiarkan maka akan mengeras seperti batu. Pengerasan itu terjadi akibat peristiwa reaksi kimia antara air dan semen. Hal ini berjalan selama waktu yang panjang. Campuran beton bertambah keras setara dengan umurnya. Beton dalam keadaan mengeras mempunyai nilai kuat tekan yang tinggi. Untuk mencapai kuat tekan beton perlu diperhatikan kepadatan dan kekerasan massanya. Umumnya semakin padat dan keras massa agregat akan makin tinggi kekuatan dan *durability*-nya (daya tahan terhadap penurunan mutu dan akibat pengaruh cuaca). Selain itu beton juga tahan terhadap serangan korosi. Secara umum kelebihan beton adalah (Mulyono, 2004) :

- a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
- b. Tahan terhadap temperatur yang tinggi.
- c. biaya pemeliharaan yang kecil.
- d. Termasuk bahan awet, tahan aus, tahan kebakaran, tahan terhadap

- e. Kuat tekannya tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan (yang kuat tariknya tinggi) maka mampu memikul beban yang berat.

Kekurangan beton antara lain:

- a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
- b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
- c. Berat.
- d. Kuat tarik yang kecil sehingga mudah retak.
- e. Daya pantul suara yang keras.

3. Jenis-Jenis Beton

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

- a. Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat normal.
- b. Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tidak kurang dari nilai minimum yang diisyaratkan, dengan atau tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja 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 *prestress* (pratekan) adalah beton bertulang dimana telah diberikan tegangan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.
- e. Beton ringan struktural adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran antara agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh

harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural.

- f. Beton ringan total atau beton ringan berpasir adalah beton yang seluruh agregat halus dengan berat normal.

B. Pemeriksaan Agregat

Agregat merupakan salah satu bahan campuran beton yang terdiri dari agregat halus dan kasar. Agregat halus yang digunakan adalah pasir, sedangkan agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah (kerikil). Uji fisik terhadap material dilakukan terhadap agregat halus dan agregat kasar yang didasarkan pada standar pengujian SK-SNI.

Pemeriksaan agregat bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dari agregat itu sendiri. Terdiri atas beberapa pengujian antara lain :

1. Berat jenis agregat halus dan kasar
2. Analisis gradasi agregat halus
3. Analisis keausan agregat kasar
4. Kadar air agregat halus dan kasar
5. Berat isi agregat halus dan kasar
6. Kandungan lumpur agregat halus dan kasar

Setelah dilakukan pemeriksaan agregat, maka agregat tersebut kemudian dianalisa terhadap syarat-syarat yang telah ditentukan sebagai bahan penyusun beton, prosedur pemeriksaan dapat dilihat di lampiran.

C. Bahan Penyusun Beton

1. Semen *Portland*

Semen *Portland* adalah suatu semen hidrolis yang dihasilkan dengan menghaluskan klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang ditiling bersama-sama dengan bahan utamanya

Pada semen biasa mengandung beberapa unsur kimia dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Susunan Unsur Semen *Portland*

Unsur	Persen (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	17 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Besi (Fe ₂ O ₂)	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO ₃)	1 – 2
Soda/Potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5 – 1

Sumber: (Tjokrodinuljo, 2007)

Dari beberapa unsur tersebut membentuk beberapa senyawa. Senyawa yang paling penting dalam pembentukan semen *portland* ada 4 (empat) macam yaitu :

- a. Trikalسيوم Silikat (3CaO.SiO₂) yang dapat disingkat menjadi C₃S
Komposisi ini merupakan senyawa kimia yang paling dominan memberikan sifat semen. Senyawa ini akan cepat mengering jika bereaksi dengan air dan dapat menghasilkan panas. Panas tersebut akan mempengaruhi kecepatan mengeras sebelum hari ke-14.
- b. Dikalsium Silikat (2CaO.SiO₂) yang dapat disingkat menjadi C₂S
Sama halnya dengan C₃S, senyawa ini merupakan senyawa kimia yang paling dominan memberikan sifat semen. Namun senyawa ini lebih lambat jika bereaksi dengan air dan hanya berpengaruh pada semen setelah berumur lebih dari 7 hari. Senyawa ini dapat memberikan ketahanan terhadap serangan kimia dan mempengaruhi susut yang diakibatkan oleh panas lingkungan.
- c. Trikalسيوم Aluminat (3CaO.Al₂O₃) yang dapat disingkat menjadi C₃A
Senyawa C₃A ini bereaksi secara *exothermic* dan bereaksi sangat cepat

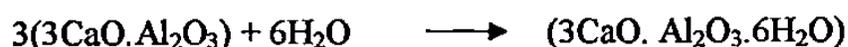
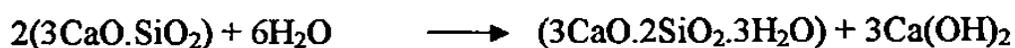
Senyawa ini tidak memiliki komposisi yang banyak dalam senyawa kimia pada semen. Unsur ini sangat dipengaruhi oleh nilai panas hidrasi tertinggi dan tidak tahan terhadap serangan sulfat. Jika terkena sulfat yang terdapat pada air atau tanah sehingga mengakibatkan retak-retak pada betonnya.

- d. Tetrakalsium Aluminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang dapat disingkat menjadi C_4AF . Senyawa ini dianggap kurang penting karena tidak tampak berpengaruh terhadap kekerasan semen pada beton.

Perbedaan persentasi senyawa kimia akan menyebabkan perbedaan sifat semen. Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen akan membentuk karakter dan jenis semen. Pada SK SNI T-15-1990-03:2 membagi semen portland menjadi lima jenis, yaitu :

- a. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
- b. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
- e. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

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



Hasil utama yang terjadi pada semen Portland adalah $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ atau $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ atau CSH yang biasa disebut *tobermorite* yang berbentuk gel. Hasil yang lain berupa kapur bebas $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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.

2. Agregat

Agregat adalah butiran alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat menempati 60 - 70% volume beton.

Dalam pelaksanaannya agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok (Tjokrodimuljo, 2007), yaitu :

- a. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
- b. Kerikil, untuk besar butiran antara 5 mm – 40 mm.
- c. Pasir, untuk besar butiran antara 0,15 mm – 5 mm.

Pada umumnya campuran beton menggunakan 2 macam agregat yaitu agregat kasar dan agregat halus.

a. Agregat halus

Agregat halus mempunyai ukuran butiran 0,15 mm – 5 mm. Beton pada umumnya menggunakan pasir sebagai agregat halusnya namun terdapat beberapa jenis beton yang tidak menggunakan pasir sebagai agregat halus pada kondisi khusus atau sesuai dengan kebutuhan.

b. Agregat Kasar

Agregat kasar mempunyai ukuran butiran lebih dari 5 mm. beton pada umumnya menggunakan pecahan batu (*Gravel*) sebagai agregat

Krikil dalam penggunaannya harus memenuhi syarat-syarat adalah sebagai berikut:

- 1) Butir-butir keras yang tidak berpori serta bersifat kekal yang artinya tidak pecah karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan.
- 2) Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila melebihi maka harus dicuci lebih dahulu sebelum menggunakannya.
- 3) Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
- 4) Agregat yang berbutir pipih hanya dapat digunakan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan.

Adapun persyaratan yang ditetapkan dalam pemeriksaan agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) (Tjokrodinuljo, 2007) adalah sebagai berikut :

- 1) Menurut SK SNI : 03-1968-1990 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus (pasir) menjadi empat daerah yaitu daerah 1 (kasar), daerah 2 (agak kasar), daerah 3 (agak halus) dan daerah 4 (halus) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Batas-Batas Gradasi Agregat halus

Saringan (No)	% Berat Butir Lolos Saringan			
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
4 (4,75 mm)	90 – 100	90 – 100	90 - 100	95 – 100
8 (2,36 mm)	60 – 95	75 – 100	85 - 100	95 – 100
16 (1,18mm)	30 – 70	55 – 90	75 - 100	90 – 100
30 (0,6mm)	15 – 34	35 – 59	60 - 79	80 – 100
50 (0,3mm)	5 – 20	8 – 30	12 - 40	15 – 50
100 (0,15mm)	0 – 10	0 – 10	0 - 10	0 – 15

Sumber : SK SNI 03-1968-1990

- 2) Syarat untuk agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih

lebih dari 5% maka agregat perlu dicuci dahulu sebelum digunakan dalam adukan beton.

- 3) Syarat untuk pemeriksaan kadar air agregat dalam keadaan jenuh kering maka (SSD) lebih disukai sebagai standar, karena :
 - (a) Merupakan keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah maupun mengurangi air dari pastinya.
 - (b) Kadar air dilapangan lebih banyak yang mendekati keadaan SSD dari pada yang kering tungku (Tjokrodimuljo, 2007)
- 4) Syarat untuk pemeriksaan berat jenis penyerapan agregat dibagi menjadi 3 yaitu :
 - (a) Agregat normal, yaitu agregat yang berat jenisnya 2,5 sampai 2,7. Agregat ini biasanya berasal dari batuan granit, basalt dan kwarsa.
 - (b) Agregat berat, yaitu agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 misalnya Magnetik (Fe SO_4), Bangtes (BASO_4) atau serbuk besi.
 - (c) Agregat ringan, yaitu agregat yang berat jenisnya kurang dari 2,0 yang biasanya dibuat untuk non struktural.
- 5) Syarat pemeriksaan keausan agregat kasar dengan persyaratan agregat untuk beton $< 40\%$. (Tjokrodimuljo, 2007)

3. Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Pada pembuatan beton, semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Untuk itu air diperlukan untuk memicu proses kimiawi semen (hidrasi semen). Selain air juga berfungsi menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan (*workability*).

Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih

25% - 30% dari berat semen yang digunakan, namun dalam kenyataannya

jika nilai faktor air semen kurang dari 0,35 adukan beton sulit dikerjakan, sehingga umumnya nilai faktor air semen lebih dari 0,40 (berarti terdapat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen). Kelebihan air ini diperlukan sebagai pelumas agar adukan beton dapat dikerjakan. Makin banyak air maka adukan beton semakin mudah dikerjakan. Akan tetapi setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi *porous* (keropos) sehingga kekuatannya rendah. Pada beton segar akan tidak dapat dikerjakan dengan sempurna sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah.

Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton, tetapi tidak berarti air untuk pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum. Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan (Mulyono, 2004).

Kualitas beton akan berkurang jika air mengandung kotoran. Air yang mengandung kotoran berpengaruh terhadap lamanya waktu ikatan awal adukan beton serta kekuatan beton setelah mengeras. Air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut (standar SK SNI S-04-1989-F, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A dalam Tjokodimuljo, 2007) :

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram per liter.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram per liter.
- d. Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram per liter. Khusus untuk beton pra-tegang kandungan khlorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram per liter.

D. Beton Geopolimer

1. Definisi Beton Geopolimer

Geopolimer merupakan sintesis bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), abu kulit padi (*rice husk ash*) dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan alumina (*prekursor*) membentuk sebuah senyawa silikat alumina anorganik (Davidovits, 1997 dalam Martyana Dwi Cahyati, 2013). Beton geopolimer merupakan beton yang tidak menggunakan semen sebagai perekat. Proses pembentukan beton geopolimer terbentuk melalui proses polimerisasi bahan yang mengandung silikat dan alumina tinggi yang direaksikan dengan menggunakan alkali aktifator (*polysilicate*) menghasilkan ikatan polimer (Martyana Dwi Cahyati, 2013).

2. Kelebihan dan Kekurangan Beton Geopolimer

Beton geopolimer mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari beton geopolimer yaitu sebagai berikut:

- a. Beton geopolimer mempunyai nilai susut yang kecil.
- b. Tahan terhadap reaksi alkali-silika.
- c. Mengurangi polusi udara.

Adapun beberapa kekurangan beton geopolimer yaitu sebagai berikut :

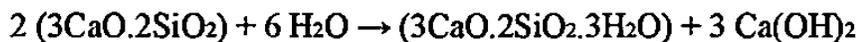
- a. Proses pembuatannya lebih rumit dari pada beton konvensional karena material yang dibutuhkan sangat bervariasi jika dibandingkan dengan beton konvensional.
- b. Belum adanya *mix design* yang pasti
- c. Mempunyai *workability* yang lebih rendah dibandingkan dengan beton konvensional.

3. Perbedaan Beton Geopolimer dan Beton *Portland*

Beton geopolimer memang dapat digunakan untuk menggantikan beton portland karena memiliki sifat yang mirip, seperti bentuk pasta dan proses pengerasan yang terjadi. Namun sering kali terjadi kesalahpahaman mengenai sifat geopolimer. Berikut ini perbedaan mendasar antara beton

a. Proses Pengerasan

Proses pengerasan yang terjadi pada beton geopolimer dan beton portland berbeda. Kalsium hidroksida yang terdapat pada semen jika dicampur dengan air maka akan terhidrolisa menjadi kalsium hidroksida Ca(OH)_2 dan kalsium silikat hidrat ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) pada suhu ruang



Sedangkan beton geopolimer mengeras karena proses polikondensasi aluminosilikat (SiO_2 dan Al_2O_3). Perbedaan ini menyebabkan sifat fisik dan kimiawi berbeda walaupun secara visual dan pengerasannya sama.

b. Beton Geopolimer Memiliki Nilai *Creep* Yang Rendah

Proses penyusutan saat pengerasan sangat kecil. Sedangkan Modulus Young, *Poisson's Ratio* dan *tensile strength* yang relatif sama dengan semen Portland. Beton geopolimer mampu mencapai 70% dari kekuatannya pada 4 jam pertamanya, walaupun hal ini juga tergantung dari sifat bahan baku yang digunakan. (Khale & Chaudhary, 2007 dalam Azkia, 2013)

c. pH Dari Semen Geopolimer Dan Korosi Baja Tulangan

Beberapa insinyur salah sangka bahwa beton geopolimer memiliki pH yang tinggi, antara 13-14, karena penggunaan NaOH atau KOH yang memiliki pH tinggi, sehingga menyebabkan korosi pada baja tulangan. Pada kenyataannya, pasta geopolimer yang dibuat 5 menit setelah pengadukan memiliki pH yang lebih rendah, antara 11,5-12,5. Bandingkan dengan pasta semen yang memiliki pH antara 12-13. Nilai pH yang relatif sama antara geopolimer dan semen Portland aman dan tidak merusak baja tulangan (Davidovits, 2008 dalam Azkia, 2013).

d. Karbonasi Di Sekeliling Baja

Semen Portland memiliki ion hidroksil bebas yang mengalami karbonasi dari Ca(OH)_2 menjadi CaCO_3 . Karbonasi semen Portland

dapat menghilangkan ion hidroksil dan menurunkan pH, hal ini dapat menyebabkan korosi di sekeliling baja. Sebaliknya, karbonasi beton geopolimer menghasilkan kalium karbonat atau natrium karbonat, dengan pH minimum 10-10,5, merupakan perlindungan kimia terhadap korosi (Davidovits, 2008 dalam Azkia, 2013).

e. Kandungan Alkali Tidak Menyebabkan Reaksi Alkali-Agregat

Alkalin pada beton semen Portland dapat menyebabkan reaksi alkali agregat yang merusak. Reaksi alkali-agregat adalah serangkaian kimia yang melibatkan alkali hidroksida dari semen dengan silika reaktif yang ada pada agregat. Reaksi ini membutuhkan air dalam pembentukan gel alkali-silika, yang jika berada dalam kondisi lembab akan mengembang sehingga menimbulkan *swelling pressure* yang menyebabkan kerusakan pada beton, berupa retak sampai lepas sebagian. Oleh karena itu, alkali selalu dihindari dalam pembuatan semen Portland. Sedangkan pada geopolimer, kandungan alkali tidak menyebabkan reaksi alkali agregat (Davidovits, 2008 dalam Azkia, 2013).

f. Ion Klorida Tidak Mempengaruhi Korosi Pada Beton

Ion klorida dapat menyebabkan korosi dan pengeroposan pada beton Portland karena ion klorida dapat menyerang sistem pengikat kalsium silikat hidrat. Oleh karena itu, beton portland tidak boleh menggunakan air berklorida dan tidak bisa diaplikasikan pada lingkungan yang berklorida tinggi seperti air laut. Sedangkan geopolimer memiliki ke tahanan(*durability*) terhadap ion klorida (Davidovits, 2008 dalam Azkia, 2013).

4. Material Penyusun Geopolimer

Material penyusun beton geopolimer terdiri dari agregat kasar, agregat halus, prekursor, aktifator, dan air. Salah satu yang membedakan beton normal dengan beton geopolimer adalah penggunaan bahan perekatnya.

perekat inilah yang nantinya akan direaksikan dengan air membentuk pasta geopolimer.

a. Agregat

Agregat yang dipakai dalam pembuatan beton harus bersih dari kotoran karena berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Pada agregat halus kandungan kotoran tidak lebih dari 5% untuk beton sampai 10 MPa, dan 2,5 persen untuk beton mutu yang lebih tinggi. Pada agregat kasar kandungan kotoran ini dibatasi sampai maksimum 1%. Jika agregat mengandung kotoran lebih dari batas-batas maksimum tersebut maka harus dicuci dengan air bersih. Pemilihan agregat yang digunakan dalam pencampuran beton dalam keadaan jenuh kering muka. Keadaan jenuh kering muka lebih disukai sebagai standar dalam campuran beton (*mix design*), hal ini disebabkan karena keadaan jenuh kering muka merupakan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah maupun mengurangi air dari pastinya, selain itu kadar air di lapangan lebih banyak yang mendekati keadaan SSD daripada yang kering tungku (Tjokrodinuljo, 2007).

b. Prekursor

Prekursor merupakan salah satu bahan utama pembentuk polimer yang mengandung senyawa alumina dan silika tinggi. Prekursor dapat berupa mineral alami dan limbah industri. Salah satu contoh prekursor yang berasal dari mineral alami adalah kaolin, abu vulkanik dan lumpur lapindo, sedangkan yang berasal dari limbah industri yaitu *fly ash*, abu batu bata, abu sekam padi dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan alumina.

Jenis prekursor yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu vulkanik dari letusan Gunung Kelud daerah Kediri, Jawa Timur. Pengujian kandungan kimia abu vulkanik di Labotarium Kimia Balai Besar Teknologi Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BTKL-PP). Untuk mengetahui komposisinya yaitu melakukan

pengujian kandungan unsur di abu vulkanik yang berpengaruh terhadap beton geopolimer. Hasil pengujiannya ditunjukkan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Kandungan Abu Vulkanik

Unsur	Abu Vulkanik (%)
Silika (SiO ₂)	39,18
Alumina (Al ₂ O ₃)	1,65
Besi (Fe ₂ O ₂)	1,53
Kapur (CaO)	1,06
Sulfur (SO ₂)	Tak terdeteksi
Kadar Air	0,27

Sumber: BBTCL PP Yogyakarta, 2014

Dari hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa kandungan unsur oksida silika (SiO₂) dan oksida alumina (AlO₃) memiliki hasil yang cukup tinggi yang nantinya akan berpengaruh besar terhadap pembuatan beton geopolimer.

Karakterisasi abu vulkanik yang meliputi analisis kandungan bahan kimia dan kandungan fasa mineral penting dilakukan karena sifat fisik dan kimia abu vulkanik sangat berpengaruh pada proses sintesis maupun sifat geopolimer yang dihasilkan (E Kusumastuti, 2012)

c. Alkali Aktivator

Alkali aktivator merupakan bahan kimia yang digunakan untuk mengaktifkan prekursor sehingga dapat menghasilkan ikatan polimerisasi yang kuat. Alkali mengaktifkan prekursor dengan mendisolusikan mereka ke dalam monomer Si(OH)₄ dan Al(OH)₄. Selama proses curing, monomer monomer tadi terkondensasi dan membentuk jaringan polimer tiga dimensi dan berikatan silang. Ion alkali bertindak sebagai penetral muatan (*charger balancer*) untuk tiap molekul tetrahedron Al(OH)₄ (Septia, 2011). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sandy dan Johannes, aktifator yang digunakan dalam pembuatan geopolimer adalah natrium hidroksida dengan

Natrium hidroksida merupakan senyawa alkali yang sangat reaktif apabila direaksikan dengan air. natrium hidroksida berbentuk padat seperti serbuk. Campuran antara *prekursor* dan natrium hidroksida membentuk ikatan polimer.

Natrium silikat merupakan salah satu senyawa yang berperan dalam pembuatan beton geopolimer yang berwarna putih berbentuk gel dan apabila dilarutkan dalam air menghasilkan larutan alkali. Perbandingan penggunaan natrium hidroksida dan natrium silikat sangat berpengaruh pada kuat tekan beton. Kuat tekan yang tinggi diperoleh pada beton geopolimer yang menggunakan perbandingan natrium hidroksida dengan natrium silikat yaitu sebesar 1 : 2,5 (Januarti, dkk, 2007).

d. Air

Air dalam beton geopolimer menjadi faktor yang mempengaruhi kuat tekan. Karena semakin banyaknya air maka akan semakin sedikit bahan dasar (prekursor) dan setelah mengering beton akan memiliki pori-pori yang banyak sehingga kekuatannya akan rendah. Sedangkan untuk persyaratannya sama dengan beton normal.

e. Bahan Tambah

Pada penelitian ini digunakan bahan tambah berupa kapur. Batu kapur mengandung senyawa kalsium karbonat (CaCO_3). Batu kapur yang dipanaskan akan menghasilkan kalsium oksida (CaO) atau biasa disebut dengan kapur tohor. CaO yang dicampur dengan air akan membentuk kalsium hidroksida (CaOH). Mortar kapur di udara akan menyerap karbon dioksida dengan proses kimia menghasilkan CaCO_3 . Pada penelitian ini menggunakan sebagian kapur sebagai bahan tambah beton geopolimer. Dengan penggunaan kapur yang sedikit ini diharapkan dapat meminimalisir emisi gas CO_2 di udara dan memperbaiki kuat tekan beton. Reaksi pembentukan kapur padam



Pada penelitian ini digunakan kapur sebagai bahan tambah beton geopolimer dengan variasi kapur 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 35% dari berat abu vulkanik.

5. Perawatan Beton Geopolimer

Perawatan beton dilakukan setelah beton dicetak kedalam cetakan. Ada beberapa metode perawatan beton geopolimer yang dilakukan, diantaranya:

- a. Melakukan perawatan dengan cara perendaman ke dalam bak air dengan suhu $23 \pm 2^\circ\text{C}$.
- b. Menutup beton dengan menggunakan plastik atau kertas yang tidak tembus air. Hal ini menjaga agar air di dalam beton tidak cepat menguap keluar.
- c. Pemanasan beton di dalam oven dengan suhu 80°C . Hal ini bertujuan untuk mempercepat proses hidrasi dan mempercepat pencapaian kekuatan dan diharapkan sesuai dengan kuat tekan rencana.

Dari ketiga metode yang paling menghasilkan kuat tekan paling bagus yaitu dengan cara pemanasan.

6. Perancangan Beton Geopolimer

Standar perancangan bahan susun beton geopolimer belum ada sampai saat ini, sehingga dibutuhkan metode pendekatan, salah satunya dapat digunakan perancangan beton konvensional, yang dihitung berdasarkan SK-SNI 03-2834-2002. Prinsip utama dalam perancangan campuran beton geopolimer yaitu penggantian pasta semen (semen + air) dengan (prekursor + *aktivator* + Air), sedangkan untuk kebutuhan agregat kasar dan halus sama seperti kebutuhan agregat beton konvensional.

Dalam penelitian ini mencoba mengacu pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan perbandingan *alkali aktivator* didapat yang paling

perbandingan antara air dengan abu vulkanik menggunakan *trial and error* yaitu 1 : 4,44.

Sebagai contoh, jika berdasarkan pendekatan perancangan SK-SNI 03-2834-2002 didapat kebutuhan bahan susun untuk 1 m³ beton konvensional yaitu sebagai berikut :

Agregat Kasar	= 1077,99 kg
Agregat Halus	= 660,70 kg
Semen	= 431,4 kg
Air	= 204,9 kg

Maka kebutuhan yang harus diganti oleh pasta geopolimer yaitu pasta semen (semen + air) sebesar = 431,4 + 204,9 = 636,3 kg, sedangkan kebutuhan agregat kasar dan halus sama.

Jika digunakan perbandingan alkali aktivator (natrium hidroksida + natrium silikat) dengan abu vulkanik + Air = 30% : 70%, maka :

Kebutuhan alkali aktivator	= 0,3 × 636,3	= 190,89 kg
Kebutuhan abu vulkanik + air	= 0,7 × 636,3	= 445,41 kg

Jika digunakan perbandingan air dengan abu vulkanik 1 : 4,44 maka :

Kebutuhan air	= 1/(1+4,44) × 445,41	= 363,53 kg
Kebutuhan abu vulkanik	= 4,44 / (1+4,44) × 445,41	= 81,87 kg

Jika dilakukan pemeriksaan penyerapan terhadap air abu vulkanik 28,53 % maka :

Kebutuhan air terhadap abu vulkanik	= 0,2853 × 363,53	= 103,71 kg
Kebutuhan air total	= 81,87 + 103,71	= 185,59 kg

Jika digunakan perbandingan natrium hidroksida dengan natrium silikat 1 : 2,5 maka :

Kebutuhan natrium hidroksida	= 1 / (1+2,5) × 190,89	= 54,53 kg
Kebutuhan natrium silikat	= 2,5 / (1+2,5) × 190,89	= 136,34 kg

E. Kuat Tekan Beton

Kinerja dalam sebuah beton dapat dibuktikan dengan nilai kuat tekan beton. Semakin tinggi nilai kuat tekan beton yang dihasilkan maka beton tersebut mempunyai mutu yang bagus. Mutu beton dapat dinyatakan dalam notasi f_c' dan K. Perbedaan dari notasi tersebut adalah dari penggunaan cetakan sampel betonnya. Notasi f_c' merupakan nilai kuat tekan beton yang diuji dengan menggunakan cetakan silinder dengan ukuran tinggi 15 cm dan diameter 7,5 cm, sedangkan notasi K merupakan nilai kuat tekan beton yang diuji tes kuat tekan dengan menggunakan cetakan kubus dengan ukuran 15 x 15 cm. Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima gaya per satuan luas (Mulyono, 2004). Pemberian gaya biasanya tegak lurus terhadap sumbunya. Nilai kuat tekan beton didapatkan dari hasil pengujian tes kuat tekan beton dapat dilihat seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Pengujian Kuat Tekan

Kekuatan tekan beton adalah perbandingan beban terhadap luas penampang beton. Kuat tekan silinder beton dapat dihitung dengan Persamaan 3.1 (Tjokrodimuljo, 2007).

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (3.1)$$

- Dengan : f_c' = Kuat tekan silinder beton (MPa)
 P = Beban tekan maksimum (N)
 A = Luas bidang tekan (mm^2)

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi beberapa jenis sebagaimana terdapat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Jenis Beton Menurut Kuat Tekan

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton Sederhana (<i>plain concrete</i>)	0 – 10 MPa
Beton Normal	15 – 30 MPa
Beton pra-tegang	30 – 40 MPa
Beton tinggi	40 – 80 MPa
Beton sangat tinggi	> 80 MPa

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

Menurut Tjokrodimuljo (2007), kuat tekan beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur, yang 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, sehingga secara umum kekuatan beton tidak naik lagi setelah berumur 28 hari. Sebagai standar kuat tekan beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari.

F. Faktor Pengali

Berdasarkan SK-SNI 03-2847-1992 mengenai tata cara pembuatan campuran beton normal, bentuk standar benda uji beton untuk menguji kuat tekan beton adalah silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Bila tidak ada cetakan yang sesuai dapat digunakan cetakan kubus dengan sisi 150 mm. Apabila bentuk dan ukuran benda uji beton tidak sesuai dengan standar yang telah ditentukan, maka hasil pengujian perlu dikalikan faktor pengali yang tercantum dalam Tabel 3.5

Tabel 3.5 Kuat tekan dan faktor untuk berbagai ukuran silinder beton

Ukuran Silinder		Kuat Tekan (%)	Faktor Pengali
D (mm)	L (mm)		
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: (Neville, 1977 dalam Tjokrodimuljo, 2007)

G. Karakteristik dan Pengolahan Abu Vulkanik

1. Karakteristik Abu Vulkanik

Abu vulkanik merupakan material batuan vulkanik termasuk material glass yang memiliki ukuran sebesar pasir dan kerikil dengan diameter kurang lebih 2 mm (1/2 inchi) yang merupakan hasil erupsi gunung berapi. Partikel abu sangat kecil tersebut dapat memiliki penampang lebih kecil dari 0,001 mm (1/25,000th of an inch). Abu vulkanik bukan merupakan produk pembakaran seperti abu terbang yang lunak dan halus seperti hasil pembakaran kayu, daun atau kertas. Abu vulkanik memiliki sifat sangat keras dan tidak larut didalam air sehingga seringkali sangat abrasive dan sedikit korosif serta mampu menghantarkan listrik ketika dalam keadaan basah.

Abu vulkanik terbentuk selama erupsi vulkanik secara eksplosif gunung berapi. Erupsi explosif terjadi ketika gas larut didalam batuan cair (magma) yang mengalami ekspansi dan melepaskan secara ledakan kedalam udara, dan juga ketika air dipanaskan oleh magma dan melepas secara tiba-tiba kedalam uap. Gaya pelepasan gas bersuara keras mematahkan batuan padat. Sementara gas yang berekspansi juga mendesak magma dan meledak keudara, selanjutnya ketika dia membeku

saat diudara angin akan menghembus butiran abu kecil tersebut sejauh beberapa kilometer dari pusat erupsi.

Telah bertahun-tahun dipahami bahwa campuran abu vulkanik dan batuan serbuk (*siliceous*) dengan kapur akan menghasilkan semen hidraulik. Sebuah penelitian pada struktur bangunan Romawi dan Mesir kuno memberikan bukti efektif dan ketahanan semen ini. Bukti lapisan semen hidraulik pada sebuah penampung air (*cistern*) di Kamiros, Rhodes (230 km selatan Santorini) pada abad ke 6 atau 7 sebelum masehi masih ada. Semen alami pozzolan merupakan bahan mellinium yang masih ada untuk lapisan tangki penampung air dan kanal sebagai pengikat batuan maupun struktur tahan air dan bangunan monumen.

Abu vulkanik saat ini masih digunakan diberbagai negara seperti Mesir, Itali, Jerman, Mexico dan China karena dapat menurunkan biaya dan meningkatkan kualitas dan ketahanan beton. Ketika abu vulkanik menimbulkan sementasi dalam, maka akan bertransformasi kedalam batuan lunak disebut (*Tuff*). Karena kualitasnya lebih rendah dibandingkan dengan batuan lain (kekuatan lebih rendah dan tahanan korosinya), tuff sering kali ditanam dan digunakan sebagai batuan gedung. (Athanasius P. Bayuseno, dkk, 2010).

2. Pengolahan Abu Vulkanik

Pada dasarnya pengaruh abu vulkanik yang tidak diolah akan lebih banyak merugikan terhadap sifat-sifat beton antara lain :

- a. Kandungan besi yang ada pada abu vulkanik adalah jenis agregat dengan kekuatan yang rendah. Semakin banyak kandungan besi dalam campuran beton maupun dalam campuran mortar maka kekuatan konstruksinya akan semakin kecil.
- b. Penyerapan air oleh abu vulkanik bila tidak diketahui lebih dulu akan mengurangi komposisi kebutuhan air dalam *mix design*.

Dalam penelitian ini ukuran butir abu vulkanik yang digunakan adalah

tidak melebihi mesh 100 (grain size ≤ 0.075 mm)