

BAB II

KERANGKA TEORITIS, KERANGKA BERFIKIR DAN HIPOTESIS PENELITIAN

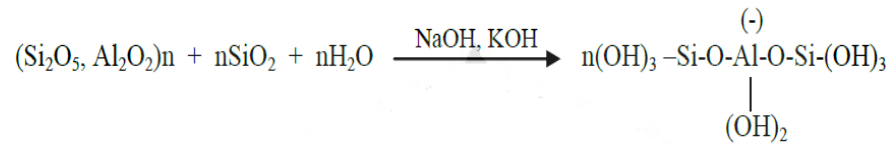
2.1. Landasan Teori

2.1.1. Definisi Beton Geopolimer

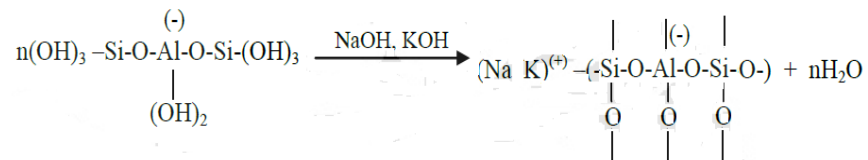
Beton Geopolimer merupakan sintesa bahan-bahan alam non-organik melalui proses polimerisasi yang reaksi pengikatannya terjadi melalui reaksi hidrasi seperti pada beton konvensional. Gel pengikat pada geopolimer menampilkan persamaan struktural pada panjang skala nanometer dengan panjang atom seperti material zeolitic. Dalam beberapa kasus khususnya dengan adanya kandungan air yang tinggi, suhu tinggi, rendah sintesa dan perbandingan Si/Al tinggi sampai membentuk formasi nanokristal terhadap gel geopolimer (Davidovits, 2004).

Geopolimer dikatakan ramah lingkungan, karena selain dapat menggunakan bahan-bahan buangan industri, proses pembuatan beton geopolimer tidak terlalu memerlukan energi, seperti halnya proses pembuatan semen yang setidaknya memerlukan suhu hingga 800°C. Dengan pemanasan lebih kurang 60°C selama satu hari penuh sudah dapat dihasilkan beton yang berkekuatan tinggi. Karenanya, pembuatan beton geopolimer mampu menurunkan emisi gas rumah kaca yang diakibatkan oleh proses produksi semen hingga tinggal 20 persen saja. (Djwantoro Hardjito, 2005)

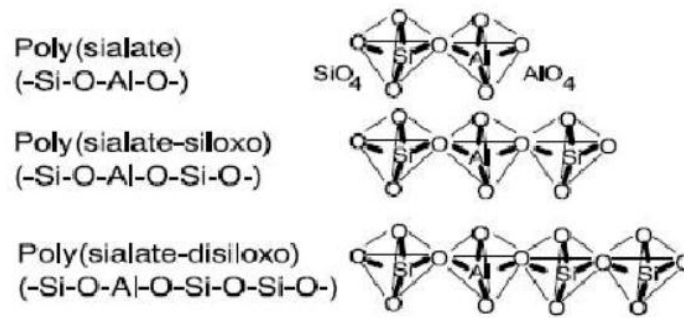
Geopolimer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi (Davidovits, 2002). Bahan sumber tersebut dapat berupa mineral alam, seperti kaolin dan metakolin. Alternatif lain dapat dipakai hasil limbah industri seperti *fly ash*, *slag*, *abu sekam padi*, dan *silica fume*. Tepung cangkang telur bebek dapat digunakan sebagai pasta geopolimer karna tepung cangkang telur bebek mengandung SiO_2 32,57%, CaO 30,33% dan MgO 37,10%. Reaksi pembentukan material geopolimer ditunjukkan dalam persamaan (1) dan (2).



(Geopolimer precursor).....(1)



(Geopolimer backbone).....(2)



Gambar 2.1 Ikatan yang Terjadi Pada Beton Geopolimer (Davitdovits, 1994)

Beton geopolimer yang masih segar memiliki waktu seting 10 jam pada suhu - 20°C dan antara 7-60 menit pada suhu 20°C, penyusutan slump setting kurang dari 0,05%. Dan kehilangan massa dari beton segar menjadi beton keras kurang dari 0,01%. Beton geopolimer yang sudah keras dapat memiliki sifat kuat tekan lebih dari 90 MPa pada umur 28 hari (Rangan, 2008).

Dari hasil penelitian selama lebih dari 30 tahun, dapat diketahui bahwa beton geopolimer ini memiliki beberapa keunggulan yaitu sebagai berikut (Li, Ding and Zhan) :

- Penghematan energi dan melindungi lingkungan : beton geopolimer tidak memerlukan konsumsi energi yang besar seperti pada beton konvensional biasa. Beton geopolimer ini juga tidak memancarkan CO₂ ke udara sehingga dapat mengurangi efek pemanasan global.
- Memiliki volume yang stabil karena penyusutan yang terjadi 4/5 kali lebih rendah jika dibandingkan beton konvensional.

- c. Kekuatannya dicapai dalam waktu yang singkat karena kekuatan tekan beton ini mampu mencapai 70 % dalam waktu 4 jam pertama.
- d. Memiliki ketahanan yang tinggi karena beton ini tahan terhadap serangan lingkungan agresif tanpa mengurangi fungsi yang dimilikinya.
- e. Semennya geopolimer tahan terhadap api karena mampu bertahan dalam suhu 1000° sampai 2000° tanpa mengurangi fungsi yang dimilikinya.

2.1.2. Larutan Alkali Aktivator

Natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) digunakan sebagai alkalin aktivator (Hardito Djuwantoro, dkk, 2004). Natrium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur – unsur Al dan Si yang terkandung dalam tepung cangkang telur bebek sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

2.1.3 Prekursor

Prekursor adalah bahan perekat dalam pembentukan geopolimer. Prekursor dapat berupa mineral alami ataupun limbah industri (Ferdy, 2010: 10). (TEORI PREKURSOR).

2.1.4. Agregat

Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya cukup tinggi. Komposisi agregat dalam campuran beton sekitar 60-70% dari berat campuran beton. Agregat

termasuk bahan yang penting dalam campuran beton karena komposisinya yang cukup dominan.

Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirannya lebih besar dari 4,80 mm (*British Standard*) atau 4,75 mm (standar ASTM) dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4,80 mm (Tri Mulyono, 2003). Agregat dengan ukuran lebih besar dari 4,80 mm dibagi lagi menjadi dua: yang berdiameter antara 4,80-40 mm disebut kerikil beton dan yang lebih dari 40 mm disebut kerikil kasar.

ASTM C.33-86 dalam “*Standard Specification for Concrete Aggregates*”, memberikan syarat gradasi agregat halus seperti yang tercantum dalam Tabel 2.1, dimana agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya.

Tabel 2.1 Syarat Mutu Agregat Halus Menurut ASTM C-33-86

Ukuran Lubang Ayakan	Persentase Lolos Kumulatif
9,5	100
4,75	95-100
2,36	80-100
1,18	50-85
0,6	25-60
0,3	10-30
0,15	2-10

Sumber : ASTM C.33-86 (1995), Vol 04.02, *Concrete and Aggregates*

Menurut SNI 03-1750-1990, gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik, sebaiknya masuk dalam batas yang tercantum dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Syarat Agregat Kasar Menurut SNI 03-1750-1990

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Lewat Ayakan, Besar Butir Maksimal		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
38,10	95-100	100	
19,00	35-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

Sumber : SNI 03-1750-1990 “Agregat Beton, Mutu dan Cara Uji”

Agregat normal harus memenuhi syarat ASTM C.33-82, “*Standard Spesification for Concrete Aggregates*”, yang dikutip Mulyono (2003).

1. Syarat Agregat Halus :

- a. Modulus halus butir 2.3 sampai 3.1.
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm atau No.200) dalam persen berat maksimum.
 - 1) Untuk beton yang mengalami abrasi sebesar 3,0%
 - 2) Untuk beton jenis lainnya sebesar 5%
- c. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah dirapikan maksimum 3%.
 - 1) Kandungan arang dan lignit
 - (1) Bila tampak permukaan beton dipandang penting (beton akan diekspos), maksimum 0,5%
 - (2) Beton jenis lainnya, maksimum 1,0%
 - 2) Kadar zat organik yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 3%, tidak menghasilkan warna standar. Jika warnanya lebih tua maka ditolak kecuali :

- (1) Warna lebih tua timbul karena sedikit karena adanya arang lignit atau yang sejenis
- (2) Ketika diuji dengan uji perbandingan kuat tekan beton yang dibuat dengan pasir standar silika hasilnya menunjukkan nilai lebih besar dari 90%. Uji kuat tekan sesuai dengan cara ASTM C.87
- 3) Tidak boleh bersifat reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton yang berhubungan dengan basah dan lembab atau yang berhubungan dengan bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen yang mengandung natrium oksida tidak lebih dari 0,6%.
- 4) Kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika dipakai magnesium sulfat maksimum 15%.

2. Syarat Agregat Kasar :

- a. Modulus halus butir 6.0 sampai 7.1
- b. Kadar lumpur maksimum 1%
- c. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%
- d. Kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, dan jika dipakai magnesium sulfat bagian yang hancur 18%.
- e. Tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%.
- f. Syarat mutu kekuatan agregat harus sesuai SII.0052-80.
- g. Memiliki gradasi yang baik.

2.1.5. Air

Mulyono (2003) menyatakan, air yang dapat diminum pada umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan.

Untuk air yang tidak memenuhi syarat mutu, kekuatan beton pada umur 7 hari atau 28 hari tidak boleh kurang dari 90% jika dibandingkan dengan kekuatan beton yang menggunakan air standar/suling (SNI 03-2847-2002). SNI 03-2847-2002 menetapkan syarat-syarat mutu air, yaitu :

- a. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan yang merusak beton, seperti mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik.
- b. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton kecuali setelah melalui pengujian kualitas air.
- c. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.

Dari keterangan diatas dapat disimpulkan bahwa air yang dapat digunakan sebagai campuran beton adalah air hujan, air tanah, air permukaan, air laut maupun air limbah asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan.

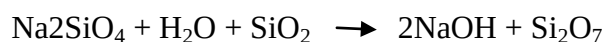
2.1.6. Cangkang Telur

Kulit telur kering mengandung 95% kalsium karbonat dengan berat 5,5 gram. Selain itu rerata dari kulit telur mengandung 3% fosfor dan 3% terdiri atas magnesium, natrium, seng, mangan, dan tembaga (Buthcher dan milles, 1990). Tepung cangkang telur bebek itu sendiri mengandung senyawa kimia berupa zat kapur (CaO 30,33%), silika (SiO₂ 32,57%) dan magnesium (MgO 37,10 %) (Santoso, 2015). Tetapi cangkang telur bebek tidak memiliki kemampuan mengikat seperti dengan semen bila tidak dibantu dengan alkali aktivator.

Dengan kehadiran alkalin aktivator dan ukuran partikel tepung cangkang telur bebek yang halus, oksida silika yang terkandung pada tepung cangkang telur bebek akan bereaksi secara kimia dengan natrium hidroksida dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Reaksi kimia dapat dilihat seperti rangkaian dibawah ini :

$2\text{NaOH} + \text{SiO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ (Reaksi antara natrium hidroksida dan natrium silikat)

Dari reaksi kimia antara natrium hidroksida dan natrium silkat didapat senyawa alkali aktivator yang lebih kuat untuk proses pengikatan beton, selain itu senyawa tersebut menjelaskan bahwa terdapat kandungan air dalam alkali aktivator sehingga alkali aktivator tidak perlu ditambah lagi dengan air.



Senyawa tersebut akan bersifat sebagai pengikat pada beton geopolimer. Oleh karena itu diperlukan komposisi campuran tepung cangkang telur bebek yang tepat sehingga dapat membentuk pasta geopolimer untuk mengikat agregat. Tepung cangkang telur bebek dengan presentase campuran 45%, 60%, 75% dan 90% diharapkan dapat menunjukkan hasil kuat tekan beton yang optimal.

2.1.7. Mix Design Beton Geopolimer

Penelitian dari Hardjito dan Rangan (2005) menyebutkan mix design beton polimer sama dengan mix design beton normal tetapi perlu memperhatikan beberapa hal yang terdiri dari :

1. Peran dan kandungan agregat sama seperti beton normal, sekitar 75%-80% berat beton.
2. Agregat hasil daur ulang dianggap 10% lebih ringan dari pada agregat alami.
3. Modulus kehalusan agregat gabungan antara 4,5 dan 5,0.
4. Bahan alumino-silicate harus mengandung oksida silika dan aluminium.
5. Konsentrasi larutan sodium hidroksida (NaOH) sebesar 8 Molar-14 Molar.

Semakin tinggi konsentrasinya maka semakin tinggi kuat tekan beton geopolimer.

Tabel 2.4 Hubungan moralitas, rasio sodium hidroksida dan sodium silikat terhadap kuat tekan beton geopolimer.

<i>Concentration of NaOH liquid (in molar)</i>	<i>Ratio sodium silicate to NaOH solution (by mass)</i>	<i>Compressive strength at 7th day (MPa)</i>
8 M	0,4	17

8 M	2,5	57
14 M	0,4	48
14 M	2,5	67

Sumber :Hardjito, 2005

6. Rasio air terhadap geopolimer antara 0,16-0,24.

2.1.8. Pembuatan Beton Geopolimer

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan beton geopolimer dari penelitian Aji Santoso (2015) terdiri dari :

1. Bahan kimia alkali sodium hidroksida dan sodium silikat dibuat 24 jam sebelum dicampur dengan agregat.
2. Agregat pada kondisi *saturated surface dry* (SSD).
3. Agregat dan tepung cangkang telur dicampur $\pm$ 3 menit atau hingga merata sebelum penambahan larutan *alkaline activator*.
4. Pengadukan agregat, tepung cangkang telur, dan alkaline activaor selama kurang lebih 4 menit.
5. Cara pengecoran dan pemadatan sama dengan beton normal.

2.1.9. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan salah satu kinerja utama beton. Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk dapat menerima gaya per satuan luas (Mulyono, 2004). Nilai kuat beton diketahui dengan melakukan pengujian pada benda uji silinder maupun kubus pada umur 28 hari yang dibebani gaya tekan sampai mencapai beban

maksimum. Ada beberapa aktor yang mempengaruhi mutu dari kuat tekan beton, yaitu :

1. Faktor air semen (FAS)

Faktor air semen (FAS) merupakan perbandingan antara jumlah air terhadap jumlah semen dalam satuan campuran beton.

2. Sifat agregat

Sifat – sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu beton. Adapun sifat agregat yang perlu diperhatikan seperti, serapan air, kadar air agregat, berat jenis, gradasi agregat, modulus halus butir, dan kekerasan agregat.

3. Proporsi semen dan jenis semen yang digunakan.

Berhubungan dengan perbandingan jumlah semen yang digunakan saat pembuatan *mix design* dan jenis semen yang digunakan berdasarkan peruntukan beton yang akan di buat.

4. Bahan tambah

Bahan tambah (*additive*) ditambahkan pada saat pengadukan dilaksanakan. Bahan tambah (*additive*) lebih banyak digunakan untuk penyemenan (*cementitious*), jadi digunakan untuk perbaikan kinerja.

2.2. Penelitian yang Relevan

1. Penelitian yang dilakukan oleh Aji Santoso (2015) dengan judul **“Pemanfaatan Tepung Cangkang Telur Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Beton Geopolimer”** dengan presentase campuran 0%, 15%,

30% dan 45%. Hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan presentase campuran tersebut didapatkan rata – rata kuat tekan beton 0% sebesar 17,73 Mpa, 15% sebesar 11,25 Mpa, 30% sebesar 13,48 Mpa dan 45% sebesar 17,09 Mpa. Hasil dari berbagai variasi campuran tersebut tidak ada satupun variasi yang melebihi kuat tekan beton normal sebesar 17,73 MPa.

2. Penelitian yang dilakukan oleh Ingreath Richni Ginting (2013) dengan judul **“Pemanfaatan Limbah Sekam Padi dan Cangkang Telur Dalam Pembuatan Beton Ringan Yang Berbahan Baku Batu Apung”** Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan beton ringan dan menguji karakteristik dari beton ringan yang dihasilkan. Pengujian karakteristik yang dilakukan meliputi massa jenis, daya serap air, dan kuat tekan. Disamping itu penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi abu sekam padi, limbah cangkang telur sebagai bahan substitusi semen dan batu apung sebagai agregat kasar terhadap karakteristik beton ringan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas terbaik beton ringan yang dihasilkan dalam penelitian ini mempunyai karakteristik daya serap air 4,56%, massa jenis $1,71 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ dan kuat tekannya adalah 17,5 MPa pada komposisi campuran 1% abu cangkang telur dan 10% abu sekam padi dari massa semen. Menurut SNI 03–3449–2002 beton ringan yang dihasilkan dalam penelitian ini sudah termasuk beton

ringan berkualitas baik yang dapat digunakan sebagai beton ringan struktural pasangan batu.

3. Dalam penelitian ini digunakan literatur penelitian yang dilakukan oleh B.V Rangan (2008) dalam laporan penelitian GC4 Curtin University yang berjudul ***“Fly Ash Based Geopolymer Concrete”***. Penelitian beton geopolimer ini menggunakan sampel beton berbentuk silinder dengan ukuran $100 \times 200 \text{ mm}^2$ berbahan dasar *fly ash* kelas F dan dirawat selama 24 jam dengan suhu berbeda. Dari penelitian tersebut dapat dilihat bahwa jumlah air mempengaruhi tingkat kemudahan dikerjakannya campuran beton geopolimer berbahan dasar *fly ash*. Sedangkan jumlah air yang semakin banyak akan menurunkan kekuatan tekan beton. Perbandingan alkali dengan *fly ash* yang semakin besar dalam campuran memperlemah kekuatan beton itu sendiri. Untuk memperjelas dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.5 Hubungan Penggunaan Air dengan Kuat Tekan

Water-to-geopolymer solids ratio,	Workability	Design compressive strength (wet mixing time of 4 minutes steam curing at 60°C for 24 hours after casting), MPa
0.16	Very Stiff	60
0.18	Stiff	50
0.2	Moderate	40
0.22	High	35
0.24	High	30

Sumber : Rangan, 2008

Tabel 2.6 Hubungan Alkaline Activator / Fly Ash dengan Kuat Tekan

Alkaline liquid/fly ash, By mass	Water/geopolymer solids, By mass	Workability	Comprehessive strength , Mpa
0.3	0.165	Stiff	58
0.35	0.19	Moderate	45
0.4	0.21	Moderate	37
0.45	0.23	High	32

Sumber : Rangan, 2008

2.3. Kerangka Berfikir

Menurut Mulyono (2003) beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture atau additive*). Semen portland merupakan salah satu dari bahan struktur yang paling banyak digunakan kebutuhannya pada bidang konstruksi, sehingga penggunaan sebagai bahan yang berkelanjutan menjadi tujuan penting pada saat ini.

Adanya kegiatan produksi semen pada suatu daerah sangat bermanfaat untuk perekonomian daerah tersebut dan di bidang konstruksi, tetapi produksi semen juga menjadi sebuah ancaman ekologis yang serius. Hal ini dapat dilihat dari proses produksi yang menyebabkan dampak polusi dan juga proses pengambilan bahan baku utama pembuatan semen berupa batu kapur yang merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Oleh sebab itu, perlu dipikirkan dan dikaji bahan alternatif agar produksi semen dimasa mendatang masih tetap ada dan proses produksinya lebih ramah lingkungan. Salah satu bahan alternatif pengganti semen dalam pembuatan beton perlu diteliti tetapi tetap pada standar kekuatan beton yang telah dibuat.

Beton geopolimer merupakan inovasi untuk mengurangi dampak kerusakan lingkungan. Beton geopolimer dapat dibuat dari limbah, yang salah satunya adalah limbah cangkang telur bebek. Menurut data Direktorat Jenderal Peternakan (2015), produksi telur di Jawa Barat dan Jakarta tahun 2015, sebanyak 54.702 butir telur pertahun. Menurut Aji Santoso (2015) Cangkang telur mengandung senyawa kimia berupa zat kapur (CaO 30,33%), silika (SiO_2 32,57%) dan magnesium (MgO 37,10 %) sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai campuran untuk menggantikan komposisi semen portland.

Cangkang telur bebek berperan sebagai prekursor yang nantinya akan bereaksi dengan natrium silikat dan juga natrium hidroksida sebagai alkalin aktivator. Setelah bereaksi pasta geopolimer tersebut dicampurkan dengan agregat kasar dan halus sebagai bahan pembuatan beton (Aji Santoso, 2015). Kuat tekan beton geopolimer dipengaruhi oleh persentase tepung cangkang telur bebek pada campuran beton geopolimer, semakin besar persentase tepung cangkang telur bebek maka akan semakin besar pula kuat tekan beton geopolimer. Hal inilah yang membuat penulis mencoba meneliti pengaruh dari variasi persentase tepung cangkang telur bebek pada campuran beton geopolimer.

Diharapkan penelitian ini dapat mengetahui persentase tepung cangkang telur bebek pada campuran beton geopolimer yang optimal agar di dapat kekuatan tekan betan geopolimer yang maksimal.

2.4. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kajian teori dan kerangka berpikir di atas maka dirumuskan hipotesis sebagai berikut :

Diduga campuran tepung cangkang telur bebek dengan persentase 45%, 60%, 75% dan 90% pada beton geopolimer dapat meningkatkan kuat tekan beton geopolimer.