

# STUDI EXPERIMENTAL KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH PLTU TANJUNGPATI B JEPARA

Diah Setyati Budiningrum<sup>1)</sup>, Anik Kustirini<sup>1)</sup>, Bambang Purnijanto<sup>1)</sup>, Devinda Mahasukma<sup>1)</sup>, Tegar Yogha Utama<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Semarang  
Jl. Soekarno-Hatta, Tlogosari, Semarang 50196  
Email: [aabams@usm.ac.id](mailto:aabams@usm.ac.id)

## ABSTRAK

Proses pembuatan beton memakai semen portland menghasilkan gas CO<sub>2</sub> (carbon dioksida) dalam jumlah besar dan mengakibatkan emisi karbondioksida meningkat, maka perlu dicarikan upaya untuk menekan angka produksi gas yang mencemari lingkungan. Geopolimer merupakan material ramah lingkungan yang bisa dikembangkan sebagai alternatif pengganti beton semen di masa mendatang. Jenis material beton baru "Geopolimer" ini merupakan beton yang ramah lingkungan karena material yang digunakan tersusun dari sintesa bahan-bahan non organik melalui polimerisasi Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental, dengan menggunakan benda uji silinder ukuran 10/20 sebanyak 6 silinder. Diuji pada umur 14 hari dan 28 hari. Hasil kuat tekan beton geopolymer 19,45 MPa pada umur 14 hari dan 22,99 MPa pada umur 28 hari. Kenaikan tren kuat tekan beton geopolymer sebesar 18,2%.

**Kata kunci:** Kuat tekan, beton geopolimer, fly ash.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan pembangunan dalam bidang konstruksi di Indonesia, beton banyak digunakan untuk membangun infrastruktur seperti pekerjaan gedung, jalan, jembatan, bendungan dan lain-lain. Beton sudah lama digunakan dan diterapkan oleh masyarakat dikarenakan memiliki keunggulan - keunggulan bahan yang relatif murah dibandingkan dengan bahan lain, selain memiliki kuat tekan yang besar beton juga mudah dikerjakan dan dapat dibentuk sesuai keinginan. Bahan baku pembuatan beton umumnya terdiri dari kerikil, pasir, semen, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (SNI 03-2847-2013).

Menurut Nawy (1998), bahan material yang dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sebagai bahan pembentuknya itulah beton. Beton merupakan campuran

antara semen portland atau semen hidrolik, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (SNI 03-3874-2002). Sedangkan Asroni (2010) mendeskripsikan beton lebih sederhana bahwa beton terbentuk oleh pengerasan campuran air, semen, agregat halus, agregat kasar. Untuk mendapat kualitas yang lebih baik kadang-kadang perlu pula di tambahkan bahan lain (*admixture*).

Dalam pembuatan beton semen portland merupakan bahan yang sangat penting karena berfungsi sebagai perekat. Namun perlu diketahui dalam proses pembuatan beton memakai semen portland menghasilkan gas CO<sub>2</sub> (Karbon Dioksida) dalam jumlah besar dan mengakibatkan emisi karbondioksida meningkat, sehingga perlu dicarikan upaya untuk menekan angka produksi gas yang mencemari lingkungan.

Di Indonesia batu bara dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Pada pengolahan pembakaran batu bara sendiri akan menghasilkan limbah B3 yaitu *fly ash* yang masuk dalam kategori limbah berbahaya sehingga banyak yang tidak termanfaatkan. *Fly ash* batu bara mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), fero oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ), alkalin ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ), sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), pospor oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dan karbon.

Dengan sedikit tambahan dan pengolahan *fly ash* dapat digunakan menjadi bahan alternatif pengganti semen dalam pembuatan jalan, jembatan, paving block, gedung dan sebagainya.

Oleh karena itu untuk memanfaatkan jumlah *fly ash* yang sangat banyak agar lebih berdayaguna, maka dapat digunakan sebagai campuran beton. Salah satu jenis beton yang menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengikatnya adalah beton geopolimer.

*Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari limbah batu bara PLTU Tanjungjati B Jepara. Proses pengambilan *fly ash* dan pengangkutan memerlukan ijin yang ketat dari pihak PLTU Tanjungjati B Jepara

### **Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk: 1) Mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* terhadap kuat tekan beton polimer. 2) Menganalisis kuat tekan beton geopolimer pada umur 14 hari dan 28 hari.

### **Batasan Masalah**

Agar penelitian lebih terarah ke latar belakang dan permasalahan yang telah dirumuskan maka diperlukan

batasan-batasan masalah guna membatasi ruang lingkup penelitian sebagai berikut: 1) Tidak dilakukan uji kandungan *fly ash*. 2) Larutan alkali yang digunakan adalah natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). 3) Tidak meneliti reaksi kimia antar material yang dipakai dalam penelitian. 4) Pengaruh suhu, udara, dan faktor lain diabaikan. 5) Tidak menghitung efisiensi waktu dan biaya. 6) Rencana mutu beton dalam penelitian ini adalah  $f_c'30$  MPa.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Pengertian Beton**

Beton merupakan salah satu jenis material konstruksi yang sudah tidak asing digunakan pada proyek konstruksi di dunia, dikarenakan kemudahan dalam proses pembuatan dan pengerjaannya serta telah terbukti handal dalam menopang beban tekan pada struktur. Beton menurut propertiesnya tersusun dari semen Portland (*Portland Cement*), agregat kasar (*coarse aggregate*), agregat halus (*fine aggregate*), air dan beberapa modifikasi zat admixtures dan additive. DPU-LPMB memberikan definisi tentang beton sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lainnya, agregat kasar, agregat halus dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat (SNI 03-3874-2002).

### **Beton Geopolimer**

Geopolimer merupakan material ramah lingkungan yang biasa dikembangkan sebagai alternatif pengganti beton semen di masa mendatang. Jenis material beton baru "Geopolimer" ini merupakan beton yang ramah lingkungan karena material yang digunakan tersusun dari sintesa bahan-bahan non organik melalui polimerisasi.

Bahan dasar utama beton geopolimer ini adalah bahan yang banyak mengandung silikon dan aluminium. Unsur-unsur tersebut banyak terdapat pada material buangan hasil industri, seperti abu terbang (*fly ash*) sisa pembakaran batu bara. Selama ini, karena ukuran partikelnya yang kecil dan mudah berterbangan di udara, abu terbang lebih layak dimanfaatkan sebagai bahan timbunan. Kalau penimbunannya dilakukan sembarangan akan berpotensi mengancam kelestarian lingkungan karena partikel-partikel logam berat yang dikandungnya dengan mudah larut mencemari sumber-sumber air.

Untuk melarutkan unsur-unsur silikon dan aluminium, serta memungkinkan terjadinya reaksi kimiawi, digunakan larutan yang bersifat alkalis. Material geopolimer ini jika digabungkan dengan agregat batuan akan menghasilkan beton geopolimer tanpa perlu menggunakan campuran semen. Geopolimer lebih ramah lingkungan karena selain dapat menggunakan bahan pembuangan industri, proses pembuatannya juga tidak perlu energi, seperti pada proses pembuatan semen hingga suhu 800°C. Cukup dengan pemanasan 60°C selama sehari penuh, maka dapat menghasilkan beton berkualitas tinggi.

Karena mengandung sebagian besar Silika (SiO<sub>2</sub>) dan Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dalam bentuk amorphous, *fly ash* dapat dijadikan sebagai material dasar pembentuk geopolimer. Hardjito D dan Rangan B.V. (2005), mengatakan bahwa *fly ash* yang dapat dijadikan sebagai material dasar pembentuk geopolimer adalah *fly ash* tipe F atau *fly ash* yang mengandung unsur Silika (SiO<sub>2</sub>) dan Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dalam jumlah banyak

#### **Alkali Aktivator**

Alkali aktivator merupakan cairan yang berperan penting dalam proses polimerisasi. Alkali aktivator digunakan untuk melarutkan unsur-unsur *silica* dan alumina pada *fly ash* dan memungkinkan terjadi reaksi kimia. Larutan alkali aktivator yang paling umum digunakan dalam beton geopolimer adalah kombinasi dan Natrium Hidroksida (NaOH) dan Natrium Silika Dioksida (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), (Davidovits, 1994).

Penggunaan hidroksida alkali sebagai aktivator ini karena silika merupakan unsur kuat, maka ia juga bereaksi dengan basa kuat. Sehingga penambahan hidroksida alkali pada *fly ash* dapat mereaksikan silika (Triwulan dkk, 2007). Sedangkan penggunaan sodium silika dioksida berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Natrium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) atau biasa disebut *waterglass* berfungsi untuk mempercepat reaksi polimer. Campuran antara *fly ash* dan sodium silikat membentuk ikatan yang sangat kuat namun terjadi retakan-retakan antar mikrostruktur. Natrium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si dengan menambah ion Na. Campuran *fly ash* dan sodium hidroksida membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan

#### **Proses Polimerisasi**

Material geopolimer dibuat dengan mencampurkan prekursor dengan larutan alkali sebagai aktivator. Prekursor dan aktivator akan bersintesa membentuk material padat melalui proses polimerisasi, dimana proses polimerisasi yang terjadi adalah disolusi yang diikuti oleh polikondensasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi (Davidovits, 1994 dalam Pugar:2011). Reaksi Al dan

Si dengan alkaline akan menghasilkan  $\text{Al}(\text{OH})_4$  dan  $\text{Si}(\text{OH})_4$ .

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Demak, tepatnya yaitu di Laboratorium PT. Nurcahya Jaya Mandiri (NJM) Beton. Penelitian yang dilakukan meliputi pengujian properties material agregat yang akan digunakan, pengujian semen, air, pembuatan benda uji, pengujian benda uji dan analisis.

*Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah dari hasil pembakaran batu bara dari PLTU Tanjung Jati B Jepara.

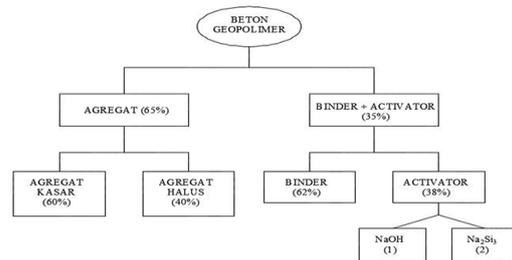
### Perencanaan Campuran Beton

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan desain beton geopolimer sesuai dengan beton semen. Hal ini berarti kedua jenis beton tersebut didesain dengan kuat tekan rencana yang sama menurut standar perhitungan beton semen. Karena sampai saat ini belum terdapat standar mengenai desain campuran (*mix design*) beton geopolimer, maka untuk mencapai target kuat tekan beton geopolimer tertentu, peran pasta semen pada beton semen diganti dengan pasta geopolimer. Begitupun dengan komposisi agregat murni sesuai dengan uji karakteristiknya, menjadi referensi komposisi agregat limbah beton dalam penelitian ini.

### Material Penyusun Beton Geopolimer

Komposisi utama beton geopolimer adalah agregat, aktivator, dan prekursor. Total agregat halus dan agregat kasar pada pembuatan beton geopolimer adalah 70-75%, sedangkan untuk total aktivator dan prekursor 20-35%. Aktivator pada beton geopolimer berupa natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) yang berguna untuk mereaksikan binder dengan senyawa yang terdapat dalam *fly ash* dan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang

berguna untuk mempercepat proses polimerisasi, sedangkan prekursornya adalah *fly ash*.



**Gambar 1.** Diagram Alir *Mix Design* Beton Geopolimer

Benda uji yang digunakan adalah silinder ukuran 10 x 20 cm dengan umur pengujian selama 14 dan 28 hari. Jumlah benda uji sampel beton yang digunakan masing-masing adalah 6 sampel. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium NJM Beton.



**Gambar 2.** *Slump test* beton geopolimer



**Gambar 3.** Contoh Benda Uji Silinder Beton Geopolimer 10/20

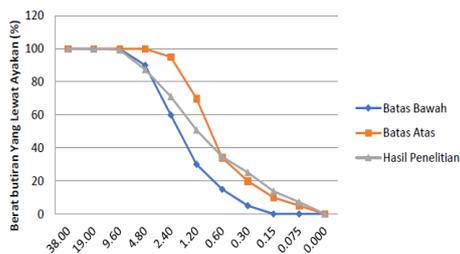


Gambar 4. Mesin Kuat Tekan Beton

## HASIL DAN PEMBAHASAN

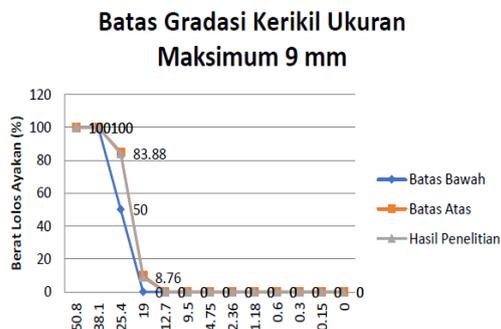
### Hasil Pengujian Bahan-bahan Dasar Penyusun Beton

Pengujian ini dilakukan sebelum melakukan *mix design*.



Gambar 5. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini modulus halus butir adalah 4,11, sehingga pasir yang digunakan dalam penelitian ini belum masuk dalam syarat pasir kasar karena MHB (modulus halus butir) pasir tidak masuk antara 2,9 – 3,2. (PUBI-1982).



Gambar 6. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa berat jenis pasir SSD adalah 4,237. Berat jenis pasir yang digunakan dalam penelitian ini belum masuk antara 2,40-2,90. (PUBI-1982).

### Hasil Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan beton geopolimer dilakukan dengan menggunakan alat *compressing testing machine*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya ketahanan pada kedua variasi benda uji sehingga dapat mengetahui perbandingan kuat tekan yang dihasilkan dari hasil pengujian ketahanan pada masing-masing benda uji yang didapatkan akibat adanya beban tekan yang bekerja, sehingga dapat dihitung besarnya kuat tekan yang didapatkan dengan melakukan perhitungan pembagian antara beban maksimum dibagi dengan luas permukaan benda uji. Pelaksanaan pengujian ini dilakukan setelah menimbang berat benda uji di laboratorium NJM Beton.

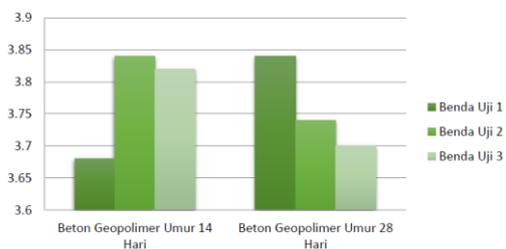
### Analisis Berat Benda Uji

Tabel 1.

Berat Benda Uji Beton Geopolimer

NO BU	UMUR (Hari)	BERAT (Kg)	Rata2
G14-1	14	3,68	3,78
G14-2		3,84	
G14-3		3,82	
G28-1	28	3,84	3,76
G28-2		3,74	
G28-3		3,70	

Diagram Berat Benda Uji Beton Geopolimer



Gambar 7. Berat Benda Uji Beton Geopolimer

Terdapat kesamaan nilai berat benda uji beton geopolimer yang paling

tinggi yaitu 3,84kg pada umur beton 14 dan 28 hari. Sedangkan nilai yang paling rendah yaitu 3,68kg pada umur beton 14 hari.

Nilai rata-rata berat benda uji beton geopolimer hampir sama di umur 14 hari dan 28 hari adalah 3,78kg dan 3,76kg, jadi berat benda uji tidak mengalami perubahan signifikan pada umur 14 hari ke 28 hari.

### Analisis Kuat Tekan Beton Geolimer

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A}$$

dimana :

P = gaya tekan (kg)

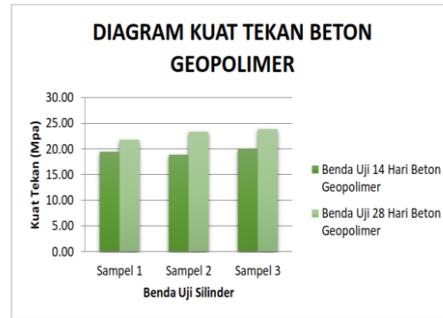
A= luas penampang benda uji (cm<sup>2</sup>)

**Tabel 2.**

**Tabel Kuat Tekan Beton Geopolimer**

No	BENDA UJI	UMUR (Hari)	BERAT (Kg)	LUAS (cm <sup>2</sup> )	GAYA (KN)	KUAT TEKAN (Kg/cm <sup>2</sup> )	KUAT TEKAN (MPA)	KUAT TEKAN RATA-RATA (MPA)
1	G14-1		3.68	78.5	165	238.85	19.45	
2	G14-2	14	3.84	78.5	160	231.62	18.86	19.45
3	G14-3		3.82	78.5	170	246.09	20.04	
4	G28-1		3.84	78.5	210	267.52	21.78	
5	G28-2	28	3.74	78.5	225	286.62	23.34	22.99
6	G28-3		3.7	78.5	230	292.99	23.86	

Dari tabel 2 dan gambar 7, diperoleh hasil nilai kuat tekan beton geopolimer pada umur 14 hari adalah 19,45 MPa dan 28 hari adalah 22,99 MPa. Kuat tekan beton geopolimer mengalami tren peningkatan kuat tekan rata-rata sebesar 3,54 MPa atau 18,2 %.



**Gambar 8.** Kuat Tekan Beton Geopolimer

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil nilai kuat tekan beton geopolimer pada umur 14 hari adalah 19,45 MPa dan 28 hari adalah 22,99 MPa.
2. Kuat tekan beton geopolimer mengalami tren peningkatan kuat tekan rata-rata sebesar 3,54 MPa atau 18,2 %.
3. Hasil pemeriksaan berat volume beton *geopolymer* tidak ada perbedaan yang signifikan dari umur 14 hari ke 28 hari

### Saran

1. Dalam penelitian beton geopolimer ini setting time yang terjadi sangat cepat, sehingga untuk mengantisipasi hal tersebut perlu ditambahkan suatu zat additive untuk menghambat terjadinya pengikatan awal.
2. Dengan melihat tren kenaikan kuat tekan beton geopolymer dari umur 14 hari ke 28 hari, diperlukan penelitian lebih lanjut pada umur 56 hari dan 90 hari, dimungkinkan kuat tekan beton geopolimer masih terus meningkat secara perlahan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta.
- Badan Standar Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, SNI-03-3874-2002*. Bandung.
- Badan Standar Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, SNI-03-2847-2013*. Bandung.
- Davidovits, 1994. *Properties of Geopolymer Coments, Alkaline Cements and Concrete, Scientific Research Institute on Binder and Materials*. 131-149.
- Hardjito. D, & Rangan. B.V. 2005. *Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash Based Geopolimer Concrete*, Research Report GC, 94.
- Nawy. 1998. *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan dasar)*. Bandung: Penerbit PT. Rafika Aditama,
- PUBI-82. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia*. Bandung: DPMB.
- Triwulan, Ekaputri dan Adiningtyas. 2007. *Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering Sebagai Pengisi*. Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil, No.3