

## PENGARUH LIMBAH GYPSUM PLTU TERHADAP KUAT TEKAN DAN DAYA SERAP AIR PADA BETON GEOPOLIMER

Decky Rochmanto\*, Khotibul Umam dan Mochammad Qomaruddin

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara,  
Jln. Taman Siswa (Pekeng) Tahunan Jepara.

\*Email: drochmanto@unisnu.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini menggunakan limbah PLTU Tanjung Jati B Jepara berupa gypsum dan fly ash yang dijadikan binder atau pengganti semen untuk dibuat beton geopolimer. Komposisi material yang digunakan dalam penelitian ini yaitu agregat : (binder + aktivator) = 63 % : 37 %. Binder terdiri dari dua material yaitu fly ash dan gypsum, dengan 5 variasi kadar gypsum 0%, 2,5%, 5%, 7,5% & 10%. Komposisi aktivator dengan perbandingan 1 NaOH : 2 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Hasil kuat tekan yang didapatkan pada beton geopolimer yang tertinggi pada umur 28 hari tanpa campuran gypsum, sedangkan semakin besar kadar gypsum yang ditambahkan akan mengakibatkan penurunan mutu beton yang dihasilkan. Pada Penyerapan air juga menunjukkan semakin besar kadar gypsum pada beton maka penyerapan air juga meningkat yang disebabkan oleh kalsium sulfat dapat mengikat air pada beton yang sudah mengeras.

**Kata kunci :** Limbah PLTU, Geopolimer, Fly Ash, Gypsum.

### 1. PENDAHULUAN

PLTU merupakan terobosan terbaru dalam pemenuhan kebutuhan terhadap energi listrik dan dianggap lebih baik dibandingkan dengan PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) dan PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) karena dapat memanfaatkan uap sebagai tenaga penggerak turbin untuk menghasilkan listrik. Namun dari hasil proses produksi PLTU menghasilkan limbah berupa *Fly ash*, *Bottom ash* dan *Gypsum*.

Setiap produk batu bara pada pembakaran yang digunakan proses pemanasan air di PLTU Tanjung Jati B Jepara memiliki perilaku yang berbeda. Tipe *fly ash* yang dihasilkan dari power plant yang satu dengan yang lain berbeda, hal ini tergantung dari kandungan mineral batubara yang digunakan, suhu dari tungku pembakaran batubara, jenis tungku dalam pembakaran, proses pembakaran, seperti perbandingan bahan bakar dan udara (Umardani, 2007) Sebagai upaya untuk mengurangi limbah *fly ash* sebagai pengganti semen, maka penelitian ini mendesain beton dengan campuran komposisi *fly ash* dan *gypsum* untuk mengetahui mutu beton dan daya serap air pada campuran *fly ash* maupun gypsum tersebut dengan memakai agregat halus dari pasir muntilan. *Fly ash* juga membutuhkan material pengikat lainnya berupa aktivator seperti sodium hidroksida dan sodium silikat, sehingga *fly ash* dapat digunakan untuk menggantikan semen (Ekaputri & Triwulan, 2013).

Gypsum merupakan jenis mineral sulfat yang mengandung 90% CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O. Dalam proses produksi PLTU, limbah gypsum dihasilkan dari proses *flue gas desulfurization* (FGD) dengan menggunakan batu kapur dengan tujuan untuk menurunkan konsentrasi emisi sulfur (Mayasari, 2013).

### 2. METODOLOGI

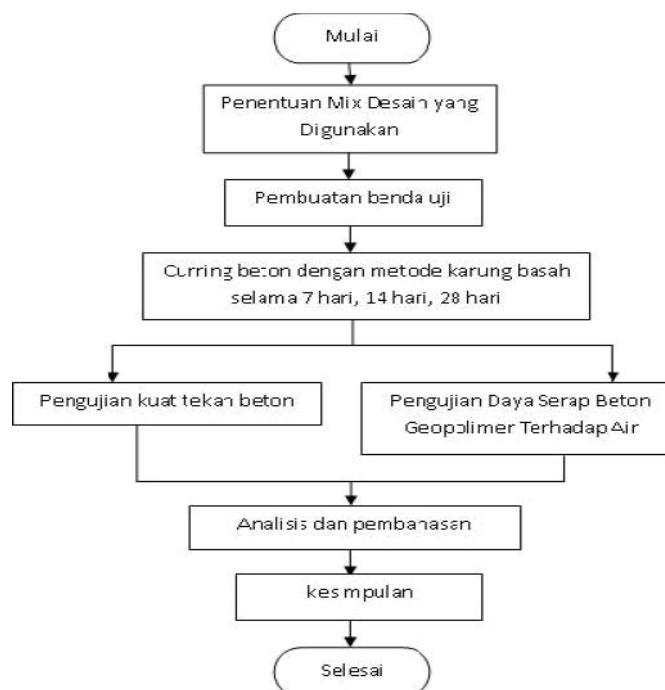
Metode yang digunakan adalah metode eksperimental, pengujian yang dilakukan meliputi kuat tekan dan daya serap air (*absorpsi*) beton geopolimer. Pada penelitian ini dibuat 5 jenis variasi benda uji dengan mix desain kadar gypsum yang berbeda beda. Cetakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10,5 cm dan tinggi 21 cm. Pada tahap pembuatan benda uji dilakukan dengan mencampur bahan yang sebelumnya telah di siapkan berdasarkan mix desain yang telah di tentukan seperti tabel 1.

**Tabel 1. Mix Design substitusi Fly Ash dengan Gypsum**

Prosentase Fly Ash	:	Prosentase Gypsum
100%	:	0,0%
97,5%	:	2,5%
95%	:	5%
92,5%	:	7,5%
90%	:	10%

Tahapan *curing* beton adalah merawat benda uji agar dalam kondisi baik dan tidak mengalami penguapan berlebih serta untuk menjaga suhu benda uji agar tetap lembab dan terjaga, metode *curing* dengan cara di redam dengan air dan dengan metode karung yang di basahi dengan air di tutupkan pada benda uji, perawatan dilakukan sesuai dengan rencana pada umur 7 hari, 14 hari 28 hari. Setelah itu Benda uji yang telah di *curing* kemudian di uji dengan metode kuat tekan beton, menggunakan alat *Compression Testing Machine* kapasitas 2000 KN.

Tahapan pengujian daya serap air, benda uji yang telah di buat sebelumnya di lakukan tindakan khusus dengan cara memotong beton dengan ukuran diameter 10,5 cm dan tinggi 5 cm, sebelum dilakukan pengujian absorpsi benda uji di oven dahulu.



**Gambar 1. Langkah Proses Penelitian**

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisa Hasil Pengujian Material

Material yang digunakan pada penelitian meliputi agregat, binder dan aktivator material yang akan diuji terfokus pada material agregat halus, agregat kasar, binder yang terdiri dari *fly ash* dan *gypsum*, yang nantinya digunakan sebagai material pencampur *fly ash* dengan komposisi yang telah ditentukan dan aktivator berupa campuran NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>.

#### 3.2 Pengujian Material Agregat Kasar

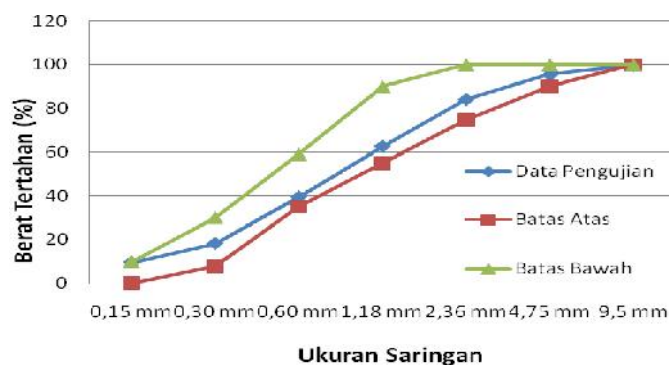
Berdasarkan Tabel 2 kekerasan butiran dari agregat kasar yang telah diuji dengan Los Angles Abrasion Mechine tidak boleh melebihi 40% yang aus atau yang telah jadi abu. Dari hasil pengujian kadar keausan agregat kasar yang dipakai pada penelitian ini dihasilkan dengan nilai keausan sebesar 17,6 % dan telah memenuhi syarat SNI.

**Tabel 2. Pengujian Karakteristik Agregat**

No	Karakteristik	Batas	Hasil	Pengujian Standar
A.	Agregat Kasar			
	1. Penyerapan	max. 3 %	3,365	SNI 03-1969-1990
	2. Berat jenis	Min. 2,5 gr/cc	2,469	SNI 03-1970-1990
	3. Mesin abrasi Los Angeles	Max. 40 %	19,047	SNI 03-2417-1991
	4. Kelekatan aspal terhadap agregat	Min. 95 %	98	SNI 03-2439-1991
B.	Agregat Halus			
	1. Penyerapan	Max. 3%	4,750	SNI 03-1969-1990
	2. Berat jenis	Min. 2,5 gr/cc	2,310	SNI 03-1970-1990
C.	Abu Batu			
	1. Berat jenis	Min. 2,5	2,710	SNI 03-1970-1990

### 3.3 Pengujian Material Agregat Halus (Pasir)

Pengujian agregat halus dalam penelitian harus mengacu pada standar pengujian yang berlaku, ada beberapa pengujian agregat halus yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu analisa saringan agregat halus, pengujian kadar lumpur agregat halus dan pengujian kadar organik agregat halus. Dalam pengerjaan agregat halus, sampel yang di gunakan adalah ex pasir muntilan. Metode ini digunakan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan menggunakan mesh 0,15 ; 0,30 ; 0,60 ; 1,18 ; 2,36 ; 4,75 & 9,5mm. Pengujian analisa saringan menggunakan standar pengujian menurut (SNI 03-1968-1990).



**Gambar 2. Grafik Analisa Saringan Berdasarkan Klasifikasi Zona II.**

### 3.4 Pengujian Fly Ash

Tipe Fly Ash PLTU Tanjung Jati B Jepra pada bunker unit 3 & 4 termasuk kategori F dengan berasal dari pembakaran batu bara dengan kadar kalori tinggi diantaranya jenis antrachite dan bituminous dengan kandungan CaO di bawah 10% dan kandungan unsur kimia ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) >70 % yang dijabarkan pada hasil uji XRF di tabel 3.

**Tabel 3. Kandungan fly ash**

Komposisi Kimia												
Unsur Kimia	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Test Result (%)	46,70	25,01	9,43	0,98	6,26	3,65	2,19	2,96	0,81	0,07	0,41	1,05
Analisa Saringan												
Test Size	Unit	On	Pass									
Mesh No. 100 (0,149 mm)	% wt	2,45	97,55	Manual/ASTM								
Mesh No. 200 (0,074 mm)	% wt	6,69	93,31									
Mesh No. 325 (0,044 mm)	% wt	13,38	86,62									

Sumber : (Qomaruddin, et all , 2018)

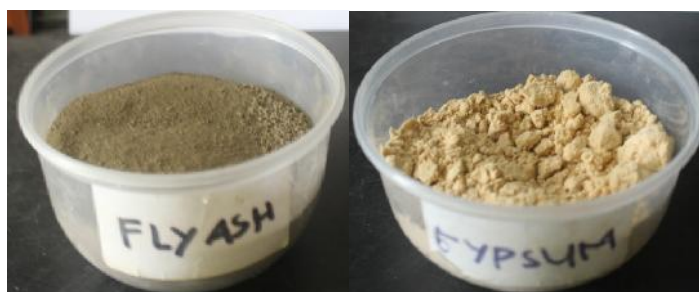
### 3.5 Pengujian Gypsum

*Gypsum* merupakan salah satu contoh jenis mineral yang memiliki kandungan kalsium lebih tinggi dari mineralnya. Pada tabel 4 merupakan tabel hasil uji analisa kimia gypsum yang pengujiannya dilakukan di laboratorium Sucofindo sebagai berikut:

**Tabel 4. Hasil Analisa Kimia Gypsum**

Parameter	Unit	Test Results	Test Method
SO <sub>3</sub> (Dry Basic)	% wt	41,15	ASTM C 471 – 11
Calcium Sulfate (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O) (Dry Basic)	% wt	95,42	ASTM C 471 – 11
Total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Dry Basic)	% wt	0,11	ASTM C 471 – 11
Insuble P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Dry Basic)	% wt	0,11	Spectrophotometric
PH 10 %	% wt	7,93	PH Meter
Chloride (Cl) (Dry Basic)	% wt	0,36	Spectrophotometric
CaO (Dry Basic)	% wt	32,61	Titrimetric
Density	% wt	2,338	Pectrometric

Sumber: Analisa 2019



**Gambar 3. Serbuk Fly Ash & Gypsum PLTU Tanjung Jati B Jepara**

### 3.6 Pengujian Setting Time Pasta

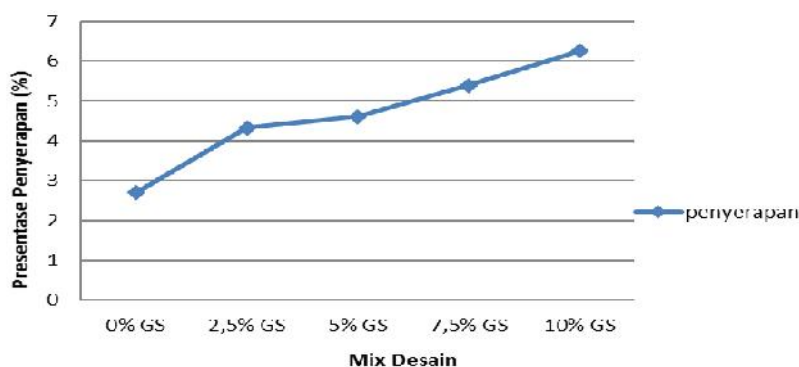
Waktu ikat memakai pasta geopolimer menggunakan *vicat needle* yang mengacu pada (ASTM C191-04, 2004). Diperoleh hasil yang dirangkum pada tabel 5.

**Tabel 5. Hasil Waktu Ikat Pasta Geopolimer**

Mix Desain	Komposisi	Binder	Aktivator	Suhu	Waktu Ikatan Awal	Waktu Ikatan Akhir
0% GS		Fa 100% : Gs 0%		29° C	23 jam	25 jam 55 menit
2,5% GS		Fa 97,5% : Gs 2,5%		28° C	10 jam 55 menit	13 jam 10 menit
5% GS	Binder : Aktivator = 65% : 35%	Fa 95% : Gs 5%	NaOH 8 M : Na SiO = 1 : 2	28° C	7 jam 40 menit	10 jam 15 menit
7,5% GS		Fa 92,5% : Gs 7,5%		27° C	4 jam	5 jam 30 menit
10% GS		Fa 90% : Gs 10%		29° C	1 jam 55 menit	3 jam 30 menit

### 3.7 Pengujian Daya Serap Air

Berdasarkan pengujian daya serap air pada sample diameter 10,5 dan panjang 5 cm yang telah dilakukan sesuai standar (ASTM C1585 – 13, 2013) didapatkan hasil seperti yang dijelaskan pada gambar 4.



**Gambar 4. Grafik Presentase Penyerapan Air Pada Beton Terhadap Variasi Kadar Gypsum**

Pada gambar 4. menunjukkan hasil dari berbagai mix design kadar *gypsum* mempengaruhi daya serap air pada beton geopolimer tersebut. Dengan bertambahnya kadar *gypsum* mempunyai kecenderungan daya serap air semakin tinggi nilai prosentasenya.

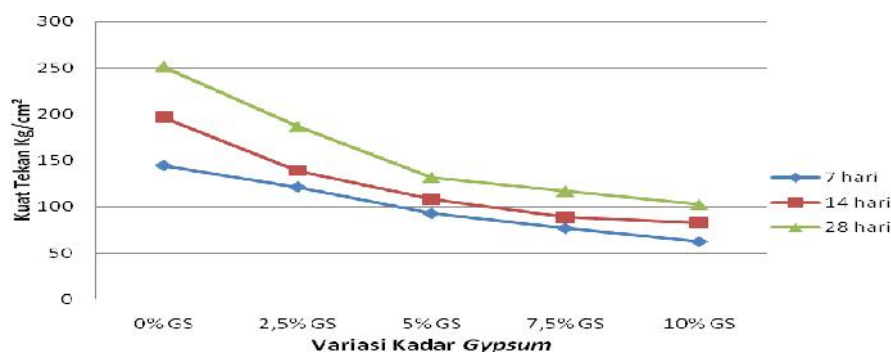
### 3.8 Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Gypsum

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi kadar gypsum yang dicampur pada beton sample yang telah diuji pada umur beton yang berbeda dilihat pada tabel 6 sebagai berikut:

**Tabel 6. Hasil Kuat Tekan Beton**

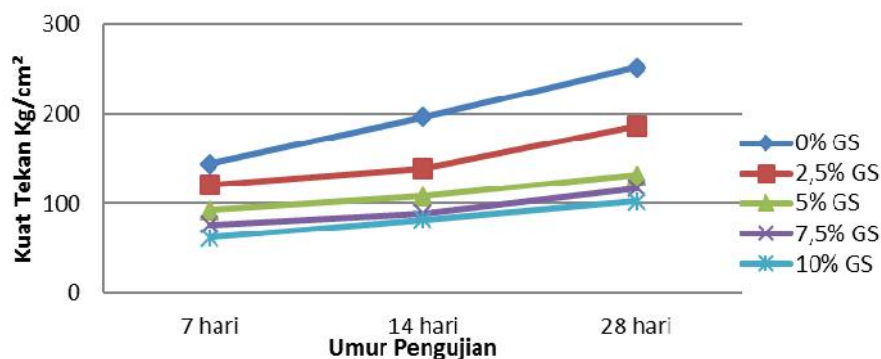
Variasi Mix	Umur Pengujian	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )
0 % GS	7	144,13
	14	196,41
	28	251,29
2,5 % GS	7	121,02
	14	138,93
	28	186,59
5 % GS	7	92,43
	14	108,03
	28	131,71
7,5 % GS	7	76,54
	14	88,96
	28	116,98
10 % GS	7	62,10
	14	82,32
	28	102,54

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan kemudian dianalisa dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini :



**Gambar 5. Grafik Kuat Tekan Terhadap Variasi Kadar Gypsum**

Pada gambar 5. grafik hasil kuat tekan benda uji umur 7 hari dengan komposisi *gypsum* 0% ke variasi komposisi *gypsum* 2,5% mengalami penurunan 16,034 %, dan terus menurun pada komposisi *gypsum* 5 % turun sebesar 35,87 %, pada komposisi *gypsum* 7,5 % turun lagi sebesar 46,9 %, dan pada komposisi *gypsum* 10 % turun sebesar 56,91 %. Kondisi pada kuat tekan benda uji umur 14 hari dan 28 hari pun sama mengalami penurunan mutu beton seiring penambahan dengan komposisi *gypsum*.



**Gambar 6. Grafik Kuat Tekan Terhadap Umur beton**

Pada gambar 6 mempertegas bahwa seiring bertambah umur pengujian beton selalu mengalami kenaikan yang linier. Adapun komposisi tertinggi mutu beton nya pada kadar 0% *gypsum* nya.

#### 4. KESIMPULAN

Menurut hasil analisa kuat tekan beton geopolimer pada umur pengujian 28 hari yang tertinggi mutu betonnya, ini menguatkan argumen semakin bertambahnya umur beton akan selalu meningkat mutu betonnya. Pada penyerapan air dibeton geopolimer yang didapat bahwa semakin bertambahnya jumlah *gypsum* pada beton maka semakin tinggi daya serap airnya, dikarenakan kandungan kalsium pada beton yang terikat masih besar kemungkinan menjadi filler yang mengikat air didalam beton. Pada variasi kadar *gypsum* pada beton yang semakin besar maka nilai kuat tekan semakin rendah. Waktu ikat pasta geopolimer dengan kadar *gypsum* meningkat akan mempercepat waktu pengerasan.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Ristekdikti dalam mendanai skim Penelitian Dosen Pemula pada tahun anggaran 2019.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C1585 – 13. (2013). *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*. ASTM Int.
- ASTM C191-04. (2004). ASTM C191–04: Time of setting of hydraulic cement mortar by modified Vicat needle. *ASTM International*.
- Ekaputri, J. J., & Triwulan. (2013). *Sodium sebagai Aktivator Fly Ash , Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer*. 20(1), ISSN 0853-2982.
- Mayasari, F. (2013). *Analisis Perhitungan Eksternalitas Pada Pltu Muara Karang Dengan Penggunaan Flue Gas Desulphurization*. 2(1), ISSN : 2089-9963.
- Qomaruddin, M., Ariyanto, Saputro, Y. A., & Sudarno, A. (2018). Analisa Kuat Tekan Mortar Beton Fly Ash dari Industri PLTU Tanjung Jati B Jepara dengan Menggunakan Pasir Sungai Tempur Kabupaten Jepara. *Rice*.
- SNI 03-1968-1990. (n.d.). Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. SNI 03-1968-1990. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*.
- Umardani, Y. (2007). ANALISA PENGGUNAAN FLY ASH SEBAGAI MATERIAL DASAR PENGANTI CETAKAN PASIR PADA PENGECORAN BESI COR DITINJAU DARI KOMPOSISI CAMPURAN CETAKAN. *Rotasi Vol.9 No.3 Juli, Universitas Diponegoro*, 9(3).