

## COMPRESSIVE STRENGTH AND SPLITTING-TENSILE STRENGTH OF GEOPOLYMER CONCRETE USING VARIATION IN MAXIMUM SIZE OF COARSE AGGREGATE

### KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON GEOPOLIMER MENGGUNAKAN VARIASI UKURAN MAKSIMUM AGREGAT KASAR

Noor Arif Inderawan<sup>1</sup>, Yulin Patrisia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Universitas Palangka Raya

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Universitas Palangka Raya

E-mail: [noor.arif.inderawann@gmail.com](mailto:noor.arif.inderawann@gmail.com), [yulin.patrisia@ptb.upr.ac.id](mailto:yulin.patrisia@ptb.upr.ac.id)

#### ABSTRACT

The purpose of this research is to study the mechanical behavior of geopolymer concrete using the variation in maximum size of coarse aggregate in the term of compressive strength and splitting-tensile strength. This study used variation on maximum size of coarse aggregate namely 10 mm, 20 mm and 30 mm. Fly ash is from Asam-Asam Steam Electricity Power Plant, Indonesia. Cylindrical test specimen (size 100 mm x 200 mm) with number of test specimens counted 10 pieces for each variant of maximum size of aggregate coarse. The mixture of geopolymer concrete in this experiment contain fly ash of 400 kg/m<sup>3</sup> with alkaline activator is Sodium Hydroxide (NaOH) with molarity of 10 M and Sodium Silicate (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). The ratio of Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> to NaOH is 2:1 and the ratio of alkaline activator to fly ash is 0.4. Tests conducted for compressive strength test and tensile strength at age 14 and 21 day. The result shows that the smaller the maximum size of coarse aggregate, the greater compressive strength and splitting-tensile strength. Compressive strength and splitting-tensile strength for specimen with 10 mm, 20 mm, and 30 mm maximum size of aggregate are 11.04 MPa and 6.12 MPa, 10.82 MPa and 5.22 MP, 10.06 MPa and 4.84 MPa respectively.

Keywords: geopolymer concrete, maximum size of coarse aggregate, compressive strength, splitting-tensile strength.

#### PENDAHULUAN

Penggunaan beton konvensional sangat digemari secara luas. Beton konvensional juga digemari karena bersifat kaku dan lebih kuat dari bahan bangunan lainnya dalam hal menahan beban yang bekerja pada suatu bangunan, seperti beban mati, beban hidup dan beban lateral dari suatu bangunan. Pembuatan beton konvensional pun sangat mudah karena menggunakan semen *Portland* yang sudah diproduksi secara massal dan dapat ditemukan di berbagai tempat di wilayah dunia.

Namun, beton konvensional sering mendapat kritikan dari para pemerhati lingkungan. Beton konvensional dianggap tidak ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas CO<sub>2</sub> dari proses produksi semen *Portland* tersebut. Penggunaan semen *Portland* yang terus meningkat mampu memicu dampak pemanasan global, karena jika memproduksi 1 ton Semen *Portland*, maka akan menyumbang emisi gas CO<sub>2</sub> sebesar 1 ton ke udara [1].

Kemudian, usaha untuk mendapatkan beton ramah lingkungan ialah melalui pengembangan beton dengan menggunakan bahan pengikat anorganik seperti alumina-silikat *polymer* atau dikenal dengan *geopolymer* yang merupakan sintesa dari material geologi yang terdapat pada alam atau material hasil produk sampingan industri seperti abu terbang (*fly ash*) yang kaya akan kandungan silika dan aluminium [2].

Sekitar  $\frac{3}{4}$  dari volume beton terdiri dari agregat, yaitu agregat halus dan agregat kasar, sehingga tidak dapat disangkal bahwa sifat-sifat mekanis yang dimiliki oleh beton sangat dipengaruhi oleh gradasi atau keragaman ukuran agregat tersebut. Untuk mendapatkan kuat tekan beton yang optimal, umumnya menggunakan asumsi bahwa ukuran agregat kasar yang baik yaitu mendekati standar minimum [3].

Namun, penggunaan agregat kasar dengan ukuran minimum dalam campuran beton dinilai kurang ekonomis. Jika menggunakan agregat kasar dalam ukuran minimumnya maka akan memerlukan lebih banyak semen. Artinya, jika untuk memperoleh adukan beton dengan tingkat kemudahan (*workability*) pekerjaan yang sama dan dengan kekuatan yang sama, maka jumlah semen akan lebih sedikit jika menggunakan agregat kasar dengan ukuran butiran yang maksimum. Dengan adanya pengurangan jumlah semen dalam suatu campuran akan mengurangi panas hidrasi, artinya akan mengurangi kemungkinan beton mengalami retak akibat susut atau retak akibat perbedaan panas yang tinggi [4].

Dengan keinginan mempelajari lebih lanjut tentang beton geopolimer maka dalam penelitian ini akan diuji kuat tekan dan kuat tarik belah beton geopolimer dengan menggunakan agregat kasar dalam ukuran maksimum yang didapat dari hasil saringan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton geopolimer berbahan *fly ash*, kecenderungan kuat tekan dan kuat tarik belah beton geopolimer terhadap variasi ukuran maksimum agregat kasar, dan kelayakan beton geopolimer untuk digunakan sebagai beton struktur.

## KAJIAN PUSTAKA

### Beton Geopolimer

Beton geopolimer merupakan senyawa silikat alumino anorganik yang kemudian disintesis dari bahan-bahan produk sampingan/limbah seperti abu terbang, abu sekam padi dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan alumina" [6]. Geopolimer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah proses polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi yang terjadi, aluminium (Al) dan silika (Si) memegang fungsi yang penting dalam terjadinya ikatan polimerisasi [12].

### Material Penyusun Beton Geopolimer

#### Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang merupakan limbah padat yang dihasilkan dari proses pembakaran di dalam *furnace* pada pembangkit listrik tenaga uap dan terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta dikumpulkan dengan menggunakan elektrostatis *precipitator* [5]. *Fly ash* merupakan bahan residu mineral yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan-bahan inorganik di dalam batu bara dan telah mengalami fusi pada pembakarannya. Partikel-partikel *fly ash* pada umumnya berbentuk bulat dan memadat selama berada di dalam gas buangan dan dikumpulkan selama tersuspensi.

*Fly Ash* yang digunakan yaitu *fly ash* dari PLTU Asam-Asam. Komposisi kimia *fly ash* diambil dari hasil penelitian dari penelitian Diharjo [13] yang menggunakan *fly ash* dari PLTU Asam-Asam. *Fly ash* dari PLTU Asam-Asam merupakan *Fly ash* kelas F karena memiliki kandungan CaO sebesar 9,20 % < 10 %. Adapun komposisi kimia *fly ash* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Unsur Utama *Fly Ash* PLTU Asam-Asam Kelas F berdasarkan hasil uji XRF

No	Formula	Konsentrasi	Dominan
2.	SiO <sub>2</sub>	41,96 %	Si
3.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,80 %	Al
4.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,69 %	Fe
6.	CaO	9,20 %	Ca
7.	MgO	5,42 %	Mg
8.	K <sub>2</sub> O	1,98 %	K
9.	TiO <sub>2</sub>	1,47 %	Ti
11.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,45 %	P
12.	SO <sub>3</sub>	0,91 %	S

Sumber: Penelitian Diharjo [13]

### Larutan Pengikat (*Alkaline Activator*)

Pada penelitian ini menggunakan larutan pengikat (*Alkaline Activator* berupa Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Natrium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ). Natrium Silikat berfungsi untuk mempercepat proses polimerisasi, sedangkan Natrium Hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

#### Agregat Kasar

Menurut Tjokrodimuljo [15], agregat kasar adalah batuan yang mempunyai ukuran butir-butir besar (antara 5 mm sampai 40 mm). Sifat dari agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan semen.

Menurut Tjokrodimuljo [16] ukuran maksimum dari agregat kasar dalam beton bertulang diatur berdasarkan kebutuhan bahwa agregat tersebut harus dengan mudah dapat mengisi cetakan dan lolos dari celah-celah yang terdapat di antara batang-batang baja tulangan.

Adapun ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu ukuran maksimum 10 mm, 20 mm, dan 30 mm.

#### METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi eksperimental, yakni dengan melakukan percobaan langsung di Laboratorium Beton Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Jurusan Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Palangka Raya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dan seberapa besar pengaruh ukuran maksimum agregat kasar terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton geopolimer.

#### Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian difokuskan pada analisa pengaruh ukuran maksimum agregat kasar pada beton geopolimer.
2. *Slump* yang digunakan yaitu 10-14 cm dari tingkat keruntuhan adukan.
3. Bahan pengikat (*Binder*) yang digunakan berupa limbah abu terbang (*fly ash*) kelas F yang merupakan hasil pembakaran batu bara dari PLTU Asam-Asam, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan.
4. *Fly Ash* yang digunakan ditentukan sebesar  $400 \text{ kg/m}^3$ .
5. Agregat kasar yang digunakan berupa batu split dengan ukuran maksimum 10 mm, 20 mm, dan 30 mm yang tersedia di kota Palangka Raya.
6. Agregat halus yang digunakan berupa pasir galian yang berasal dari Tangkiling.
7. Larutan pengikat (*Alkaline Activator*) berupa Natrium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) yang berbentuk padat (*flakes*) dengan molaritas 10 M, dan Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) berbentuk gel bening.
8. Perbandingan massa reaktan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  sebesar 2:1.
9. Rasio *alkaline activator* terhadap *fly ash* yaitu 0,4.
10. Air yang digunakan berupa air suling/*aquades* ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dengan kemurnian 100%.
11. Benda uji berbentuk silinder dengan ukuran  $\varnothing 10 \text{ cm}$  dan tinggi 20 cm.
12. Pengujian benda uji dilakukan pada umur 14 dan 21 hari untuk kuat tekan dan kuat tarik belah beton geopolimer.
13. Pembuatan benda uji tidak menggunakan *retarder admixtures* (larutan penghambat) dan *superplasticizer* (bahan tambahan).
14. Tidak dilakukan pengujian terhadap kandungan kimia *fly ash* karena keterbatasan alat penguji. Komposisi kimia *fly ash* diambil dari hasil penelitian dari penelitian Diharjo [13] yang menggunakan *fly ash* dari PLTU Asam-Asam.

#### Rancangan Penelitian

##### Rencana Jumlah Benda Uji

Adapun rencana benda uji yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebanyak 30 benda uji dengan variasi ukuran maksimum 10 mm, 20 mm dan 30 mm yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

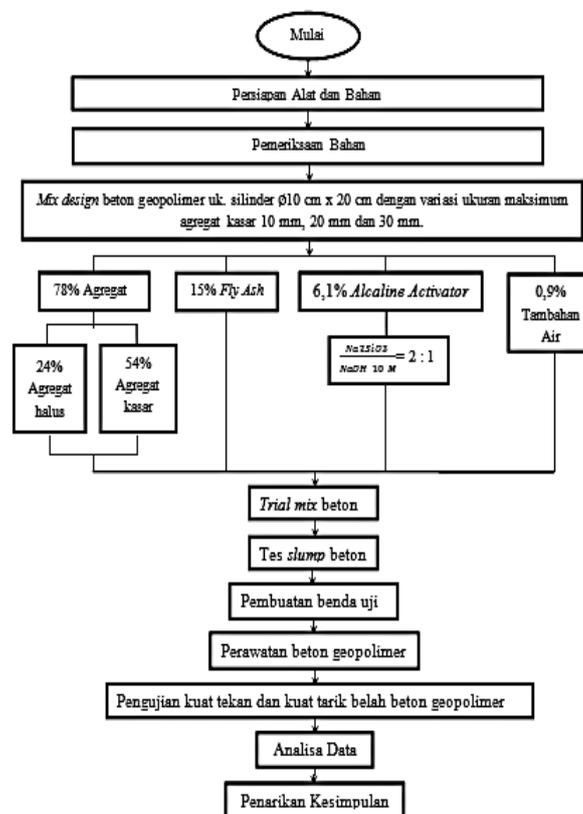
Tabel 2. Rencana Jumlah Benda Uji

Kode Sampel	Ukuran Butiran maksimum Agregat Kasar (mm)	Jenis pengujian dan umur dari jumlah benda uji			
		Kuat Tekan		Kuat Tarik Belah	
		14 Hari	21 Hari	14 Hari	21 Hari
N1	10 mm	3 buah	3 buah	2 buah	2 buah
N2	20 mm	3 buah	3 buah	2 buah	2 buah
N3	30 mm	3 buah	3 buah	2 buah	2 buah
Jumlah		9	9	6	6
Total		30 benda uji			

Sumber: Rancangan Penelitian 2016

### Diagram Alir Penelitian

Berikut disajikan diagram alir yang menjelaskan urutan-urutan langkah prosedur pembuatan benda uji beton geopolimer. Perencanaan campuran dilakukan dengan pendekatan berdasarkan perencanaan *Modified Guidelines for Geopolymer Concrete Mix Design Using Indian Standard* oleh [8].



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton dilakukan dengan pendekatan berdasarkan perencanaan *Modified Guidelines for Geopolymer Concrete Mix Design Using Indian Standard* oleh [8].

### Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji beton geopolimer menggunakan metode *ambient curing*, beton geopolimer dituangkan dalam cetakan dan didiamkan selama 24 jam pada suhu lingkungan. Setelah itu, beton geopolimer dikeluarkan dari cetakan dan kemudian dimasukkan ke dalam plastik kedap udara (*clipped plastic bag*) sampai tiba waktu pengujian.

### Analisis Data

Analisa data dalam penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari hasil pengujian silinder beton terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton geopolimer. Data yang ditampilkan adalah pengaruh antara variasi ukuran maksimum agregat kasar terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton geopolimer pada umur 14 dan 21 hari yang berbentuk grafik dan tabel.

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### Pemeriksaan Material Penyusun Beton

Tabel 3. Pemeriksaan Material Penyusun Beton Geopolimer

No.	Jenis Pemeriksaan Material	Nilai
1.	Berat Jenis (Specific Gravity) Fly Ash	2,67 gr/cm <sup>3</sup>
2.	Gradasi Agregat Kasar	
	a. Modulus kehalusan agregat kasar ukuran maks. 10 mm	7,956
	b. Modulus kehalusan agregat kasar ukuran maks. 20 mm	10,728
	c. Modulus kehalusan agregat kasar ukuran maks. 30 mm	10,815
	Gradasi Agregat Kasar Gabungan	
	a. Modulus kehalusan agregat kasar gabungan ukuran maks. 20 mm	9,48
	b. Modulus kehalusan agregat kasar gabungan ukuran maks. 30 mm	9,39
3.	Kadar Air Agregat Kasar	1,71 %
4.	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	
	a. Pemeriksaan berat jenis (SSD)	3,07 %
	b. Pemeriksaan penyerapan ( <i>Absorpsi</i> )	0,90 %
5.	Gradasi Agregat Halus (Zona 2)	3,078
6.	Kadar Zat Organik Agregat Halus	0 – 5%
7.	Kadar Lumpur Agregat Halus	2,13 %
8.	Kadar Air Agregat Halus	0,786
9.	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	
	a. Pemeriksaan berat jenis (SSD)	3,01 %
	b. Pemeriksaan Penyerapan ( <i>Absorpsi</i> )	1,63 %

Sumber: Hasil Pengujian 2016

#### Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton dilakukan dengan pendekatan berdasarkan perencanaan *Geopolymer Concrete Mix Design Using Indian Standard* [8].

Tabel 4. Perencanaan Rancang Campur Beton *Mix Design* Beton Geopolimer

No.	Spesifikasi Material/Bahan	Keterangan
1.	Rasio perbandingan <i>alkaline activator/fly ash</i>	0,4
2.	Rasio perbandingan NaOH : Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	1 : 2
3.	Jumlah <i>alkaline activator</i> = 0,4 x kadar <i>fly ash</i>	160 Liter/m <sup>3</sup>
4.	Jumlah Larutan NaOH	53,333 Liter/m <sup>3</sup>
5.	Jumlah Larutan Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	106,667 Liter/m <sup>3</sup>
6.	NaOH padat (10 M)	21,33 Liter/m <sup>3</sup>
7.	Jumlah air dalam larutan NaOH (10 M)	31,99 Liter/m <sup>3</sup>
8.	Jumlah air tambahan ( <i>extra water</i> )	
	Mmin = 0,02 x kadar <i>fly ash</i>	8,0 Liter/m <sup>3</sup>
	Mmax = 0,06 x kadar <i>fly ash</i>	24,0 Liter/m <sup>3</sup>
9.	Kandungan agregat halus tanpa kandungan udara	644,554 Kg/m <sup>3</sup>
10.	Kandungan agregat kasar tanpa kandungan udara	1438,328 Kg/m <sup>3</sup>

Sumber: Hasil Perhitungan 2016

**Pengujian Slump pada Beton Segar**

Tabel 5. Nilai Slump Benda Uji Beton Geopolimer

Ukuran Maksimum Agregat Kasar	Nilai slump (cm)
10 mm	13,2
20 mm	13,8
30 mm	14,2

Sumber: Hasil pengujian 2016

**Pengujian Benda Uji****Pengujian Kuat Tekan Beton**

Pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin uji tekan (*compression testing machine*) dengan ukuran benda uji yang berbentuk silinder. Tinggi 20 cm dan diameter 10 cm. Pengujian dilaksanakan setelah beton mencapai umur 14 dan 21 hari. Hasil pengujian rata-rata setiap benda uji dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder (Umur 14 Hari)

Ukuran Maksimum Agregat Kasar	Benda uji (N)	Berat (Kg)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Fcr (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Deviasi Standar	Standar Kontrol
	1	3,78	7853,98	11,46			Sangat
10 mm	2	3,61	7853,98	9,17	9,85	1,51	Baik
	3	3,67	7853,98	8,91			
	1	3,70	7853,98	6,37			
20 mm	2	3,68	7853,98	9,04	8,91	2,93	Kurang
	3	3,72	7853,98	11,33			
	1	3,76	7853,98	10,19			Sangat
30 mm	2	3,80	7853,98	8,66	8,83	1,51	Baik
	3	3,72	7853,98	7,64			

Sumber: Hasil Pengujian 2016

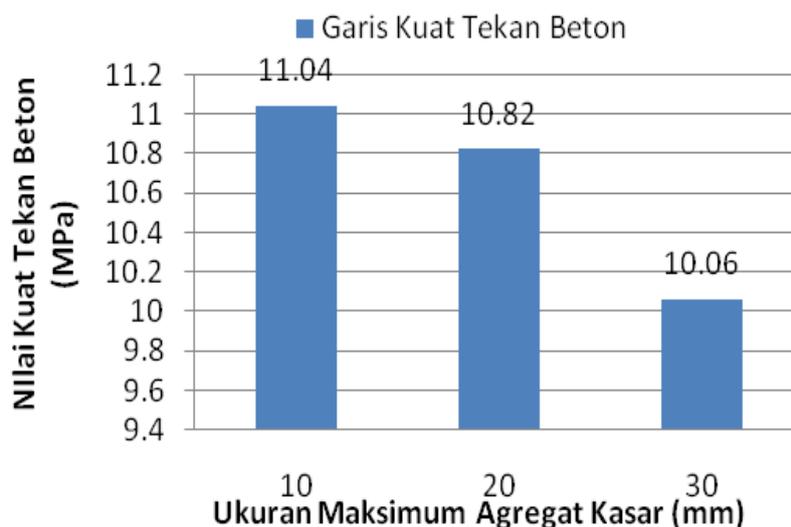
Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder (Umur 21 Hari)

Ukuran Maksimum Agregat Kasar	Benda uji (N)	Berat (Kg)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Fcr (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Deviasi Standar	Standar Kontrol
	1	3,78	7853,98	11,46			
10 mm	2	3,70	7853,98	7,64	11,04	2,25	Cukup
	3	3,76	7853,98	14,01			
	1	3,80	7853,98	10,19			Sangat
20 mm	2	3,78	7853,98	11,46	10,82	0,75	Baik
	3	3,76	7853,98	10,82			
	1	3,74	7853,98	9,93			Sangat
30 mm	2	3,74	7853,98	9,42	10,06	0,83	Baik
	3	3,76	7853,98	10,82			



Sumber: Hasil Pengujian 2016

Gambar 2. Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata Dengan Ukuran Maksimum Agregat Kasar Pada Umur Beton 14 Hari



Gambar 3. Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata Dengan Ukuran Maksimum Agregat Kasar Pada Umur Beton 21 Hari

Dari hasil pengujian terlihat bahwa semakin kecil ukuran maksimum agregat kasar, maka semakin besar kuat tekannya. Pernyataan tersebut diperkuat oleh (Agus Purwati, 2014) yaitu kuat tekan beton dengan ukuran butiran yang lebih besar mempunyai nilai kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan beton dengan ukuran butiran kecil. Hal ini bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti dari gradasi ukuran agregat yang akan berpengaruh pada kepadatan dan tingkat porositas beton. Peran gradasi agregat merupakan faktor yang harus diperhatikan. Susunan butiran (gradasi) yang baik dapat menghasilkan kepadatan (*density*) maksimum dan porositas (*voids*) minimum. Gradasi yang baik adalah gradasi yang menerus dimana seluruh ukuran butiran terdapat dalam agregat tersebut sehingga menciptakan butiran yang heterogen. Butiran yang heterogen akan mampu untuk menempatkan posisi untuk saling mengisi rongga-rongga yang kosong sesuai dengan ukurannya.

Menurut M. Hasbi Arbi [9] secara umum bahwa bergradasi baik ialah ukuran butir agregat yang bervariasi dari yang terkecil sampai dengan yang terbesar mempunyai jumlah yang seimbang sehingga satu

butir dengan butir yang lain saling mengisi sehingga beton menjadi lebih padat. Seterusnya, selain pertimbangan pada gradasi agregat, perlu juga dipertimbangkan luas dan kekasaran permukaan agregat terutama agregat kasar, karena dapat memberikan daya rekat antara semen dengan agregat menjadi sangat kuat, sehingga mutu beton menjadi lebih baik. Jika agregat yang digunakan relatif kecil, akan membutuhkan air lebih banyak sehingga penggunaan *binder/fly ash* lebih banyak pula.

Nilai kuat tekan tersebut dapat dipengaruhi oleh nilai modulus kehalusan agregat kasar yaitu antara 7,956 – 10,815. Menurut syarat mutu SII.0052-80, "*Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*", agregat kasar dengan gradasi yang baik mempunyai modulus kehalusan antara 6 – 7,1. Berdasarkan persyaratan, maka agregat kasar ini akan menghasilkan campuran beton yang kurang padat karena melebihi modulus kehalusan. Apabila nilai modulus kehalusan butir (MKB) agregatnya semakin besar maka persentase lolos ayakannya semakin besar pula [17]. Dan sebaliknya, semakin kecil agregatnya maka presentase lolos ayakan agregat kasarnya juga ikut mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena butiran agregat yang besar-besar memungkinkan untuk menahan beban dari benturan bola baja kekuatannya lebih kecil dan lebih banyak presentase lolos ayakannya. Adanya rongga pori yang lebih banyak terdapat pada agregat yang berukuran besar memungkinkan agregat itu lebih mudah hancur.

Dari hasil pengujian kuat tekan, beton ini merupakan jenis beton non-struktural karena memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 11,04 MPa < 14 MPa berdasarkan tabel klasifikasi kepadatan beton ringan [14]. Nilai kuat tekan beton tersebut tidak maksimal dapat disebabkan oleh proses *curing* dengan sistem *ambient curing* yang menggunakan plastik kedap udara, bukan dengan sistem pemanasan dengan oven (*steam*). Menurut [10], sistem *steam* sangat cocok untuk dipakai karena akan meningkatkan proses polimerisasi di dalam benda uji sehingga bisa meningkatkan kuat tekan dan mengurangi berat volume pasta ringan dan pasta ringan berserat. Hal tersebut juga diperkuat oleh Erwin Rommel [11] yaitu pemakaian sistem perawatan dengan *steam curing* akan memberikan kekuatan awal yang lebih baik pada beton dengan *pozzolan* dibandingkan dengan beton konvensional (*non-steam*), dimana kekuatan beton mutu tinggi (K700) pada *pasca steam* dapat mencapai 51%, kemudian mencapai 52% dari umur rencana 28 hari.

#### Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton menggunakan mesin uji tarik beton dengan meletakkan benda uji pada arah memanjang diatas alat penguji, kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder dan diuji setelah beton mencapai umur 14 dan 21 hari. Hasil pengujian rata-rata setiap benda uji dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Silinder (Umur 14 Hari)

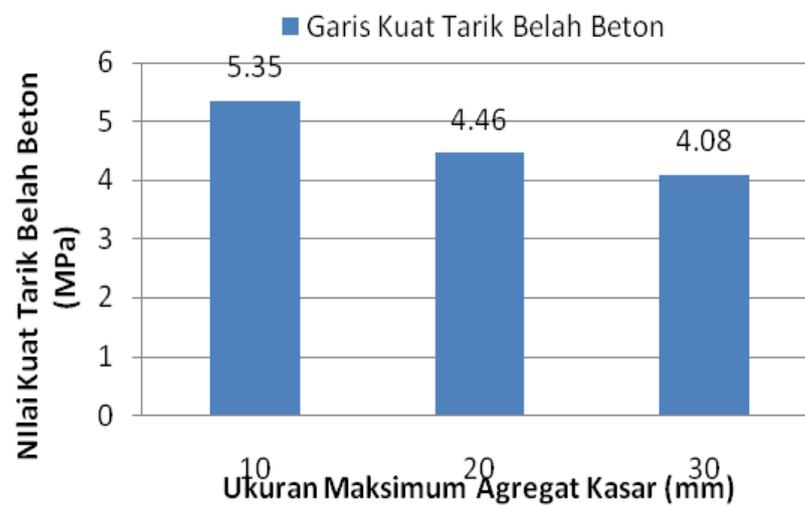
Ukuran Maksimum Agregat Kasar	Benda uji (L)	Berat (Kg)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Tinggi (mm <sup>2</sup> )	Diameter	Tekanan (MPa)	Rata-Rata (MPa)
10 mm	1	3,74	7853,98	200	100	5,09	5,35
	2	3,65	7853,98	200	100	5,60	
20 mm	1	3,67	7853,98	200	100	5,09	4,46
	2	3,71	7853,98	200	100	3,82	
30 mm	1	3,78	7853,98	200	100	3,57	4,08
	2	3,72	7853,98	200	100	4,58	

Sumber: Hasil Pengujian 2016

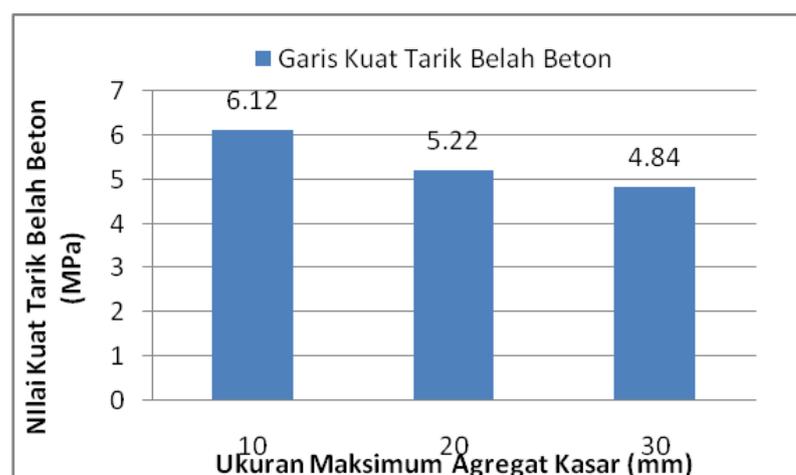
Tabel 12. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Silinder (Umur 21 Hari)

Ukuran Maksimum Agregat Kasar	Benda uji (L)	Berat (Kg)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Tinggi (mm <sup>2</sup> )	Diameter	Tekanan (MPa)	Rata-Rata (MPa)
10 mm	1	3,74	7853,98	200	100	6,37	6,12
	2	3,76	7853,98	200	100	5,86	
20 mm	1	3,70	7853,98	200	100	5,09	5,22
	2	3,74	7853,98	200	100	5,35	
30 mm	1	3,76	7853,98	200	100	4,58	4,84
	2	3,74	7853,98	200	100	5,09	

Sumber: Hasil Pengujian 2016



Gambar 4. Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah Rata-Rata Dengan Ukuran Maksimum Agregat Kasar Pada Umur Beton 14 Hari



Gambar 5. Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah Rata-Rata Dengan Ukuran Maksimum Agregat Kasar Pada Umur Beton 21 Hari

Komposisi beton geopolimer menggunakan ukuran maksimum agregat kasar 20 mm dan 30 mm pada umur 14 hari mengalami penurunan kuat tarik belah beton yang tidak terlalu signifikan yaitu dengan penurunan sebesar 16,64 % dari ukuran maksimum agregat kasar 10–20 mm, dan penurunan sebesar 8,52 % dari ukuran maksimum agregat kasar 20–30 mm. Sedangkan komposisi beton geopolimer menggunakan ukuran maksimum agregat kasar 20 mm dan 30 mm pada umur 21 hari mengalami penurunan kuat tarik belah beton yaitu dengan penurunan sebesar 14,71 % dari ukuran maksimum agregat kasar 10–20 mm, dan penurunan sebesar 7,28 % dari ukuran maksimum agregat kasar 20–30 mm. Penurunan nilai kuat tarik belah beton ini dapat disebabkan oleh variasi ukuran maksimum agregat kasar.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Adapun nilai kuat tekan dan kuat tarik belah hasil pengujian, yaitu:
  - a. Dari hasil pengujian, didapatkan nilai kuat tekan rata-rata tertinggi pada umur 14 hari untuk ukuran maksimum agregat kasar 10 mm sebesar 9,85 MPa. Lalu pada umur 21 hari, didapatkan nilai kuat tekan tertinggi rata-rata untuk ukuran maksimum agregat kasar 10 mm sebesar 11,04 Mpa.
  - b. Dari hasil pengujian, didapatkan nilai kuat tarik belah tertinggi rata-rata pada umur 14 hari untuk ukuran maksimum agregat kasar 10 mm sebesar 5,35 Mpa. Sedangkan pada umur 21 hari didapatkan nilai kuat tarik belah tertinggi rata-rata untuk ukuran maksimum agregat kasar 10 mm sebesar 6,12 Mpa.
2. Dari hasil pengujian, disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran maksimum agregat kasar, maka semakin besar kuat tekannya, begitu pula sebaliknya dan terjadinya penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah beton diikuti semakin besar ukuran maksimum pada agregat kasar.
3. Beton geopolimer ini bukan jenis beton struktural melainkan jenis beton non-struktural karena didapat nilai kuat tekan tertinggi sebesar 11,04 MPa (kuat tekan < 14 MPa).

### Saran

1. Untuk mendapatkan presentase gradasi gabungan ukuran maksimum agregat kasar, gradasi agregat kasar harus masuk di antara batas atas dan batas bawah ukuran maksimum agregat kasar menurut ASTM C-33 Tahun 1997 [7].
2. Selama proses pengadukan, kekentalan campuran beton harus diawasi terus dengan cara memeriksa nilai *slump* yang disesuaikan dengan rencana dan pada saat pengadukan air dimasukan sedikit demi sedikit agar nilai *slump* yang direncanakan sesuai kebutuhan pengaduk yang telah ditentukan.
3. Nilai kuat tekan beton pada penelitian ini dapat disebabkan oleh jenis *curing* yang tidak menggunakan sistem *steam* (pemanasan dengan oven) sehingga reaksi kimia pada pembuatan benda uji kurang maksimal. Perawatan beton dengan sistem *steam* dapat meningkatkan proses polimerisasi di dalam benda uji sehingga bisa meningkatkan kuat tekan dan mengurangi berat volume pasta beton geopolimer.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achmad, Djedjen., Hidjan A.G., (2012). *Efek Perawatan Terhadap Karakteristik Beton Geopolimer*, Politeknologi Volume 11. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta.
- [2] Davidovits, J., (1999). *Chemistry of geopolymer system, terminology*. In Proceeding of geopolymer system, terminology." In proceedings of Geopolymer '99 International Conferences, France.
- [3] Bimaputra, Arya. (1997). *Analisa Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton*. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [4] Wicaksana, Arya, Zainudin, M. Arif. (2011). *Pengaruh Bentuk dan Tekstur Agregat terhadap Mutu Beton*. Teknik Sipil Bangunan Gedung, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [5] Acosta, Dafi. 2009. *Pemanfaatan Fly Ash (Abu Terbang) Dari Pembakaran Batubara Pada PLTU Suralaya Sebagai Bahan Baku Pembuatan Refraktori Cor* (<http://dafi017.blogspot.com/2009/03/pemanfaatan-fly-ash-abu-terbangdari.html>), diakses tanggal 20 November 2015).
- [6] Davidovits, J., (1997). *“Geopolymer Inorganic Polymer New Material”*. France: Geopolymer Institute.
- [7] ASTM C-33. (1997). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. Diunduh pada tanggal 26 November 2015, dari <http://www.scribd.com/doc/243242378/ASTM-C33-PDF>

- [8] Anuradha, R., Sreevidya, V., Venkatasubramani, R., dan Rangan, B.V., (2011). *Modified Guidelines for Geopolymer Concrete Mix Design Using Indian Standard*. India: Department of Civil Engineering, VLB Janakiammal College of Engineering and Technology Kovaipudur, Coimbatore.
- [9] Arbi, M. Hasbi. (2012). *Pengaruh Agregat Terhadap Mutu Beton*. Universitas Almuslim, Matanggulumpangdua-Bireun.
- [10] Ardi B., Hanif Nurul, Triwulan, Januarti Jaya Ekaputri. (2013). *Pasta Geopolimer Ringan Berserat Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo Bakar Dan Fly Ash Perbandingan 1:3 Dengan Pengembang Foam*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [11] Rommel, Erwin. (2011). *Pengaruh Pemberian Perawatan Steam Curing Terhadap Kekuatan dan Durabilitas Beton Dengan Semen Pozzolan (Effect of Steam Curing on Strength and Durability Concrete With Cement Pozzolan)*. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang.
- [12] Coenraad, R. (2017). METHODS OF HOUSING CONSTRUCTION STEPS IN PALANGKA RAYA CITY. *BALANGA: Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 5(2), 16-28.
- [13] Davidovits, J., (1994). *“Properties of Geopolymer”*. France: Geopolymer Institute.
- [14] Diharjo, dkk. (2012). *Sifat Tahan Api dan Kekuatan Bending Komposit Geopolimer: Analisis Pemilihan Jenis Partikel Geomaterial*. Paper. Prosiding InSINas 2012.
- [15] Mindess Sidney and J. Francis Young. (1972). *Concrete*. Prentice-Hall, Inc: New Jersey.
- [16] Patrisia, Y. (2014) Self Compacting Concrete using Fly Ash and Dust Stone as Filler Material. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan “Balanga”* (ISSN 2338-462X), 2(1), 70-80.
- [17] Patrisia, Y., & Coenraad, R. (2014). MATHEMATIC MODELLING OF CONCRETE PUMP PRODUCTIVITY ON THE CONCRETE WORK OF CONSTRUCTION PROJECT IN PALANGKA RAYA. *BALANGA: Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 2(2), 12-22.
- [18] Tjokrodimuljo, K., (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri.
- [19] Tjokrodimuljo, K., (2007). *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.