

# PEMANFAATAN APG (AGREGAT PECAHAN GENTENG) ASAL GODEAN SERTA OPTIMASI PROPORSI CAMPURANNYA PADA REKAYASA BETON SUBSTITUSI

Setijadi Harianto MN

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Janabadra  
Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta Telp 0274-561039

**Abstract:** It suggested exploiting local materials and waste such as the roof tile fraction as aggregate, known as substitution concrete of roof tile fraction (SPG concrete). This research makes use aggregate of roof tile fraction (APG) from Godean area. Research target is in order to additional economic value for waste of roof tile Godean area. There are defined several groups and variants, which group mean load percentage of substitution of aggregate and usage of Silica Fume, while variant mean load percentage of aggregate faction. There are seven groups, which each consist of three variants, and two group with single variant so that totalize 115 object test. The object tested by the strength compressed at age 28 day, checked a weight set of, also other parameter, and then analyzed. Test result shows that maximum strength compressed, found in group A. Using formula mixture group  $A=(0,5G+7,5SF)$  with variant  $A_{6-10}=(0,38.G-10+0,62.G-20)\times 0,5G$  obtained strength compressed  $\sigma = 162,3550 \text{ kg/cm}^2$  and weight set of unit BS =  $2,0767 \text{ kg/cm}^2$ . This shows that SPG concrete can serve the structural concrete and categorize of semi light concrete. Also, found that Silica Fume improves strength depress concrete at normal concrete and at SPG concrete.

**Keywords:** beton normal, Silika Fume, beton SPG, APG

**Abstrak.** Saat ini dianjurkan untuk memanfaatkan limbah dan bahan lokal misalnya pecahan genteng, sebagai pengganti krikil beton dan dikenal sebagai beton substitusi pecahan genteng (disebut beton SPG). Penelitian beton SPG ini menggunakan agregat pecahan genteng (APG) asal Godean. Tujuan penelitian adalah agar terdapat nilai-2 ekonomis tambahan untuk limbah genteng di daerah Godean. Didefinisikan grup dan varian dengan setiap grup memuat prosentase substitusi agregat dan prosentase pemakaian Silika Fume sedangkan setiap varian memuat prosentase fraksi agregat. Terdapat 7 grup yang masing-2 terbagi dalam 3 varian ditambah 2 grup dengan varian tunggal sehingga total 115 buah benda uji. Seluruhnya diuji kuat tekan pada umur 28 hari, diperiksa berat satuannya, serta parameter-2 lainnya untuk kemudian dianalisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton SPG maksimum terjadi di grup A. Menggunakan formula proporsi campuran grup  $A=(0,5G+ 7,5SF)$  dengan varian  $A_{6-10} = (0,38 \text{ fraksi } G-10+0,62 \text{ fraksi } G-20) \times 0,5G$  diperoleh kuat tekan  $\sigma = 162,3550 \text{ kg/cm}^2$  dan berat satuan BS =  $2,0767 \text{ kg/cm}^2$ . Hasil tersebut menunjukkan bahwa beton SPG dapat digunakan sebagai beton struktural dan termasuk kategori beton semi ringan. Juga ditemukan bahwa Silika Fume meningkatkan kuat tekan beton baik pada beton normal maupun beton SPG.

**Kata kunci:** beton normal, Silika Fume, beton SPG, APG

## PENDAHULUAN

Godean telah lama dikenal sebagai daerah penghasil genteng. Daerah tersebut juga meng-hasilkan limbah berupa pecahan genteng. (Khanapi, 2002).

Melihat kondisi tersebut serta sifat genteng Godean yang ringan tetapi kekuatannya tinggi, maka timbul pemikiran

untuk memanfaatkan limbah pecahan genteng sebagai pengganti agregat kasar. Selanjutnya agregat pecahan genteng disebut APG, sedangkan beton dengan APG disebut beton substitusi pecahan genteng, ditulis beton SPG. Menurut SK SNI T-15-1990-03, beton normal adalah beton dengan berat satuan antara 2200-2500  $\text{kg/m}^3$ , menurut Imran, (2003), berat

tersebut adalah 2160–2560 kg/m<sup>3</sup>. Beton normal tersebut juga harus menggunakan agregat normal dengan berat jenis antara 2,5–2,7 gr/cm<sup>3</sup> (SK SNI T–15–1990–03), dan mempunyai kuat tekan beton minimal 10 MPa (Neville, 1995).

Jika agregat normal campuran beton diganti dengan agregat jenis lain, maka akan terjadi perubahan kuat tekan dan berat isi beton serta beberapa parameter lainnya. Oleh sebab itu penggantian agregat kasar beton dengan agregat kasar pecahan genteng menyebabkan penurunan kuat tekan dan penurunan berat isi beton yang dihasilkan (Khanapi, 2002).

Selanjutnya, terdapat spesifikasi SK SNI T–15–1990–03 untuk beton normal apabila berhubungan dengan agregat normal, dan spesifikasi SK SNI T-09-1993-03 untuk beton ringan, apabila berhubungan dengan agregat ringan (Anonim, 1990). APG tidak termasuk dalam agregat normal maupun agregat ringan. Oleh sebab itu kedua spesifikasi tersebut di atas tidak dapat dipergunakan dalam perancangan beton semi ringan (Tjokrodimuljo, 1996).

Kuat tekan beton akan berubah bila proporsi campuran betonnya berbeda, oleh sebab itu perlu diteliti proporsi campuran beton SPG yang menghasilkan kuat tekan yang baik.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, menarik sekali bila dilakukan penelitian memanfaatkan limbah pecahan genteng dengan mencari optimasi prosentase penggantian agregat, sedangkan dalam setiap varian prosentase tersebut, dicari pula optimasi proporsi campuran adukan betonnya. Untuk mempertinggi kuat tekan beton, ke dalam adukan ditambahkan *Silika Fume* 7,5 % berat semen (Rajamane et al, 1999), sedangkan permasalahan yang diambil adalah sebagai berikut.

1. Seberapakah kuat tekan dan berat satuan beton SPG, pada proporsi adukan tertentu?
2. Berapakah prosentase substitusi agregat yang menghasilkan kuat tekan dan penurunan berat satuan, yang keduanya secara bersama-sama, masih dapat diterima dan dipergunakan dalam perancangan struktur.

Adapun tujuan pokok dalam penelitian ini adalah:

1. Menjajagi kemungkinan pemanfaatan limbah genteng sebagai agregat kasar beton.
2. Mencari formula proporsi campuran yang optimal.
3. Memperoleh berbagai informasi yang cukup tentang penggunaan APG pada beton struktural.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Beton Struktural dan Non Struktural**

Beton struktural adalah beton dengan syarat-syarat tertentu sehingga dapat digunakan dan memenuhi standar sebagai bahan dasar struktur. Struktur yang dimaksud adalah struktur dengan bahan utama beton bertulang dan harus memenuhi standar perancangan yang terkait. Beton non struktural adalah beton yang karena sifat dan kinerjanya, tidak boleh digunakan sebagai bahan dasar struktur.

### **Formula Proporsi Campuran Beton**

Beton adalah batu buatan hasil campuran antara air, semen, dan agregat dalam suatu perbandingan tertentu (Tjokrodimuljo, 1996). Agregat terdiri 2 macam, yaitu agregat halus (pasir) dan agregat kasar (krikil). Perbandingan komponen-komponen beton tersebut (yang kemudian disebut proporsi campuran) harus direncanakan dengan salah satu atau beberapa cara. Hasil perencanaan

proporsi campuran (dengan hasil beton yang baik) kemudian diformulasikan ke dalam formula proporsi campuran.

### **Beton Silika Fume dan Beton SPG**

Beton *Silika Fume* adalah beton dengan penambahan *Silika Fume*, yaitu suatu jenis bahan mikrosilika aktif. Bahan ini merupakan bahan aditif yang biasa ditambahkan pada pembuatan beton mutu tinggi dan beton mutu sangat tinggi (Sika, 2002). *Silika Fume* (ditulis SF) umumnya memberi sumbangan yang besar terhadap kinerja beton terutama pada beton mutu tinggi dan menghasilkan peningkatan kuat tekan beton serta kekedapan beton (Khanapi, 2002; Rajamane et al, 1999; Sika, 2002.).

Khanapi (2002), melakukan eksperimen percobaan beton substitusi menggunakan pecahan genteng dan menemukan bahwa berat jenis SSD agregat pecahan genteng adalah sebesar  $2,1705 \text{ kg/cm}^3$ . Dengan nilai tersebut, agregat pecahan genteng ini tidak dapat digolongkan ke dalam agregat normal, maka SK SNI T-15-1990-03 tidak dapat digunakan.

### **Beton Ringan dan Beton Semi Ringan**

Beton ringan adalah beton dengan berat satuan antara  $1360 - 1840 \text{ kg/m}^3$  (Imran, 2003). Beton ringan juga ditandai dengan penggunaan agregat ringan yaitu agregat dengan berat isi kering gembur maksimum  $1100 \text{ kg/m}^3$  (Tjokrodimuljo, 1996).

SK SNI T-09-1993-03 adalah spesifikasi yang mengatur tentang tata cara pembuatan campuran beton ringan tanpa bahan tambah (Anonim, 1993).

Hasil penelitian Khanapi menyatakan bahwa berat isi kering oven agregat pecahan genteng adalah  $1,0431 \text{ kg/cm}^3$ , tetapi berat isi

beton yang dihasilkan adalah  $2180,58 \text{ kg/m}^3$  (Khanapi, 2002). Dengan demikian SK SNI T-09-1993-03 tidak dapat digunakan untuk merancang beton SPG.

Beton normal mempunyai berat satuan beton terendah sebesar  $2160 \text{ kg/m}^3$  sedangkan berat satuan beton ringan tertinggi adalah  $1840 \text{ kg/m}^3$ , sehingga terdapat gap nilai berat satuan antara  $1840-2160 \text{ kg/m}^3$  yang dalam penelitian ini diklasifikasi sebagai beton semi ringan.

Perancangan campuran adukan beton dapat direncanakan menggunakan beberapa cara diantaranya adalah cara *trial and error* (coba-coba) yaitu dengan mengambil nilai proporsi campuran dari hasil penelitian yang terdahulu dan mengujinya dari beberapa aspek, yaitu kepadatan adukan, kuat tekan dan lain sebagainya (Tjokrodimuljo, 1996).

## **METODE PENELITIAN**

### **Rancangan Penelitian**

Rancangan penelitian adalah membuat beton uji silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm, terbagi dalam 9 grup varian prosentase substitusi agregat. Sebanyak 7 grup varian terdiri atas 3 varian proporsi adukan yang masing-masing terdiri atas 5 benda uji. Sedangkan 2 grup varian sisanya terdiri atas varian tunggal dengan masing-masing terdiri 5 benda uji. Pada sebagian benda uji, digunakan bahan tambah *Silika Fume* dengan dipilih merek *Sika Fume* produksi PT. Sika Nusa Pratama. Untuk memperoleh bukti peran *Silika Fume* terhadap peningkatan kuat tekan, dibuat 3 grup varian benda uji beton dengan *Silika Fume* dan tanpa *Silika Fume*. Masing-masing adalah grup NOR=(0,0.G+0,0.SF) terdiri dari 5 benda uji, dan grup NSF=(0,0.G+7,5.SF) dengan 5 benda uji serta grup H=(1,0.G+0,0.SF) dengan 3x5

benda uji. Jadi terdapat  $7 \times 3 \times 5 + 5 + 5 = 115$  buah benda uji. Skenario rancangan penelitian ditabelkan pada Tabel 1.

Adapun perbandingan dasar campuran diambil dengan cara coba-coba dan digunakan perbandingan berat sebagai berikut:

1(semen): 1,62(pasir): 2,64(agregat kasar): 0,5(air): 0,075(silika fume).

Agregat kasar (krikil) di-substitusi APG menggunakan formula grup, dengan perbandingan: 0,5.G; 0,6.G; 0,7.G; 0,8.G; 0,9.G dan

1,0.G dengan G = total berat agregat kasar, sedangkan prosentase fraksi-fraksi seperti dalam Tabel 1.

### Bahan Penelitian

1. Semen PPC tipe I merk Tiga Roda, air
2. Pasir K. Progo dan *Split* Clereng Ø5–20 mm,
3. APG asal Godean Ø5–20 mm (keluaran *stone crusher*), *Silika Fume* merek *Sika Fume*, produksi PT. Sika Nusa Pratama. Dosis yang digunakan adalah 7,5% berat semen.

**Tabel 1.** Skenario rancangan penelitian

No.	Nama grup Benda Uji	Proporsi agregat kasar substitusi	Kode benda uji	Jumlah benda uji
1	Grup A (0,5G+ 7,5SF)	(0,28 fraksi G-10+ 0,72 fraksi G-20) x 0,5G)	A <sub>1-5</sub>	5
		(0,38 fraksi G-10+ 0,62 fraksi G-20) x 0,5G)	A <sub>6-10</sub>	5
		(0,48 fraksi G-10+ 0,52 fraksi G-20) x 0,5G)	A <sub>11-15</sub>	5
2	Grup B (0,6G+ 7,5SF)	(0,28 fraksi G-10+ 0,72 fraksi G-20) x 0,6G)	B <sub>1-5</sub>	5
		(0,38 fraksi G-10+ 0,62 fraksi G-20) x 0,6G)	B <sub>6-10</sub>	5
		(0,48 fraksi G-10+ 0,52 fraksi G-20) x 0,6G)	B <sub>11-15</sub>	5
3	Grup C (0,7G+ 7,5SF)	(0,28 fraksi G-10+ 0,72 fraksi G-20) x 0,7G)	C <sub>1-5</sub>	5
		(0,38 fraksi G-10+ 0,62 fraksi G-20) x 0,7G)	C <sub>6-10</sub>	5
		(0,48 fraksi G-10+ 0,52 fraksi G-20) x 0,7G)	C <sub>11-15</sub>	5
4	Grup D (0,8G+ 7,5SF)	(0,28 fraksi G-10+ 0,72 fraksi G-20) x 0,8G)	D <sub>1-5</sub>	5
		(0,38 fraksi G-10+ 0,62 fraksi G-20) x 0,8G)	D <sub>6-10</sub>	5
		(0,48 fraksi G-10+ 0,52 fraksi G-20) x 0,8G)	D <sub>11-15</sub>	5
5	Grup E (0,9G+ 7,5SF)	(0,28 fraksi G-10+ 0,72 fraksi G-20) x 0,9G)	E <sub>1-5</sub>	5
		(0,38 fraksi G-10+ 0,62 fraksi G-20) x 0,9G)	E <sub>6-10</sub>	5
		(0,48 fraksi G-10+ 0,52 fraksi G-20) x 0,9G)	E <sub>11-15</sub>	5
6	Grup F (1,0G+ 7,5SF)	(0,28 fraksi G-10+ 0,72 fraksi G-20) x 1,0G)	F <sub>1-5</sub>	5
		(0,38 fraksi G-10+ 0,62 fraksi G-20) x 1,0G)	F <sub>6-10</sub>	5
		(0,48 fraksi G-10+ 0,52 fraksi G-20) x 1,0G)	F <sub>11-15</sub>	5
7	Grup H (1,0G+ 0,0SF)	(0,28 fraksi G-10+ 0,72 fraksi G-20) x 1,0G)	H <sub>1-5</sub>	5
		(0,38 fraksi G-10+ 0,62 fraksi G-20) x 1,0G)	H <sub>6-10</sub>	5
		(0,48 fraksi G-10+ 0,52 fraksi G-20) x 1,0G)	H <sub>11-15</sub>	5
8	Grup NOR	(0,38 fraksi K-10+ 0,62 fraksi K-20) x 1,0G)	NOR <sub>1-5</sub>	5
9	Grup NSF	(0,38 fraksi K-10+ 0,62 fraksi K-20) x 1,0G)	NSF <sub>1-5</sub>	5

#### Catatan:

G-10 = fraksi APG lolos 10 mm tertahan 5 mm.  
 G-20 = fraksi APG lolos 20 mm tertahan 10 mm.  
 NOR = beton normal  
 G = total jumlah berat agregat kasar

K-10 = fraksi krikil lolos 10 mm tertahan 5 mm.  
 K-20 = fraksi krikil lolos 20 mm tertahan 10 mm.  
 NSF = NOR+7,5SF

### Alat Penelitian

Alat penelitian yang digunakan berupa : *Stone crusher*, *vibrator*, timbangan, saringan agregat, piknometer, oven, gelas ukur, mesin Los Angeles, mesin aduk beton, kerucut Abram's, cetakan silinder, mesin uji kuat tekan beton dan alat penunjang lainnya.

### Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Janabadra dan juga dilaksanakan di lapangan (*quarry*). Secara garis besar tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tahap penyiapan bahan, meliputi:

- a. pengadaan bahan susun beton yaitu air, pasir, krikil, semen, *sika fume* dan APG,
- b. penyiapan bahan berfraksi,
  - Krikil disiapkan dalam dua fraksi yaitu K-20 dan K-10. Fraksi K-20 adalah krikil lolos saringan 20 mm dan tertahan saringan 10 mm, sedangkan fraksi K-10 adalah krikil lolos saringan 10 mm dan tertahan 5 mm.
  - APG juga disiapkan dalam 2 fraksi yaitu fraksi G-20 dan fraksi G-10. Fraksi G-20 adalah APG lolos saringan 20 mm tertahan saringan 10 mm, sedangkan fraksi G-10 adalah APG lolos saringan 10 mm dan tertahan 5 mm.
2. Tahap pemeriksaan bahan meliputi: syarat bahan, gradasi agregat, berat jenis agregat.
3. Tahap perencanaan campuran beton,
4. Tahap pencampuran bahan adukan.
5. Tahap pembuatan dan perawatan benda uji,
6. Tahap pengujian sifat-sifat mekanik beton.

## HASIL PENELITIAN

### Temuan Dalam Penelitian

Pada awal penelitian, diperoleh temuan bahwa APG yang diperoleh dengan cara konvensional yakni yang diperoleh dengan dipecah menggunakan palu, kurang bagus hasilnya karena agregat memiliki retak-retak rambut dan pada waktu terkena air akan terpecah-pecah menjadi ukuran yang lebih kecil. Berdasarkan temuan ini maka harus digunakan *stone crusher* yang menggunakan mata pisau di dalamnya.

### Pemeriksaan Baku Agregat

Pemeriksaan baku agregat terdiri dari baku agregat kasar, dan pemeriksaan baku pemeriksaan baku agregat halus, pemeriksaan

agregat kasar pengganti (APG).

Hasil pemeriksaan baku agregat tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

### Pemeriksaan Gradasi

Sebagai salah satu cara untuk memperoleh kesimpulan tentang kepadatan campuran beton, dilakukan pemeriksaan gradasi agregat halus dan agregat campuran.

Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa pasir yang digunakan berada pada daerah 2 (pasir agak kasar), dengan modulus halus butirnya (m.h.b) sebesar 2,955. Hal ini menunjukkan bahwa pasir asal kali Progo tersebut dapat digunakan sebagai bahan susun beton dalam penelitian ini, karena mempunyai nilai m.h.b yang berada dalam batas standar yaitu antara 1,5 – 3,8 (Tjokrodinuljo, 1996).

Gradasi agregat dapat menunjukkan kepadatan adukan beton yang sedang dibuat. Pemeriksaan gradasi agregat campuran pada penelitian ini, dilakukan untuk semua varian beton percobaan. Hasil pemeriksaan gradasi agregat campuran menunjukkan bahwa gradasi agregat campuran cukup baik karena berada pada daerah 2 kurva gradasi (SK SNI T-15-1990-03, 1990).

### Penelitian Peran *Silika Fume*

Dalam penelitian ini digunakan *Silika Fume*, yang dipilih merk *Sika Fume* dan diperkirakan dapat meningkatkan kuat tekan beton baik beton normal maupun beton berbasis pozzolan (Rajamane et al, 1999).

Pengujian beton untuk penyelidikan peran *Silika Fume* dapat dilihat pada Tabel 3 serta Tabel 4, meliputi:

- a). beton normal NOR,
- b). beton normal NSF = (NOR+7,5SF),

- c). beton SPG grup F = (1,0G+7,5SF),  
 d). beton SPG grup H = (1,0G+0,0SF),

Pada umur 28 hari, beton SPG diperiksa berat satuan dan kuat tekannya, kemudian hasilnya ditabelkan pada Tabel 5 sebagai berikut.

### Pemeriksaan Berat Satuan dan Kuat Tekan

**Tabel 2.** Hasil pemeriksaan agregat dan APG

No.	Nama pemeriksaan	Hasil pemeriksaan		
		Pasir alami asal K. Progo	Krikil asal K. Clereng	APG asal Godean
1	Nama dan asal bahan			
2	Kadar air (%)	2,510	2,62	19,765
3	Berat jenis kering permukaan (SSD)	2,664	2,789	2,171
4	Penyerapan (%)	1,833	1,276	15,067
5	Berat isi (gr/cm <sup>3</sup> )	1,328	1,316	1,053
6	Kadar keausan (%)			49,300
7	Modulus halus butir (mhb)	2,995		
8	Kandungan lumpur (%)	1,833		

**Tabel 3.** Hasil pemeriksaan dan pengujian beton normal, kode grup NOR dan NSF

No.	Nama grup Benda Uji dan formula proporsi campuran	Kode benda uji	Berat Satuan (gr/cm <sup>3</sup> )	Berat Satuan rata-rata (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan rata-rata (kg/cm <sup>2</sup> )	Peningkatan (%)
1	Grup NOR (Formula NOR)	NOR <sub>1</sub>	2,2117	2,2184	254,2375	255,7747	-
		NOR <sub>2</sub>	2,2128		258,8650		
		NOR <sub>3</sub>	2,2136		256,1351		
		NOR <sub>4</sub>	2,2267		256,4765		
		NOR <sub>5</sub>	2,2275		253,1597		
2	Grup NSF (Formula NOR + 7,5SF)	NSF <sub>1</sub>	2,2059	2,2203	258,5223	272,9180	6,70
		NSF <sub>2</sub>	2,2257		277,4528		
		NSF <sub>3</sub>	2,2215		283,6167		
		NSF <sub>4</sub>	2,2104		269,0062		
		NSF <sub>5</sub>	2,2379		275,9933		

Keterangan : Formula NOR = beton normal

### PEMBAHASAN

Dari hasil Tabel 3, diperoleh kenaikan kuat tekan rata-2 sebesar 6,7 % akibat penambahan SF. Hal ini menunjukkan peran *Silika Fume* pada beton normal yaitu perolehan kenaikan kuat tekan akibat penambahan *Silika Fume*. Dari Tabel 4 diperoleh kenaikan kuat tekan rata-2 sebesar 8,69–14,26% pada beton SPG 100%.

Dari Tabel 4 dan Tabel 5, diperoleh kuat tekan terbesar terjadi pada grup B varian B<sub>6-10</sub> dengan nilai kuat tekan sebesar  $\sigma = 162,6609$  kg/cm<sup>2</sup> tetapi kuat tekan rata-rata dalam satu grup terjadi pada grup A varian A<sub>6-10</sub> sekaligus menunjukkan formula proporsi adukan yang

optimal yaitu Formula Grup A Varian A<sub>6-10</sub>.

### KESIMPULAN

Dari seluruh uraian tersebut di muka, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Limbah pecahan genteng asal Godean, dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi agregat beton.
2. Untuk dapat memanfaatkan limbah pecahan genteng sebagai bahan substitusi agregat beton, harus digunakan *stone crusher*.
3. Untuk dapat memanfaatkan limbah pecahan genteng asal Godean sebagai bahan substitusi agregat, harus digunakan formula proporsi campuran yang dapat menghasilkan

kuat tekan yang optimum.

4. Formula proporsi campuran beton SPG yang terbaik, sesuai hasil penelitian ini adalah Formula Grup A=(0,5G+7,5SF), yaitu agregat yang terdiri dari 50% krikil dan 50% APG, dengan gradasi APG harus memenuhi formula varian  $A_{6-10}=(38\%$  fraksi G-10 dan 62% fraksi G-20) serta menggunakan bahan tambah *Silika Fume* dosis 7,5%.
5. Kuat tekan beton SPG menggunakan

Formula Grup A=(0,5G+7,5SF) tersebut adalah sebesar  $\sigma = 162,3550 \text{ kg/cm}^2$ , asal terpenuhi formula varian  $A_{6-10}$ . Dengan demikian beton SPG formula grup A=(0,5G+7,5SF) dengan varian  $A_{6-10}$  dapat digunakan sebagai beton struktural.

6. Berat satuan beton SPG dengan formula A=(0,5G+7,5SF) varian  $A_{6-10}$  adalah sebesar  $BS_{0,5G+7,5SF} = 2,0767 \text{ gr/cm}^3$ , termasuk pada kelompok beton semi ringan.

**Tabel 4.** Hasil pemeriksaan dan pengujian beton SPG, kode grup F, H, A

No.	Nama grup Benda Uji	Nama varian	Kode benda uji	Berat Satuan ( $\text{gr/cm}^3$ )	Berat Satuan Rata-2 ( $\text{gr/cm}^3$ )	Kuat tekan ( $\text{kg/cm}^2$ )	Kuat tekan rata-2 ( $\text{kg/cm}^2$ )	Kuat tekan rata-rata grup ( $\text{kg/cm}^2$ )
1	Gup F (1,0G+7,5SF)	Varian F <sub>1-5</sub> (Formula F <sub>1-5</sub> )	F <sub>1</sub>	2,0223	2,0174	116,1969	117,2945	119,69
			F <sub>2</sub>	2,0190		114,8585		
			F <sub>3</sub>	2,0119		117,9426		
			F <sub>4</sub>	2,0103		113,4170		
			F <sub>5</sub>	2,0235		124,0580		
		Varian F <sub>6-10</sub> (Formula F <sub>6-10</sub> )	F <sub>6</sub>	2,0053	2,0108	132,9262	129,0048	
			F <sub>7</sub>	2,0180		126,4735		
			F <sub>8</sub>	2,0171		134,7552		
			F <sub>9</sub>	2,0419		124,0577		
			F <sub>10</sub>	1,9715		126,8114		
		Varian F <sub>11-15</sub> (Formula F <sub>11-15</sub> )	F <sub>11</sub>	2,0545	2,0078	105,8247	112,7610	
			F <sub>12</sub>	2,0129		102,0892		
			F <sub>13</sub>	1,9950		97,9508		
			F <sub>14</sub>	1,9773		95,2462		
			F <sub>15</sub>	1,9992		99,5046		
2	Grup H (1,0G+0,0SF)	Varian H <sub>1-5</sub> (Formula F <sub>1-5</sub> - 7,5SF)	H <sub>1</sub>	2,0239	2,0193	103,1061	107,9160	106,98
			H <sub>2</sub>	1,9637		99,2022		
			H <sub>3</sub>	2,0539		106,9626		
			H <sub>4</sub>	2,0247		112,3662		
			H <sub>5</sub>	2,0302		117,9426		
		Varian H <sub>6-10</sub> (Formula F <sub>6-10</sub> - 7,5SF)	H <sub>6</sub>	2,0418	2,0113	109,6964	112,9070	
			H <sub>7</sub>	2,0207		118,4363		
			H <sub>8</sub>	2,0094		110,5443		
			H <sub>9</sub>	1,9785		108,2614		
			H <sub>10</sub>	2,0059		117,5964		
		Varian H <sub>11-15</sub> (Formula F <sub>11-15</sub> - 7,5SF)	H <sub>11</sub>	1,9807	2,0068	116,6581	100,1231	
			H <sub>12</sub>	2,0198		113,7896		
			H <sub>13</sub>	1,9893		107,2587		
			H <sub>14</sub>	2,0124		110,1043		
			H <sub>15</sub>	2,0318		115,9944		
3	Grup A (0,5G+7,5SF)	Varian A <sub>1-5</sub> (Formula A <sub>1-5</sub> )	A <sub>1</sub>	2,0489	2,0866	169,2871	156,8246	158,92
			A <sub>2</sub>	2,0620		156,3644		
			A <sub>3</sub>	2,1289		152,8222		
			A <sub>4</sub>	2,1132		157,2368		
			A <sub>5</sub>	2,0799		148,4127		
		Varian A <sub>6-10</sub> (Formula A <sub>6-10</sub> )	A <sub>6</sub>	2,0174	2,0767	151,1469	162,3550	
			A <sub>7</sub>	2,0851		169,0615		
			A <sub>8</sub>	2,0812		183,8120		
			A <sub>9</sub>	2,1002		146,2213		
			A <sub>10</sub>	2,0994		161,5335		

No.	Nama grup Benda Uji	Nama varian	Kode benda uji	Berat Satuan (gr/cm <sup>3</sup> )	Berat Satuan Rata-2 (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan rata-2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan rata-rata grup (kg/cm <sup>2</sup> )
		Varian A <sub>11-15</sub> (Formula A <sub>11-15</sub> )	A <sub>11</sub>	2,0453	2,0607	161,9500	157,5671	
			A <sub>12</sub>	2,0547		152,7591		
			A <sub>13</sub>	2,0689		159,8007		
			A <sub>14</sub>	2,0674		149,2074		
			A <sub>15</sub>	2,0673		164,1180		

**Tabel 5.** Hasil pemeriksaan dan pengujian beton SPG, kode grup B,C, D dan E

No.	Nama grup Benda Uji	Nama varian	Kode benda uji	Berat Satuan (gr/cm <sup>3</sup> )	Berat Satuan Rata-2 (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan rata-2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan rata-rata grup (kg/cm <sup>2</sup> )
4	Grup B (0,6G+7,5SF)	Varian B <sub>1-5</sub> (Formula B <sub>1-5</sub> )	B <sub>1</sub>	2,0694	2,0583	158,9490	160,3977	157,33
			B <sub>2</sub>	2,0746		173,7209		
			B <sub>3</sub>	2,0549		161,9654		
			B <sub>4</sub>	2,0115		152,4876		
			B <sub>5</sub>	2,0810		154,8655		
		Varian B <sub>6-10</sub> (Formula B <sub>6-10</sub> )	B <sub>6</sub>	2,0164	2,0544	172,3312	162,6609	
			B <sub>7</sub>	2,0149		154,2673		
			B <sub>8</sub>	2,0743		155,0184		
			B <sub>9</sub>	2,0647		169,2871		
			B <sub>10</sub>	2,1017		162,4008		
		Varian B <sub>11-15</sub> (Formula B <sub>11-15</sub> )	B <sub>11</sub>	2,0651	2,0516	151,8024	148,9271	
			B <sub>12</sub>	2,0322		141,7347		
			B <sub>13</sub>	2,0459		156,5733		
			B <sub>14</sub>	2,0645		145,0212		
			B <sub>15</sub>	2,0505		149,5039		
5	Grup C (0,7G+7,5SF)	Varian C <sub>1-5</sub> (Formula C <sub>1-5</sub> )	C <sub>1</sub>	2,0241	2,0472	128,6200	129,0894	133,18
			C <sub>2</sub>	2,0323		130,8680		
			C <sub>3</sub>	2,0803		128,9649		
			C <sub>4</sub>	2,0467		131,8113		
			C <sub>5</sub>	2,0527		125,1829		
		Varian C <sub>6-10</sub> (Formula C <sub>6-10</sub> )	C <sub>6</sub>	2,0428	2,0443	150,1917	143,5708	
			C <sub>7</sub>	2,0846		150,8161		
			C <sub>8</sub>	2,0183		136,7978		
			C <sub>9</sub>	2,0317		132,9262		
			C <sub>10</sub>	2,0441		147,1222		
		Varian C <sub>11-15</sub> (Formula C <sub>11-15</sub> )	C <sub>11</sub>	2,0392	2,0408	124,1874	126,6673	
			C <sub>12</sub>	2,0447		123,4233		
			C <sub>13</sub>	2,0393		128,4481		
			C <sub>14</sub>	2,0614		126,6423		
			C <sub>15</sub>	2,0194		131,6356		
6	Grup D (0,8G+7,5SF)	Varian D <sub>1-5</sub> (Formula D <sub>1-5</sub> )	D <sub>1</sub>	2,0459	2,0381	127,4240	126,1919	123,69
			D <sub>2</sub>	2,0350		120,9884		
			D <sub>3</sub>	2,0634		127,0393		
			D <sub>4</sub>	2,0368		120,1809		
			D <sub>5</sub>	2,0093		135,3268		
		Varian D <sub>6-10</sub> (Formula D <sub>6-10</sub> )	D <sub>6</sub>	2,0248	2,0316	124,5872	124,4528	
			D <sub>7</sub>	2,0296		129,0545		
			D <sub>8</sub>	2,0367		122,1129		
			D <sub>9</sub>	2,0294		122,4515		
			D <sub>10</sub>	2,0375		124,0577		
		Varian D <sub>11-15</sub> (Formula D <sub>11-15</sub> )	D <sub>11</sub>	2,0287	2,0300	116,9713	120,4253	
			D <sub>12</sub>	2,0514		124,6121		
			D <sub>13</sub>	2,0050		119,0474		
			D <sub>14</sub>	2,0311		118,7302		
			D <sub>15</sub>	2,0339		122,7655		
7	Grup E (0,9G+7,5SF)	Varian E <sub>1-5</sub> (Formula E <sub>1-5</sub> )	E <sub>1</sub>	2,0374	2,0277	113,7196	119,0265	120,98
			E <sub>2</sub>	2,0270		117,1628		
			E <sub>3</sub>	2,0291		120,0276		
			E <sub>4</sub>	2,0310		123,2342		
			E <sub>5</sub>	2,0142		120,9884		

No.	Nama grup Benda Uji	Nama varian	Kode benda uji	Berat Satuan uji (gr/cm <sup>3</sup> )	Berat Satuan Rata-2 (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan rata-2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan rata-rata grup (kg/cm <sup>2</sup> )
		Varian E <sub>6-10</sub> (Formula E <sub>6-10</sub> )	E <sub>6</sub>	2,0184	2,0250	122,5813	129,0732	
			E <sub>7</sub>	2,0057		125,6851		
			E <sub>8</sub>	2,0330		137,5377		
			E <sub>9</sub>	2,0378		128,2766		
			E <sub>10</sub>	2,0302		131,2853		
		Varian E <sub>11-15</sub> (Formula E <sub>11-15</sub> )	E <sub>11</sub>	2,0461	2,0187	114,0236	114,8401	
			E <sub>12</sub>	2,0208		117,1271		
			E <sub>13</sub>	2,0032		113,1811		
			E <sub>14</sub>	2,0168		113,7196		
			E <sub>15</sub>	2,0064		116,1491		

7. *Silika Fume* terbukti dapat menaikkan kuat tekan beton seperti dilaporkan penelitian sebelumnya, yaitu sebesar  $\Delta = 6,70\%$  pada beton normal dengan semen PPC tipe I dan antara 8,69–14,26% pada beton SPG 1,0.G (yaitu beton dengan 100% APG) menggunakan semen PPC tipe I.

## SARAN

Dari uraian tersebut di muka, dapat ditulis saran-saran yang dapat dilakukan agar diper-oleh manfaat yang lebih besar di waktu-waktu yang akan datang, sebagai berikut.

1. Dapat dibuat penelitian lanjutan untuk verifikasi hasil penelitian ini, dengan satu kelompok benda uji (formula yang manapun) tidak menggunakan bahan tambah dan kelompok benda uji lain (formula yang manapun) dengan diberikan bahan tambah *Silika Fume* (SF), tetapi semua langkah-langkah dalam penelitian baru ini dilakukan dengan lebih cermat dan lebih akurat, terutama pada saat pembuatan benda uji harus dibuat lapisan tutup (*capping*) yang rata dengan tebal minimal 0,5 cm sesuai spesifikasi yang terkait.
2. Peluang pemanfaatan limbah pecahan genteng akan lebih besar bila penelitian lanjutan seperti tersebut butir 1 mengukuhkan beton SPG tanpa SF, yang berarti

ada penghematan biaya pembuatan beton SPG.. Oleh karena itu disarankan adanya tindakan-tindakan yang menuju pada pemanfaatan limbah pecahan genteng, misalnya pelatihan pengolahan limbah dengan *Stone Crusher*, penyuluhan-penyuluhan ketrampilan membuat beton SPG, percontohan-percontohan bangunan dengan beton SPG dan lain sebagainya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1990, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SK SNI T – 15 – 1990 – 03)*, Departemen Pekerjaan Umum Bandung, Bandung.
- Anonim, 1993, *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan (SK SNI T – 09 – 1993 – 03)*, Departemen Pekerjaan Umum Bandung, Bandung.
- Imran, Iswandi, 2003, *Pengenalan Rekayasa & Bahan Konstruksi. Catatan Kuliah*, Penerbit ITB, Bandung.
- Khanapi, 2002, *Pecahan Genteng Dari Kebumen Sebagai Pengganti Agregat Kasar Beton Dengan Variasi Penam-bahan Plastocrete-N Ditinjau Per-meabilitas dan Kuat Tekan*, Tugas Akhir S-1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Yogyakarta.
- Neville A.M, (1995), *Properties of Concrete*, 4<sup>th</sup> & Final Edition, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London.

Rajamane, N.P., Peter, J.A., Neelamegan, M., Dattatreya, J.K., and Gopala-Krishnan, S., 1999, *Rate of Strength Development of High Performance Concretes*, International Symposium on Innovative World of Concrete Vol II, pp 6.3 – 6.10.

Tjokrodimuljo, K., 1996, *Buku Ajar Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.