

KUAT TARIK INTERFASE ANTARA BETON LAMA DAN BETON BARU DENGAN VARIABEL BETON GEOPOLIMER DAN BETON KONVENTSIONAL

Purwanto, Rudi Yuniarto Adi, Arum Yumastuti, Farah Diana Amelia

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

purwatrend@gmail.com

Abstract

SCGC Concrete (Self Compacting Geopolymer Concrete) has the advantage of being easier and more effective in casting, so it can be applied to strengthening building structures, including the Concrete Jacketing method and voute / haunch beam. This reinforcement method is a form of composite concrete application with different concrete ages, which consists of existing structures with conventional concrete material and jacket or haunch section with SCGC concrete material. This study aims to determine the characteristics in the form of direct tensile strength, flexural tensile strength, and pull off tests (bond test) to test the strength of adhesion between concrete joints. Making specimens consists of 4 x 4 x 16 (cm) flexural tensile test beams, and 15 x 15 x 60 (cm) pull off specimens, and direct tensile specimens in the form of numbers 8. The principle of making test specimens is done by casting twice. The first casting is done on the first half of the mold, then wait until the concrete age is 28 days. Then a second casting is carried out in the next half, until the concrete age is 28 days. So that the total age of concrete in making connection test specimens is 56 days. From the results of this study it was found SCGC concrete has a higher adhesion than conventional concrete so that SCGC concrete can be applied for structural reinforcement.

Keywords: geopolimer, flexural, tensile, strength, pulloff

Abstrak

Beton SCGC (*Self Compacting Geopolymer Concrete*) memiliki keunggulan lebih mudah dan efektif dalam pelaksanaan pengecoran, sehingga diharapkan dapat diterapkan pada perkuatan (*strengthening*) struktur bangunan, antara lain pada metode beton *Jacketing* dan balok *voute* / balok *haunch*. Metode perkuatan tersebut merupakan bentuk aplikasi beton komposit dengan umur beton yang berbeda, dimana terdiri dari struktur eksisting dengan bahan beton konvensional dan bagian *jacket* atau *haunch* dengan bahan beton SCGC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik berupa pengujian kuat tarik langsung, kuat tarik lentur, dan uji *pull off* (uji bond) untuk menguji lekatannya antar sambungan beton. Pembuatan benda uji terdiri dari balok uji tarik lentur 4 x 4 x 16 (cm), benda uji *pull off* 15x 15 x 60 (cm), dan benda uji tarik langsung berbentuk angka 8. Prinsip pembuatan benda uji dilakukan dengan melakukan pengecoran dua kali, pengecoran pertama dilakukan pada setengah bagian cetakan dahulu, kemudian ditunggu sampai umur beton 28 hari. Lalu dilakukan pengecoran kedua pada setengah bagian selanjutnya, sampai umur beton 28 hari. Sehingga total umur beton dalam pembuatan benda uji sambungan adalah 56 hari. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa beton SCGC memiliki lekatannya yang lebih tinggi dibanding beton konvensional sehingga beton SCGC dapat diaplikasikan untuk perkuatan struktur.

Kata kunci: geopolimer, kuat, tarik, lentur, tarikcabut

PENDAHULUAN

Beton geopolimer SCGC (*Self Compacting Geopolymer Concrete*) adalah beton berbahan dasar *fly ash tipe F*, dimana harus memenuhi kriteria kelecahan beton memadat sendiri. Kriteria *workability* dari *self compacting concrete* adalah kemampuan

campuran beton untuk mengisi ruangan, melewati struktur ruangan yang rapat, dan ketahanan campuran beton segar terhadap efek segregasi (EFNARC, 2005).

Pada penelitian Al Faridy dan Ninda (2019) telah menguji pengaruh kadar semen, *extra water* dan kadar superplastizer pada nilai

workability beton geopolimer. Pada penelitian ini digunakan larutan alkali aktivator campuran larutan NaOH 12 M dan Na₂SiO₃ Be58. Natrium Silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan Natrium Hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Hasil penelitian menunjukkan nilai *slump flow* antara 20-30 cm dengan mutu kuat tekan beton sedang.

Pada penelitian kami, digunakan larutan alkali aktivator dari campuran larutan NaOH 12 M dan Natrium Silikat (Na₂SiO₃) tipe Be52. Na₂SiO₃ Be52 mengandung Na₂O 14,55%, SiO₂ 33,76%, di mana dalam proses pembentukan garamnya (kristalisasi) menggunakan konsentrasi sebesar 52 Be. Notasi Be merupakan derajat pada skala pengukuran dengan menggunakan baumemeter. Na₂SiO₃ Be52 mempunyai sifat fisik lebih cair dibandingkan Na₂SiO₃ Be58, karena dalam pembuatan Na₂SiO₃ Be52 menggunakan larutan NaOH lebih banyak. Dengan sifat fisik yang lebih cair diharapkan menghasilkan campuran beton geopolimer SCGC. Pada penelitian ini nilai rasio perbandingan NaOH 12 M dan Na₂SiO₃ Be52 yang digunakan adalah 1 : 2,5.

Strengthening pada struktur bangunan diperlukan apabila terjadi kerusakan yang menyebabkan degradasi kekuatan yang berakibat tidak terpenuhi persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik yaitu *strength*, *stiffness* dan *daktilitas*, *kestabilan*, serta *ketahanan* terhadap kinerja tertentu (Triwiyono, 1998). Pada penelitian oleh Tudjono et al. (2015) telah mengkaji perkuatan balok dengan bahan FRP (*Fibre Reinforced Polymer*) dan menguji pengaruh kekasaran permukaan beton terhadap lekatan akibat tarik dan geser antara FRP dengan beton eksisting. Perlakuan kekasaran ada beberapa tipe diantaranya tipe longitudinal, transversal, diagonal, cross dan tipe polos.

Pada penelitian ini, akan mengkaji penerapan beton geopolimer SCGC (*Self Compacting Geopolymer Concrete*) sebagai bahan untuk perkuatan struktur dengan metode balok *haunch*. Metode *strengthening* tersebut merupakan bentuk aplikasi beton komposit dengan umur beton yang berbeda,

dimana terdiri dari struktur *existing* dengan beton konvensional dan bagian *strengthening* dengan beton geopolimer SCGC.

Untuk mengevaluasi kekuatan pada lekatan interfase sambungan, pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tarik langsung, kuat tarik tidak langsung, dan uji *pull off* (uji *bond*) dengan membandingkan bagaimana sifat teknis dan perilaku elemen struktural tersebut pada sambungan beton konvensional dengan beton geopolimer, sambungan antar sesama beton geopolimer, serta sambungan antar sesama beton konvensional.

TINJAUAN PUSTAKA

Benda uji dibuat dimulai dari pemeriksaan bahan material hingga proses perawatan atau *curing*. Prosedur pembuatan benda uji dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Pemeriksaan agregat halus dan agregat kasar yang meliputi:
 - a. Pengujian kadar lumpur (PBI 1971)
 - b. Pengujian kadar zat organik (ASTM C40)
 - c. Pengujian kadar air (SNI 03-1737-1989)
 - d. Pengujian berat jenis (SNI 03-1737-1989)
 - e. Pengujian berat isi (ASTM C33)
 - f. Pengujian gradasi agregat (ASTM C33)
2. *Mix design* atau campuran beton dengan standar mutu beton normal. Komposisi campuran beton konvensional yaitu sebagai berikut:

a. Agregat : Binder	= 70% : 30%
b. Sand : agregat kasar	= 40% : 60%
c. Semen : Air	= 65% : 35%

 Pembuatan beton geopolimer SCGC (*Self- Compacting Geopolymer Concrete*) pada penelitian ini disyaratkan memenuhi standar beton normal. Mix design yang digunakan sebagai berikut:

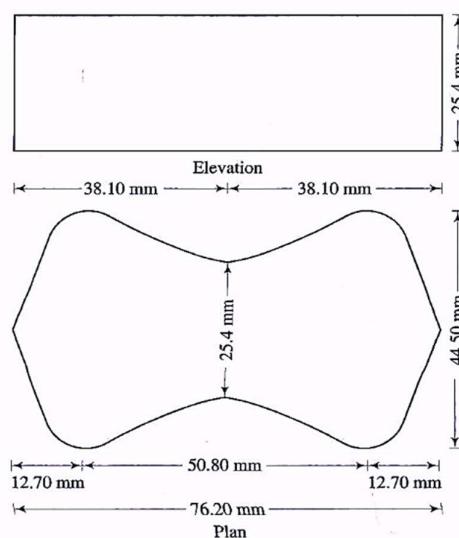
a. Agregat : (binder + AA)	= 70% : 30%
b. Sand : agregat kasar	= 40% : 60%
c. Binder : AA	= 65% : 35%
d. NaOH (12M) : Na ₂ SiO ₃ Be52	= 1 : 2,5
e. Semen	= 5,63 % dari fly ash
f. Air	= 11,7 % dari fly ash
g. Masterglenium Sky 8851	= 2% dari FA

Metode Pembuatan Beton Geopolimer mengacu pada hasil dari

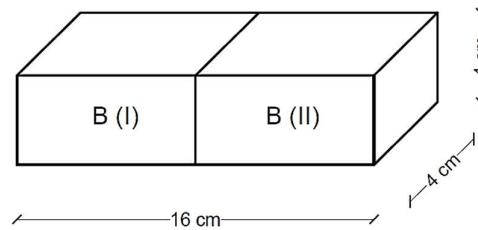
penelitian sebelumnya (Al Faridy dan Ninda, 2019) yaitu:

- a. Menimbang semua material yang digunakan untuk pengecoran sesuai dengan *mix design* (*fly ash*, agregat halus, agregat kasar, larutan alkali, semen, dan *superplasticizer*) dan mempersiapkan seluruh alat yang akan digunakan (cetakan benda uji, loyang, tongkat penumbuk, kerucut abrams, mesin penggetar, cetok, dan lain-lain).
 - b. Mencampur agregat kasar dan binder (*fly ash* ditambah semen) hingga tercampur dengan rata.
 - c. Menuang larutan alkali aktuator dan *superplasticizer* pada campuran agregat kasar dan *binder*.
 - d. Tunggu hingga beberapa menit sehingga semua terlapisi aktuator dan adonan terlihat mengkilap. Setelah itu dimasukkan agregat halus dan air kemudian diaduk hingga semuanya rata (homogen).
3. Pengujian *slump* menggunakan kerucut Abram ukuran diameter bawah 200 mm, diameter atas 100 mm, dan tinggi 300 mm. Untuk beton geopolimer dilakukan pengujian nilai *slump* secara horizontal untuk mengetahui *workability* dari campuran beton geopolimer. Nilai *slump* horizontal untuk beton SCGC (*Self Compacting Geopolymer Concrete*), yaitu 550 - 850 mm (EFNARC, 2005), sedangkan untuk beton konvensional dilakukan uji *slump* vertikal.
 4. Pembuatan sample silinder untuk pengujian karakteristik beton geopolimer dan beton konvensional berupa kuat tekan yang dilakukan pada umur 7 dan 28 hari menggunakan silinder 15 x 30 (cm) dan silinder 10 x 20 (cm).
 5. Pembuatan Benda Uji, meliputi: Benda Uji Tarik Langsung Angka 8 (Gambar 1), Benda Uji Tarik Lentur (Gambar 2), dan Benda Uji *Pull Off* (Gambar 3). Pembuatan benda uji terdiri dari balok uji tarik lentur dengan dimensi 4 x 4 x 16 (cm) sebanyak 9 buah, benda uji pull off dimensi 15x 15 x 60 (cm) sebanyak 4 buah, dan benda uji tarik langsung berbentuk angka 8 sebanyak 9

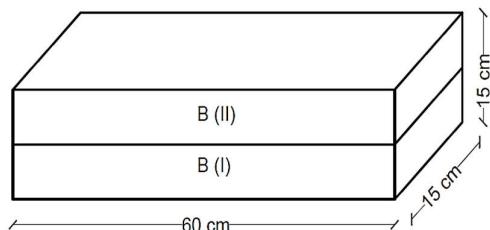
buah. Benda uji berupa sambungan antara Beton Konvensional dan Beton Geopolimer (BK + BG), Sambungan antar Beton Geopolimer (BG + BG), dan sambungan antar Beton Konvensional (BK + BK). Prinsip pembuatan benda uji dilakukan dengan melakukan pengecoran dalam dua tahapan, dimana pengecoran pertama hanya dilakukan pada setengah bagian cetakan terlebih dahulu, yang kemudian ditunggu sampai umur beton 28 hari. Lalu dilakukan pengecoran kedua pada setengah bagian selanjutnya, sampai umur beton 28 hari. Sehingga total umur beton dalam pembuatan benda uji sambungan adalah 56 hari.



Gambar 1. Spesimen Angka 8



Gambar 2. Spesimen Uji Tarik Lentur

Gambar 3. Dimensi Benda Uji *Pull Off*

METODE PENELITIAN

Metode *curing* yang digunakan pada Benda Uji Tarik Langsung, Tarik Lentur, *Pull Off* pada setengah bagian dengan bahan beton konvensional serta sampel silinder yaitu dengan cara direndam dalam air (Gambar 4). Pada benda uji dengan bahan beton geopolimer *curing* dilakukan dengan menggunakan karung goni basah (Gambar 5).

Gambar 4. *Curing* direndam dalam airGambar 5. *Curing* dengan Karung Goni

Benda Uji yang sudah di *curing* dengan umur beton 56 hari, dikeringkan dengan cara diangin-anginkan. Metode pengujian setiap benda uji berdasarkan Code :

Metode Uji Tarik Langsung (ASTM C307, 2003)

- Meletakan benda uji angka 8 pada alat uji tarik langsung.
- Lakukan Pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catat beban

- maksimum yang terjadi selama pemeriksaan.
- Melakukan dokumentasi benda uji untuk menganalisis bentuk pecah dan kondisi setelah selesai pengujian. Set up pengujian sesuai Gambar 6.



Gambar 6. Set up Pengujian Tarik Langsung

Metode Uji Kuat Tarik Lentur (SNI 03-4154, 2014)

- Menyiapkan benda uji dan memastikan dalam kondisi kering dan bersih.
- Mengukur panjang kedua sisi balok.
- Mengukur dan memberi tanda menggunakan kapur pada bagian tengah benda uji.
- Menimbang benda uji dan kemudian membaca hasil timbangan.
- Meletakan benda uji pada dua tumpuan.
- Meletakan beban ditengah-tengah bentang posisi 1/2 L.
- Menyalakan mesin sehingga jarum skala bergerak perlahan-lahan sampai benda uji patah, dimana kecepatan harus diatur dan dijaga konstan.
- Baca beban maksimum patah dan catat pada formulir.
- Pengujian benda uji dilakukan dengan alat *Compression Test Machine* (Hung Ta HT-8391PC Computer-Controlled Servo Hydraulic). Set up pengujian sesuai Gambar 7.



Gambar 7. Set up Pengujian Tarik Lentur

Metode Uji Pull Off (ASTM C1583, 2013)

- Dengan menggunakan peralatan coring, bor sebuah potongan melingkar tegak lurus permukaan. Untuk tes bahan *overlay*, bor setidaknya 0.5 mm di bawah antarmuka beton-*overlay*. Spesimen uji dibiarkan utuh melekat pada substrat.
- Ukur diameter tes dalam dua arah, lalu diambil rata-ratanya.
- Buang semua genangan air, bersihkan permukaan dari sisa-sisa pengeboran dan biarkan kering.
- Pasang pelat baja ke bagian atas benda uji menggunakan perekat epoksi. Pastikan disk baja terpusat pada benda uji.

- Pasang perangkat tarik ke disk baja.
- Berikan beban tarik pada benda uji.
- Terapkan beban tarik pada laju konstan sehingga tegangan tarik meningkat pada kecepatan 35 + 15 kPa/s.
- Catat besarnya beban saat terjadi kerusakan.
- Hitung kekuatan tarik dengan persamaan. Set up pengujian sesuai dengan Gambar 8.



Gambar 8. Set up Pengujian Pull Off

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian bahan material bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik material sesuai dengan standar yang berlaku yang selanjutnya akan digunakan dalam campuran beton SCGC (*Self Compacting Geopolymer Concrete*). Hasil pengujian material ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisa Pengujian Material

	Agregat Halus		Agregat Kasar	
	Asli	SSD	Asli	SSD
Modulus kehalusan butir		2,42		5,86
Kandungan lumpur (%)		0,0		0,1
Kadar air (%)	0,94	0,57	1,70	0,74
Berat jenis	2,69	2,76	2,67	2,78
Berat isi gembur (kg/dm ³)	1,49	1,56	1,53	1,54
Berat isi padat (kg/dm ³)	1,51	1,58	1,56	1,58

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Konvensional

No	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas penampang (mm ²)	Beban Max (N)	Kuat tekan f'c (MPa)	Rata-rata (MPa)
1.1	150	300	17.678,6	550.000	31,11	31,11
1.2	150	300	17.678,6	500.000	28,28	
1.3	150	300	17.678,6	600.000	33,94	
2.1	150	300	17.678,6	570.000	32,24	32,52
2.2	150	300	17.678,6	580.000	32,81	

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

No	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas penampang (mm ²)	Beban Max (N)	Kuat tekan f'c (MPa)	Rata-rata (MPa)
1.1	150	300	17.678,6	560.000	31,68	31,49
1.2	150	300	17.678,6	570.000	32,24	
1.3	150	300	17.678,6	540.000	30,55	

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah perawatan dengan waktu 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton silinder dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Kuat tekan rata-rata beton yang dihasilkan dari pengujian di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNDIP sudah memenuhi rencana beton mutu sedang berdasarkan Pd T-07-2005-B. Sependapat dengan riset (Qomaruddin dan Sudarno, 2019) yang melaminasi beton geopolimer dan konvensional terhadap kuat tekannya pada kubus.

Syarat nilai slump untuk beton SCC (*Self Compacting Concrete*) menurut EFNARC (2005) yaitu antara 550 – 850 mm. Nilai slump yang didapat pada penelitian ini yaitu 600 – 650 mm.

Hasil pengujian kuat tarik langsung ditampilkan pada Tabel 4. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa sambungan BG – BG memiliki kuat tarik langsung paling tinggi dengan nilai rata-rata sebesar 2.377 MPa. Perbandingan kekuatan antara sambungan BG-BG : BK-BG : BK-BK yaitu 1 : 0.84 : 0.67.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Langsung Beton

Kode	Total Umur	Berat (kg)	Gaya (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Tarik (MPa)	Rata-rata (MPa)
BG - BG	49	0,14340	1,56	645,16	2,418	2,377
BG - BG	49	0,14665	1,58	645,16	2,449	
BG - BG	49	0,15055	1,46	645,16	2,263	
BK - BG	49	0,15155	1,19	645,16	1,845	1,994
BK - BG	49	0,15060	1,39	645,16	2,155	
BK - BG	49	0,15060	1,28	645,16	1,984	
BK - BK	48	0,15060	1,08	645,16	1,674	1,591
BK - BK	48	0,14710	1,05	645,16	1,628	
BK - BK	48	0,15020	0,95	645,16	1,473	

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung / Lentur Beton

Kode	Umur (Hari)	b (mm)	d (mm)	L (mm)	Max Force (N)	Kuat Lentur (MPa)	Rata - rata (MPa)
BG - BG	63	40	40	120	1.584,20	4,46	4,56
BG - BG	63	40	40	120	1.746,46	4,91	
BG - BG	63	40	40	120	1.528,69	4,30	
BK - BG	63	40	40	120	1.195,62	3,36	3,46
BK - BG	63	40	40	120	1.229,78	3,46	
BK - BG	63	40	40	120	1.268,21	3,57	
BK - BK	62	40	40	120	841,20	2,37	2,76
BK - BK	62	40	40	120	1.016,28	2,86	
BK - BK	62	40	40	120	1.084,60	3,05	

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Cabut (*Pull-off*) Beton

Kode	Umur (Hari)	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Gaya (N)	Kuat Tarik (MPa)	Rata-rata (MPa)	Keterangan (daerah kegagalan)
BG -BG	79	50	1.964,29	3.452,64	1,76	1,62	sambungan
BG -BG	79	50	1.964,29	2.469,96	1,26		sambungan
BG -BG	79	50	1.964,29	3.532,31	1,80		BG
BG -BG	79	50	1.964,29	3.266,73	1,66		BG
BK - BG	75	50	1.964,29	2.868,35	1,46	1,39	sambungan
BK - BG	75	50	1.964,29	2.363,73	1,20		sambungan
BK - BG	75	50	1.964,29	2.788,67	1,42		BG
BK - BG	75	50	1.964,29	2.868,35	1,46		BG
BK - BK	78	50	1.964,29	1.832,55	0,93	0,93	sambungan
BK - BK	78	50	1.964,29				coring
BK - BK	78	50	1.964,29				coring
BK - BK	78	50	1.964,29				coring

Hasil pengujian kuat tarik tidak langsung / lentur ditampilkan pada Tabel 5. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa sambungan BG – BG memiliki kuat lentur paling tinggi dengan rata-rata sebesar 4.56 MPa. Perbandingan kekuatan antara sambungan BG-BG : BK-BG : BK-BK yaitu 1 : 0.76 : 0.60. Hasil Pengujian kuat tarik cabut (*Pull-off*) ditampilkan pada **Tabel 6**. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa sambungan BG – BG memiliki kuat cabut paling tinggi dengan rata-rata sebesar 1.62 MPa. Perbandingan kekuatan antara sambungan BG-BG : BK-BG : BK-BK yaitu 1 : 0.86 : 0.57.

Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka kuat tekan dan kuat tarik beton dapat dibandingkan seperti pada Tabel 7. Ada beberapa pendekatan yang dilakukan untuk mencari hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik beton, yaitu:

- SNI 03-2847-2013 : $f_{ct} = 0.33 \sqrt{f'_c}$ MPa

- BS 8007-1987 : $f_{ct} = 0.12 f'_c^{0.7}$ MPa
 - SNI T-15-1991-03 : $f_{ct} = 0.70 \sqrt{f'_c}$ MPa
 - ACI 318 : $f_{ct} = 0.56 \sqrt{f'_c}$ MPa
 - SNI 03-2847: 2013 : $f_{ct} = 0.56 \sqrt{f'_c}$ MPa
 - Dipohosodo, 1999 : $f_{ct} = 0.57 \sqrt{f'_c}$ MPa
 - Raphael, 1984 : $f_{ct} = 0.313 f'_c^{0.667}$ MPa
 - Selim, 2008 : $f_{ct} = 0.106 f'_c^{0.948}$ MPa

Untuk mencari persamaan hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik digunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$\sum_{i=0}^3 (aX_i - Y_i\sqrt{X_i}) = 0 \quad \dots \dots \dots (2)$$

Pada penelitian ini didapatkan data X_i sebagai hasil dari pengujian kuat tekan dan Y_i didapat dari hasil pengujian kuat tarik. Data X_i dan Y_i pada tiap sambungan dapat dilihat pada Tabel 8 ,9 dan Tabel 10.

Tabel 7. Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Tarik

Kode	Kuat tekan BK rata-rata		Kuat tekan BG rata-rata		Kuat tarik langsung rata-rata		Kuat lentur rata-rata		Kuat tarik cabut rata-rata	
	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)
BG-BG			31.49	100	2.38	7.56	4.56	14.48	1.62	5.14
BK-BG	31.58	100.29	31.49	100	1.99	6.32	3.46	10.99	1.39	4.41
BK-BK	31.58	100			1.59	5.03	2.76	8.74	0.93	2.94

Tabel 8. Data X_i dan Y_i dari Hasil Pengujian Sambungan BG-BG

No	f'_c Tekan (X_i) (MPa)	(Y_i) (MPa)		
		f_{ct} langsung	f_{ct} lentur	f_{ct} cabut
1	31.68	2.42	4.46	1.76
2	32.24	2.45	4.91	1.80
3	30.55	2.26	4.30	1.66

Tabel 9. Data X_i dan Y_i dari Hasil Pengujian Sambungan BK-BG

No	f'_c Tekan (X_i) (MPa)	(Y_i) (MPa)		
		f_{ct} langsung	f_{ct} lentur	f_{ct} cabut
1	31.11	1.85	3.36	1.46
2	32.52	2.12	3.46	1.42
3	31.49	1.98	3.57	1.46

Tabel 10. Data X_i dan Y_i dari Hasil Pengujian Sambungan BK-BK

No	f'_c Tekan (X_i) (MPa)	(Y_i) (MPa)		
		f_{ct} langsung	f_{ct} lentur	f_{ct} cabut
1	31.11	1.67	2.37	0.93
2	28.28	1.63	2.86	0.00
3	33.94	1.47	3.05	0.00

Contoh perhitungan koefisien persamaan kuat tarik langsung pada sambungan BG-BG sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 & (aX_0 - Y_0\sqrt{X_0}) + (aX_1 - Y_1\sqrt{X_1}) + (aX_2 - \\
 & Y_2\sqrt{X_2}) + (aX_3 - Y_3\sqrt{X_3}) = 0 \\
 & (a * 0 - 0\sqrt{0}) + (a * 31,68 - 2,42 * \\
 & \sqrt{31,68}) + (a * 32,24 - 2,45 \sqrt{32,24}) + (a * \\
 & 30,55 - 2,26 * \sqrt{30,55}) = 0 \\
 & 94,47 * a - 40,0233 = 0 \\
 & a = \frac{40,0233}{94,47} = 0,42
 \end{aligned}$$

Sehingga persamaan kuat tarik langsung pada sambungan BG-BG menjadi:

$$f_{ct} = 0.42 \sqrt{f'_c} \text{ MPa. Hubungan kuat tekan}$$

dan kuat tarik pada tiap sambungan ditampilkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik pada Tiap Sambungan

Jenis Sambungan	Kuat Tarik (MPa)		
	f_{ct} langsung	f_{ct} lentur	f_{ct} cabut
BG-BG	$0.42 \sqrt{f'_c}$	$0.81 \sqrt{f'_c}$	$0.31 \sqrt{f'_c}$
BK-BG	$0.35 \sqrt{f'_c}$	$0.62 \sqrt{f'_c}$	$0.26 \sqrt{f'_c}$
BK-BK	$0,28\sqrt{f'_c}$	$0,49\sqrt{f'_c}$	$0,17\sqrt{f'_c}$

Berdasarkan Tabel 11. semua persamaan hubungan kuat tekan dan kuat tarik berada di dalam batas standar yang ada, kecuali untuk kuat tarik cabut sambungan BK-BK yang memiliki nilai lebih kecil dari standar dan kuat tarik lentur sambungan BG-BG yang memiliki nilai lebih besar dari standar.

Pada pengujian kuat tarik langsung dan kuat tarik tidak langsung/ lentur semua sampel mengalami keruntuhan pada sambungan antar beton, sedangkan pada uji cabut sebagian benda uji mengalami keruntuhan di sambungan beton dan sebagian mengalami keruntuhan di beton SCGC. Lokasi keruntuhan pada benda uji ditunjukkan dalam Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 9. Keruntuhan sampel Uji Tarik Langsung



Gambar 10. Keruntuhan sampel Uji Tarik Lentur



Gambar 11. Keruntuhan pada Benda Uji Tarik Cabut

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa terhadap beban maksimum yang mampu diterima benda uji pada tiap variasi sambungan dapat diperoleh kesimpulan bahwa nilai kuat tarik terbesar pada ketiga metode pengujian terjadi pada sambungan BG-BG, disusul sambungan BK-BG, dan sambungan BK-BK.

Perbandingan kekuatan sambungan pada BG-BG : BK-BG : BK-BK yaitu 1 : 0.84 : 0.67 untuk kuat tarik langsung, 1 : 0.76 : 0.6 untuk kuat tarik lentur, dan 1 : 0.86 : 0.57 untuk kuat tarik cabut.

Secara umum sampel pada ketiga pengujian tarik mengalami keruntuhan pada sambungan antara beton lama dan beton baru. Dilihat dari hasil pengujian kuat lekat dengan ketiga metode tersebut dapat disimpulkan bahwa sambungan BG-BG dan BK-BG mempunyai nilai yang lebih besar daripada pada sambungan BK-BK, hal tersebut menunjukkan bahwa beton geopolimer SCGC mempunyai kuat lekat yang baik untuk dapat diaplikasikan dalam perbaikan struktur beton.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Comitte 318. 1990. *Building Code Requirements for Structural Concrete*. American Concrete Institute.
- Al Faridy, R. dan Ninda Z. A. 2019. *Penelitian Beton Geopolimer dengan Karakteristik Workability yang Terbaik*. Universitas Diponegoro.
- ASTM C307. 2003. *Standard Test Method for Tensile Strength of Chemical-Resistant Mortar, Grouts, and Monolithic Surfacings*. ASTM International. West Conshohocken.
- ASTM C1583. 2013. *Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and The Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tention (Pull-Off Method)*. ASTM International. West Conshohocken.
- ASTM C33. 2008. *Standard Spesification for Concrete Aggregates*. ASTM International. West Conshohocken.
- ASTM C40. 2004. *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. ASTM International. West Conshohocken.
- British Standard Institution. 1987. *British Standard Code of Practice for Design of Concrete Structures for Retaining Aqueous Liquids*. BS 8007.
- EFNARC. 2005. *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*. EFNARC. United Kingdom.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*.
- Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Dipohosodo, I. 1999. *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*. PT. GRAMEDIA: Jakarta.
- Pd T-07-2005-B. 2005. Pelaksanaan Pekerjaan Beton untuk Jalan dan Jembatan. Departemen Pekerjaan Umum.
- Qomaruddin, M. dan Sudarno. 2019. *The study of laminate concrete between geopolymers and conventional*. *Journal of Physics: Conference Series* 1363. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1363/1/012011>.

- Raphael J. M. 1984. *Tensile Strength of Concrete*. Journal of The American Concrete Institute 81 (2), 158-165.
- Selim P. 2008. *Experimental Investigation of Tensile Behavior of High Strength Concrete Indian*. Journal of Engineering and Materials Science 15 (6), 467-472.
- SNI 03-1737-1989. 1989. *Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (LASTON) Untuk Jalan Raya*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2847-2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-4154-2014. 2014. Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Balok Uji Sederhana yang Dibebani Terpusat Langsung. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI T-15-1991-03. 1991. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Triwiyono, A. 1998. Evaluasi Kinerja dan Perkuatan Struktur Gedung Guna Alih Fungsi Bangunan. *Forum Teknik Sipil* No. XVIII.
- Tudjono, S., Han A. L., dan Hidayat, B. A. 2015. *An Experimental Study to the Influence of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Confinement on Beams Subjected to Bending and Shear*. Procedia Engineering. Vol 125.