

# Studi Sifat Mekanis Bahan *Grouting* Dengan Variasi Bahan Tambah Sodium Silikat dan Semen

*Study of Mechanical Properties Grouting Materials with Additional Material Variation of Sodium Silicate and Cement*

**Muh Wanandi Wiyanto Yamin, Hakas Prayuda, Fanny Monika**

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** *Grouting* adalah perlakuan dalam perbaikan beton yang telah mengalami kerusakan, seperti adanya retakan sehingga menghasilkan rekahan pada beton. *Grouting* ini juga bisa digunakan di berbagai bidang, seperti perbaikan tanah dan bendungan. Ada beberapa tahap yang harus dilakukan agar penelitian ini bisa mencapai tujuan yang telah ditentukan. Tahapan penelitian ini diawali dengan mempersiapkan alat dan bahan, pengujian *flow*, mencetak benda uji, melakukan pengamatan dari sifat fisis dan mekanis, dan yang terakhir melakukan pengujian kuat tekan. Pengujian sifat fisis terdiri dari ukuran benda uji dan sifat tampak dari benda uji. Seluruh benda uji memiliki bentuk persegi, serta berbentuk siku. Namun, ada beberapa benda uji yang memiliki rongga. Seluruh ukuran benda uji telah memenuhi syarat yang telah ditentukan. Pengujian sifat mekanis terdiri dari berat jenis, kadar air, penyerapan air, kerapatan, *initial rate of suction (IRS)*, dan kuat tekan. Benda uji yang dibuat berjumlah 30 buah benda uji. Data yang diperoleh dari rata-rata keseluruhan berat jenis 1,70 gr/cm<sup>3</sup>, kadar air 23,29 %, penyerapan air 29,88 %, kerapatan 0,99 gr/cm<sup>3</sup>, dan *initial rate of suction (IRS)* 6,92 gr/menit. Kuat tekan rata-rata yang diperoleh pada umur 7 hari 3,82 MPa, umur 14 hari 4,25 MPa, dan umur 28 hari 4,37 MPa.

Kata kunci: *grouting*, kuat tekan, sifat fisis, sifat mekanis.

**Abstract.** *Grouting* is a treatment for concrete's improvement that have a damage, such as there is a crack that makes the concrete have a fracture. *Grouting* is also can be used on soil improvement and dam construction. There are several steps that must be done so that this research can achieve the goals that have been determined. The stages of this research begins by preparing the tools and the materials, testing flow, makin the specimen, making observations of physical and mechanical trait, and the last one is doing the compressive strength test. The physical obeservations are the dimensions of the specimen and the vicible properties of the specimen. All of dimension of the specimens has specified requirements. The mechanical obesrvations are the specific gravity, the moisture content, the water absorption, the density, initial rate of suction (IRS), and the compressive strength. There are 30 specimens made. Data obtained from the an average value of overall the specific gravity is 1,70 1,70 gr/cm<sup>3</sup>, the moisture content is 23,29 %, the water absorption is 29,88 %, the density is 0,99 gr/cm<sup>3</sup>, and the initial rate of suction (IRS) is 6,92 gr/minute. The average value of compressive strength in 7 days is 3,82 MPa, in 14 days is 4,25 MPa, and 28 days is 4,37 MPa.

Keywords: *grouting*, compressive strength, physical trait, mechanical trait.

## 1. Pendahuluan

Di Indonesia sudah banyak inovasi yang dilakukan dalam pembuatan beton. Seperti inovasi beton ramah lingkungan atau beton mutu tinggi dengan variasi campuran yang bermacam-macam. Seiring dengan banyaknya inovasi pembuatan beton, terdapat juga inovasi perbaikan beton dengan *grouting*. Inovasi ini merupakan metode perbaikan pada beton. Beton yang retak diperbaiki dengan *grouting* yang diinjeksikan ke celah atau retakan yang ada pada beton. *Grouting* merupakan kegiatan perbaikan yang dilakukan pada beton yang

mengalami kerusakan seperti retak atau terdapat celah pada beton tersebut.

Dalam mengatasi kerusakan struktur yang terjadi, peneliti menggunakan metode *grouting*, yaitu menyuntikkan pasta semen ke beton yang memiliki rekahan akibat gempa. Hal ini akan menambah kekuatan beton tersebut. (Ismail, 2011). Faktor yang mempengaruhi munculnya retakan adalah adanya perbedaan susut dengan beton induk, besarnya susut, modulus elastisitas, rangkai, derajat pengekangan, dan kapasitas tarik (Kristiawan, 2011). Metode *grouting* merupakan metode yang baik dalam mencegah terjadinya longsor,

yaitu menyutikkan cairan semen dalam tanah yang lereng (Sumirin dan Arif, 2017). Beton *geopolimer* menggunakan aktivator, seperti sodium silikat dan natrium hidroksida agar terbentuk reaksi kimia. Perbandingan massa larutan antara sodium silikat dan sodium hidroksida yang semakin tinggi tidak selalu menambah kuat tekan dan kuat tarik belah yang tinggi juga (Ekapuri dkk., 2007). Nilai kuat tekan beton geopolimer yang didapatkan akan terus meningkat ketika waktu *curing time* tinggi (Manuahe dkk., 2014). Nilai kuat tekan tergantung pada kehalusan, temperatur hidrasi, dan kelecekan campuran semen (Folagbade, 2017). Kuat tekan akan semakin tinggi seiring bertambahnya umur benda uji. Hal ini disebabkan oleh adanya kandungan unsur silikat dan aluminat pada *fly ash* yang bereaksi terhadap kapur bebas pada proses hidrasi semen dan air menjadi kalsium silikat (Haryanto dkk., 2008). Agar terciptanya sifat reaktif pada silika oksida dan alumina dibutuhkan *activator* agar kedua material tersebut saling mengikat. Pengaruh dari akibat penambahan alkali akan menyebabkan nilai kuat tekan dan kuat geser akan meningkat pada mortar *geopolymer* (Ais, 2017). Bila ikatan pada semen sika *grout* dengan agregat semakin banyak, maka semakin lemah kuat tekan yang dihasilkan (Hermawan dan Eka, 2017). Ketika material pozolan semakin halus yang akan dicampurkan ke dalam semen, maka partikel pada campuran akan semakin meningkat sehingga menyebabkan campuran akan semakin bagus (Waani dan Elisabeth, 2017).

Penelitian ini bertujuan memahami sifat fisis dan mekanis bahan tambah dari campuran bahan tambah sodium silikat dan semen untuk bahan *grouting*. Memperoleh kadar optimum dari bahan tambah campuran sodium silikat dan semen untuk bahan *grouting*.

## 2. Semen dan Sodium Silikat

Bahan penyusun campuran *grout* yang digunakan adalah semen dan sodium silikat. Semen memiliki senyawa utama seperti trikalsium silikat ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ), dikalsium silikat ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), trikalsium aluminat ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ), dan tetrakalsium aluminoferrit ( $2\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$ ). Senyawa kimia dari semen tidak stabil secara termodinamis bila dicampurkan dengan sodium silikat, sehingga cenderung bereaksi ketika

dicampurkan. Reaksi hidrasi semen awalnya cepat, kemudian semakin lambat. Sifat eksotermik reaksi hidrasi menandakan panas yang dilepas ketika terjadi pengikatan dan pengerasan semen.

Sodium silikat (NaOH) merupakan salah satu bahan tertua dan paling aman yang digunakan dalam industri kimia, hal ini dikarenakan proses produksi yang lebih sederhana. Sodium silikat dapat dibuat dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan. Untuk campuran beton lebih banyak digunakan dalam bentuk larutan, sodium silikat atau yang lebih dikenal dengan *water glass*. Sodium silikat ini merupakan salah satu larutan alkali yang memainkan peranan penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

## 3. Komposisi Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan setelah komposisi yang dicampurkan harus sesuai atau masuk kedalam spesifikasi yang dibutuhkan. Untuk mencapai spesifikasi yang ditentukan sebaran yang dihasilkan berdiameter 15 cm maka komposisi yang dibutuhkan untuk 5 benda uji adalah 600 ml sodium silikat dan 450 ml semen. Setelah komposisi didapatkan maka benda uji dapat dibuat. Komposisi benda uji dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Komposisi benda uji

Bahan	Perbandingan Volume Campuran untuk 5 Benda Uji		
	1 : 0,5	1 : 0,75	1 : 1
Sodium silikat	600	600	600
Semen	300	450	600

## 4. Pembuatan Benda Uji

Metode pembuatan benda uji dapat diuraikan sebagai berikut:

- Sodium silikat dan semen yang sudah disesuaikan takarannya sesuai dengan perbandingan volume campuran yang ditentukan dimasukkan kedalam wadah dan diaduk hingga merata. Perbandingan volume campuran yang digunakan 1 : 0,5, 1 : 0,75, dan 1 : 1.
- Campuran yang sudah diaduk dan tercampur rata dimasukkan kedalam cetakan yang berbentuk kubus dengan ukuran 50 mm × 50 mm × 50 mm hingga penuh.

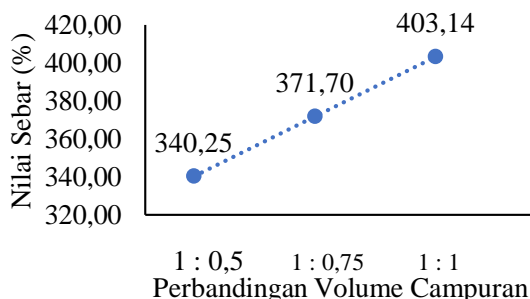
## 5. Metode Pengujian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis dari bahan *grouting* dengan variasi bahan tambah menggunakan semen *grout*. Benda uji yang dibuat menggunakan perbandingan volume campuran 1 : 0,5, 1 : 0,75, dan 1 : 1. Pengujian benda uji segar dapat dilakukan dengan melakukan uji meja sebar. Pengujian untuk mengetahui sifat fisis dilakukan dengan memeriksa ukuran dan dimensi benda uji dan sifat tampak dari benda uji. Pengujian sifat mekanis dari benda uji dilakukan dengan beberapa pengujian seperti pengujian kadar air, penyerapan air, berat jenis, kerapatan (*density*) dan *initial rate of suction (IRS)*, serta kuat tekan.

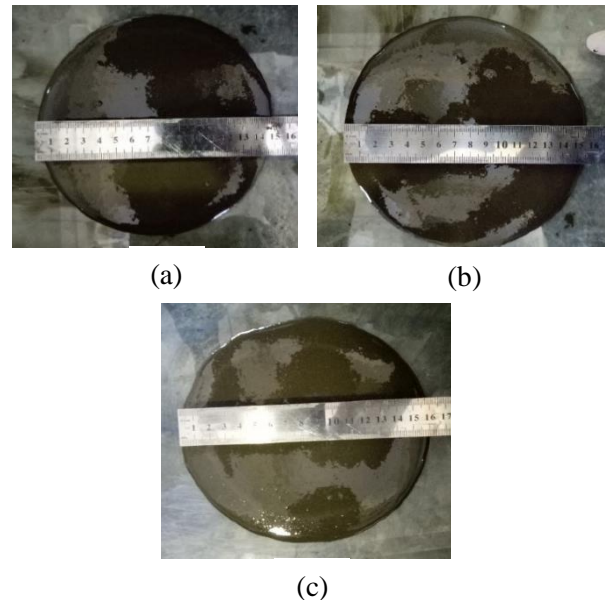
## 6. Hasil dan Pembahasan

### Pengujian Meja Sebar

Pengujian meja sebar merupakan pengujian yang dapat dilakukan untuk pengujian sifat bahan uji segar. Dalam SNI 03-6882-2002 (BSN, 2002b), nilai sebar yang baik menunjukkan nilai diantara  $(110 \pm 5)\%$ . Ketika nilai sebar dari benda uji menunjukkan nilai di bawah  $(110 \pm 5)\%$ , maka benda uji tersebut terlalu kental dan apabila nilai sebar menunjukkan nilai di bawah  $(110 \pm 5)\%$ , maka benda uji tersebut terlalu encer. Hasil pengujian meja sebar yang didapat adalah dengan perbandingan volume campuran 1 : 0,5 sebesar 340,25 %, 1 : 0,75 sebesar 371,70 %, serta 1 : 1 sebesar 403,14 %. Dapat dilihat pada Gambar 1 menunjukkan semakin banyak volume semen yang digunakan, maka semakin besar nilai sebar yang dihasilkan. Gambar 2 menunjukkan hasil meja sebar.



Gambar 1 Hubungan antara perbandingan volume campuran dengan nilai sebar.



Gambar 2 Hasil diameter sebaran dengan (a) 1 : 0,5; (b) 1 : 0,5; dan (c) 1 : 0,75

### Pemeriksaan Sifat Fisis

Pada pemeriksaan sifat fisis bahan uji, yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

#### a. Ukuran / Dimensi

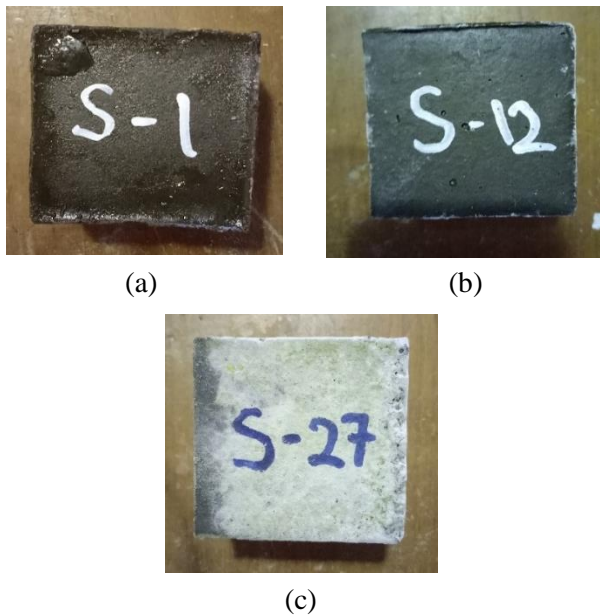
Untuk ukuran bahan uji berdasarkan SNI-03-6825-2002 (BSN, 2002a) adalah dengan panjang 50 mm, lebar 50 mm, dan tinggi 50 mm akan tetapi dalam pelaksanaan di laboratorium tidak sama dengan ukuran yang disyaratkan. Hal ini dikarenakan pada saat pembuatan bahan uji, cetakan yang digunakan tidak sesuai ukuran panjang 50 mm, lebar 50 mm dan tinggi 50 mm. hanya mendekati ukuran tersebut saja atau lebih besar dari ukuran cetakan bahan uji.

Tabel 2 Ukuran / dimensi benda uji rata-rata

Volume Campuran	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)
1 : 0,5	5,00	5,00	5,00
1 : 0,75	5,02	5,00	5,01
1 : 1	5,10	5,00	5,06

#### b. Sifat Tampak

Sifat tampak berdasarkan SNI 03-0349-1989 (BSN, 1989) pada bahan uji diantaranya berbentuk persegi, berbentuk datar, ruas sisinya berbentuk siku-siku, berbentuk datar atau tidak ada retak pada bahan uji. Rata-rata benda uji berbentuk persegi, datar, ruas sisi siku, serta tidak retak. Dapat dilihat pada Gambar 3 sampai Gambar 5 sifat tampak dari benda uji.



Gambar 3 Sifat tampak benda uji (a) 1 : 0,5; (b) 1 : 0,75; dan (c) 1 : 1

### Pemeriksaan Sifat Mekanis

Pemeriksaan benda uji terdiri dari beberapa pengujian antara lain kadar air, penyerapan air, berat jenis, kerapatan (*density*), *initial rate suction (IRS)*, dan kuat tekan. Hasil pengujian kadar air, penyerapan, berat jenis, kerapatan, dan *initial rate of suction (IRS)* benda uji dengan volume campuran 1 : 0,5 dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3 Pemeriksaan sifat mekanis volume campuran 1 : 0,5.

Pemeriksaan	Hasil
Kadar air	22,01 %
Penyerapan air	27,89 %
Berat jenis	1,57 gr/cm <sup>3</sup>
Kerapatan ( <i>density</i> )	0,99 gr/cm <sup>3</sup>
<i>Initial rate of suction (IRS)</i>	5,85 gr/menit

Untuk pemeriksaan sifat mekanis benda uji dengan volume campuran 1 : 0,75 dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4 Pemeriksaan sifat mekanis volume campuran 1 : 0,75.

Pemeriksaan	Hasil
Kadar air	23,11 %
Penyerapan air	30,19 %
Berat jenis	1,72 gr/cm <sup>3</sup>
Kerapatan ( <i>density</i> )	0,98 gr/cm <sup>3</sup>
<i>Initial rate of suction (IRS)</i>	6,92 gr/menit

Untuk pemeriksaan sifat mekanis benda uji dengan volume campuran 1 : 1 dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5 Pemeriksaan sifat mekanis volume campuran 1 : 1.

Pemeriksaan	Hasil
Kadar air	24,75 %
Penyerapan air	30,19 %
Berat jenis	1,82 gr/cm <sup>3</sup>
Kerapatan ( <i>density</i> )	0,97 gr/cm <sup>3</sup>
<i>Initial rate of suction (IRS)</i>	7,98 gr/menit

### a. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui mutu dari benda uji. Terdapat beberapa spesifikasi dari mutu benda uji terdapat pada SNI 03-0348-1989 (BSN, 1989). Dapat dilihat pada Tabel 6 kuat tekan umur 7, 14, dan 28 hari dengan volume campuran 1 : 0,5.

Tabel 6 Pemeriksaan kuat tekan volume campuran 1 : 0,5.

Umur	Benda Uji	Beban Maks (kg)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
7	S-1	1146,75	4,39	4,62
	S-2	1101,90	4,32	
	S-3	1306,65	5,15	
14	S-4	1002,90	3,86	4,49
	S-5	1211,85	4,75	
	S-6	1262,70	4,86	
28	S-7	923,10	3,66	3,41
	S-8	754,65	2,96	
	S-9	930,00	3,60	

Dapat dilihat pada Tabel 7 kuat tekan umur 7, 14, dan 28 hari dengan volume campuran 1 : 0,75.

Tabel 7 Pemeriksaan kuat tekan volume campuran 1 : 0,75

Umur	Benda Uji	Beban Maks (kg)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
7	S-11	1164,15	4,57	4,37
	S-12	1103,85	4,33	
	S-13	1035,30	4,20	
	S-14	1132,50	4,44	
14	S-15	1157,70	4,50	4,68
	S-16	1333,30	5,10	
	S-17	1450,50	5,91	
28	S-18	1525,65	5,54	5,77
	S-19	1636,05	5,87	

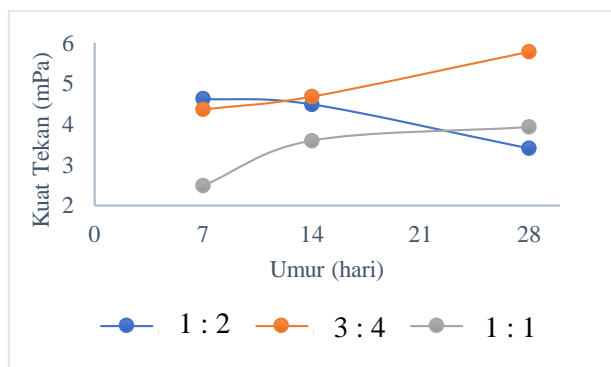
Dapat dilihat pada Tabel 8 kuat tekan umur 7, 14, dan 28 hari dengan volume campuran 1 : 1.

Tabel 8 Pemeriksaan kuat tekan volume campuran 1 : 1.

Umur	Benda Uji	Beban Maks (kg)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
7	S-21	550,20	2,11	2,48
	S-22	752,25	3,00	
	S-23	607,20	2,35	
	S-24	1102,35	4,22	
14	S-25	1017,90	3,86	3,59
	S-26	720,60	2,69	
	S-27	1021,20	3,97	
28	S-28	967,67	3,72	3,93
	S-29	1071,45	4,09	

**b. Hubungan Kuat Tekan dengan Umur**

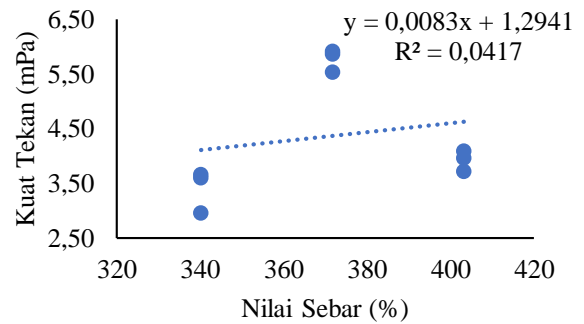
Hubungan kuat tekan dengan umur dapat dilihat pada Gambar 4. Semakin lama umur benda uji maka semakin besar nilai kuat tekan yang dihasilkan, kemudian sebaliknya. Kuat tekan dan umur memiliki hubungan berbanding lurus. Namun pada pengujian ini dihasilkan kuat tekan yang tidak sesuai dikarenakan beberapa hal seperti alat uji tekan yang digunakan terlalu keras dan terlalu lemah pada saat menekan benda uji tidak konstan, kecepatan pengujian tidak seragam terlalu cepat dan terlalu lama pada saat menekan, sehingga mengakibatkan nilai kuat tekan yang beragam dan tidak sesuai.



Gambar 4 Hubungan kuat tekan dengan umur

**c. Hubungan Kuat Tekan dengan Nilai Sebar**

Hubungan kuat tekan dengan nilai sebar dapat dilihat pada Gambar 5. Semakin besar nilai sebar benda uji maka semakin kecil nilai kuat tekan yang dihasilkan, kemudian sebaliknya. Kuat tekan dan nilai sebar memiliki hubungan berbanding terbalik. Kuat tekan yang diuji pada umur 28 hari.



Gambar 5 Hubungan kuat tekan dengan nilai sebar

Hasil kuat tekan umur 7 hari dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.



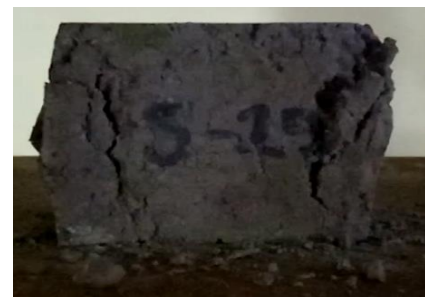
Gambar 6 Hasil uji tekan umur 7 hari

Hasil kuat tekan umur 14 hari dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7 Hasil uji tekan umur 14 hari.

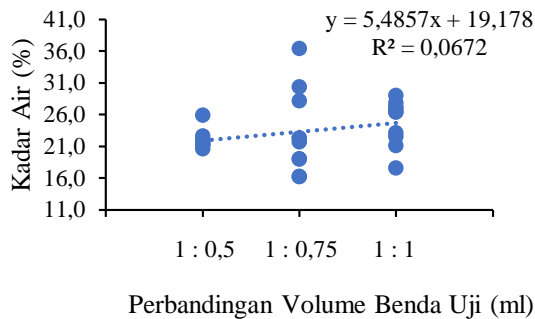
Dan pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 8 berikut ini.



Gambar 8 Hasil uji tekan umur 28 hari

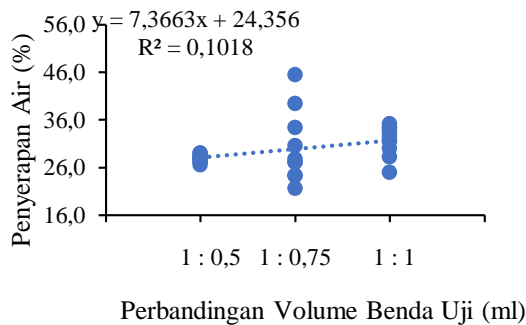
**d. Hubungan Sifat Mekanis dengan Perbandingan Volume Campuran**

Hubungan kadar air dengan perbandingan volume campuran dapat dilihat pada Gambar 8 berikut ini.



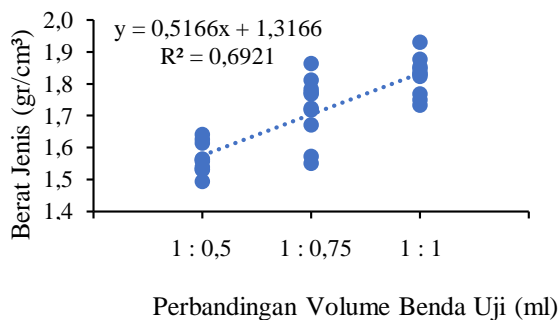
Gambar 8 Hubungan kadar air dengan perbandingan volume campuran

Hubungan penyerapan air dengan perbandingan volume campuran dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini.



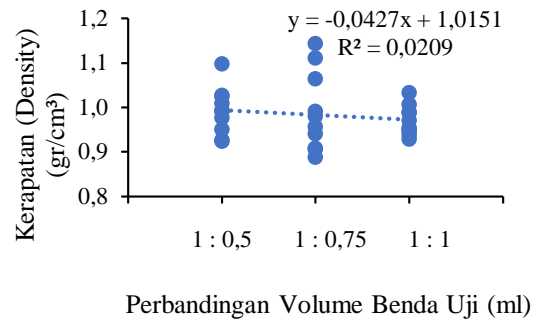
Gambar 9 Hubungan penyerapan air dengan perbandingan volume campuran

Hubungan berat jenis dengan perbandingan volume campuran dapat dilihat pada Gambar 10 berikut ini.



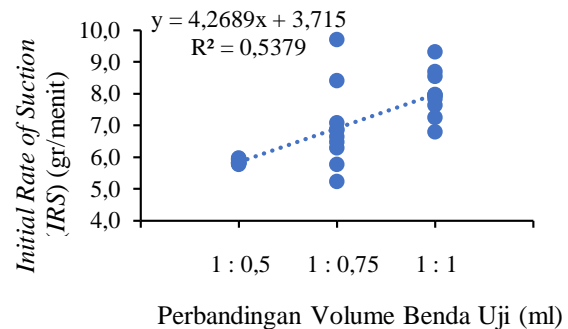
Gambar 10 Hubungan berat jenis dengan perbandingan volume campuran

Hubungan kerapatan (*density*) dengan perbandingan volume campuran dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini



Gambar 11 Hubungan kerapatan (*density*) dengan perbandingan volume campuran

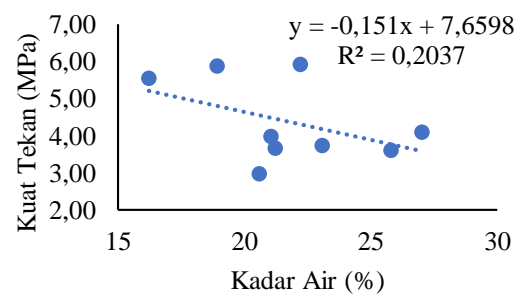
Dan hubungan *initial rate of suction (IRS)* dengan FAS dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini.



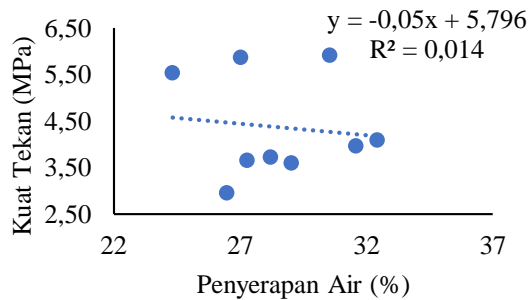
Gambar 12 Hubungan *initial rate of suction (IRS)* dengan perbandingan volume campuran

**e. Hubungan Kuat Tekan dengan Sifat Mekanis**

Hubungan kuat tekan dengan sifat mekanis antara lain hubungan kuat tekan dengan kadar air dapat dilihat pada Gambar 13.

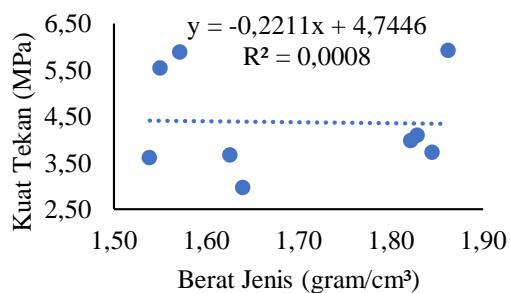


Hubungan kuat tekan dengan penyerapan air dapat dilihat pada Gambar 14.



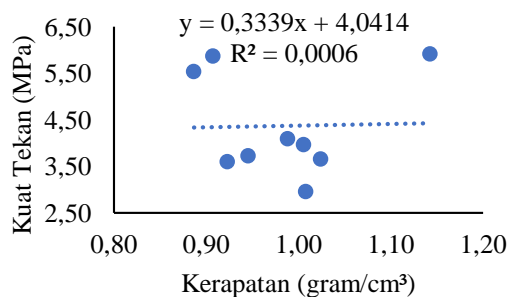
Gambar 14 Hubungan kuat tekan dan penyerapan air

Hubungan kuat tekan dengan berat jenis dapat dilihat pada Gambar 15.



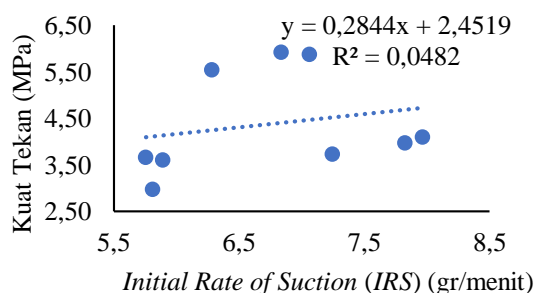
Gambar 15 Hubungan kuat tekan dan berat jenis.

Hubungan kuat tekan dengan kerapatan (*density*) dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16 Hubungan kuat tekan dan kerapatan (*density*)

Hubungan kuat tekan dengan *initial rate of suction* (*IRS*) dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17 Hubungan kuat tekan dan *initial rate of suction* (*IRS*)

## 7. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

- Sifat mekanis pada penelitian ini adalah pengujian berat jenis, kadar air, penyerapan air, kerapatan (*density*), *initial rate of suction* (*IRS*), dan kuat tekan. Pada penelitian ini, didapatkan nilai rata-rata keseluruhan berat jenis 1,70 gr/cm<sup>3</sup>, kadar air 29,88 %, penyerapan air 23,29 %, kerapatan (*density*) 0,98 gr/cm<sup>3</sup>, *initial rate of suction* (*IRS*) 6,92 gr/menit. Hasil penelitian dari nilai rata-rata keseluruhan kuat tekan pada umur 7 hari 3,82 MPa, umur 14 hari 4,25 MPa, dan umur 28 hari 4,37 MPa.
- Pada penelitian ini diantara ketiga perbandingan volume campuran yang telah diuji, perbandingan volume campuran yang memiliki kuat tekan tertinggi adalah perbandingan volume campuran 1 : 0,75 dengan kuat tekan sebesar 5,77 MPa.
- Bahan grouting dengan variasi bahan tambah sodium silikat dan semen tidak dianjurkan untuk digunakan karena kuat tekan yang dihasilkan sangatlah kecil dan bahan sodium silikat juga memiliki harga yang relatif mahal.

## Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Laboratorium Struktur dan Teknologi Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta karena telah diberikan kesempatan untuk melakukan penelitian.

## 8. Daftar Pustaka

- Ais, N. S., 2017. Pengaruh Rasio Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat pada Mortar Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang terhadap Kuat Tekan dan Kuat Geser pada Aplikasi Spesi Batu Bata. *Rekayasa Teknik Sipil*, 2(2), 211-218.
- BSN, 1989, SNI 03-0349-1989 : *Bata Beton untuk Pasangan Dinding*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2002a, SNI 03-6825-2002 : *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
- BSN, 2002b, SNI 03-6882-2002. *Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Pasangan*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

- Ekaputri, Januarti Jaya, Triwulan, dan Damayanti, Oktavina, 2007. Sifat Mekanik Beton *Geopolymer* Berbahan Dasar *Fly Ash* Jawa Power Paiton sebagai Material Alternatif. *Jurnal PONDASI*, 13(2), 124-132.
- Folagbade, S. O. Early-age Performance of Cement Combination Concrete. *Civil Engineering Dimension*, 19(1), 14-20.
- Haryanto, Yanuar, Sudiby, Gathot Heri, dan Fatkhurrozak, 2008. Abu Terbang (*Fly Ash*) sebagai Bahan Tambah untuk Meningkatkan Kuat Tekan Bata Beton (*Paving Block*). *Dinamika Rekayasa*, 4(2), 65-75.
- Hermawan, A. R., dan Eka, S. M., 2014. Kuat Tekan Beton dengan Variasi Campuran Agregat dan SikagROUT 215. *Politeknologi*, 13 (1), 17-20.
- Ismail, F. A., 2011. Identifikasi Kegagalan Struktur dan Alternatif Perbaikan serta Perkuatan Gedung BPKP Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 7(2), 1-14.
- Kristiawan, S. A., 2011. Kompatibilitas Susut antara Material Perbaikan dan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 103-118.
- Manuahe, R., Sumajouw, M. D. J., dan Windah, Reky S., 2014. Kuat Tekan Beton *Geopolymer* Berbahan Dasar Abu Terbang (*Fly Ash*). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6), 277-282.
- Sumirin, dan Arief, R. N., 2017. Analisis Efektivitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(1) 23-28.
- Waani, J. E., dan Elisabeth, L., 2017. Substitusi Material Pozolan terhadap Semen pada Kinerja Campuran Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(3), 237-244.