

PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN VISCOCRETE 1003 PADA KARAKTERISTIK BETON GEOPOLIMER

Muhammad Taufik Bima Perdana¹, Sarwidi*)², Jafar³, dan Hariadi Yulianto⁴

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 17511076@students.uui.ac.id

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 845110101@uui.ac.id (corresponding author)

³ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 185111305@uui.ac.id

⁴ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 155111305@uui.ac.id

ABSTRACT:

The use of cement as a binder in concrete has an environmental impact, because during the cement manufacturing process a large amount of CO₂ emissions are released into the atmosphere. To overcome the problem of pollution, cement substitutes are needed. Geopolymer concrete is an alternative concrete that can be used to overcome the negative impacts of using cement concrete. Geopolymer concrete uses fly ash which contains high silicates and aluminates as a substitute for cement, because these two chemical elements can react with alkali activators and become binders. In addition, rice husk ash is a pozzolanic material that contains high silicate but low aluminate. The extent to which the characteristics of geopolymer concrete change with the mixing of these materials needs to be investigated. This study aims to determine the characteristics of polymer concrete, which include density, wave propagation velocity, compressive strength, and modulus of elasticity with the addition of rice husk ash and viscocrete 1003. The geopolymer concrete mixture in this laboratory experiment used a weight ratio of water to fly ash of 0.25, with a ratio of Na₂SiO₃: NaOH of 4:2. The concrete precursor material used was fly ash with a proportion of 444 kg per m³ of concrete. Viscocrete 1003 was added by 0.6% of the weight of the precursor, and rice husk ash was used as an additive material with variations of 0%, 5%, 10%, 15%, 20% of the weight of the precursor. The results of this study indicate that geopolymer concrete with the addition of 0% husk ash produces the highest values in the density test, compressive strength test, and wave propagation test, while the modulus of elasticity cannot be displayed because the compressive strength value is too small. The addition of rice husk ash to geopolymer concrete reduces the strength of the concrete. From these variations, the highest compressive strength value is 4.798 MPa. It can be concluded that the concrete in this study can be used for non-structural elements in buildings.

Keywords: geopolymer concrete, concrete characteristics, precursors.

PENDAHULUAN

Beton merupakan material yang paling banyak digunakan. Bahan penyusun yang mudah didapatkan, mudah dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi, dan biaya perawatan yang murah merupakan beberapa kelebihan dari beton. Namun penggunaan semen pada beton menimbulkan efek buruk pada lingkungan hidup. Ridwan (2018) menyatakan bahwa produksi 1 ton semen sama dengan melepaskan 1 ton karbon dioksida ke udara. Oleh sebab itu dibutuhkan suatu material pengganti semen untuk mengatasi efek negatif dari penggunaan semen.

Beton geopolimer menjadi salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi efek negatif dari penggunaan semen. Beton geopolimer dianggap lebih ramah lingkungan dikarenakan bahan penyusunnya yang tidak lagi menggunakan semen. Pada beton geopolimer material semen digantikan dengan material yang mengandung *pozzolan*. *Pozzolan* dapat digunakan sebagai bahan tambah semen maupun sebagai bahan pengganti semen karena mengandung silika dan alumina yang biasa ditemukan pada semen.

Pada beton geopolimer penggunaan *pozzolan* dikombinasikan dengan alkali aktivator agar *pozzolan* yang digunakan dapat bersifat seperti semen yang mampu mengikat agregat. Penggunaan alkali aktivator pada beton geopolimer berfungsi untuk mereaksikan kandungan silika dan alumina yang terdapat pada *pozzolan* yang berasal dari alam maupun *pozzolan* yang berasal dari sisa industri. Manuahe dkk (2014) menyebutkan waktu pengikatan awal (*Setting time*) pada beton geopolimer sangat cepat, menyebabkan beton geopolimer menjadi sangat kental dan tidak *workability* sehingga diperlukan *superplasticizer* pada proses pembuatannya.

Superplasticizer merupakan bahan tambah kimia yang bersifat *high range water reducer admixtures* yang digunakan untuk

menjaga kelecakan campuran beton (Prasetya, 2018). *Superplasticizer* digunakan karena mampu menjaga kelecakan adukan beton, sehingga adukan tidak kental dan mudah untuk dikerjakan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan, nilai modulus elastisitas, nilai cepat rambat gelombang, dan berat volume beton pada beton geopolimer berbahan dasar abu terbang yang diberi bahan tambah abu sekam padi dan *viscocrete* 1003 sebanyak 0,6% dari berat prekursor.

Tujuan Penelitian

Adapun penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik beton geopolimer, yang meliputi:

1. menganalisis kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar abu terbang (*fly ash*) dengan penambahan *viscocrete* 1003 sebanyak 0,6% dari berat prekursor dan variasi persentase abu sekam padi,
2. mengetahui variasi persentase optimum penggunaan bahan tambah abu sekam padi pada beton geopolimer,
3. mengetahui pengaruh penambahan abu sekam padi pada beton geopolimer dengan *viscocrete* 1003 sebanyak 0,6% dari berat prekursor terhadap nilai modulus elastisitas,
4. mengetahui nilai berat volume beton yang terjadi pada setiap kombinasi campuran dan
5. mengetahui pengaruh penambahan abu sekam padi pada beton geopolimer dengan *viscocrete* 1003 sebanyak 0,6% dari berat prekursor terhadap kecepatan beton melalui pengujian kecepatan rambat gelombang.

LANDASAN TEORI

Beton Geopolimer

Geopolimer merupakan bentuk anorganik alumina-silika yang disintesa dari material yang banyak mengandung Silika (Si) dan Alumina (Al) yang berasal dari alam atau

material hasil sampingan industri (Manuahe dkk, 2014).

Abu Terbang (*fly ash*)

Abu terbang merupakan produk sampingan industri yang biasa didapat dari hasil pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Abu terbang dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen karena termasuk material *pozzolan* yang mengandung silika dan alumina. Menurut SNI 2460-2014, *pozzolan* dibedakan menjadi 2 kategori, yaitu abu terbang kelas C yang memiliki kandungan kalsium oksida (CaO) lebih tinggi dari 10%, sehingga sering disebut juga dengan *high calcium fly ash* dan abu terbang kelas F yang memiliki kandungan kalsium oksida (CaO) lebih rendah dari 10%, sehingga sering disebut juga dengan *low calcium fly ash*. Pada penelitian ini digunakan abu terbang kelas F

Alkali Aktivator

Alkali aktivator pada beton geopolimer digunakan untuk mereaksikan kandungan kimia yang terdapat pada material *pozzolan*. Adisty (2008) menyatakan bahwa alkali aktivator yang biasa digunakan pada umumnya berbasis pada natrium dan kalium. Alkali aktivator yang biasa digunakan merupakan kombinasi antara *Sodium Silicate* (Na_2SiO_3) dan *Sodium Hydroxide* (NaOH). Manuahe dkk (2014) menyatakan bahwa Pemakaian *Sodium Silicate* (Na_2SiO_3) bertujuan untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan untuk pemakaian *Sodium Hydroxide* (NaOH) bertujuan untuk mereaksikan kandungan Alumina (Al) dan Silika (Si) yang terkandung dalam pasta, agar ikatan polimer yang terbentuk kuat.

Agregat

Agregat yang digunakan sesuai dengan persyaratan yang tercantum pada SNI 03 – 2834 – 2000 dengan ukuran agregat maksimum berukuran 20 mm, sedangkan

untuk agregat halus yang digunakan agregat halus dengan gradasi 1 atau pasir kasar.

Abu Sekam Padi

Abu sekam padi merupakan hasil dari pembakaran sekam padi. Putih keabu – abuan hingga hitam merupakan warna dari abu sekam padi, warna tersebut tergantung pada suhu pembakaran dan sumber sekam padi. Pada abu sekam padi ditemukan kandungan silikat yang tinggi sehingga biasa digunakan sebagai bahan tambah pada beton karena bersifat *pozzolan*.

Superplasticizer

Prasetya (2018) menyatakan bahwa *Superplasticizer* merupakan bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang berfungsi untuk melarutkan gumpalan – gumpalan dengan cara melapisi pasta, sehingga pasta dapat tersebar secara merata pada adukan beton. Selain itu penggunaan *Superplasticizer* juga dapat membuat beton mengalir tanpa *bleeding* dan *Segregation* yang sering terjadi pada beton dengan jumlah air yang besar.

Pembentukan Geopolimer

Pengikatan pada beton geopolimer melalui proses polimerisasi bukan proses hidrasi. Dalam proses polimerisasi *pozzolan* yang memiliki kandungan silika (Si) dan Alumina (Al) memegang peranan penting karena pada saat kedua kandungan tersebut bereaksi dengan larutan alkali menyebabkan *pozzolan* bersifat seperti pasta semen yang mampu mengikat agregat dan bahan lainnya yang terkandung pada sebuah beton. Dalam proses polimerisasi akan menghasilkan suatu rantai struktur yang disebut dengan *Polysialate* (Si-O-Al-O-Si).

Slump

Slump merupakan suatu pengujian yang dilakukan dengan tujuan mengetahui tingkat kelecekan pada suatu adukan beton, sehingga dapat diketahui tingkat kemudahan pengerjaan dari suatu adukan beton. Nilai *Slump* rendah menandakan suatu adukan

kental dan sulit untuk dikerjakan, sedangkan nilai *Slump* tinggi menandakan suatu adukan encer dan mudah untuk dikerjakan.

Kuat tekan

Kuat tekan merupakan besarnya beban per satuan luas yang dapat diterima oleh beton, dan akan menyebabkan benda uji beton hancur dengan kekuatan tertentu bila diberi beban yang dihasilkan oleh mesin tekan. Nilai kuat tekan dapat diperoleh melalui persamaan:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dengan f'_c = kuat tekan (MPa), P = beban maksimum (N) dan A = luas penampang benda uji (mm²).

Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas merupakan pengujian untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan regangan dari suatu bahan. Menurut ASTM C-469 modulus elastisitas dapat diperoleh melalui persamaan:

$$E_c = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0,00005)} \quad (2)$$

Dengan E_c = modulus elastisitas beton (MPa), S_2 = kuat tekan pada saat 40% dari beban maksimum (MPa), S_1 = kuat tekan pada saat regangan longitudinal mencapai

$\varepsilon_1 = 0,00005$ dan ε_2 = regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat S_2 .

Adapun nilai ε dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3)$$

Dengan ΔL = deformasi longitudinal (mm) dan L_0 = tinggi efektif pengukuran (mm).

Berat Volume Beton

Berat volume beton merupakan perbandingan antara berat beton dengan volume beton. Berat volume beton dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\text{Berat volume} = \frac{W}{V} \quad (4)$$

Dengan W = berat volume (kg) dan

V = volume beton (m³).

Kecepatan Rambat Gelombang

SNI ASTM C597: 2012 menyatakan bahwa pengujian rambat gelombang dilakukan agar mengetahui rongga atau retak yang terjadi pada beton, sehingga dapat diketahui tingkat homogenitas atau kepadatan dari suatu beton. Nilai kecepatan rambat gelombang dapat diperoleh dengan persamaan:

$$v = \frac{L}{T} \quad (5)$$

Dengan v = kecepatan rambat gelombang (m/s), L = jarak antara pusat transduser (m) dan T = waktu tempuh (s).

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan merupakan metode eksperimental (melakukan uji coba langsung di laboratorium), penelitian ini menggunakan perencanaan dengan perbandingan berat volume, dilakukan uji material untuk agregat kasar dan halus, perawatan beton dilakukan dengan cara dibiarkan pada suhu ruang, dan dilakukan uji kuat tekan, modulus elastisitas, cepat rambat gelombang dan berat volume beton. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini merupakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm dan diuji pada umur setelah 28 hari.

Bahan dan Peralatan

Pembuatan benda uji (beton silinder) dan pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut: agregat halus, agregat kasar, air, abu terbang, abu sekam padi, viscoscrete 1003, Na₂SiO₃ (*Sodium Silicate* / Natrium Silikat), dan NaOH (*Sodium Hydroxide* / Natrium Hidroksida).

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut : alat tulis, piknometer, satu

ayakan agregat, timbangan, cetakan silinder ukuran 15 cm x 30 cm, mini *mixer* beton, penumbuk, kerucut abram, palu karet, gerobak dorong, troli barang, PUNDIT (*Portable Ultrasonic Non Destructive Digital indicating Test*), UTM (*Universal Testing Machine*), CTM (*Compressing Testing Machine*), cetakan *capping*, oven, mesin saringan.

Prosedur Penelitian

Analisa Bahan

Pada tahap ini dilakukan pegujian agregat halus dan agregat kasar. Dilakukan beberapa pengujian yaitu: pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat (halus dan kasar), Pengujian analisa saringan agregat (halus dan kasar), pengujian gembur/berat volume agregat (halus dan kasar), pengujian lolos saringan no. 200/pengujian kandungan lumpur agregat (halus).

Pembuatan Benda Uji

Dilakukan pencampuran semua bahan yang telah dipersiapkan dengan agregat yang telah dilakukan pengujian pada tahap sebelumnya, dengan *superplasticizer* sebesar 0,6% dari berat prekursor, perbandingan NaOH:Na₂SiO₃ yang digunakan adalah 4:2, rasio bobot air dibanding abu terbang (faktor *w/fa*) sebesar 0,25, dan abu sekam padi sebagai bahan tambah dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat prekursor. Adapun untuk prekursor yang digunakan merupakan abu terbang dengan proporsi 444 kg setiap m³.

Pengujian Benda Uji

Pada tahap ini dilakukan pengujian pada benda uji setelah umur 28 hari. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu: pengujian berat volume beton, pengujian kecepatan rambat gelombang, pengujian kuat tekan, dan pengujian modulus elastisitas.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian *Slump*

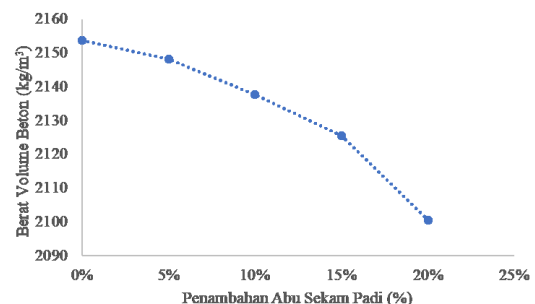
Salah satu metode untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan suatu adukan beton adalah pengujian *slump*. Berdasarkan hasil pengujian *slump*, penggunaan *superplasticizer* sebanyak 0,6% dari berat prekursor tetap menghasilkan nilai *Slump* yang rendah. Nilai *Slump* rendah dikarenakan waktu pengikatan pada beton geopolimer yang cepat sehingga menyebabkan adukan beton geopolimer terlalu kental dan sulit untuk dikerjakan.

Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Berat volume merupakan perbandingan berat beton terhadap volume beton. Berat volume beton pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Berat Volume Beton Rata – rata

Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Berat Volume Rata – rata (Kg/m ³)
BG0	5	2153,685
BG5	5	2148,217
BG10	5	2137,598
BG15	5	2125,421
BG20	5	2100,550



Gambar 1 Grafik Hasil Pengujian Berat Volume Beton

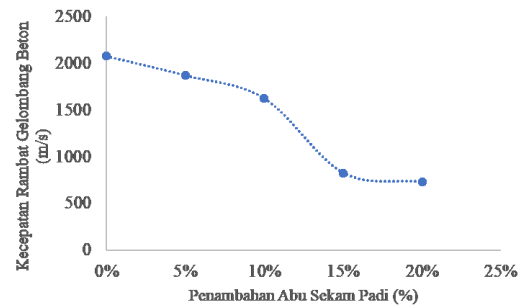
Dari Tabel 1 dan Gambar 1 dapat dilihat bahwa beton geopolimer berbobot beton normal karena memiliki nilai berat volume beton dari 2100,550 kg/m³ hingga 2153,685 kg/m³. Nilai berat volume terbesar didapat pada penambahan abu sekam padi sebanyak 0% dan nilai terkecil ada pada penambahan abu sekam padi sebanyak 20%. Penambahan abu sekam padi mempengaruhi ikatan polimer yang terjadi akibat bercampurnya *pozzolan* dengan alkali aktivator sehingga menyebabkan Penurunan nilai berat volume seiring dengan pertambahan abu sekam padi. Hal tersebut terjadi akibat abu sekam padi yang tinggi silikat namun rendah aluminat.

Hasil Pengujian Kecepatan Rambat Gelombang

Pengujian ini memanfaatkan gelombang yang dialirkan dari ujung ke ujung benda uji. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kepadatan beton yang sudah dibuat. Nilai kecepatan rambat gelombang beton pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2 sebagai berikut.

Tabel 2 Kecepatan Rambat Gelombang Beton Rata – rata

Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Kecepatan Rambat Gelombang Rata – rata (m/s)
BG0	5	2077,600
BG5	5	1871,800
BG10	5	1624,400
BG15	5	826,400
BG20	5	729,200



Gambar 2 Grafik Hasil Pengujian Kecepatan Rambat Gelombang Beton

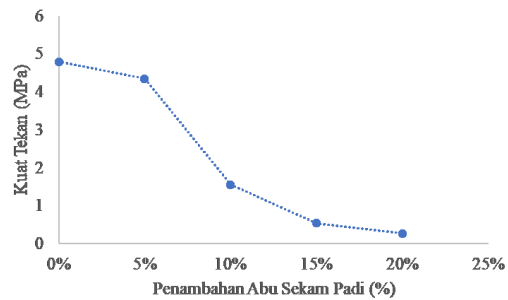
Dari Tabel 2 dan Gambar 2 dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan abu sekam padi menyebabkan nilai kecepatan rambat gelombang beton menurun. Nilai kecepatan rambat gelombang beton terbesar didapat pada penambahan abu sekam padi sebanyak 0% dan nilai terkecil ada pada penambahan abu sekam padi sebanyak 20%. Nilai kecepatan rambat gelombang yang kecil menandakan bahwa kepadatan beton geopolimer yang dibuat buruk. Hal tersebut terjadi akibat penambahan abu sekam padi pada beton geopolimer mempengaruhi ikatan polimer, kandungan abu sekam padi yang tinggi silikat dan rendah kandungan aluminat membuat proses polimerisasi pada beton geopolimer berjalan tidak sempurna.

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan, terjadi penurunan nilai kuat tekan seiring dengan bertambahnya variasi penambahan abu sekam padi. Nilai kuat tekan beton pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3 sebagai berikut.

Tabel 3 Kuat Tekan Beton Rata – rata

Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Kuat Tekan Rata – rata (MPa)
BG0	5	4,798
BG5	5	4,349
BG10	5	1,558
BG15	5	0,547
BG20	5	0,273



Gambar 3 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Dari Tabel 3 dan Gambar 3 dapat dilihat bahwa Nilai kuat tekan terbesar didapat pada penambahan abu sekam padi sebanyak 0% dan nilai terkecil ada pada penambahan abu sekam padi sebanyak 20%, terjadi penurunan kuat tekan seiring dengan penambahan abu sekam padi. Hal tersebut terjadi akibat kepadatan beton yang buruk sehingga menyebabkan nilai kuat tekan yang kecil. Jika dilihat dari nilai kuat tekan yang kecil maka beton geopolimer ini tidak dapat digunakan untuk bagian struktur, namun dapat digunakan untuk bagian non-struktur seperti dinding.

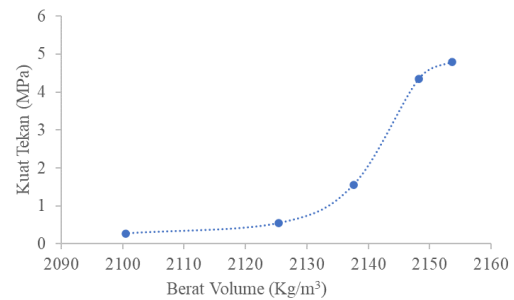
Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan, adapun untuk pembacaan dial dilakukan pada interval beban 10 KN dan dimulai pada saat beban pada pengujian kuat tekan mencapai beban 10 KN hingga beton mencapai kekuatan maksimalnya.

Pada penelitian ini nilai modulus elastisitas tidak dapat ditampilkan karena nilai kuat tekan yang terlalu kecil (Dibawah 10 KN).

Hubungan Nilai Berat Volume Beton Dengan Nilai Kuat Tekan

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara nilai berat volume beton dengan nilai kuat tekan.

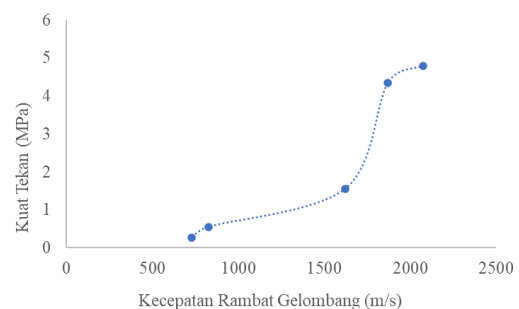


Gambar 4 Grafik Hubungan Nilai Berat Volume Beton Dengan Nilai Kuat Tekan

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa berat volume beton berbanding lurus terhadap nilai kuat tekan, dimana dari grafik dapat dilihat bahwa semakin besar nilai berat volume beton semakin besar juga nilai kuat tekan yang dihasilkan.

Hubungan Nilai Kecepatan Rambat Gelombang Dengan Nilai Kuat Tekan

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara nilai kecepatan rambat gelombang beton dengan nilai kuat tekan.

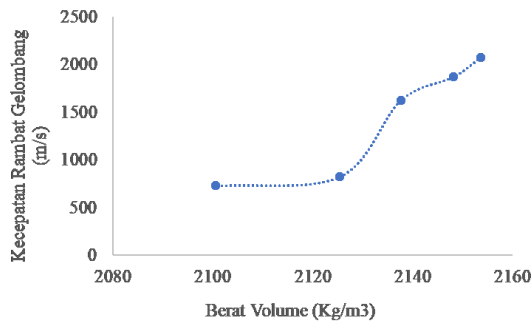


Gambar 5 Grafik Hubungan Nilai Kecepatan Rambat Gelombang Dengan Nilai Kuat Tekan

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa kecepatan rambat gelombang beton berbanding lurus terhadap nilai kuat tekan, dimana dari grafik dapat dilihat bahwa semakin besar nilai kecepatan rambat gelombang beton semakin besar juga nilai kuat tekan yang dihasilkan.

Hubungan Nilai Kecepatan Rambat Gelombang dan Berat Volume Beton

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara nilai kecepatan rambat gelombang beton dengan berat volume beton .



Gambar 6 Grafik Hubungan Nilai Kecepatan Rambat Gelombang Dengan Nilai Berat Volume Beton

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa kecepatan rambat gelombang beton berbanding lurus terhadap nilai berat volume beton, dimana dari grafik dapat dilihat bahwa semakin besar nilai kecepatan rambat gelombang beton semakin besar juga nilai berat volume beton yang dihasilkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari analisis dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai kuat tekan beton geopolimer tertinggi terdapat pada beton geopolimer tanpa penambahan abu sekam padi atau BG0 sebesar 4,798 MPa, dan nilai kuat tekan beton geopolimer terendah terdapat pada beton geopolimer dengan penambahan 20% abu sekam padi terhadap berat prekursor sebesar 0,273 MPa.
2. Beton geopolimer tanpa penambahan abu sekam atau beton geopolimer dengan penambahan variasi 0% abu sekam padi terhadap prekursor merupakan variasi optimum.

3. Nilai modulus elastisitas tidak dapat ditampilkan akibat nilai kuat tekan yang terlalu kecil.
4. Nilai berat volume beton geopolimer tertinggi terdapat pada beton geopolimer tanpa penambahan abu sekam padi atau BG0 sebesar 2153,685 kg/m³, dan nilai kuat tekan beton geopolimer terendah terdapat pada beton geopolimer dengan penambahan 20% abu sekam padi terhadap berat prekursor sebesar 2100,550 kg/m³.
5. Nilai kecepatan rambat gelombang beton geopolimer tertinggi terdapat pada beton geopolimer tanpa penambahan abu sekam padi atau BG0 sebesar 2077,6 m/s, dan kecepatan rambat gelombang geopolimer terendah terdapat pada beton geopolimer dengan penambahan 20% abu sekam padi terhadap berat prekursor sebesar 729,2 m/s.

Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian berikutnya berdasarkan penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan abu padat (*bottom ash*) sebagai bahan pengganti semen agar bisa menjadi pembanding terhadap beton geopolimer dengan bahan pengganti semen abu terbang (*fly ash*).
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan abu terbang kelas C agar bisa menjadi pembanding terhadap beton geopolimer dengan bahan pengganti semen abu terbang kelas F.
3. Penelitian terkait dengan teknik perawatan benda uji dengan cara dioven atau dijemur di bawah sinar matahari perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisty, D., 2008. “*Sintesis Geopolimer Berbahan Baku Abu Terbang ASTM Kelas C*”. Universitas Indonesia. Depok

- ASTM C 469-02. "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression". United States.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. "SNI-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal". BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2014. "SNI-2460-2014: Spesifikasi Abu Terbang batubara dan Pozzolan alam Mentah atau Yang Telah dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton". BSN. Jakarta.
- Manuahe, R., Sumajouw, M.D.J., Windah R.S., 2014. "Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)". *Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.6*. 277-282.
- Prasetya, D.A., 2018. "Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi dan Viscocrete 1003 Terhadap Karakteristik Beton Normal". Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ridwan, M., 2018. "Karakteristik Beton Geopolimer Menggunakan Limbah Fly Ash PLTU Tanjung Jati B Jepara". Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Utomo, T., 2017. "Analisa Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Bahan Alternatif Abu Sekam Padi dan Kapur Padam". Universitas Muhammadiyah Purworejo. Purworejo