

KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER HYBRID FABA DENGAN PENAMBAHAN SEMEN PCC

Dhea Fitra Yofani¹⁾, Monita Olivia²⁾, Gunawan Wibisono²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru, Kode 28293 Email: dhea.fitra1794@student.unri.ac.id

ABSTRACT

This study investigates the effect of the alkaline/FABA ratio and the effect of extra water/FABA on FABA hybrid geopolymer concrete with addition of portland composite cement. Treatment of geopolymer concrete is carried out at room temperature without immersion. The variations of alkali/FABA used were 0.6 and 0.65, while the variations for extra water/FABA used were 0.2 and 0.23. The results of the test show that geopolymer concrete with a variation of alkali/FABA 0.6 with a value of 18.167 Mpa, while variations of alkali/FABA 0.65 get a compressive strength of 15.568 Mpa. In the extra water/FABA 0.23 variation, the compressive strength is 15.568 Mpa, higher than the extra water/FABA 0.2 variation, which is 14.617 Mpa.

Kata kunci: geopolimer, hybrid, fly ash bottom ash, portland composite cement.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Produksi batubara nasional tahun 2017 sebesar 461 juta ton, dan pada tahun 2018 naik sebanyak 5% atau sekitar 484 juta ton. Batubara sebagai material yang memiliki potensi besar di Indonesia, membuat industri memakai batubara sebagai sumber energi. Tercatat pemanfaatan batubara domestik pada tahun 2017 sebesar 97 ton digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Kementrian ESDM 2017). Pada penelitian (Klarens, Indranata, Antoni, & Hardjito, 2015) sebuah PLTU dengan pembakaran batubara 250 ton/jam menghasilkan limbah FABA sebanyak 4% yang terdiri dari 75% *fly ash* dan 25% *bottom ash*. Artinya limbah FABA yang dihasilkan dalam satu jam mencapai 10 ton.

Limbah FABA digolongkan sebagai limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) karena mengandung logam berat dan berpotensi merusak lingkungan

(Dewi, et al 2016). Karena itu perlu dilakukan pemanfaatan yang tepat pada FABA agar tidak membahayakan lingkungan. Salah satu kemungkinan penanganannya adalah dengan memanfaatkan FABA ini secara masif untuk bahan baku konstruksi, semen, pembuatan refraktori, road base. Pemanfaatan lain seperti bahan pembenah lahan, material penetral, absorber dapat pula dipakai namun tidak semasif pada pemanfaatan sebagai material konstruksi (Damayanti, 2018)

Limbah FABA memiliki kandungan alumina (Al) dan silika (Si) yang dapat dijadikan material pengganti semen. Pada tahun 1994 Davidovits mengenalkan material bernama geopolimer. Beton geopolimer merupakan beton tanpa semen yang bahan pengikatnya digantikan oleh material dengan kandungan alumina dan silika yang dibantu larutan aktivator sebagai pengaktif reaksi polimer (Manuahe et al., 2014). Sifat dan karakteristik beton geopolimer abu

terbang dipengaruhi oleh rasio alkali aktivator terhadap abu terbang (Hardjito, Wee, & Ee, 2011). Beton geopolimer juga dipengaruhi oleh suhu, dimana suhu tinggi dibutuhkan untuk mempercepat reaksi polimer dan meningkatkan kekuatan beton (Habert, D'Espinose De Lacaillerie, & Roussel, 2011). Hal ini menjadi kelemahan penggunaan beton geopolimer untuk dapat diaplikasikan dilapangan.

TINJAUAN

PUSTAKA Beton

Beton merupakan suatu campuran dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, semen dan air dengan bahan tambah (*admixture & additive*) atau tanpa bahan tambah dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk (Tjokrodinulyo, 2007).

Pada umumnya beton terdiri dari $\pm 15\%$ semen, $\pm 8\%$ air, $\pm 3\%$ udara selebihnya pasir dan kerikil. Air dan semen akan membentuk pasta dan mengisi rongga udara diantara agregat halus kemudian mengikatnya dalam proses pengerasan, sehingga butiran agregat saling terikat dan membentuk material padat (Samekto, 2001).

Beton Geopolimer

Beton geopolimer merupakan beton yang menggunakan bahan yang mengandung unsur-unsur silikat dan aluminium sebagai bahan pengikatnya. Abu terbang adalah salah satu material yang bisa dijadikan alternatif pengganti semen dalam beton geopolimer yang membutuhkan reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi, aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peran penting dalam ikatan polimerisasi. Reaksi aluminium dan Silika yang

terkandung dibahan dasar dengan larutan alkali akan menghasilkan rangkaian panjang AlO_4 dan SiO_4 (Davidovits, 1994).

Semakin tinggi perbandingan rasio masa sodium silikat dengan sodium hidroksida, maka semakin cepat waktu pengikatan akhir berlangsung. Hal ini disebabkan karena jumlah Na_2SiO_3 yang ada dalam campuran binder lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah $NaOH$ sehingga mempercepat reaksi polimerisasi (Hardjito, Wallah, Sumajow, & Rangan, 2005).

Beton Geopolimer Hybrid

Beton geopolimer dengan penambahan semen *portland* maksimal 30% dari proporsi abu terbang dikenal dengan beton geopolimer *hybrid*. Penambahan semen PCC pada beton geopolimer berfungsi agar beton geopolimer dapat dirawat pada suhu ruang. Semen PCC akan menghasilkan kalsium aluminat silikat hidrat (CASH) yang akan mengkristal dan membuat beton geopolimer dapat mengeras pada suhu ruang.

Pada penelitian (Pratama, 2018) beton geopolimer abu terbang *hybrid* dipengaruhi oleh rasio modulus silikat, molaritas $NaOH$ dan presentase penggantian OPC terhadap abu terbang.

Pada penelitian (Wijaya, 2019) geopolimer OPC mengalami peningkatan porositas pada umur rendaman 56 hari di air gambut, sedangkan geopolimer PCC mengalami penurunan porositas pada umur rendaman 56 hari.

Material Penyusun Beton Geopolimer FABA Hybrid

Agregat

Agregat adalah material granular berupa butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain. Agregat

merupakan material penting pada beton, karena kualitasnya mempengaruhi kekuatan dari beton tersebut.

Fly ash bottom ash (FABA)

1. Fly ash

Fly ash (abu terbang) merupakan sisa dari hasil pembakaran batubara pada power plants. *Fly ash* mempunyai titik lebur sekitar 1300 °C dan berdasarkan uji komposisi kimia *fly ash* mengandung CAS (CO-Al₂O₃-SiO₂) dalam jumlah besar yang merupakan pembentuk utama network glass. *Fly ash* mempunyai kerapatan massa (densitas), antara 2,0 – 2,5 g/cm³ (Bieniaś, Walczak, Surowska, & Sobczak, 2003)

2. Bottom ash

Sifat fisik *bottom ash* dapat diamati berdasarkan bentuk butirannya, warna, tampilan, ukuran butirannya, *specific gravity*, *dry unit weight* dan penyerapan dari *wet* dan *dry*. Selain itu, warna yang lebih muda juga mengindikasikan kandungan kalsium oksida yang tinggi namun kandungan karbonnya rendah, sedangkan warna yang lebih tua menunjukkan kandungan organik yang tinggi (Marzuki & Jogaswara, 2000).

Larutan alkali aktivator

Beton geopolimer umumnya menggunakan sodium silikat (Na₂SiO₃) dan sodium hidroksida (NaOH) sebagai larutan aktivator. (Aliabdo et al, 2016) menyebutkan bahwa semakin meningkatnya perbandingan antara NaOH dan larutan sodium silikat akan berdampak pada kuat tekannya yang akan berkurang secara signifikan.

Sodium hidroksida berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium silikat berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur silika dan alumina yang terkandung dalam abu terbang sehingga dihasilkan ikatan polimer yang kuat (Kasyanto, 2012)

Air

Dalam beton geopolimer air yang akan digunakan memiliki perbandingan terhadap berat *fly ash*. Dalam penelitian (Liu et al., 2017) menggunakan perbandingan air terhadap *fly ash* (W/FA) sebesar 0,25 mendapatkan kuat tekan paling tinggi dibanding variasi lainnya.

Portland composite cement

Pada beton geopolimer semen *portland* berfungsi menambah kuat tekan tanpa dilakukan perawatan pada suhu tinggi sehingga disebut beton geopolimer *hybrid*. Penelitian tentang geopolimer *hybrid* biasanya menggunakan semen *portland* sebagai pengganti komposisi *fly ash* (*replace*) ataupun hanya menambah semen *portland* kedalam campuran terhadap berat *fly ash*.

Superplasticizer

Superplasticizer merupakan bahan tambah (*admixture*) pada beton. *Admixture* adalah bahan selain agregat, semen, air yang merupakan campuran dari beton baik sebelum atau setelah pengadukan beton. Penambahan superplasticizer bertujuan untuk mengubah sifat beton sesuai keinginan perencana.

METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material yang dilakukan meliputi pengujian karakteristik agregat dan pengujian karakteristik FABA

Perencanaan Dan Pembuatan benda Uji

Benda uji yang dibuat adalah beton geopolimer FABA *hybrid* dengan 3 variasi mix dengan komposisi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Perencanaan benda uji

Mix	NaOH	Ms	%PCC	Alkali/FA BA	Extra Water/FABA
1	12	2,5	15	0,65	0,23
2	12	2,5	15	0,60	0,23
3	12	2,5	15	0,65	0,20

Benda uji memakai ukuran silinder 110x210 mm sebanyak 3 buah untuk setiap variasi.

Perawatan Benda Uji

Perawatan dilakukan pada suhu ruang tanpa rendaman, dengan mendinginkan beton di suhu ruang sampai pada umur pengujian yakni 28 hari.

Pengujian Benda Uji

Kuat tekan

kuat tekan beton dihitung dengan beban maksimum dibagi dengan luas penampang benda uji. Kuat tekan beton (f'_c) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$= -$$

Keterangan:

: kuat tekan beton (MPa)

P: beban tekan (N)

A : luas permukaan benda uji (mm^2)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Karakteristik Agregat Hasil dari pengujian karakteristik

agregat akan dibandingkan dengan spesifikasi standar yang telah ditentukan SNI dan ASTM. Berikut hasil dari pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2, dan hasil pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Uji	Standar Spesifikasi
1	Kadar lumpur	0,64	<5
2	Berat jenis (gr/cm^3)		
a.	<i>Apparent specific gravity</i>	2,67	2,50 – 2,70
b.	<i>Bulk specific gravity (dry)</i>	2,59	2,50 – 2,70
c.	<i>Bulk specific gravity (SSD)</i>	2,62	2,50 – 2,70
d.	<i>Absorption (%)</i>	1,16	2,00 – 7,00
3	Kadar air	0,02	3,00 – 5,00
4	Modulus kehalusan	2,98	1,50 – 3,80
5	Berat volume (gr/cm^3)		
a.	Kondisi gembur	1,55	1,40 – 1,90
b.	Kondisi padat	1,72	1,40 – 1,90
6	Kadar organik	2	<No. 3

Tabel 3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Standar
1	Berat jenis (gr/cm^3)		
a.	<i>Apparent specific gravity</i>	2,63	2,50 – 2,70
b.	<i>Bulk specific gravity (dry)</i>	2,52	2,50 – 2,70
c.	<i>Bulk specific gravity (SSD)</i>	2,56	2,50 – 2,70
d.	<i>Absorption (%)</i>	1,63	2,00 – 7,00
2	Kadar air	0,106	3,00 – 5,00
3	Keausan (%)	40,26	<40
4	Modulus kehalusan	6,81	6,00 – 7,10
5	Berat volume (gr/cm^3)		
a.	Kondisi gembur	1,334	1,40 – 1,90
b.	Kondisi padat	1,493	1,40 – 1,90

Pada hasil pengujian karakteristik agregat terdapat beberapa pengujian yang memenuhi standar dan ada juga yang tidak memenuhi.

Hasil Pengujian Fly Ash Bottom Ash (FABA)

Pengujian karakteristik FABA dengan menggunakan standar ASTM D 6349-2001. Hasil dari pengujian

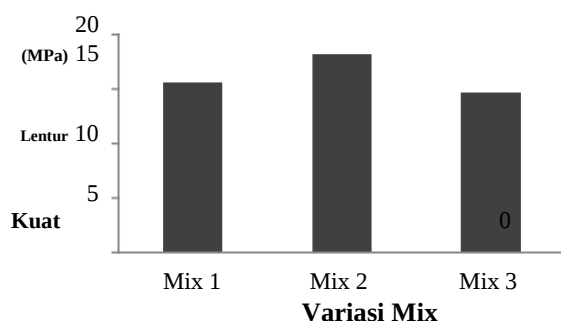
karakteristik FABA dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Karakteristik FABA		
No	Parameter Uji	Hasil Analisa (%)
1	K ₂ O	2,23
2	SiO ₃	59,25
3	Al ₂ O ₃	29,25
4	Fe ₂ O ₃	5,45
5	CaO	1,54
6	MgO	0,31
7	Na ₂ O	0,68
8	SO ₃	0,29
9	P ₂ O ₅	0,04
10	TiO ₂	0,83
11	MnO ₂	0,01

Dari Tabel 4. diperoleh kandungan kimia terbanyak yang terdapat pada FABA adalah Silika (SiO₃) dengan kadar 59,25 % dan diikuti dengan Alumina (Al₂O₃).

Kadar Besi (Fe₂O₃) dengan 5,45% dan senyawa lainnya masing masing kurang dari 3%. Hal ini menunjukkan bahwa FABA bisa digunakan sebagai bahan pengikat beton karena mengandung kandungan silika dan alumina yang tinggi.

Hasil Pengujian Kuat Tekan



Gambar 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan didapat kuat tekan tertinggi pada variasi mix 2 seperti yang terlihat pada Gambar 2. Mix 2 mendapat nilai kuat tekan sebesar 18,167 Mpa, sedangkan mix 1

mendapatkan 15,568 Mpa dan mix 3 sebesar 14,617 Mpa.

Mix 2 dengan variasi Alkali/FABA 0,6 mendapat kuat tekan lebih tinggi dibanding mix 1 dengan variasi Alkali FABA 0,65. Hal ini terjadi karena kadar alkali yang terlalu besar akan menurunkan kuat tekan beton karena jumlah OH dari alkali melebihi batas untuk proses geopolimerisasi (Sukmak, Horpibulsuk, & Shen, 2013).

Pada mix 3 kuat tekan rendah diakibatkan karena extra water/FABA 0,2 mengandung air yang sedikit, hal tersebut membuat reaksi hidrasi pada semen menjadi lama dan kuat tekan menjadi rendah dibanding mix 2 dengan extra water/FABA 0,23.

KESIMPULAN DAN

SARAN Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan geopolimer FABA *hybrid* pada umur perawatan 28 hari suhu ruang, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada mix 2 dengan variasi Alkali/FABA 0,65 dibanding 2 variis mix lainnya.
2. Kadar alkali yang berlebih dapat menurunkan kuat tekan beton seperti yang terjadi pada variasi mix 1.
3. Kandungan air pada beton geopolimer mempengaruhi hidrasi yang terjadi pada semen PCC

Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu ditambah variasi lain seperti pengaruh molaritas naoh dan pengaruh presentase penambahan semen pcc
2. Dalam pembuatan sampel dan perawatansampelhendaknya

diperlakukan seragam agar data yang diperoleh akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliabdo, A. A., Abd Elmoaty, A. E. M., & Salem, H. A. (2016). Effect of water addition, plasticizer and alkaline solution constitution on fly ash based geopolymer concrete performance. *Construction and Building Materials*, 121, 694–703. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.062>
- Bienias, J., Walczak, M., Surowska, B., & Sobczak, J. (2003). Microstructure and corrosion behaviour of aluminum fly ash composites. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 5(2), 493–502.
- Damayanti, R. (2018). Abu batubara dan pemanfaatannya: Tinjauan teknis karakteristik secara kimia dan toksikologinya. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 14(3), 213–231. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol14.no3.2018.966>
- Davidovits, J. (1994). GEOPOLYMERS: Man-Made Rock Geosynthesis and the Resulting Development of Very Early High Strength Cement. *Materials Education*, 16(2–3), 1–25.
- Dewi, N. R., Dermawan, D., & Ashari, M. L. (2016). Studi Pemanfaatan Limbah B3 Karbit Dan Fly Ash Sebagai Bahan Campuran Beton Siap Pakai (Bsp) (Studi Kasus : Pt. Varia Usaha Beton). *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 13(1), 34. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v13i1.34-43>
- Habert, G., D’Espinose De Lacaillerie, J. B., & Roussel, N. (2011). An environmental evaluation of geopolymer based concrete production: Reviewing current research trends. *Journal of Cleaner Production*, 19(11), 1229–1238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.03.012>
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajow, D. M., & Rangan, B. V. (2005). Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Australian Journal of Structural Engineering*, 6(1), 1. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/13287982.2005.11464946>
- Hardjito, D., Wee, V. J. S., & Ee, T. F. (2011). The use of fly ash and bottom ash in geopolymer mortar. *Seminar Nasional Zeolite*, 1–11.
- Kementrian ESDM. (2017). *Capaian Tahun 2017 dan Outlook 2018 Subsektor Mineral dan Batubara*. Retrieved from <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/capaian-tahun-2017-dan-outlook-2018-subsektor-mineral-dan-batubara>.
- Klarens, K., Indranata, M., Antoni, & Hardjito, D. (2015). *PEMANFAATAN BOTTOM ASH DAN FLY ASH TIPE C SEBAGAI BAHAN PENGANTI DALAM PEMBUATAN PAVING BLOCK*. 1–8.
- Liu, H., Sanjayan, J. G., & Bu, Y. (2017). The application of sodium hydroxide and anhydrous borax as composite activator of class F fly ash for extending setting time. *Fuel*, 206, 534–540. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.06.049>

- Manuahe, R., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2014). Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang. *Jurnal Sipil Statik*, 2(6), 277–282.
- Marzuki, F. P., & Jogaswara, E. (2000). Potensi Semen Alternatif Dengan Bahan dasar Padalarang dan Fly Ash Suralaya untuk Konstruksi Rumah Sederhana. *Sustainability Dalam Bidang Material, Rekayasa Dan Konstruksi Beton*, (July), 107–129.
- Pratama, R. S. (2018). *Pengaruh Molaritas NaOH, Rasio Modulus Silikat Dan Presentase Ordinary Portland Cement Terhadap Sifat Mekanik Beton Geopolimer Abu Terbang Hibrida*.
- Samekto, W. (2001). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Yogyakarta Kanisius.
- Sukmak, P., Horpibulsuk, S., & Shen, S. L. (2013). Strength development in clay-fly ash geopolymer. *Construction and Building Materials*, 40, 566–574. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.015>
- Tjokrodimulyo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Wijaya, M. F. (2019). *Sifat Dan Karakteristik Beton Geopolimer Hybrid Abu Terbang Di Air Gambut*.