



SUBSTITUSI ABU SEKAM PADI DAN ABU CANGKANG SAWIT PADA MORTAR GEOPOLIMER FLY ASH

Herisusanto¹, Firdaus¹, Rosidawani²

1) Program Studi Magister Teknik Sipil, Pascasarjana Universitas Bina Darma
2) Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
Jalan A Yani No 3 Palembang 30111

Abstract

Beton geopolimer dikembangkan atas potensinya yang dapat digunakan sebagai alternatif dari bahan beton berbasah dasar semen. Geopolimer merupakan bahan pengikat yang berasal dari bahan alami yang memiliki kandungan oksida dan alumina tinggi dan mengalami reaksi polymerisasi dalam proses pengerasannya. Kebutuhan akan tingginya kandungan oksida silika dan alumina sebagai bahan utama yang akan mengalami proses polymerisasi yang menghasilkan binder atau pengikat dalam beton geopolimer memerlukan semua bahan alami yang memiliki kandungan tersebut. Geopolimer juga memiliki potensi yang baik untuk pengembangan material dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan produk sampingan yang dapat mencemari lingkungan. *Fly ash*, abu sekam padi (ASP) dan abu cangkang sawit (ACS) diantara produk sampingan material sisa pembakaran yang memiliki kandungan oksida silika dan alumina yang dapat dijadikan bahan pembuatan mortar geopolimer. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium, dengan menggunakan benda uji kubus dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm untuk menentukan kekuatan tekan dari sampel benda uji mortar geopolimer. Variabel berupa persentase abu sekam padi (ASP) dan abu cangkang sawit (ACS) dengan persentase 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, digunakan sebagai bahan substitusi sebagian bahan *fly ash* sebagai bahan dasar mortar geopolimer. Berdasarkan hasil uji kuat tekan yang dilakukan menunjukkan bahwa substitusi abu sekam padi dan abu cangkang sawit pada mortar geopolimer berbasah dasar *fly ash* memberikan pengaruh terhadap nilai kuat tekan. Dari beberapa kombinasi persentase substitusi dari abu sekam padi dan abu cangkang sawit diperoleh nilai kuat tekan maksimum dicapai pada komposisi dengan persentase ASP+ACS sebesar 15%, 20% dan 20% pada masing-masing umur uji 7 hari, 14 hari dan 28 hari masing-masing sebesar 13.5 MPa, 23.3 MPa dan 29.4 MPa. Bila dibandingkan dengan nilai kuat tekan mortar geopolimer yang tidak menggunakan substitusi bahan abu sekam padi maupun abu cangkang sawit, dengan nilai 30 MPa, maka nilai maksimum dari semua kombinasi pada persentase substitusi ASP+ACS 20% sebesar 29, 4 MPa, sedikit lebih rendah.

Key Words: *rice husk ash, palm shell ash, fly-ash, geopolimer*

1. PENDAHULUAN

Beton geopolimer merupakan salah satu jenis beton yang dikembangkan tanpa menggunakan semen sebagai bahan utama perekat dalam beton. Jenis beton ini dapat menjadi alternatif dalam penggunaan material pada bidang konstruksi. Geopolimer merupakan bahan pengikat yang berasal dari bahan alami yang mengalami reaksi polymerisasi dalam proses pengerasan yang memiliki kandungan oksida dan alumina tinggi. Kebutuhan akan tingginya kandungan oksida silika dan alumina sebagai bahan utama yang akan mengalami proses polymerisasi yang menghasilkan binder atau pengikat dalam beton geopolimer memerlukan semua bahan alami yang memiliki kandungan tersebut. Geopolimer juga memiliki potensi yang baik untuk pengembangan material dan ramah lingkungan dengan

memanfaatkan produk sampingan yang dapat mencemari lingkungan. Ini dapat digunakan sebagai bahan perkerasan stabil yang ramah lingkungan karena sifatnya banyak manfaat (Kaur, K., dkk, 2018).

Beton geopolimer yang menggunakan bahan baku *fly ash* (Qiang Fu, 2021) menjadi salah satu pilihan dalam pembuatan beton geopolimer. Dalam pembuatan geopolimer dibutuhkan larutan alkali yang berfungsi sebagai pengaktif reaksi polymerisasi dari *silika (Si)* dan *alumina (Al)* yang terkandung dalam *fly ash*. Larutan alkali yang umum digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) atau potasium hidroksida dengan natrium silikat (Na₂SiO₃) atau kalium silikat. Kandungan kalsium yang rendah pada *fly ash* menyebabkan proses kimia bahan *fly ash* terhadap larutan alkali sebagai prekursor

menghasilkan banyak keistimewaan. Metode produksi beton geopolimer berbasis abu terbang lebih sederhana dibandingkan dengan beton geopolimer berbasis bahan lainnya [Singh B, 2015]). Sifat mekanik beton geopolimer berbasis abu terbang yang lebih baik yang diperoleh pada awal perawatan (curing) diakibatkan oleh gel aluminosilikat yang kaya aluminium [Dar, T.A, 2017]. Sifat fisik *fly ash* berupa kehalusannya memberikan pengaruh terhadap kekuatan beton geopolimer (Firdaus, dkk, 2017). Kemampuan *fly ash* dalam mengisi pori-pori menghasilkan sifat yang baik pada sifat permeabilitasnya. Sifat ini menghantarkan beton geopolimer berbasis dasar *fly ash* memiliki sifat fisik yang baik terhadap lingkungan agresif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa flyash sebagai bahan dasar, menghasilkan beton geopolimer yang memiliki kinerja yang baik sehingga memiliki prospek yang bagus untuk aplikasi dan rekayasa praktis (Qiang Fu, dkk, 2021)

Bahan utama geopolimer adalah *precursor* dan bahan sampingan yang mengandung alumino silikat tidak hanya *fly ash* saja, tapi juga metakaolin, red mud (RM), *silica fume ash* (SFA), ground-granulated-blast-furnace-slugs (GGBS), rice husk ash (RHA) dan palm oil fuel ash (POFA). Rice husk ash (RHA) atau dikenal dengan nama abu sekam padi (ASP) merupakan limbah pertanian berupa sekam padi yang diperoleh dari 20 persen dari berat beras hasil pengolahan beras padi [Y.Y. Kim, 2014]. Melalui proses pembakaran sekam padi, sebanyak 25% berat sekam ini diubah menjadi abu dan disebut sebagai abu sekam padi (ASP) (P. Sturm, 2016). Hasil pembakaran sekam padi yang menghasilkan ASP terdiri dari 90–95% kandungan silika (SiO_2), yang dapat digunakan sebagai alternatif pengikat semen seperti pengikat semen konvensional [M.S.M. Basri, 2017]. Bila persentase ASP digunakan secara optimal maka akan mampu meningkatkan kekuatan tekan geopolimer. (Nuaklong, P, 2020; Kusbiantoro, A, 2012) Jenis, komposisi, reaktivitas bahan baku dan dosis aktivator alkali berperan peran utama dalam proses mempersiapkan dan mengendalikan ikatan geopolimer yang tepat. David Easton pada tahun 2011, memproduksi beton geopolimer dengan menggantikan semen dengan bahan daur ulang palm oil fuel ash (POFA), red mud (RM), silica fume ash (SFA), rice husk ash (RHA), dan *fly ash* (FA). Dan dari hasil tersebut, Arunadha, dkk (2014), menghasilkan sifat mekanik yang dapat dipertahankan bila menggunakan bahan pengganti *fly ash* dengan abu cangkang sawit, GGBS dan SFA masing-masing 30%, 30% dan 10%. Selain itu penggabungan bahan tersebut menghasilkan perubahan sifat fisik ditunjukkan oleh Kabir, dkk (2017) dengan pengurangan densitas beton geopolimer seiring dengan penambahan persentase

abu cangkang sawit (ACS). Selain itu abu cangkang sawit dan GGBS ditemukan dapat meningkatkan kuat tarik belah beton geopolimer masing masing 6%-9% dan 9%-11% (Al-Majidi, dkk, 2017).

Secara individu ASP maupun ACS dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian *fly ash* dan mampu memberikan kontribusi kekuatan pada beton geopolimer. Oleh karena itu dalam penelitian ini ingin diketahui bagaimana kontribusi campuran kedua bahan sebagai bahan pengganti sebagian *fly ash* terhadap kekuatan tekan beton geopolimer.

Penelitian yang dilakukan Nath & Sarker, (2014) menyebutkan bahwa penggunaan perbandingan Na_2SiO_3 dengan NaOH yang semakin banyak menyebabkan initial dan final setting yang lebih lama. Penelitian ini menggunakan satu nilai rasio Na_2SiO_3 dengan NaOH saja, yaitu dengan menggunakan jumlah cairan alkali yang sama pada setiap geopolimer.

2. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Sampel benda uji kubus dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm digunakan untuk menentukan kekuatan tekan dari sampel benda uji mortar geopolimer. Variabel berupa persentase abu sekam padi (ASP) dan abu cangkang sawit (ACS) dengan persentase 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, digunakan sebagai bahan substitusi Sebagian bahan *fly ash* sebagai bahan dasar mortar geopolimer.

Material mortar geopolimer terbuat dari bahan-bahan flyash, pasir, *fly ash*, abu sekam padi, abu cangkang sawit, agregat halus (pasir), air, aktivator, dan bahan tambah akselerator dan sejumlah persentase tertentu bahan abu sekam dan abu cangkang sawit. Flyash bersumber dari PLTA Bukit Asam, pasir berasal dari Tanjung Raja, sedangkan abu sekam padi dan abu cangkang sawit masing-masing berasal dari daerah Pegayutan dan dari limbah pabrik pengolahan kelapa sawit di kabupaten Banyuwasin. Masing-masing bahan *fly ash*, abu sekam padi, dan abu cangkang sawit yang digunakan adalah yang lolos saringan 200.

Komposisi bahan campuran abu sekam padi dan abu cangkang sawit terdiri dari beberapa persentase substitusi 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% terhadap bahan flyash. Sedangkan rasio persentase abu sekam padi dan abu cangkang sawit masing-masing 4:1. Penggunaan rasio abu sekam padi yang lebih banyak dibandingkan abu cangkang sawit, berdasarkan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan abu cangkang sawit di atas 5% menunjukkan hasil

yang kurang efektif. Adapun jenis benda uji berdasarkan variabel persentasi bahan substitusi tersebut dijelaskan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Bahan Benda Uji Penelitian

No.	Variasi	Umur (Hari)	Komposisi (%)			Jumlah	Kode Benda Uji
			FA	ASP	ACS		
1	Normal	7	100	0	0	7	N/100/0/0/7
		14				7	N/100/0/0/14
		28				7	N/100/0/0/28
2	5%	7	95	4	1	7	C5/95/4/1/7
		14				7	C5/95/4/1/14
		28				7	C5/95/4/1/28
3	10%	7	90	8	2	7	C10/90/8/2/7
		14				7	C10/90/8/2/14
		28				7	C10/90/8/2/28
4	15%	7	85	12	3	7	C15/85/12/3/7
		14				7	C15/85/12/3/14
		28				7	C15/85/12/3/28
5	20%	7	80	16	4	7	C20/85/16/4/7
		14				7	C20/85/16/4/14
		28				7	C20/85/16/4/28
6	25%	7	75	20	5	7	C25/80/20/5/7
		14				7	C25/80/20/5/14
		28				7	C25/80/20/5/28

Metode pembuatan mortar geopolimer ini terdiri dari susunan komposisi masing-masing bahan berdasarkan metode campuran mortar geopolimer berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Penggunaan molaritas 12 sebagai nilai molaritas yang menghasilkan komposisi geopolimer yang terbaik.

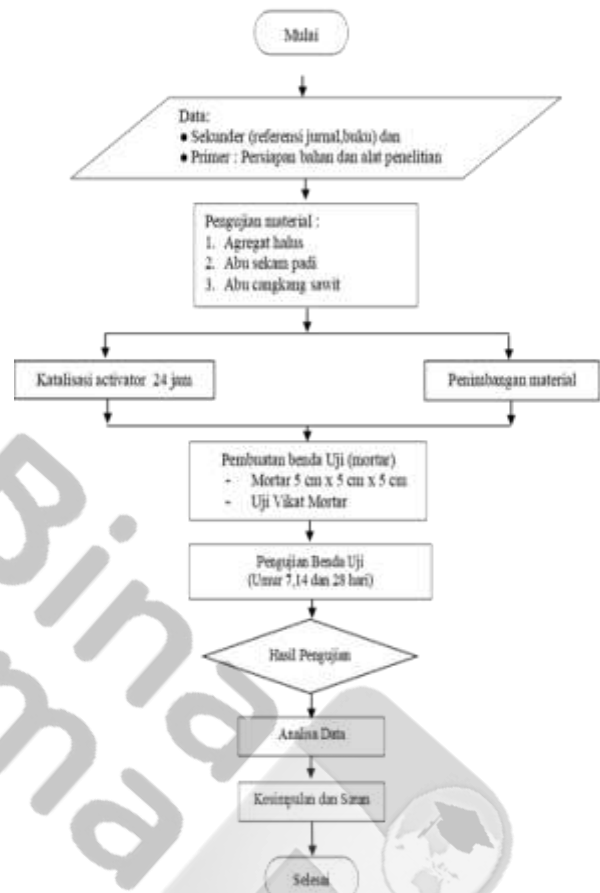
Setelah umur uji yang ditentukan dilakukan pengujian kuat tekan dengan menggunakan mesin uji tekan dengan kapasitas 100 kN. Namun, 1 hari sebelumnya benda uji tersebut dikeluarkan dari tempat perawatan benda uji. Nilai kuat tekan diperoleh dari hasil perhitungan nilai gaya tekan maksimum yang terbaca pada benda uji terhadap luas penampang benda uji (2500 mm²). Setiap jenis benda uji berdasarkan perbedaan persentase campuran, disiapkan 7 buah benda uji. Nilai kuat tekan dari semua benda uji dihitung nilai rata-ratanya yang mewakili nilai kuat tekan dari setiap jenis benda uji. Pengujian dilakukan pada hari ke 7, 14 dan 28 hari

Selanjutnya dari hasil perhitungan nilai rata-rata dari setiap benda uji, dibuat grafik yang menjelaskan kecenderungan pengaruh dari masing-masing variabel benda uji terhadap parameter uji berupa kuat tekan beton.



Gambar 1. Pengujian Kuat Tekan

Secara umum langkah-langkah penelitian diperlihatkan pada diagram alir berikut ini:



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Fly Ash

Hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan pada semua benda uji dengan persentase komposisi ASP dan ACS sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%.

Pada setiap umur uji yang digunakan, yaitu 7 hari, 14 hari dan 28 hari ditunjukkan pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

Tabel 2. Nilai Kuat Tekan Benda Uji pada Setiap Jenis Komposisi pada Umur Uji 7 Hari Komposisi Benda Uji

No.	Umur (hari)	Variasi	Komposisi (%)			No. Benda Uji	Kuat Tekan	
			FA	ASP	ACS		Benda Uji	Rata-rata
1	7 hari	0%	100%	0%	0%	1	22.4	22.3
			100%	0%	0%	2	17.2	
			100%	0%	0%	3	24.8	
			100%	0%	0%	4	18.8	
			100%	0%	0%	5	30.4	
			100%	0%	0%	6	28.4	
			100%	0%	0%	7	14	
2	7 hari	5%	95%	4%	1%	1	9.6	8.5
			95%	4%	1%	2	11.6	
			95%	4%	1%	3	8.4	
			95%	4%	1%	4	6.8	
			95%	4%	1%	5	9.2	
			95%	4%	1%	6	7.2	
			95%	4%	1%	7	6.8	
3	7 hari	10%	90%	8%	2%	1	10	11.1
			90%	8%	2%	2	8	
			90%	8%	2%	3	14	
			90%	8%	2%	4	8.8	
			90%	8%	2%	5	11.6	
			90%	8%	2%	6	13.2	
			90%	8%	2%	7	12	
4	7 hari	15%	85%	12%	3%	1	14	13.5
			85%	12%	3%	2	20.8	
			85%	12%	3%	3	16	
			85%	12%	3%	4	10	
			85%	12%	3%	5	9.2	
			85%	12%	3%	6	11.6	
			85%	12%	3%	7	12.8	
5	7 hari	20%	80%	16%	4%	1	9.6	11.5
			80%	16%	4%	2	11.6	
			80%	16%	4%	3	10	
			80%	16%	4%	4	11.6	
			80%	16%	4%	5	13.2	
			80%	16%	4%	6	9.6	
			80%	16%	4%	7	15.2	
6	7 hari	25%	75%	20%	5%	1	9.2	10.1
			75%	20%	5%	2	11.6	
			75%	20%	5%	3	10	
			75%	20%	5%	4	8	
			75%	20%	5%	5	10.8	
			75%	20%	5%	6	12	
			75%	20%	5%	7	8.8	

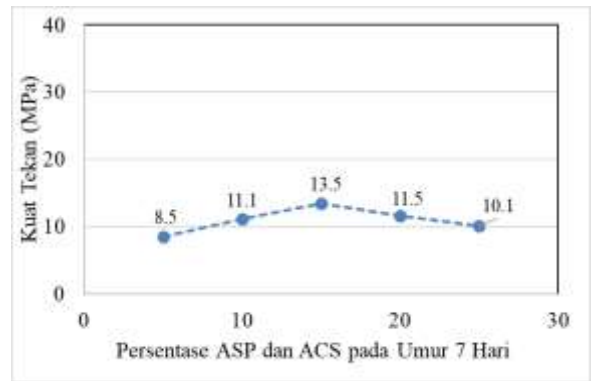
No.	Umur (hari)	Variasi	Komposisi (%)			No. Benda Uji	Kuat Tekan	
			FA	ASP	ACS		Benda Uji	Rata-rata
1	14	0%	100%	0%	0%	1	18	26.2
			100%	0%	0%	2	24	
			100%	0%	0%	3	20	
			100%	0%	0%	4	30	
			100%	0%	0%	5	22	
			100%	0%	0%	6	36	
			100%	0%	0%	7	33.2	
2	14	5%	95%	4%	1%	1	11.8	11.4
			95%	4%	1%	2	8.4	
			95%	4%	1%	3	10.5	
			95%	4%	1%	4	13.1	
			95%	4%	1%	5	16.5	
			95%	4%	1%	6	9.7	
			95%	4%	1%	7	10.0	
3	14	10%	90%	8%	2%	1	12.0	14.7
			90%	8%	2%	2	11.6	
			90%	8%	2%	3	15.5	
			90%	8%	2%	4	15.0	
			90%	8%	2%	5	14.2	
			90%	8%	2%	6	17.6	
			90%	8%	2%	7	16.8	
4	14	15%	85%	12%	3%	1	13.6	17.6
			85%	12%	3%	2	16.0	
			85%	12%	3%	3	14.8	
			85%	12%	3%	4	18.8	
			85%	12%	3%	5	16.8	
			85%	12%	3%	6	21.2	
			85%	12%	3%	7	22.0	
5	14	20%	80%	16%	4%	1	22.0	23.3
			80%	16%	4%	2	25.2	
			80%	16%	4%	3	28.0	
			80%	16%	4%	4	18.8	
			80%	16%	4%	5	21.2	
			80%	16%	4%	6	16.0	
			80%	16%	4%	7	31.6	
6	14	25%	75%	20%	5%	1	8.8	16.8
			75%	20%	5%	2	22.0	
			75%	20%	5%	3	19.6	
			75%	20%	5%	4	10.4	
			75%	20%	5%	5	28.0	
			75%	20%	5%	6	18.8	
			75%	20%	5%	7	10.0	

Tabel 3. Nilai Kuat Tekan Benda Uji pada Setiap Jenis Komposisi pada Umur Uji 14 Hari

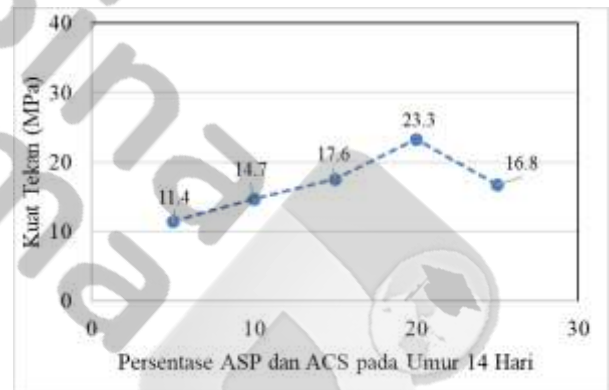
Tabel 4. Nilai Kuat Tekan Benda Uji pada Setiap Jenis Komposisi pada Umur Uji 28 Hari

No.	Umur (hari)	Variasi	Komposisi (%)			No. Benda Uji	Kuat Tekan	
			FA	ASP	ACS		Benda Uji	Rata-rata
1	28	0%	100%	0%	0%	1	25.2	30.6
			100%	0%	0%	2	28.8	
			100%	0%	0%	3	24.4	
			100%	0%	0%	4	24.8	
			100%	0%	0%	5	36.8	
			100%	0%	0%	6	38.0	
2	28	5%	95%	4%	1%	1	15.6	17.9
			95%	4%	1%	2	16.1	
			95%	4%	1%	3	19.8	
			95%	4%	1%	4	15.6	
			95%	4%	1%	5	18.1	
			95%	4%	1%	6	19.8	
3	28	10%	90%	8%	2%	1	19.4	20.3
			90%	8%	2%	2	18.0	
			90%	8%	2%	3	20.2	
			90%	8%	2%	4	22.2	
			90%	8%	2%	5	22.2	
			90%	8%	2%	6	22.2	
4	28	15%	85%	12%	3%	1	21.3	24.1
			85%	12%	3%	2	28.4	
			85%	12%	3%	3	24.9	
			85%	12%	3%	4	23.1	
			85%	12%	3%	5	24.5	
			85%	12%	3%	6	25.2	
5	28	20%	80%	16%	4%	1	16.0	29.4
			80%	16%	4%	2	28.4	
			80%	16%	4%	3	32.0	
			80%	16%	4%	4	32.0	
			80%	16%	4%	5	38.4	
			80%	16%	4%	6	29.2	
6	28	25%	75%	20%	5%	1	31.6	28.6
			75%	20%	5%	2	20.0	
			75%	20%	5%	3	32.4	
			75%	20%	5%	4	32.0	
			75%	20%	5%	5	23.6	
			75%	20%	5%	6	25.2	
			75%	20%	5%	7	35.6	

atau Beton control sebesar 30.6 MPa, yang memenuhi sebagai beton normal. Nilai kuat tekannya mengalami peningkatan dari umur 7 hari, 14 hari hingga 28 hari.

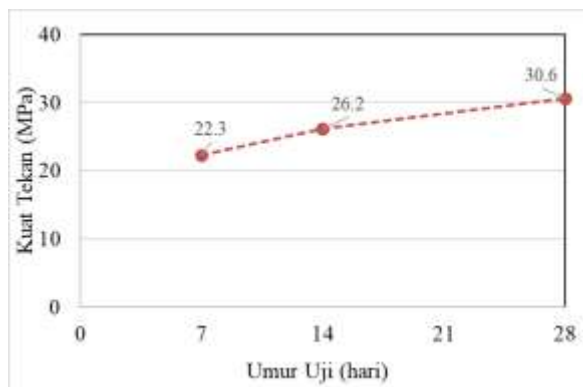


Gambar 4. Hasil Uji Kuat Tekan Campuran Abu Sekam Padi (ASP) & Abu Cangkang Sawit (ACS) Pada Umur 7 Hari



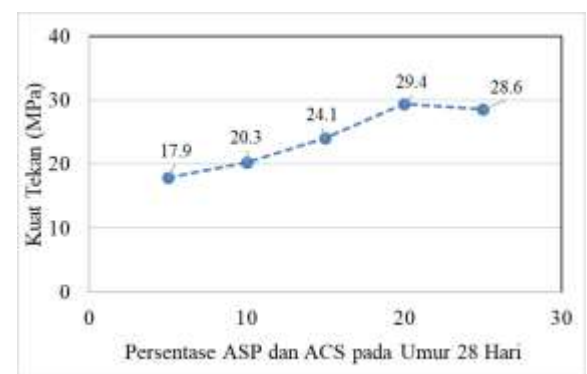
Gambar 5. Hasil Uji Kuat Tekan Campuran Abu Sekam Padi & Abu Cangkang Sawit Pada Umur 14 Hari

3.2. Analisis Pengaruh Komposisi campuran Abu Sekam Padi dan Abu Cangkang Sawit terhadap Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer Fly Ash



Gambar 3 Grafik Hasil Uji Tekan Benda Uji Fly Ash Pada umur 7, 14 & 28 Hari.

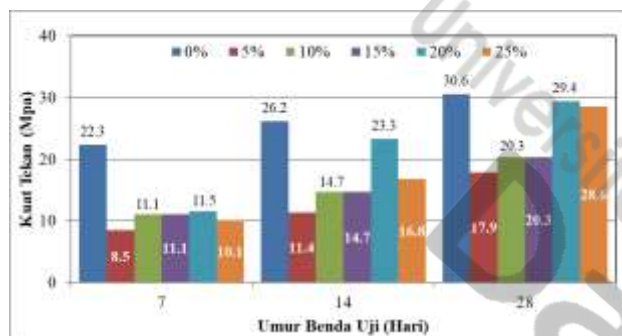
Gambar 3 menunjukkan grafik perkembangan kekuatan tekan beton control, tanpa campuran Abu Sekam Padi dan Abu Cangkang Sawit. Terlihat dari gambar tersebut bahwa nilai kuat tekan beton normal



Gambar 6. Hasil Uji Kuat Tekan Campuran Abu Sekam Padi & Abu Cangkang Sawit Pada Umur 28 Hari

Gambar 4-6 menunjukkan grafik perkembangan kekuatan tekan beton pada masing-masing campuran Abu Sekam Padi dan Abu Cangkang Sawit dengan persentase sebesar 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%.

Terlihat dari gambar tersebut bahwa nilai kuat tekan maksimum pada setiap perkembangan waktu uji masing-masing 7 hari, 14 hari dan 28 hari menghasilkan kecenderungan yang relatif sama. Kuat tekan maksimum dicapai pada komposisi dengan persentase ASP+ACS sebesar 15%, 20% dan 20% pada masing-masing umur uji 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Nilai kuat tekan maksimum yang dicapai adalah sebesar 13.5 MPa, 23.3 MPa dan 29.4 MPa pada masing-masing umur uji 7 hari, 14 hari hingga 28 hari.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer *Fly Ash* Serta Variasinya Pada Penambahan Abu Sekam Padi & Abu Cangkang Sawit

Gambar 7 menunjukkan grafik perkembangan kekuatan tekan beton pada semua jenis campuran Abu Sekam Padi dan Abu Cangkang Sawit dengan persentase sebesar 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Terlihat dari gambar tersebut bahwa nilai kuat tekan maksimum pada setiap perkembangan waktu uji masing-masing 7 hari, 14 hari dan 28 hari menghasilkan kecenderungan yang relatif sama.

Kuat tekan maksimum dicapai pada komposisi dengan persentase ASP+ACS sebesar 15%, 20% dan 20% pada masing-masing umur uji 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Nilai kuat tekan maksimum yang dicapai adalah sebesar 13.5 MPa, 23.3 MPa dan 29.4 MPa pada masing-masing umur uji 7 hari, 14 hari hingga 28 hari

4. KESIMPULAN

Substitusi abu sekam padi dan abu cangkang sawit pada mortar geopolimer berbahan dasar flyash memberikan pengaruh terhadap nilai kuat tekan. Dari beberapa kombinasi persentase substitusi dari abu sekam padi dan abu cangkang sawit diperoleh nilai kuat tekan maksimum dicapai pada komposisi dengan persentase ASP+ACS sebesar 15%, 20% dan

20% pada masing-masing umur uji 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Nilai kuat tekan maksimum yang dicapai adalah sebesar 13.5 MPa, 23.3 MPa dan 29.4 MPa pada masing-masing umur uji 7 hari, 14 hari hingga 28 hari.

Penambahan abu sekam padi dengan abu cangkang sawit dengan mensubstitusi sebagian *fly ash* dengan variasi 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% pada penelitian ini menghasilkan nilai kuat tekan terbesar pada umur 28 hari pada variasi 20% sebesar 29,43 MPa. Bila dibandingkan dengan nilai kuat tekan mortar geopolimer yang tidak menggunakan substitusi bahan abu sekam padi maupun abu cangkang sawit, dengan nilai 30,6 MPa, maka nilai maksimum dari semua kombinasi pada persentase substitusi ASP+ACS tersebut sedikit lebih rendah.

REFERENSI

- [1] Kaur, K., Singh, J., & Kaur, M.. "Compressive strength of rice husk ash based geopolymer: The effect of alkaline activator." *Construction and Building Materials* Volume 169 pp. 188-192,2018
- [2] Fu, Q., Xu, W., Zhao, X., Bu, M., Yuan, Q., & Niu, D. "The microstructure and durability of *fly ash*-based geopolymer concrete: A review", *Ceramics International*, Volume, 47(21), pp. 29550-29566, 2021
- [3] Singh, B., Ishwarya, G., Gupta, M., & Bhattacharyya, S. K. "Geopolymer concrete: A review of some recent developments.", *Construction and building materials*, Volume 85, pp. 78-90, 2015
- [4] Dar, T.A., Azam F., "Development of *fly ash* based geopolymer concrete", *Int. J. Sci. Res.*, Volume 6.6, pp. 1539-1560, 2017
- [5] Firdaus, Yunus, I., Rosidawani. "Contribution of fineness level of *fly ash* to the compressive strength of geopolymer mortar." *MATEC Web of Conferences*. Vol. 103. EDP Sciences, 2017
- [6] Kim, Y. Y., Lee, B. J., Saraswathy, V., & Kwon, S. J. (2014). "Strength and durability performance of alkali-activated rice husk ash geopolymer mortar.", *The Scientific World Journal*, 2014.
- [7] Sturm, P., Gluth, G. J. G., Brouwers, H. J. H., & Kühne, H. C., "Synthesizing one-part geopolymers from rice husk ash", *Construction and Building Materials*, Volume 124, pp. 961-966, 2016
- [8] Basri, M. S. M., Mazlan, N., Mustapha, F., & Ishak, M. R. "Correlation between compressive strength and fire resistant performance of rice husk ash-based geopolymer binder for panel applications". In *MATEC web of conferences*, Volume 97, pp. 01025. EDP Sciences, 2017
- [9] Nuaklong, P., Jongvivatsakul, P., Pothisiri, T., Sata, V., & Chindaprasirt, P. "Influence of rice husk ash on mechanical properties and fire resistance of recycled aggregate high-calcium *fly ash* geopolymer concrete", *Journal of Cleaner Production*, Volume 252, pp.119797, 2020
- [10] Kusbiantoro, A., Nuruddin, M. F., Shafiq, N., & Qazi, S. A. "The effect of microwave incinerated rice husk ash

on the compressive and bond strength of fly ash based geopolymer concrete”, Construction and Building Materials, Volume 36, pp. 695-703, 2012

[11] Anuradha, R., Thirumala, R., & John, P. N. , “Optimization of molarity on workable self-compacting geopolymer concrete and strength study on SCGC by replacing fly ash with silica fume and GGBFS.”, Int. J. Adv. Struct. Geotech. Eng, Volume 3(1), pp.11-18, 2014

[12] Kabir, S.M.A., Alengaram, U.J., Jumaat, M.Z., Sharmin, A., Islam, A.,. “Influence of molarity and chemical composition on the development of compressive strength in POFA”, 2015

[13] Al-Majidi, M.H., Lampropoulos, A., Cundy, A.B., 2017. “Tensile properties of a novel fibre reinforced geopolymer composite with enhanced strain hardening characteristics.”, Compos. Struct. Volume 168, pp.402-427., 2017., <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.01.085>

[14] Nath, Pradip, and Sarker, P.K.. "Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition.", Construction and Building materials, Volume 66 pp 163-171, 2014