

OPTIMALISASI SIFAT MEKANIK MORTAR BERBASIS SILIKA AMORF SEKAM TEBU

Fitriya S.

Alamat: Institut Sains dan Teknologi Annuqayah

Korespondensi penulis: fitriya.s.1991@gmail.com

Abstract. Mortar is one of the materials commonly used in everyday life as part of the world of civil engineering. Cement based mortar. Where cement serves as an adhesive and reinforcement. It's just that cement has drawbacks, one of which is the raw material which is quite expensive, therefore in this study the authors made sugarcane husks which are natural wastes with SiO₂ content similar to cement to optimize mortar quality. In this study, bagasse was extracted by sintering at a temperature of 400°C – 650°C so that it became amorphous silica, then passed through a 100 mesh sieve before being applied to the mortar. When operating on a mortar, variations of the addition of amorphous silica and cement are used at 0wt%, 10wt%, 20wt%, 30wt%. Identification of amorphous silica forms that occur will be analyzed using XRD. The results of the analysis showed that the addition of sugarcane husk amorphous silica had an effect on the mechanical properties of the mortar because the sugarcane husk amorphous silica could fill the pores in the mortar. The results showed that the most optimal percentage was 20 wt% with a mortar porosity of 29.54%, a compressive strength of 1.633×10^{-2} N/mm² and an impact strength of 2.872×10^{-4} J/mm² at an additional percentage of 20wt%.

Keywords: Mortar, Amorphous Silica, Sugarcane Husk, Sintering, Mechanical Properties.

Abstrak. Mortar merupakan salah satu bahan material yang biasa digunakan dalam kehidupan sehari-hari sebagai bagian dari dunia teknik sipil. Mortar berbahan dasar semen. Dimana semen berfungsi sebagai perekat dan penguat. Hanya saja semen memiliki kekurangan salah satunya adalah bahan baku yang cukup mahal, oleh karena itu pada penelitian ini penulis menjadikan sekam tebu yang merupakan limbah alam dengan kandungan SiO₂ yang mirip dengan semen untuk mengoptimalkan kualitas mortar. Pada penelitian ini ampas tebu diekstraksi dengan proses *sintering* pada suhu 400°C – 650°C sehingga menjadi silika amorf, kemudian melalui ayakan 100 mesh sebelum diaplikasikan pada mortar. Ketika pengoperasian pada mortar digunakan variasi penambahan antara silika amorf dan semen sebesar 0wt%, 10wt%, 20wt%, 30wt%. Identifikasi bentuk silika amorf yang terjadi akan dianalisis menggunakan XRD. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan silika amorf sekam tebu memberikan pengaruh pada sifat mekanik mortar karena silika amorf sekam tebu dapat mengisi pori-pori pada mortar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase paling optimal adalah 20 wt% dengan porositas mortar sebesar 29,54%, kuat tekan sebesar $1,633 \times 10^{-2}$ N/mm² dan kuat impak sebesar $2,872 \times 10^{-4}$ J/mm² pada penambahan persentase 20wt%.

Kata kunci: Mortar, Silika amorf, Sekam Tebu, Sintering, Sifat Mekanik.

LATAR BELAKANG

Mortar adalah sebuah material yang tersusun dari bahan pengikat, agregat, dan terkadang aditif. Bahan pengikat memberikan suatu konsistensi atas mortar. Sampai pada abad ke-19, mortar masih menggunakan kapur sebagai bahan pengikat utama (Sanjurjo-Sánchez *et al*, 2010). Mortar berbahan dasar mineral pengikat seperti kapur, semen atau gypsum telah digunakan selama lebih dari 800 tahun pada konstruksi bangunan. Mortar ini sebagian besar digunakan untuk membaringkan batu dan bata dan untuk mantel pada dinding. Sampai pada tahun 1950-an mortar berbahan dasar semen diproduksi secara eksklusif dan diaplikasikan (Bayer dan Luth, 2005). Akan tetapi, kuantitas semen yang diperlukan untuk proyek konstruksi mengalami peningkatan, peningkatan sejumlah material mentah dari alam dapat dihabiskan. Jika beberapa material mentah tersebut dapat digantikan dengan material yang lebih murah untuk komposisi yang sama, maka biaya produksi beton dapat dikurangi tanpa mempengaruhi kualitasnya (Chusilp *et al*, 2009). Oleh karena itu diperlukan adanya alternatif untuk mengganti penggunaan semen sebagai bahan ikat.

Sekam tebu merupakan limbah dari industri pengolahan tebu yang banyak dijumpai dan tanpa pengolahan apapun. Pemanfaatan Sekam Tebu pada konstruksi bangunan sudah biasa dilakukan seperti pada aplikasi di pembuatan keramik batako (Jan Ady, 2014) dengan variasi penambahan sekam tebu sebesar 0wt%, 3wt%, 6wt%, 9wt%, 12wt%, 15wt% dan dihasilkan bahwa penambahan sekam tebu dapat memperbaiki sifat mikroskopis dari karamik batako.

Pada penelitian ini digunakan sekam tebu yang telah disintering dengan suhu 400-650°C atau yang telah dinyatakan berbentuk amorf. Sekam tebu tersebut diayak ukuran 100 mesh dan tanpa ayak dengan persentase penambahan sebesar 0wt%, 10wt%, 15wt%, dan 20wt%. selanjutnya mortar berbasis material silika amorf dengan penambahan sekam tebu ini akan dikarakterisasi dengan menggunakan uji fisis berupa uji porositas, dilanjutkan dengan mekanik meliputi uji kuat tekan dan uji impak.

KAJIAN TEORITIS

Komposit adalah sebuah material hasil paduan dari dua material atau lebih, dimana paduan tersebut menghasilkan material baru yang mempunyai sifat fisis, kimia dan mekanik yang lebih baik dari sebelumnya. Berdasarkan keberadaannya komposit dibedakan menjadi dua yaitu komposit alam dan komposit buatan. Komposit alam adalah suatu komposit yang terbentuk melalui proses alami. Contoh dari komposit ini adalah kayu, gigi, dan sebagainya. Sedangkan komposit buatan merupakan komposit yang terbentuk melalui proses campur tangan manusia. Misalnya adalah beton, mortar, dan sebagainya.

Seperti contoh bahan penyusun dari komposit pada mortar berbasis sekam tebu. Bahan penyusun dari mortar berbasis sekam tebu diantaranya adalah pasir sebagai matriknya atau fraksi dengan volume terbesar, semen Portland sebagai fiber (penahan beban utama) dan juga sekam tebu sebagai alternatif bahan penguatnya.

Komposit mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan material lain. Kelebihan tersebut berasal dari sifat mekanik dan fisik komposit tersebut. Kelebihan tersebut diantaranya adalah komposit mempunyai densitas yang rendah sehingga membuat komposit bersifat kuat dan kaku. Kekuatan dan kekakuan sangat berpengaruh terhadap ketangguhan suatu komposit. Gabungan dari beberapa matriks pada komposit juga membuat komposit memiliki sifat-sifat yang menarik sesuai dengan jenis serat dan matriks yang digunakan. Karakteristik komposit ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusun menurut *rule of mixture* sehingga akan berbanding secara proporsional. Bila terjadi interaksi antar penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit (Urquhart dalam Pramono, 2008).

Mortar adalah sebuah material komposit berupa pasta yang tersusun atas bahan pengikat, agregat, dan terkadang bahan aditif. Masyarakat pada umumnya menyebut mortar sebagai adukan semen bercampur pasir dan air. Mortar sebagian besar digunakan untuk membaringkan batu dan bata dan untuk mantel pada dinding (Bayer dan Luth, 2005). Mortar dapat digunakan dalam bentuk pasta kubus beton (struktur) maupun non struktural, misalnya pada pekerjaan pasangan dinding bata atau batako, pekerjaan plesteran dinding, pekerjaan pasangan keramik dinding, pekerjaan perataan dasar lantai sampai pada pekerjaan pasangan keramik lantai (Prasetyo dalam Sihotang, 2010).

Penambahan sekam tebu pada sintesis mortar adalah untuk alternatif pengganti bahan pengikat utama yaitu semen. Sekam tebu memiliki ukuran partikel yang besar dan porositas yang tinggi. Hal itu akan berbeda apabila sekam tebu diayak hingga ukuran partikelnya kecil. Menurut Chusilp *et al* (2009), sekam tebu dengan ukuran partikel yang kecil dapat mengisi kekosongan ruang udara di dalam struktur beton.

Menurut Chusilp *et al* (2009), jumlah maksimal proporsi dari sekam tebu ditemukan menyusun 10-20wt% dari bahan pengikat. Komposisi kimia sekam tebu berisi $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 70% dari seluruh komposisi bahannya. Perlu dicatat bahwa proporsi SiO_2 dalam sekam tebu adalah 64,88%, dimungkinkan bahwa sekam tebu berisi sebagian besar oksida yang penting untuk material pozzolan.

Penambahan silika dalam bentuk amorf akan menghasilkan mortar dengan kekuatan yang lebih baik. Kristal amorf memberi pengaruh peningkatan kekuatan keramik yang lebih besar dibanding dengan bentuk kristalnya. Silika dalam abu yang dihasilkan dengan suhu pengabuan 500-600⁰C berbentuk amorf sedangkan dengan suhu pengabuan 700-800⁰C berbentuk kristal. Penambahan bentuk silika yang amorf kedalam adonan keramik memberikan kekuatan keramik yang lebih baik daripada bentuk silika yang kristalin. Kuat patah maksimum diberikan oleh bentuk amorf sebesar 940 dyne/cm² yang lebih tinggi dari kuat patah keramik Indonesia dalam literatur (Hanafi dan Nandang, 2010).

METODE PENELITIAN

Persiapan Sampel Mortar

Material pozzolan berupa ampas tebu ditumbuk sampai halus dengan menggunakan cawan porselin. Setelah halus ampas tebu dibakar menggunakan furnace dengan suhu berkisar antara 500-600 °C hingga menjadi sekam tebu. Sekam tebu tersebut diuji dengan menggunakan difraktometer sinar X (XRD) di Research Center Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya untuk memastikan bahwa sekam tebu tersebut mengandung silika yang berbentuk amorf.

Material bahan pengikat berupa semen Portland tipe-1, agregat halus berupa pasir yang telah diayak hingga halus dan air PDAM ditimbang terlebih dahulu. Komposisi perbandingannya 1 semen : 2,75 pasir : 0,5 air PDAM serta serbuk silika amorf (SiO₂) dari sekam tebu ayak dan tanpa ayak dengan persentase masing-masing berkisar 0wt%, 10wt%, 15wt%, 20wt% dari berat bahan pengikat utama. Tujuan dari persiapan material ini adalah untuk mempersiapkan material uji dengan bentuk dan jumlah yang sesuai dengan rancangan percobaan diatas. Langkah persiapan material uji antara lain pencampuran material, pencetakan material, dan pengeringan material.

Pencampuran material dilakukan dengan menggunakan cetok sesuai dengan proporsi dalam rancangan percobaan diatas. Pertama, agregat halus dicampur dengan sekam tebu sampai merata pencampurannya. Kedua, semen Portland tipe-1 ditaburkan pada permukaan pencampuran tersebut. Setelah ketiganya merata, dilubangi bagian tengahnya seperti sebuah kawah untuk ditaburi air PDAM lalu diaduk hingga campuran tersebut saling mengikat dan homogen menjadi sebuah adonan pasta (mortar basah).

Pencetakan material dilakukan setelah pencampuran dan pengadukan material. Adonan mortar basah dimasukkan di dalam cetakan kubus dengan sisi masing-masing 1 cm

dan juga cetakan balok (10x1x1) cm. Setelah dimasukkan ke cetakan, mortar basah dipress hingga padat dan dikeluarkan dari cetakan.

Pengeringan material dilakukan setelah mortar dicetak dan dibiarkan selama 24 jam lalu dikeluarkan dari cetakannya. Selanjutnya diletakkan di rendam di bak perendaman selama 27 hari. Pada hari ke 28 dilakukan proses pengeringan atau pengangkatan material selama 24 jam dilanjutkan dengan pengujian porositas dan pengujian mekanik pada mortar tersebut.

Uji Porositas (*Porosity*)

Pengujian porositas dilakukan di Laboratorium Material Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Tahapan yang dilakukan terlebih dahulu mengambil benda uji pada umur 27 hari dari bak perendaman, dikeluarkan dan dilap seluruh permukaan benda uji guna menghindari air yang berlebihan. Kemudian menimbang benda uji guna mengambil massa basah. Setelah itu benda uji dibiarkan selama 24 jam hingga mengering (kadar airnya berkurang). Kemudian benda uji tersebut ditimbang kembali untuk memperoleh massa kering dari benda uji. Tahapan ini diulangi kembali untuk sampel benda uji yang lain.

Uji Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Pengujian kuat dilakukan setelah sampel digunakan untuk uji porositas. Tujuannya adalah untuk mengetahui hubungan antara porositas dengan kuat tekan mortar. Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Dasar Bersama Universitas Airlangga dengan menggunakan *Autograph Shimadzu* tipe AG-10 TE. Tahapan yang dilakukan untuk uji kuat tekan (*compressive strength test*) adalah terlebih dahulu meletakkan benda uji pada mesin penekan. Memberikan beban tekan secara perlahan-lahan pada benda uji dengan cara mengoperasikan tuas pompa sehingga benda uji runtuh dan hancur. Pada saat jarum penunjuk skala beban tidak lagi bergerak atau bertambah maka skala yang ditunjuk oleh jarum tersebut dicatat sebagai beban maksimum yang dapat dipikul oleh benda uji tersebut. Tahapan ini diulangi untuk sampel benda uji kuat tekan yang lain.

Uji Ketangguhan (*Impact*)

Uji impak dilakukan di Laboratorium Material dan Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tahapan untuk uji ketangguhan (*impact test*) terlebih dahulu mengukur luasan benda uji sebelum di benturkan dengan alat *impact*. Pengukuran terutama pada lebar dan kedalaman takikan. Menaikkan pengangkat pembentur sesuai dengan sudut yang telah ditentukan dengan memutar *handle* beban pembentur, mengunci pembentur dengan benar. Melepaskan kunci dari pembentur

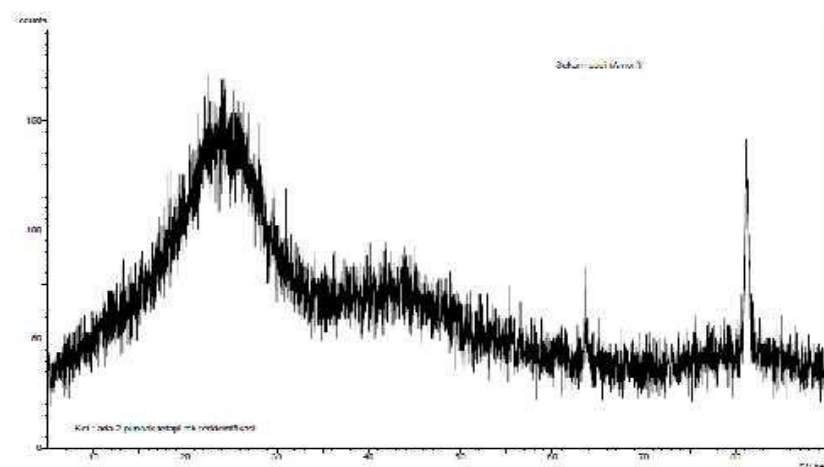
setelah beban berada pada puncak yang telah ditentukan, beban berayun tanpa tahanan dari benda uji. Setelah kembali dari puncak ayunan, dapat dihentikan perlahan-lahan dengan direm. Mencatat jarum penunjuk (merah) pada skala yang benar berapa derajat sudut ayunan pembentur tanpa benda uji (sudut α). Menaikkan pembentur sedikit keatas. Memasang benda uji pada *anvil*, tepatkan dengan penyenteran dan lepaskan penyenter tersebut jika posisi benda uji sudah benar. Menaikkan pembentur perlahan-lahan dengan memutar *handle* tepat pada sudut yang ditentukan. Kuncikan pengunci pembentur dengan baik. Melepas kunci pembentur. Membiarkan pembentur bergerak jangan sampai menarik *handle* pengereman. Karena hal ini akan sangat berpengaruh pada ketelitian pengujian. Setelah pembentur berayun mematahkan benda uji. Pembentur dapat di hentikan dengan mengerem secara perlahan-lahan. Mencatat jarum penunjuk pada skala yang benar sebagai sudut β .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan ini dilakukan pada bulan September 2022 sampai dengan Januari 2023 dan dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga, Laboratorium Dasar Bersama Universitas Airlangga dan Laboratorium Material dan Metalurgi Teknik Mesin Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh November.

Uji XRD

Hasil studi awal dari penelitian Sintesis dan Karakterisasi Mortar Berbasis Material Komposit Silika Amorf Dengan Penambahan Sekam Tebu adalah berupa grafik uji XRD sekam tebu yang telah. Hasil dari karakterisasi XRD sekam tebu disajikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik hasil uji XRD sampel pada suhu pembakaran 500 – 600 °C

Berdasarkan grafik hasil uji XRD dapat diamati bahwa terdapat dua puncak yang tidak teridentifikasi sehingga bentuk dari sekam tebu tersebut dinyatakan berbentuk amorf. Puncak yang tidak teridentifikasi ini dikarenakan suhu sintering yang berkisar antara 500-600°C. Bentuk SiO₂ pada suhu pengabuan 500 dan 600⁰ C adalah rendah dibandingkan dengan pada suhu pengabuan 700 dan 800⁰ C, artinya pada daerah ini fasa SiO₂-amorf masih mendominasi bentuk SiO₂ yang dihasilkan (Hanafi dan Nandang, 2010). Puncak ini akan semakin tinggi ketika suhu pengabuan dinaikkan. Hal ini sesuai dengan teori pertumbuhan kristal yang akan naik dengan peningkatan suhu pemanasan sampai terbentuknya kristal secara sempurna. Dengan demikian, kenaikan intensitas puncak SiO₂ menandakan adanya pertumbuhan kristal.

Uji Porositas

Hasil karakterisasi uji porositas mortar dengan sekam tebu ayak disajikan pada Tabel 1 serta mortar dengan sekam tebu tanpa ayak disajikan pada Tabel 2.

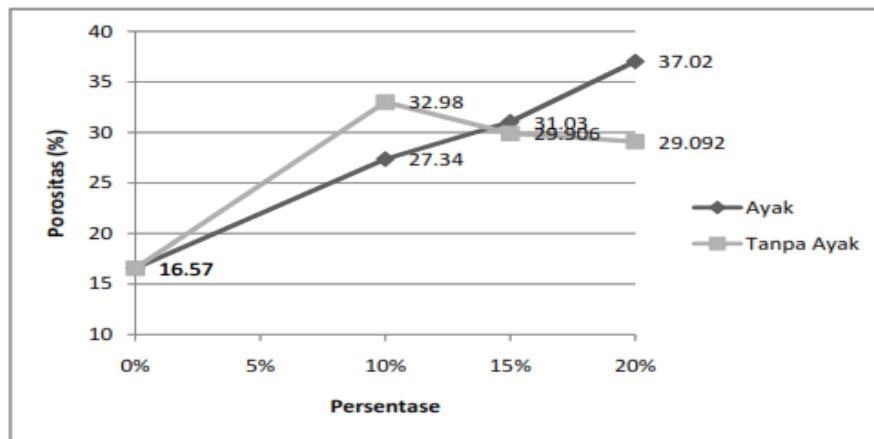
Tabel 1 Hasil uji porositas sekam tebu ayak

No	Variasi Campuran (%)	Massa Basah (gr)	Massa Kering (gr)	Porositas (%)	Porositas Rata – Rata (%)
1	0%	1,9798	1,8403	17,55	16,57
		1,9520	1,7981	15,39	
		1,9506	1,7827	16,79	
2	10%	1,8832	1,6352	24,8	27,34
		1,8720	1,5624	30,96	
		1,8089	1,5463	26,26	
3	15%	1,8676	1,6427	22,49	31,03
		1,8299	1,4277	40,22	
		1,8358	1,5320	30,38	
4	20%	1,8185	1,4601	35,84	37,02
		1,8701	1,4721	39,8	
		1,8032	1,4490	35,42	

Tabel 2 Hasil uji porositas mortar dengan sekam tebu tanpa ayak

No	Variasi Campuran (%)	Massa Basah (gr)	Massa Kering (gr)	Porositas (%)	Porositas Rata – Rata (%)
1	0%	1,9798	1,8403	17,55	16,57
		1,9520	1,7981	15,39	
		1,9506	1,7827	16,79	
2	10%	1,7505	1,3535	39,7	32,98
		1,8648	1,5296	33,52	
		1,7868	1,55296	25,72	
3	15%	1,8248	1,5205	30,43	29,906
		1,7984	1,4909	30,75	
		1,7539	1,4685	28,54	
4	20%	1,7304	1,3787	35,17	29.026
		1,8194	1,5745	24,49	
		1,7711	1,4969	27,42	

Berdasarkan Tabel 1, penambahan 0wt%, 10wt%, 15wt%, 20wt% sekam tebu ayak menghasilkan porositas mortar rata-rata 16,57%, 27,34%, 31,03%, 37,02%. Hal ini menunjukkan porositas mortar dengan penambahan sekam tebu ayak mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase sekam tebu ayak. Semakin besar persentase sekam tebu ayak yang ditambahkan mengakibatkan porositas mortar semakin besar. Sedangkan berdasarkan Tabel 2 penambahan 0wt%, 10wt%, 15wt%, 20wt% sekam tebu tanpa ayak yang menghasilkan porositas mortar rata – rata 16,57%, 32,98%, 29,906%, 29,092%. Hal ini menunjukkan penambahan sekam tebu tanpa ayak mengalami kenaikan porositas pada persentase 10wt% namun mengalami penurunan pada persentase 15wt% dan 20wt%. Sehingga grafik perbandingan hasil uji porositas mortar dengan sekam tebu ayak dan tanpa ayak dapat disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Perbandingan Porositas Mortar Sekam Tebu Ayam dan Tanpa Ayak

Berdasarkan Gambar 4.2 diatas dapat diamati bahwa pengaruh penambahan persentase 10wt% sekam tebu tanpa ayak menghasilkan porositas rata – rata sekitar 32,98% yang lebih besar daripada penambahan persentase 10wt% sekam tebu ayak, yaitu rata – rata sebesar 27,34%. Hal ini dikarenakan pengaruh ukuran dari sekam tebu tanpa ayak yang ditambahkan. Menurut Chusilp *et al* (2009), sekam tebu asli memiliki partikel yang permukaannya kasar dengan porositas yang tinggi (*spongy*) dan permukaan yang luas.

Selain itu dapat diketahui bahwa pengaruh penambahan sekam tebu ayak dan tanpa ayak dengan persentase 10wt%, 15wt%, 20wt% tidak menghasilkan porositas mortar yang lebih baik dari mortar normal tanpa penambahan sekam tebu. Persentase porositas mortar dengan penambahan persentase sekam tebu ayak dan tanpa ayak justru menghasilkan porositas mortar yang besar. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah homogenitas dari bahan pengikat utama (semen *Portland*), pasir, air dan sekam tebu ayak yang kurang sewaktu pengadukan. Sewaktu pengadukan dilakukan dengan menggunakan tangan tanpa bantuan mesin sehingga hasilnya kurang maksimal. Sekam tebu ayak dengan ayakan ukuran 75 μm sangat sulit bercampur secara homogen dengan bahan pengikat utama (semen *Portland*), pasir dan air.

Faktor lain lain yang menyebabkan besarnya porositas mortar dengan penambahan persentase sekam tebu ayak dan tanpa ayak adalah kurang padatnya mortar sewaktu pencetakan. Hal ini sangat berpengaruh sehingga menyebabkan terbentuknya ruang terbuka kosong di dalam mortar. Berdasarkan hasil analisis diatas dapat diamati bahwa pada penelitian ini porositas mortar normal tanpa penambahan sekam tebu masih lebih baik atau lebih rendah daripada porositas mortar dengan penambahan persentase sekam tebu baik ayak maupun tanpa ayak.

Uji Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Hasil karakterisasi uji kuat tekan untuk mortar dengan penambahan sekam tebu ayak disajikan pada Tabel 3 serta mortar dengan penambahan sekam tebu tanpa ayak disajikan pada Tabel 4.

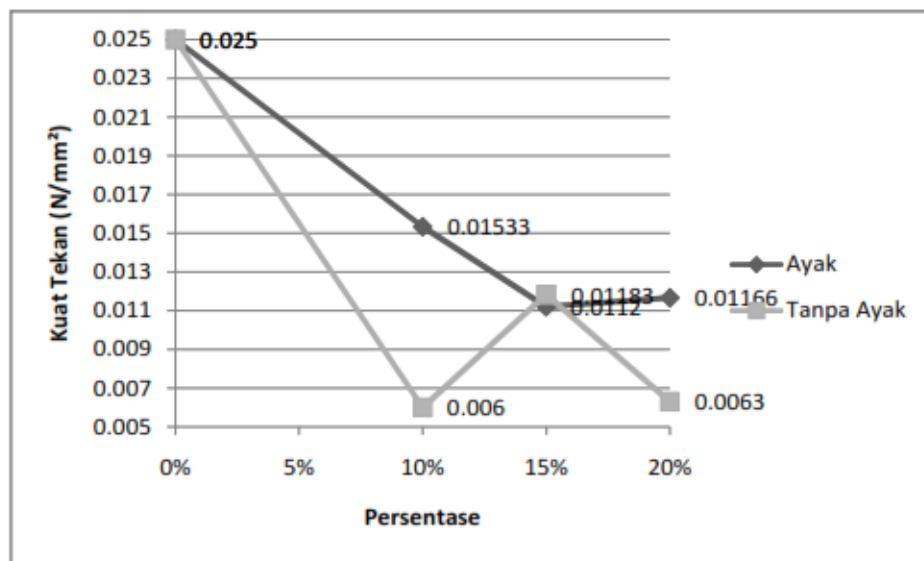
Tabel 3 Hasil uji kuat tekan mortar dengan sekam tebu ayak

No	Variasi Campuran (%)	Luas (mm ²)	Gaya Tekan Maksimal (N)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Kuat Tekan Rata – Rata (N/mm ²)
1	0%	10000	200	0,02	$2,5 \times 10^{-2}$
		10000	270	0,027	
		10000	290	0,029	
2	10%	10000	165	0,0165	$1,533 \times 10^{-2}$
		10000	200	0,02	
		10000	95	0,0095	
3	15%	10000	75	0,0075	$1,12 \times 10^{-2}$
		10000	130	0,013	
		10000	130	0,013	
4	20%	10000	135	0,0135	$1,166 \times 10^{-2}$
		10000	100	0,01	
		10000	115	0,0115	

Tabel 4.4 Hasil uji kuat tekan mortar dengan sekam tebu tanpa ayak

No	Variasi Campuran (%)	Luas (mm ²)	Gaya Tekan Maksimal (N)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Kuat Tekan Rata – Rata (N/mm ²)
1	0%	10000	200	0,02	$2,5 \times 10^{-2}$
		10000	270	0,027	
		10000	290	0,029	
2	10%	10000	80	0,008	$0,6 \times 10^{-2}$
		10000	85	0,0085	
		10000	15	0,0015	
3	15%	10000	120	0,012	$1,183 \times 10^{-2}$
		10000	120	0,012	
		10000	115	0,0115	
4	20%	10000	70	0,007	$0,63 \times 10^{-2}$
		10000	60	0,006	
		10000	60	0,006	

Berdasarkan Tabel 3 dapat diamati bahwa penambahan 0wt%, 10wt%, 15wt%, 20wt% sekam tebu ayak menghasilkan kuat tekan rata – rata $2,5 \times 10^{-2}$ N/mm², $1,533 \times 10^{-2}$ N/mm², $1,12 \times 10^{-2}$ N/mm², $1,166 \times 10^{-2}$ N/mm². Hal ini menunjukkan kuat tekan mortar dengan penambahan sekam tebu ayak mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase sekam tebu terkecuali pada persentase 20% mengalami kenaikan. Semakin besar persentase sekam tebu yang ditambahkan mengakibatkan kuat tekan mortar semakin rendah. Namun meningkat sekitar $0,046 \times 10^{-2}$ N/mm² pada persentase 20wt%. Berbeda dengan Tabel 4.4, penambahan 0wt%, 10wt%, 15wt%, 20wt% sekam tebu tanpa ayak menghasilkan kuat tekan rata – rata $2,5 \times 10^{-2}$ N/mm², 0,006 N/mm², $1,183 \times 10^{-2}$ N/mm², $0,63 \times 10^{-2}$ N/mm². Hal ini menunjukkan kuat tekan mortar mengalami penurunan pada persentase 10wt%. Namun meningkat sekitar $0,583 \times 10^{-2}$ N/mm² kemudian menurun kembali pada persentase 20wt%. Sehingga grafik perbandingan hasil uji kuat tekan mortar dengan penambahan sekam tebu ayak dan tanpa ayak dapat disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Uji Tekan Mortar Sekam Tebu Ayam dan Tanpa Ayak

Pada Gambar 3 dapat diamati bahwa kuat tekan mortar dengan penambahan persentase sekam tebu 10wt% ayak menghasilkan nilai kuat tekan sebesar $1,533 \times 10^{-2}$ N/mm². Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan nilai kuat tekan mortar dengan penambahan persentase sekam tebu 10wt% tanpa ayak, yaitu sebesar $0,6 \times 10^{-2}$ N/mm². Hal ini disebabkan karena pengaruh ukuran sekam tebu yang ditambahkan. Menurut Chusilp *et al* (2009), sekam tebu dengan ukuran partikel yang kecil dapat mengisi kekosongan ruang udara di dalam struktur beton.

Kuat tekan mortar dengan penambahan persentase sekam tebu ayak dan tanpa ayak juga masih lebih rendah daripada kuat tekan mortar normal tanpa penambahan sekam tebu. Mortar normal tanpa penambahan sekam tebu menghasilkan kuat tekan sekitar $2,5 \times 10^{-2}$ N/mm². Pengaruh tingginya nilai porositas mortar pada sampel yang telah diuji porositas sebelumnya juga berpengaruh terhadap kuat tekan mortar tersebut. Terjadi hubungan langsung antara nilai kekuatan tekan dengan nilai porositas. Semakin tinggi angka pori dalam beton akan menyebabkan turunnya kekuatan beton (Mulyono dalam Sitorus, 2009). Adanya celah atau ruang kosong yang berlebihan menyebabkan kepadatan atau densitas dari mortar menjadi rendah.

Berdasarkan analisis diatas dapat diamati bahwa pada penelitian ini kuat tekan mortar normal tanpa penambahan sekam tebu lebih tinggi daripada kuat tekan mortar dengan penambahan persentase sekam tebu baik ayak maupun tanpa ayak.

Uji Ketangguhan (*Impact*)

Hasil karakterisasi uji kekuatan impak untuk mortar dengan penambahan sekam tebu ayak disajikan pada Tabel 5 serta mortar dengan penambahan sekam tebu tanpa ayak disajikan pada Tabel 6.

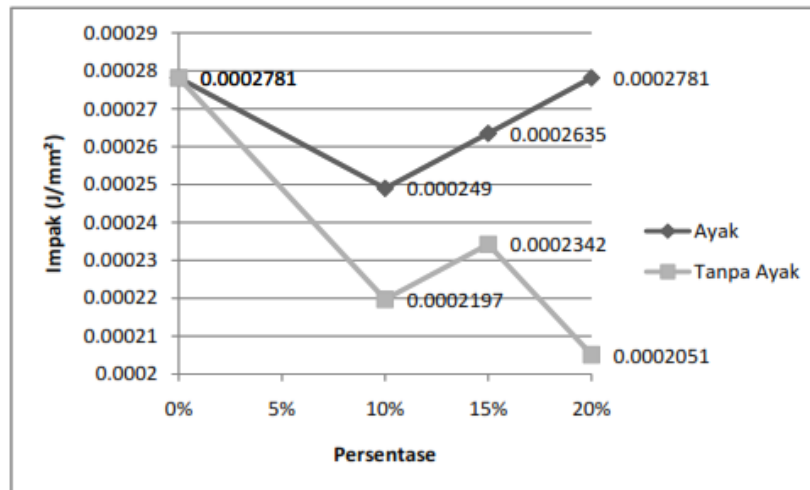
Tabel 5 Hasil uji kekuatan impak mortar dengan sekam tebu ayak

No	Variasi Campuran (%)	W (gr)	L (m)	α	β	EI (Joule)	KI ² (J/mm ²)	KI Rata-Rata (J/mm ²)
1	0%	750	0,3362	90	82	35,0924	$3,509 \times 10^{-4}$	$2,781 \times 10^{-4}$
		750	0,3362	90	85	21,9763	$2,198 \times 10^{-4}$	
		750	0,3362	90	84	26,3568	$2,636 \times 10^{-4}$	
2	10%	750	0,3362	90	85	21,9763	$2,198 \times 10^{-4}$	$2,49 \times 10^{-4}$
		750	0,3362	90	84	26,3568	$2,636 \times 10^{-4}$	
		750	0,3362	90	84	26,3568	$2,636 \times 10^{-4}$	
3	15%	750	0,3362	90	84	26,3568	$2,636 \times 10^{-4}$	$2,635 \times 10^{-4}$
		750	0,3362	90	83	30,7294	$3,072 \times 10^{-4}$	
		750	0,3362	90	85	21,9763	$2,198 \times 10^{-4}$	
4	20%	750	0,3362	90	85	21,9763	$2,198 \times 10^{-4}$	$2,781 \times 10^{-4}$
		750	0,3362	90	84	26,3568	$2,636 \times 10^{-4}$	
		750	0,3362	90	82	35,0924	$3,509 \times 10^{-4}$	

Tabel 6 Hasil uji impak mortar dengan sekam tebu tanpa ayak

No	Variasi Campuran (%)	W (gr)	L (m)	α	β	EI (Joule)	KI (J/mm ²)	KI Rata-Rata (J/mm ²)
1	0%	750	0,3362	90	82	35,0924	$3,509 \times 10^{-4}$	$2,781 \times 10^{-4}$
		750	0,3362	90	85	21,9763	$2,198 \times 10^{-4}$	
		750	0,3362	90	84	26,3568	$2,636 \times 10^{-4}$	
2	10%	750	0,3362	90	85	21,9763	$2,198 \times 10^{-4}$	$2,197 \times 10^{-4}$
		750	0,3362	90	84	26,3568	$2,636 \times 10^{-4}$	
		750	0,3362	90	86	17,5891	$1,758 \times 10^{-4}$	
3	15%	750	0,3362	90	86	17,5891	$1,758 \times 10^{-4}$	$2,342 \times 10^{-4}$
		750	0,3362	90	83	30,7294	$3,072 \times 10^{-4}$	
		750	0,3362	90	85	21,9763	$2,198 \times 10^{-4}$	
4	20%	750	0,3362	90	86	17,5891	$1,758 \times 10^{-4}$	$2,051 \times 10^{-4}$
		750	0,3362	90	85	21,9763	$2,198 \times 10^{-4}$	
		750	0,3362	90	85	21,9763	$2,198 \times 10^{-4}$	

Berdasarkan Tabel 5 dapat diamati bahwa penambahan 0wt%, 10wt%, 15wt%, 20wt% sekam tebu ayak menghasilkan kekuatan impak rata-rata $2,781 \times 10^{-4}$ J/mm², $2,49 \times 10^{-4}$ J/mm², $2,635 \times 10^{-4}$ J/mm², $2,781 \times 10^{-4}$ J/mm². Hal ini menunjukkan kekuatan impak mortar dengan penambahan sekam tebu ayak mengalami penurunan sampai pada persentase 10wt%. Namun mengalami peningkatan sekitar $0,145 \times 10^{-4}$ J/mm² pada persentase 15wt% dan meningkat kembali sekitar $0,146 \times 10^{-4}$ J/mm² pada persentase 20wt%. Berbeda dengan Tabel 6, penambahan 0wt%, 10wt%, 15wt%, 20wt% sekam tebu tanpa ayak menghasilkan kekuatan impak rata – rata $2,781 \times 10^{-4}$ J/mm², $2,197 \times 10^{-4}$ J/mm², $2,342 \times 10^{-4}$ J/mm², $2,051 \times 10^{-4}$ J/mm². Hal ini menunjukkan kekuatan impak mortar mengalami penurunan pada persentase 10wt% yaitu sekitar $0,584 \times 10^{-4}$ J/mm² kemudian mengalami peningkatan pada persentase 15wt% sekitar $0,145 \times 10^{-4}$ J/mm² Lalu mengalami penurunan kembali sekitar $0,291 \times 10^{-4}$ J/mm² pada persentase 20wt%. Sehingga grafik perbandingan hasil uji kekuatan impak mortar dengan penambahan sekam tebu ayak dan tanpa ayak dapat disajikan pada Gambar 4.



Gambar 3. Hasil Uji Impak Mortar Sekam Tebu Ayam dan Tanpa Ayak

Berdasarkan Gambar 4 dapat diamati bahwa mortar dengan penambahan persentase sekam tebu 10wt% tanpa ayak menghasilkan nilai impak sebesar $2,197 \times 10^{-4} \text{ J/mm}^2$. Nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan nilai impak mortar dengan penambahan persentase sekam tebu 10wt% ayak, yaitu sebesar $2,49 \times 10^{-4} \text{ J/mm}^2$. Hal ini dikarenakan pengaruh ukuran dari sekam tebu tanpa ayak yang ditambahkan. Menurut Chusilp *et al* (2009), sekam tebu dengan ukuran partikel yang kecil dapat mengisi kekosongan ruang udara di dalam struktur beton.

Nilai kekuatan impak mortar umumnya sangat rendah disebabkan oleh sifat mortar yang rapuh. Nilai kekuatan impak mortar normal tanpa penambahan sekam tebu sekitar $2,781 \times 10^{-4} \text{ J/mm}^2$. Nilai tersebut lebih besar dibandingkan dengan nilai kekuatan impak mortar dengan penambahan 10wt% sekam tebu ayak yaitu sekitar $2,49 \times 10^{-4} \text{ J/mm}^2$, serta mortar dengan penambahan 10wt% sekam tebu tanpa ayak yaitu sekitar $2,197 \times 10^{-4} \text{ J/mm}^2$.

Rendahnya nilai impak mortar dengan penambahan sekam tebu ayak dan tanpa ayak ini diduga disebabkan oleh faktor yang sama dengan faktor penyebab rendahnya nilai porositas yaitu faktor homogenitas dari bahan pengikat utama (semen *Portland*), pasir, air dan sekam tebu ayak yang kurang sewaktu pengadukan. Sewaktu pengadukan dilakukan dengan menggunakan tangan tanpa bantuan mesin sehingga hasilnya kurang maksimal. Sekam tebu ayak dengan ayakan ukuran $75 \mu\text{m}$ sangat sulit bercampur secara homogen dengan bahan pengikat utama (semen *Portland*), pasir dan air.

Faktor lain lain yang diduga menyebabkan besarnya porositas mortar dengan penambahan persentase sekam tebu ayak dan tanpa ayak adalah kurang padatnya mortar sewaktu pencetakan. Hal ini sangat berpengaruh sehingga menyebabkan terbentuknya ruang terbuka kosong di dalam mortar.

Berdasarkan analisis diatas dapat diamati bahwa pada penelitian ini kekuatan impak mortar normal tanpa penambahan sekam tebu lebih besar daripada kekuatan impak mortar dengan penambahan persentase sekam tebu baik ayak maupun tanpa ayak.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan eksperimen, hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa hasil dari nilai kuat tekan dan nilai kekuatan impak diatas maka mortar berbasis material komposit silika amorf dengan variasi penambahan sekam tebu belum memperbaiki sifat mekanik dari mortar normal tanpa penambahan sekam tebu.

Saran

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik disarankan antara lain :

1. Memperhatikan baik-baik komposisi standar material penyusun mortar (semen, pasir, air dan sekam tebu) sehingga ukurannya tepat pada waktu sintesis.
2. Melakukan pencampuran (*mixing*) material penyusun mortar dengan menggunakan mesin pengaduk sehingga didapatkan homogenitas campuran mortar yang lebih baik.
3. Melakukan pemadatan pencetakan mortar dengan menggunakan tenaga yang lebih besar dari tenaga sebelumnya dengan tujuan mengurangi porositas dalam mortar.

DAFTAR REFERENSI

- Asmuni. 2001. Karakterisasi Pasir Kuarsa (SiO_2) Dengan Metode XRD. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Bayer, R., Lutz, H. 2005. *Dry Mortars*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim
- Chusilp, N., Jaturapitakkul, C., Kiattikomol, K. 2009. *Utilization of Bagasse Ash as A Pozzolan Material in Concrete*. <http://elsevier.com>. 13 Maret 2012.
- Cindika, Afifa. 2008. Penggunaan *High Strength Composite* Dalam Pembuatan Beton. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Cordeiro, G. C., Toledo Filho, R. D., Tavares, L. M., Fairbairn, E. M. R. 2008. *Pozzolan Activity and Filler Effect of Sugar Cane Bagasse Ash in Portland Cement and Lime Mortars*. <http://elsevier.com>. 13 Maret 2012.
- Dvorkin, L., Dvorkin, O. 2006. *Basic of Concrete Science*. Stroi-Beton. St- Petersburg.
- Ganesan, K., Rajagopal, K., Thangavel, K. 2007. *Evaluation of Bagasse Ash as Supplementary Cementitious Material*. <http://elsevier.com>. 13 Maret 2012.
- Hanafi, A. S., dan Nandang, A. R. 2010. Studi Pengaruh Bentuk Silika dari Abu Ampas Tebu terhadap Kekuatan Produk Keramik, <http://journal.kimiawan.org/jki>. 2 April 2012.
- Hendra, M. S., Ginting, S. Pengendalian Bahan Komposit. 2002. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Medan
- Mulyati, S., Dahlan, D., Adril, E. 2011. Pengaruh Persen Massa Hasil Pembakaran Serbuk Kayu dan Ampas Tebu Pada Mortar Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Fisisnya. Laboratorium Material dan Struktural Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas. Padang.
- Papayianni, I., Stefanidou, M. 2006. *Strength – Porosity Relationship in Lime – Pozzolan Mortars*. <http://www.sciencedirect.com>. 13 Maret 2012.
- Pramono, Agus. 2020. Komposit Sebagai Tren Teknologi Masa Depan. Fakultas Teknik Metalurgi & Material Universitas Ageng Tirtayasa. Banten.
- Rahman, I., Sukmawati, R. 2020. Kajian Eksperimental Pengaruh Aspek Lekatan Agregat Kasar Terhadap Mortar Pada Kuat Tekan Beton. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Ratnasari, D., Hermanihadi, S., Indriyanto, W. 2020. Tugas Kimia Fisika Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Surakarta.
- Sanjurjo-Sanchez, J., Trindade, M.J., Blanco-Rotea, R., Benavides Garcia, R., Fernandes Mosquera, D., Burbidge, C., Prudencio, M.I., Dias, M.I. 2020. *Chemical and Mineralogical Characterization of Historic Mortars from The Santa Eulalia De Boveda Temple, NW Spain*. <http://elsevier.com>. 13 Maret 2023.
-

Setiadji, W. M., 2007. Perubahan Ketangguhan bahan St.40 Yang Telah Mengalami Proses *Double Hardening* dengan *Carburizing*. Skripsi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Sihotang, Emelda. 2020. Pemanfaatan Ampas Tebu Pada Pembuatan Mortar.

Skripsi Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara. Medan.

Sitorus, Tanti Kartika. 2021. Pengaruh Penambahan Silika Amorf Dari Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanis Dan Sifat Fisis Mortar. Skripsi Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara. Medan.

Turnip, Rimbun. 2010. Penggunaan Komposit Pada Pembuatan Beton. Tugas

Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.

Zaidan, A. H., Samian., Muzakki., Wibowo, R.A., Rusydi, F., Rulaningtyas, R.

2021. Pedoman Praktikum Fisika Dasar 2. Laboratorium Fisika Dasar Universitas Airlangga. Surabaya.