

ARTIKEL RISET

Pengaruh Variasi Penambahan Abu Ampas Tebu dan Serat Ampas Tebu Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Mortar

Muhammad Nursani^{*}, Pulung Karo Karo and Yanti Yulianti

Received: May 10, 2020 | Accepted: June 30, 2020 | Published: Dec. 21, 2020 | DOI: 10.22146/jfi.v24i3.55989

Ringkasan

Penelitian tentang pengaruh variasi penambahan abu ampas tebu dan serat ampas tebu terhadap sifat fisis dan mekanis pada mortar telah dilakukan. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain abu ampas tebu, serat ampas tebu, semen portland, CaCl dan air. Abu ampas tebu diperoleh dari pembakaran ampas tebu pada suhu 700 °C selama 2 jam. Serat ampas tebu diperoleh dari pencacahan ampas tebu menggunakan mesin disk mill dengan ayakan berukuran 5 mm. Perbandingan semen, abu ampas tebu dan serat ampas tebu yang digunakan yaitu sampel A (90%:0%:10%), sampel B (85%:5%:10%) dan sampel C (80%:10%:10%), dengan penambahan CaCl sebesar 5% dari massa total dan 250 ml air. Pengujian yang dilakukan yaitu uji fisis (daya serap air dan kerapatan) dan uji mekanis (kuat tekan, kuat lentur dan kuat tarik belah) serta karakterisasi *scanning electron microscope-energy dispersive x-ray spectroscopy* (SEM-EDS). Mortar sampel A masuk dalam kategori mortar tipe S dengan kuat tekan sebesar 132,28 kg/cm², mortar sampel B masuk dalam kategori mortar tipe M dengan kuat tekan sebesar 176,16 kg/cm² dan mortar sampel C masuk dalam kategori mortar tipe S dengan kuat tekan sebesar 170,68 kg/cm², secara keseluruhan sampel C memiliki nilai yang lebih tinggi baik secara fisis maupun mekanisnya, mikrostruktur sampel C lebih baik dibandingkan sampel A dan B karena memiliki butiran yang lebih kecil serta terdapat banyak gumpalan yang menyebabkan ukuran pori mengecil sehingga kerapatannya meningkat, penambahan abu ampas tebu meningkatkan jumlah unsur oksigen yang dapat menambah kekuatan mekanis mortar.

Kata Kunci : ampas tebu, SEM-EDS, sifat fisis, sifat mekanis dan mortar.

Abstract

This Research on the effect of variations in the addition of bagasse ash and bagasse fiber to the physical and mechanical characteristic of the mortar has been carried out. The materials used in this research include bagasse ash, bagasse fiber, portland cement, CaCl and water. Bagasse ash is obtained from sintering bagasse at a temperature of 700 °C for 2 hours. Bagasse fiber is obtained from bagasse counting using a disk mill with 5 mm sieve. Comparison of cement, ash bagasse, and also bagasse fiber that is used is the sample A (90%:0%:10%), the sample B (85%:5%:10%) and sample C (80%:10%:10%), with the addition of 5% CaCl total mass and 250 ml of water. Tests done of physical test (absorbtion and bulk density) and mechanical tests (compressive strength, flexural strength and splitting tensile strength) as well as the characterization of scanning electron microscope-energy dispersive x-ray spectroscopy (SEM-EDS). A sample of mortar fall into the category of type S mortar with the compressive strength of 132.28 kg/cm², mortar sample B in the category of type M mortar with the compressive strength of 176.16 kg/cm² and mortar samples C in the category of type S mortar with compressive strength of 170.68 kg/cm², the overall sample C has a higher value, both physically and mechanical microstructure sample C is better than the sample A and B because it has a smaller grain and there are many clots that cause shrink pore size so that the density increases, the addition of bagasse ash increases the amount of oxygen elements which can increase the mechanical strength of mortar.

Keywords: bagasse; SEM-EDS; physical characteristic; mechanical characteristic; mortar.

1 PENDAHULUAN

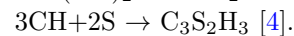
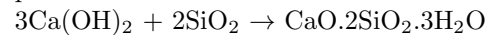
Indonesia merupakan salah satu negara dengan produksi tebu yang cukup besar, menurut data BPS pada tahun 2017 luas lahan tebu mencapai 68,55 ribu hektar dengan produksi gula mencapai 2,19 juta ton. Limbah abu ampas tebu yang dihasilkan dari produksi seluruh pabrik gula Indonesia berkisar antara 500.000–700.000 ton/tahun. Sekitar 50% ampas tebu yang dihasilkan disetiap pabrik gula dimanfaatkan sebagai bahan bakar (*boiler*) dan sisanya ditimbun sebagai buangan yang memiliki nilai ekonomi rendah. Penimbunan ampas tebu dalam waktu tertentu akan menimbulkan permasalahan, karena bahan ini mudah terbakar, mencemari lingkungan sekitar dan menyita lahan yang luas untuk penyimpanannya [1].

Saat ini berbagai upaya pemanfaatan terus dilakukan untuk meminimalkan limbah ampas tebu, diantaranya adalah untuk bahan baku pembuatan pupuk, makanan ternak, *particle board* dan *pulp*, namun upaya ini masih belum mampu mengatasi permasalahan ampas tebu. Untuk itu perlu dikaji kemungkinan limbah ampas tebu ini untuk dapat dijadikan produk baru yang mempunyai nilai ekonomis tinggi. Limbah ampas tebu ini dapat diolah menjadi abu dan serat yang selanjutnya dikombinasikan dengan semen untuk dibuat produk mortar.

Ampas tebu memiliki kandungan senyawa silika (SiO_2) yang juga merupakan bahan baku utama dari semen portland. Abu ampas tebu dapat berperan sebagai pengisi antara partikel-partikel pembentuk mortar, sehingga dengan adanya abu ampas tebu maka porositas mortar akan menjadi lebih kecil, hal ini menyebabkan kekuatan mortar meningkat [2].

Penggunaan semen dapat digantikan oleh penggunaan bahan lain yang bersifat pozzolan. Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina dan alumina, dalam bentuk yang halus dan beserta dengan adanya air maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida dan mempunyai sifat mengikat seperti semen [3]. Saat awal pencampuran mortar maka semen yang bercampur dengan air akan mengalami reaksi hidrasi awal di mana senyawa C_3S yang bereaksi dengan H_2O akan menghasilkan gel perekat yaitu $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ yang merupakan senyawa yang mempengaruhi kekuatan terbesar mortar dan juga akan melepaskan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang tidak dikehendaki oleh mortar yang telah mengeras karena tidak menambah kekuatan mortar dan akan menimbulkan bintik-bintik putih pada permukaan

mortar. Dengan adanya abu ampas tebu yang mengandung SiO_2 yang digunakan pada campuran mortar kemudian akan bereaksi dengan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dibebaskan dari reaksi hidrasi antara semen dengan air sehingga menghasilkan senyawa $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ yang berfungsi sama seperti semen sebagai perekat



Ampas tebu merupakan limbah padat yang berasal dari proses pemerasan batang tebu. Ampas tebu mengandung air 48-52%, gula 2,5-6%. Selama ini limbah dari ampas tebu dimanfaatkan sebagai bahan bakar, padahal limbah dari produksi gula tebu sangat berpotensi untuk dimanfaatkan dalam kegiatan konstruksi. Ampas tebu tidak larut dalam air dan sebagian besar terdiri dari selulosa 37,65%, pentosan 27,93%, lignin 22,09% serta SiO_2 3,01% yang dapat meningkatkan kuat mortar [5]. Serat tebu merupakan bahan serat alam yang memiliki sifat mekanik yang baik yaitu :

- 1 Berat jenis (ρ) : 1,25 g/cm³
- 2 Tegangan tarik (σ) : 290 MPa
- 3 Modulus Young (E) : 17 GPa [6].

Penelitian pengaruh variasi penambahan abu ampas tebu dan serat ampas tebu terhadap sifat fisis dan sifat mekanik mortar untuk mengamati daya serap air (*absorbtion*), kerapatan (*bulk density*), kuat tekan (*compressive strenght*), kuat lentur (*flexural strength*) dan kuat tarik belah (*splitting tensile strength*) serta pengamatan mikrostruktur dengan *scanning electron microscope-energy dispersive x-ray spectroscopy* (SEM-EDS).

2 METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah furnace, cawan keramik, ayakan *mesh* 20 dan *mesh* 100, *disk mill*, kuas, sendok, neraca analitik, gelas ukur, *mixer* semen, cetakan sampel, penumbuk, *compressive testing machine*. Sementara bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu semen jenis ordinary portland cement (OPC), abu ampas tebu, serat ampas tebu, CaCl , dan H_2O .

2.1 Preparasi Sampel

Membuat abu ampas tebu dengan membakar ampas tebu pada suhu 700 °C selama 2 jam dengan menggunakan *furnace* untuk mendapatkan kadar silika sebesar 54,6 % yang ditunjukkan pada Gambar 1 [7].

Selanjutnya membuat serat ampas tebu (Gambar 2) dengan mencacah ampas tebu menggunakan mesin *disk mill* dengan ayakan berukuran 5 mm.

*Correspondence: muhammadnursani09@gmail.com

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

Full list of author information is available at the end of the article

†Equal contributor



Gambar 1: Abu Ampas Tebu.



Gambar 2: Serat Ampas Tebu.

2.2 Pembuatan Mortar

Membuat 3 sampel dengan perbandingan semen, abu ampas tebu dan serat ampas tebu masing-masing yaitu sampel A (90%:0%:10%), sampel B (85%:5%:10%) dan sampel C (80%:10%:10%) dengan penambahan CaCl sebanyak 5% dari massa total dan 250 ml air, ditunjukkan pada Gambar 3. Terlebih dahulu semen, abu ampas tebu dan serat ampas tebu yang telah ditimbang sesuai perbandingan diaduk sampai merata kemudian ditambahkan air yang sebelumnya telah dilarutkan CaCl 5%, lalu diaduk selama 10 menit sampai merata. Kemudian dicetak menggunakan cetakan berukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm untuk sampel uji daya serap air, kerapatan dan kuat tekan, ukuran 10 cm × 4 cm × 4 cm untuk uji kuat lentur dan silinder berukuran diameter 5 cm, tinggi 10 cm untuk uji kuat tarik belah.

2.3 Uji dan Karakterisasi

Perhitungan uji fisis dan mekanis sebagai berikut

$$D = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\% \quad (1)$$

dengan

D = daya serap air (%)

m_k = massa kering (gram)

m_b = massa basah (gram) [8]

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

dengan

ρ = kerapatan (kg/m³)

m = massa total dari semua material dalam campuran (kg)

v = volume total dari komponen material dalam campuran (m³) [9]

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

dengan

P = kuat tekan (MPa)

F = gaya tekan maksimum (N)

A = luas pensmpng benda uji (mm²) [10]

$$f_r = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (4)$$

dengan

f_r = kuat lentur (MPa)

B = beban patah maksimum (N)

L = panjang bentang (mm)

b = lebar rata-rata spesimen di daerah runtuh (mm)

d = tinggi rata-rata spesimen di daerah runtuh (mm)

[11]

$$f_{ct} = \frac{2P}{LD} \quad (5)$$

dengan

f_{ct} = kuat tarik belah (MPa)

P = beban uji maksimal (N)

L = panjang benda uji (mm)

D = diameter benda uji (mm) [12]

Scanning electron microscope-energy dispersive x-ray spectroscopy (SEM-EDS) digunakan untuk mengetahui morfologi dan ukuran dianalisis menggunakan *software ImageJ*.

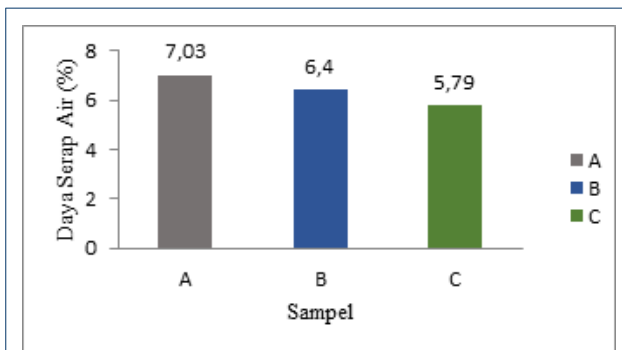


Gambar 3: Sampel Uji A, B dan C.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Sifat Fisis

Sifat fisis merupakan sifat yang dapat diukur dan diamati tanpa merusak sampel mortar. Sifat fisis mortar yang diuji yaitu daya serap air (*absorbtion*) dan kerapatan (*bulk density*).



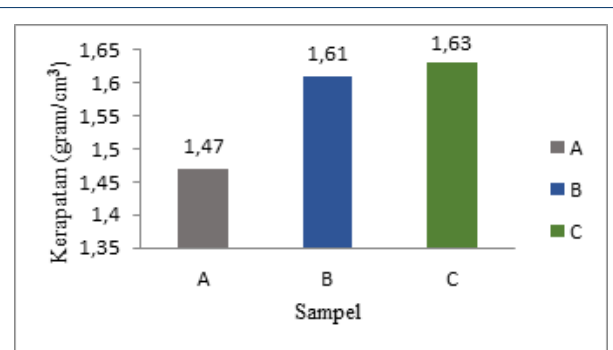
Gambar 4: Hasil Uji Daya Serap air pada Sampel A, B, dan C .

Pada Gambar 4 terlihat dengan penambahan abu ampas tebu dapat mengurangi daya serap air pada mortar dikarenakan struktur abu ampas tebu yang halus sehingga dapat mengisi celah-celah pada mortar dengan demikian porositas mortar menurun yang berdampak menurunnya daya serap. Sampel mortar A, B dan C dikatakan layak karena bernilai kurang dari 25% seperti batas minimum pada SNI 03-6882-2002 [13].

Pada Gambar 5 terlihat perbedaan nilai kerapatan yang signifikan antara sampel tanpa penambahan abu ampas tebu dan sampel dengan penambahan abu ampas tebu. Abu ampas tebu berperan mengisi celah-celah yang ada pada mortar karena strukturnya yang halus, dengan demikian penambahan abu ampas tebu dapat meningkatkan nilai kerapatan pada mortar.

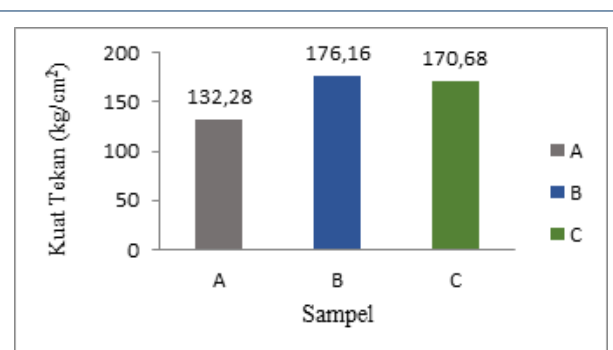
3.2 Analisis Sifat Mekanis

Sifat Mekanis merupakan sifat yang diamati dengan cara interaksi atau melakukan kontak secara langsung



Gambar 5: Hasil Uji Kerapatan pada Sampel A, B dan C.

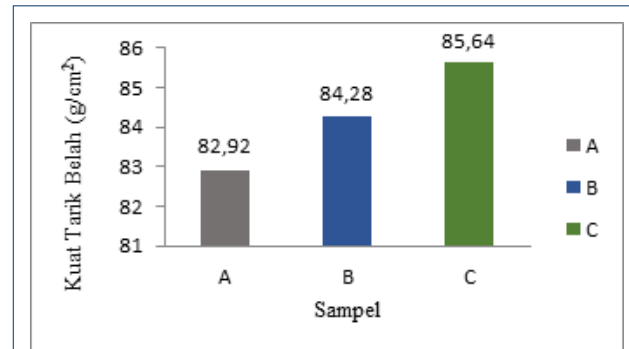
dengan sampel mortar. Sifat fisis yang diamati yaitu kuat tekan (*compressive strength*), kuat lentur (*flexural strength*) dan kuat tarik belah (*splitting tensile strength*).



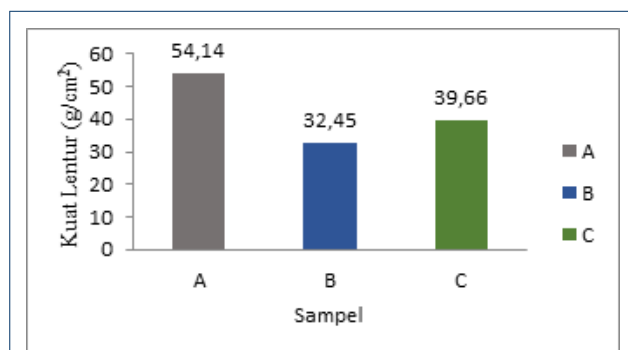
Gambar 6: Hasil Uji Kuat Tekan pada Sampel A, B dan C.

Pada Gambar 6 terlihat sampel B memiliki nilai kuat tekan yang paling tinggi yaitu sebesar 176,16 kg/cm² atau setara dengan 17,27 Mpa dimana nilai ini masuk dalam kategori Mortar tipe M, sampel A memiliki kuat tekan sebesar 132,28 kg/cm² atau setara dengan 12,97 Mpa sehingga masuk kategori

mortar tipe S dan sampel C memiliki nilai kuat tekan sebesar 170,68 kg/cm² atau setara 16,73 Mpa yang masuk dalam kategori mortar tipe S sesuai dengan SNI 03-6882-2002 [13]. Proses hidrasi antara semen yang mengandung kalsium silikat (C₃S dan C₂S) dengan air akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H) dan kalsium hidroksida Ca(OH)₂. Larutan magnesium sulfat mengikat kalsium hidroksida, yang menghasilkan senyawa yang mudah larut dalam air. Dengan adanya SiO₂ dalam abu ampas tebu maka dapat mengurangi jumlah Ca(OH)₂ karena dapat mengikat (bereaksi) dengan Ca(OH)₂ membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) [14].



Gambar 8: Hasil Uji Kuat Tarik Belah pada Sampel A, B dan C.



Gambar 7: Hasil Uji Kuat Lentur pada Sampel A, B dan C.

Berdasarkan Gambar 7 terlihat sampel A yaitu sampel tanpa penambahan abu ampas tebu memiliki kelenturan yang baik dibanding sampel B dan sampel C karena dengan penambahan abu ampas tebu tekstur mortar menjadi lebih keras sehingga mempengaruhi kelenturannya hal ini sebanding dengan hasil uji kuat tekan dimana pada uji kuat tekan sampel B memiliki nilai kuat tekan yang paling tinggi akan tetapi pada uji kuat lentur sampel B memiliki nilai kuat lentur yang rendah dibanding sampel A dan C. Penggunaan abu ampas tebu tidak mempengaruhi peningkatan kuat tarik lentur tetapi memberi peningkatan pada modulus elastistas dan kuat tekan [4].

Pada Gambar 8 terlihat sampel dengan penambahan abu ampas tebu memiliki nilai kuat tarik belah yang lebih tinggi dibandingkan sampel tanpa penambahan abu ampas tebu dengan nilai tertinggi pada sampel C.

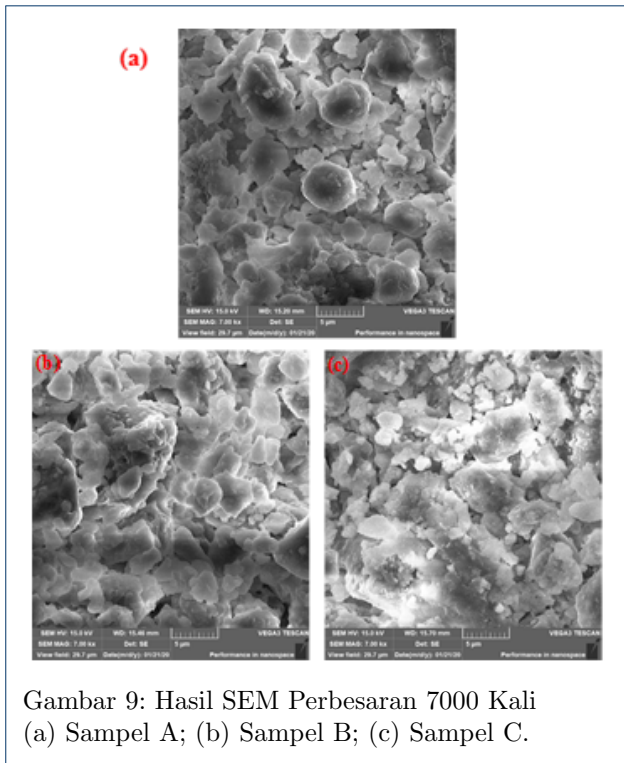
3.3 Analisis SEM-EDS

Hasil Morfologi SEM (Gambar 9) pada sampel A terlihat mikrostruktur mortar terdapat butiran-butiran kecil yang terdistribusi tidak merata pada permukaan serta terdiri dari gumpalan (*cluster*) yang cukup beragam. Ukuran butir sampel A (Tabel 1) yaitu berkisar antara 1,415 μm sampai 6,104

μm dengan rata-rata 2,922 μm. Sampel dengan penambahan abu ampas tebu yaitu sampel B dan C terlihat jumlah gumpalan lebih besar dan beragam serta ukuran butir terkecil lebih kecil dibandingkan sampel A hal itu karena abu bersifat pozzolan. Abu ampas tebu dapat berperan sebagai pengisi antara partikel-partikel pembentuk mortar, sehingga dengan adanya abu ampas tebu maka porositas mortar akan menjadi lebih kecil, hal ini menyebabkan kekuatan mortar meningkat [2]. Dengan adanya abu ampas tebu yang mengandung SiO₂ yang digunakan pada campuran mortar kemudian akan bereaksi dengan kapur Ca(OH)₂ yang dibebaskan dari reaksi hidrasi antara semen dengan air sehingga menghasilkan senyawa C₃S₂H₃ yang berfungsi sama seperti semen [4]. Sampel B memiliki ukuran 0,840 μm sampai 7,143 μm dengan rata-rata 2,917 sedangkan sampel C memiliki ukuran 0,628 μm sampai 10,551 μm dengan rata-rata 2,973 μm, ditunjukkan pada Tabel 1. Mortar ini termasuk kedalam jenis material komposit sehingga secara mikro material komposit dapat dikatakan sebagai material yang heterogen sedangkan dalam skala makro material tersebut dianggap homogen [15]. Berdasarkan hasil EDS (Tabel 2) terlihat jika bumi kehilangan oksigen maka semua benda yang terbuat dari semen akan hancur karena jumlah unsur oksigen pada bahan yang mengandung semen berkisar 50%.

Tabel 1: Ukuran Butir Sampel Mortar

No.	Sampel	Ukuran Terkecil (μm)	Ukuran Terbesar (μm)	Rata-rata (μm)
1.	A	1,415	6,104	2,922
2.	B	0,84	7,143	2,917
3.	C	0,628	10,551	2,973



Gambar 9: Hasil SEM Perbesaran 7000 Kali (a) Sampel A; (b) Sampel B; (c) Sampel C.

Tabel 2: Komposisi Sampel dari Hasil Analisis EDS

Unsur Kimia	Massa Unsur Sampel A (%)	Massa Unsur Sampel B (%)	Massa Unsur Sampel C (%)
O	47,53	51,91	54,78
Ca	35,82	33,17	29,48
Cl	3,83	1,89	3,15
Si	3,75	4,39	3,82
Al	1,43	1,21	1,38
Fe	1,42	1,12	1,06
S	0,97	0,91	0,94
K	0,61	2,11	1,96
Mg	0,49	0,47	0,45
Na	0,23	0,12	0,19
P	0,01	0,22	0,09

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

- 1 Mortar sampel A masuk dalam kategori mortar tipe S dengan kuat tekan sebesar 132,28 kg/cm², mortar sampel B masuk dalam kategori mortar tipe M dengan kuat tekan sebesar 176,16 kg/cm² dan mortar sampel C masuk dalam kategori mortar tipe S dengan kuat tekan sebesar 170,68 kg/cm².
- 2 Secara keseluruhan sampel C dengan perbandingan 80% semen: 10% abu ampas tebu: 10% serat ampas tebu memiliki nilai yang lebih tinggi baik secara fisis maupun mekanisnya.

- 3 Mikrostruktur sampel C lebih baik dibandingkan sampel A dan B karena memiliki butiran yang lebih kecil serta terdapat banyak gumpalan (*cluster*) yang menyebabkan ukuran pori mengecil sehingga kerapatannya meningkat.
- 4 Penambahan abu ampas tebu meningkatkan jumlah unsur oksigen yang dapat menambah kekuatan mekanis mortar.

PENULIS

- 1 Muhammad Nursani
 Dari :
 (1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
- 2 Pulung Karo Karo
 Dari :
 (1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
- 3 Yanti Yulianti
 Dari :
 (1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Pustaka

1. Lavarack BP, Griffin GJ, Rodman D. The acid hydrolysis of sugarcane bagasse hemicellulose to produce xylose, arabinose, glucose and other products. *Biomass and bioenergy*. 2002;23(5):367–380.
2. Mulyadi S, Dahlan D, Adril E. Pengaruh persen massa hasil pembakaran serbuk kayu dan ampas tebu pada mortar terhadap sifat mekanik dan sifat fisisnya. *Jurnal Ilmu Fisika— Universitas Andalas*. 2012;4(1):31–39.
3. Jawara KT, Purnama PFW, Prasetyo OD, Tristono T. Abu Ampas Tebu Pengurang Semen Dalam Paving. *JURNAL PILAR TEKNOLOGI: Jurnal Ilmiah Ilmu Ilmu Teknik*. 2018;3(2).
4. Rompas GP, Pangouw JD, Pandaleke R, Mangare JB. Pengaruh pemanfaatan abu ampas tebu sebagai substitusi parsial semen dalam campuran beton ditinjau terhadap kuat tarik lentur dan modulus elastisitas. *Jurnal Sipil Statik*. 2013;1(2).
5. Fitri W, Mora M. Pengaruh Persentase Serbuk Ampas Tebu terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Semen Partikel. *Jurnal Fisika Unand*. 2018;7(4):367–373.
6. Sumargianto I. Serat Tebu (Bagasse) Sebagai Bahan Pengisi Pada Komposit Dengan Matriks Resin Poliester. *JURNAL TEKNIK MESIN*. 2016;2(1).
7. Karimah R, Wahyudi Y. Pemakaian Abu Ampas Tebu dengan Variasi Suhu Sebagai Substitusi Parsial Semen dalam Campuran Beton. *Media Teknik Sipil*. 2016;13(2).
8. Olanda S, Mahyudin A. Pengaruh Penambahan Serat Pinang (*Areca Catechu L. Fiber*) Terhadap Sifat Mekanik Dan Sifat Fisis Bahan Campuran Semen Gypsum. *Jurnal Fisika Unand*. 2013;2(2).
9. Badan Standarisasi Nasional. SNI 031973-2016: Metode uji Densitas, Volume Produksi Campuran Dan Kadar Udara (Gravimetrik) Beton. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional; 2016.
10. Badan Standarisasi Nasional. SNI 03-6825-2002: Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional; 2002.
11. Badan Standarisasi Nasional. SNI 4154-2014: Metode uji kekuatan lentur beton (menggunakan balok sederhana dengan beban terpusat di tengah bentang). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional; 2014.

12. Badan Standarisasi Nasional. SNI 03-2491-2002: Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional; 2002.
13. Badan Standarisasi Nasional. SNI-03-6882-2002 tentang Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Pasangan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional; 2002.
14. Haryono S, Primantari L. Pemanfaatan Limbah Abu Ampas Tebu (Baggase Ash) Sebagai Bahan Substitusi Semen Untuk Meningkatkan Kuat Tekan dan Durabilitas Beton Pada Lingkungan Agresif. *Majalah Ilmiah Kopertis Wilayah VI*. 2005;XV(23):43-53.
15. Sugeng S, Bambang. Material Komposit sub bab Tinjauan terhadap Berapa Perilaku Mekanik dari Material Komposit. Bandung: PAU-Ilmu Rekayasa-ITB; 1990.