

## SINTESIS SILIKA DARI ABU SEKAM PADI DAN PENGARUHNYA TERHADAP KARAKTERISTIK BATA RINGAN

Meliyana\*, Cut Rahmawati\*\*, Lia Handayani\*\*\*

\*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Abulyatama, Aceh Besar, Indonesia,  
[meliyana\\_sipil@abulyatama.ac.id](mailto:meliyana_sipil@abulyatama.ac.id)

\*\* Program Studi Teknik Sipil, Universitas Abulyatama, Aceh Besar, Indonesia,  
[cutrahmawati@abulyatama.ac.id](mailto:cutrahmawati@abulyatama.ac.id)

\*\*\*Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Universitas Abulyatama, Aceh Besar, Indonesia,  
[liahandayani\\_thp@abulyatama.ac.id](mailto:liahandayani_thp@abulyatama.ac.id)

Email korespondensi: [cutrahmawati@abulyatama.ac.id](mailto:cutrahmawati@abulyatama.ac.id)

Diterima : 22 November 2019 Disetujui : 13 Desember 2019 Diterbitkan : 31 Desember 2019

**Abstract:** The agricultural waste utilization of rice husk ash into silica is an effort to reduce environmental impact. The rice husk ash contains a lot of silica, so it is very feasible to use. Lightweight bricks for the wall material has disadvantages, especially in compressive strength and water absorption. It is caused by the use of a foaming agent, which causes enlarged pores and compressive strength decreased. This study aimed to find out the influence of silica, synthesized from rice husk ash, on lightweight bricks performance. The lightweight bricks' performance were evaluated on compressive strength, water absorption, and compressive strength after increasing temperature. The synthesized silica by the sol-gel method used NaOH 2.5 N and HCl 1N. From XRF and FTIR tests shown that the silica, produced from rice husk ash, was quite good with silica content 89.17%. The resulted silica was mixed into the lightweight bricks mixture based on the cement weight 0%, 5%, 10%, and 15%. The lightweight bricks density was controlled at 800 kg/cm<sup>2</sup>. The result showed that the lightweight bricks had increased the compressive strength up to 3.11 MPa, but the effect of silica on water absorption did not show any significant effect. At the test of fire at temperature 200-400°C for 25 minutes, it showed the decreasing of compressive strength, but the lightweight bricks by adding silica 5% were already looked fragile. It means that the adding of silica on the lightweight bricks can be applied.

**Keywords:** rice husk ash, nanosilica, lightweight bricks, compressive strength, water absorption

**Abstrak:** Pemanfaatan limbah pertanian yaitu abu sekam padi menjadi silika merupakan upaya untuk mengurangi dampak lingkungan. Abu sekam padi mengandung banyak silika sehingga sangat layak untuk dimanfaatkan. Bata ringan sebagai material dinding memiliki kekurangan terutama pada kuat tekan dan daya serap air, hal ini disebabkan karena penggunaan *foaming agent* menyebabkan pori-pori membesar dan kuat tekan menurun. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh silika yang disintesis dari abu sekam padi terhadap karakteristik bata ringan. Kinerja bata ringan ditinjau terhadap kuat tekan, daya serap air, dan kuat tekan setelah terjadi peningkatan suhu. Sintesis silika dengan metode sol-gel menggunakan NaOH 2,5 N dan HCl 1 N. Dari pengamatan XRF dan FTIR menunjukkan silika yang dihasilkan dari abu sekam padi cukup baik dengan kandungan silika 89,17%. Silika yang dihasilkan dicampurkan ke dalam campuran bata ringan berdasarkan berat semen sebesar 0,5, 10 dan 15%. Massa jenis bata ringan dikontrol pada 800 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil

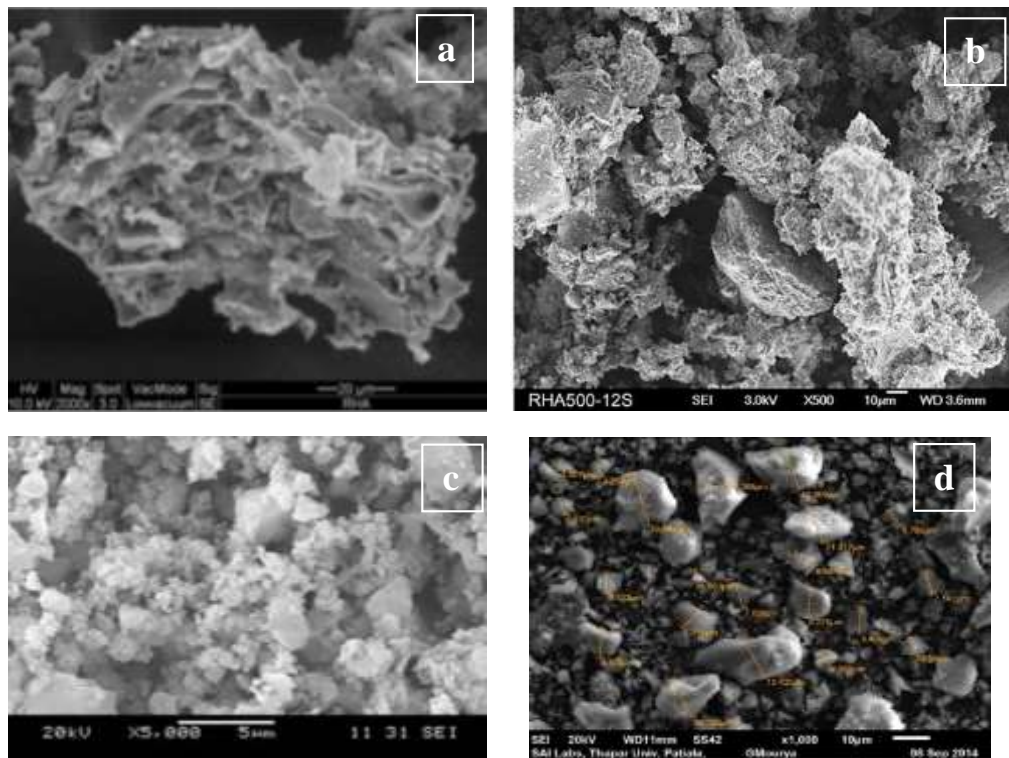
penelitian menunjukkan bata ringan mengalami peningkatan kuat tekan hingga 3,11 MPa, namun pengaruh silika terhadap daya serap air tidak menunjukkan ada pengaruh yang signifikan. Pada pengujian terhadap pembakaran pada suhu 200 – 400°C selama 25 menit menunjukkan ada penurunan kuat tekan, namun bata ringan pada penambahan silika 5% sudah terlihat rapuh. Penambahan silika pada bata ringan dapat diaplikasikan.

**Kata kunci:** abu sekam padi, bata ringan, daya serap air, kuat tekan, nanosilika

## Pendahuluan

Memanfaatkan material alam pada bidang konstruksi akan mampu menjaga lingkungan. Material alam ini dapat dijadikan bahan substitusi semen, diketahui bahwa semen dalam produksinya menyebabkan emisi rumah kaca. Produksi gas CO<sub>2</sub> terjadi pada saat semen ber-hidrasi (Thomas, 2018). Material yang dimanfaatkan pada penelitian ini adalah abu sekam padi yang berasal dari sekam padi yang dibakar pada kilang-kilang padi. Abu sekam padi cukup potensial untuk memproduksi silika dan dimanfaatkan sebagai pengganti semen. Dalam bidang konstruksi penggunaan bata ringan sebagai dinding sudah menjadi kebutuhan untuk menggantikan bata merah yang memiliki kelemahan yaitu berat satuan dan material tanah liat yang sudah sulit didapatkan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan nanosilika yang dihasilkan dari limbah pertanian (sekam padi) untuk mengisi pori-pori bata ringan sehingga memiliki keandalan dan kualitas yang baik. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah sol-gel untuk mendapatkan nanosilika dari abu sekam padi. Karakterisasi yang dilakukan adalah pengamatan SEM, XRF, dan PSA pada nanosilika yang dihasilkan. Karakterisasi pada bata ringan berupa pengujian kuat tekan, daya serap air, dan uji kebakaran.

Penelitian terkait sintesis nanosilika dari abu sekam padi sudah banyak dilakukan. Penelitian (Zain, Islam, Mahmud, & Jamil, 2011), (Zerbino, Giaccio, & Marfil, 2014), (Yuzer et al., 2013), (Van, Rößler, Bui, & Ludwig, 2013) telah menunjukkan bahwa abu sekam padi yang disintesis menjadi mikro dan nanosilika memberi manfaat besar pada kinerja beton. Penelitian (Van Tuan, Ye, van Breugel, & Copuroglu, 2011) menunjukkan kualitas material konstruksi yang dihasilkan dipengaruhi oleh pori-pori dan luas permukaan Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash/RHA*) yang dihasilkan. Hasil pengujian SEM penelitian (Foong, Alengaram, Jumaat, & Mo, 2015) menunjukkan silika yang dihasilkan dengan luas permukaan yang lebih baik dan bersifat *amorf*. Metode yang digunakan adalah sekam padi dibakar pada suhu 700°C selama 6 jam untuk mendapatkan abu sekam padi yang berwarna putih dan mengandung silika tinggi dengan suhu minimum 402°C (James & Rao, 1986) dan rata-rata 500°C akan menghasilkan silika yang baik (Nair, Fraaij, Klaassen, & Kentgens, 2008).



- a. SEM RHA (Foong et al., 2015)
- b. SEM RHA (Nair et al., 2008)
- c. SEM RHA (Cordeiro, Filho, & Fairbairn, 2009)
- d. SEM RHA (Gill & Siddique, 2018)

**Gambar 1.** SEM RHA dari beberapa peneliti

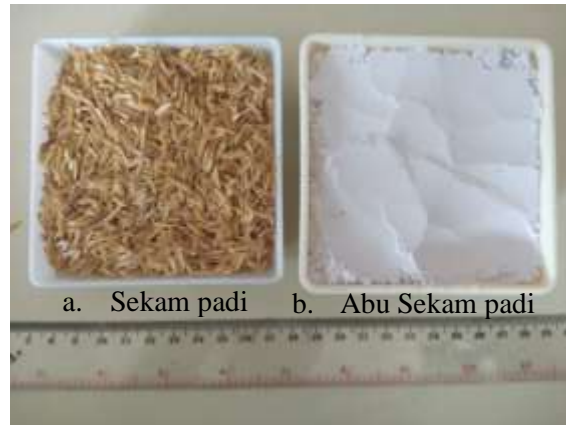
## Metode Penelitian

### Material

Material yang digunakan untuk sintesis silika adalah abu sekam padi berwarna putih (*White Rice Husk Ash*/WRHA), NaOH 2,5 N, HCl 1 N. Material yang digunakan untuk pembuatan bata ringan adalah Semen, pasir halus, *foaming agent*, air.

### Alat Percobaan

Alat yang digunakan untuk sintesis nanosilika adalah ayakan 325 mesh, gelas ukur, termometer, labu ukur, cawan, timbangan digital, dan oven. Untuk pembuatan bata ringan digunakan alat *generator foam*, molen, cetakan. Pengujian kebakaran dilakukan dengan tungku bakar untuk mengkondisikan seperti terjadi kebakaran.



Gambar 2. Sekam padi yang telah dibakar dan menghasilkan *White Rice Husk Ash/WRHA*

### Karakterisasi dan pengujian

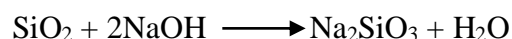
Karakterisasi nanosilika dilakukan dengan menggunakan perangkat XRF, SEM, FTIR, dan PSA. Pengujian pada bata ringan meliputi kuat tekan dan daya serap air.

### Proses pembuatan nanosilika

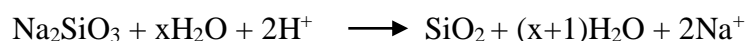
Untuk membersihkan WRHA digunakan larutan HCl 1 N. kemudian dipanaskan pada suhu 90°C selama 2 jam. Pencucian berulang dilakukan untuk membuang sisa asam yang ada menggunakan aquadest hangat hingga mencapai pH 7 untuk menghasilkan *silica rich*.

10 gram WRHA direaksikan dengan 60 ml NaOH 2,5 N pada suhu 90°C selama 1 jam. Kemudian dilakukan penyaringan dan terakhir dari proses penyaringan ditambahkan aquadest hangat sebanyak 100 ml. Proses ini menghasilkan larutan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, kemudian HCl 1 N ditambahkan hingga pH larutan menjadi 7 dan gel ini didiamkan selama 18 jam pada suhu ruang. Proses selanjutnya adalah mencuci menggunakan aquadest hangat berkali-kali dan menyaringnya kembali. Pengeringan gel dilakukan pada suhu 110°C selama beberapa hari hingga didapat *Xerogel*. Silika kering ini kemudian dihaluskan kembali dan disaring dengan saringan 325 mesh. Metode karakterisasi yang dilakukan terhadap nanosilika yang dihasilkan adalah XRF, SEM, FTIR, dan PSA.

Reaksi yang terjadi adalah (Handayani, Nurjanah, & Rengga, 2014).



Proses pembentukan silika gel adalah:



### Proses pencetakan bata ringan

Material semen dan pasir dicampur sesuai takaran. *Foaming agent* dicampur dengan air kemudian dimasukkan kedalam *generator foam* untuk menghasilkan *foam*. Kontrol massa jenis campuran dilakukan pada 800 kg/m<sup>3</sup>. Setelah

mendapatkan massa jenis sesuai rencana campuran dimasukkan ke cetakan (5cm x 5cm x 5cm). Untuk bata ringan tidak ada standar terkait perencanaan campuran. Untuk itu pencampuran didasarkan pada perbandingan air dan semen yaitu 0,5, pasir halus dan semen dengan perbandingan 1, air dan *foaming agent* memiliki perbandingan 1:40. Air dan *foaming agent* dicampur dan dimasukkan ke dalam *generator foam* sehingga menghasilkan busa. Busa ini dicampurkan dengan campuran semen dan pasir. Volume foam dikontrol dengan berat volume dari campuran yaitu pada 800 kg/cm<sup>3</sup>. *Mix design* campuran bata ringan sebagai berikut:

**Tabel 1.** *Mix design* campuran bata ringan untuk 1m<sup>3</sup>

No. Sampel	Silika	Kebutuhan Material untuk 1 m <sup>3</sup>				
		Semen (Kg)	Pasir Halus (Kg)	Air (Kg)	Foam (l)	Silika (Kg)
NS 0	0	320	320	160	613	0
NS 1	5%	320	320	160	613	16
NS 2	10%	320	320	160	613	32
NS 3	15%	320	320	160	613	48

### Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian abu sekam padi sebelum dan sesudah dilakukan sintesis adalah sebagai berikut:

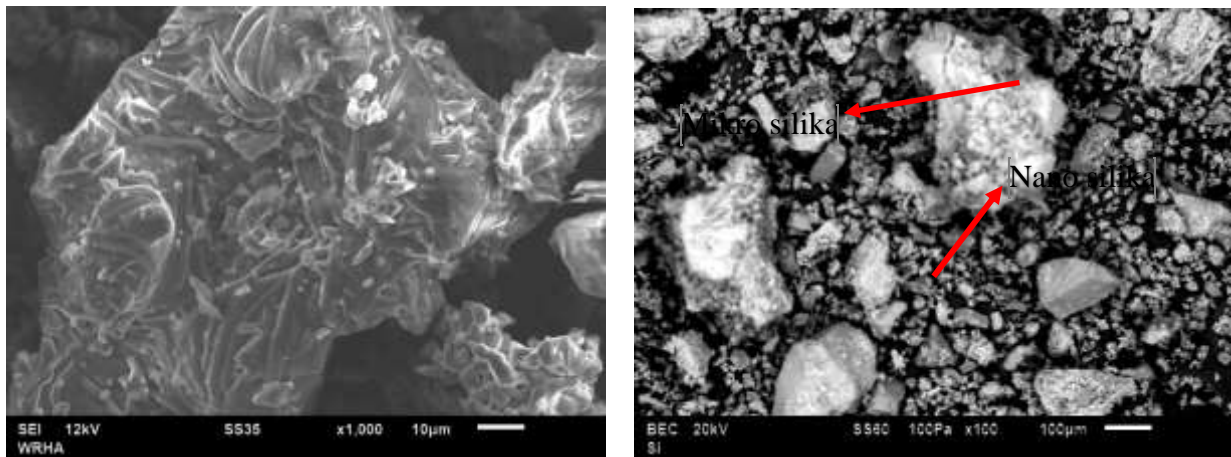
**Tabel 2.** Persentase kandungan silika hasil sintesis

No.	Senyawa	WRHA	Nanosilika
		Persentase (%)	Persentase (%)
1	SiO <sub>2</sub>	93,27	89,17
2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,26	0,11
3	SO <sub>3</sub>	0,26	0,21
4	Cl	0,35	0,15
5	K <sub>2</sub> O	3,41	2,11
6	CaO	1,03	0,87
7	MnO	0,17	0,11
8	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15	1,13
9	Ag <sub>2</sub> O	0,10	0,1

Pada tabel di atas terlihat kandungan silika WRHA sebelum disintesis cukup tinggi 93,27%, namun ketika disintesis menjadi nanosilika kandungan silika yang mampu didapat adalah 89,17%.

### Mikro Struktur WRHA

Morfologi nanosilika yang dihasilkan pada skala mikro diamati dengan mikroskop elektron (SEM). Pengamatan difokuskan pada struktur mikro berupa kehomogenan material.



a. WRHA pencucian dengan HCl 1 N

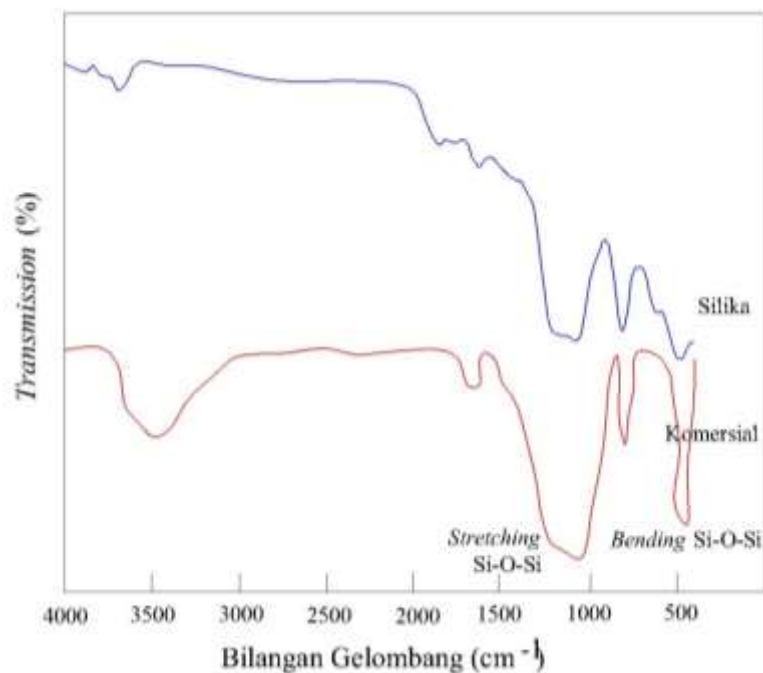
b. Silika yang dihasilkan

**Gambar 3.** Mikro struktur WRHA dan nanosilika

Dari gambar 3 terlihat WRHA yang dilakukan pembersihan dengan HCl terlihat kompak karena HCl melarutkan zat-zat organik dan unsur lainnya pada WRHA (Meliyana, Rahmawati, & Handayani, 2019). Silika yang dihasilkan terlihat memiliki ukuran yang beragam dan tidak semua berukuran nano. Hasil pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA) menunjukkan ukuran partikel silika yang terbentuk rata-rata  $92\pm 25$  nm.

#### **Analisis Gugus Fungsi (FTIR)**

Silika yang diperoleh dari proses sintesis dibandingkan dengan produksi komersial. Sebagai pembanding analisis FTIR produk komersial didapat dari analisis (Thuadaj & Nuntiya, 2008).



Sumber : hasil analisis dan (Thuadaj & Nuntiya, 2008)

**Gambar 4.** Hasil Uji Analisis Gugus Fungsi Silika

Pengamatan spektra FTIR difokuskan pada pembentukan Si-O-Si pada daerah 400 – 1100  $\text{cm}^{-1}$ . Hasil spektra pada silika terlihat puncak pada 1121,11  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan pita vibrasi ulur asimetri (*asymmetric stretching vibration*) Si-O-Si. Puncak-puncak pada 487,26 – 607,56  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi tekuk (*bending*) Si-O-Si yang tidak jauh berbeda dengan silika yang dihasilkan oleh produk komersial.

**Tabel 3.** Hasil Interpretasi Spektra FTIR Sintesis Nanosilika

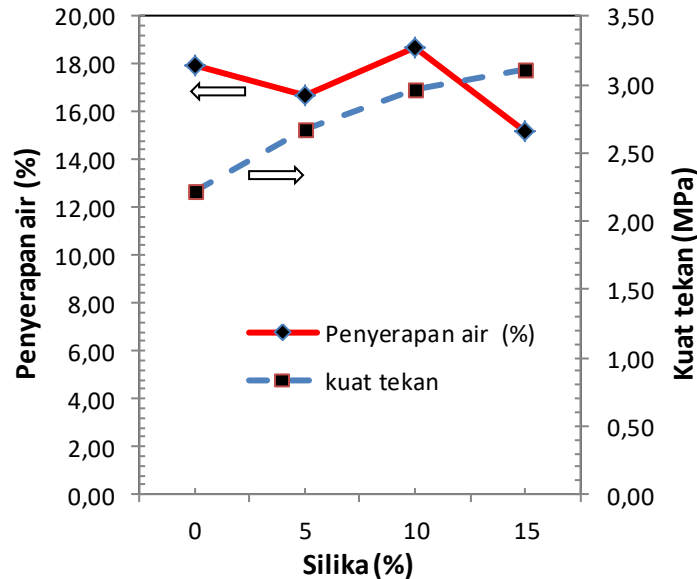
No.	Bilangan Gelombang	Interpretasi
1.	487,26	<i>Bending</i> Si-O-Si
2.	600,21	<i>Bending</i> Si-O-Si
3.	607,56	<i>Bending</i> Si-O-Si
4.	1121,11	<i>Stretching</i> Si-O-Si
5.	1721,21	Vibrasi ulur O-C-O akibat reaksi NaOH dengan udara

Pengujian FTIR menunjukkan adanya puncak silika. Jika dibandingkan dengan silika komersial gugus fungsi juga sama terlihat pada gelombang 1000  $\text{cm}^{-1}$ . Silika yang dihasilkan selanjutnya digunakan pada bata ringan sebagai substitusi semen.



### Pengujian kuat tekan dan daya serap air

Pada pengujian kuat tekan menunjukkan adanya pengaruh penambahan silika, namun pada pengujian daya serap air belum memberi pengaruh yang berarti.



Gambar 5. Pengaruh penambahan silika terhadap kuat tekan dan daya serap air.

Dari gambar di atas, terlihat bahwa nilai kuat tekan bata ringan mengalami peningkatan dalam hal ini bisa disimpulkan bahwa dengan penambahan silika dapat meningkatkan kuat tekan bata ringan. Peningkatan dapat terjadi karena silika dapat membantu semen untuk mengikat partikel butiran agregat dengan baik. Hasil kuat tekan rata-rata yang dihasilkan dari benda uji dengan penambahan 0% silika sebesar 2,22 MPa, pada campuran 5% silika sebesar 2,67 MPa meningkat 17% dari kuat tekan tanpa silika, pada campuran 10% kuat tekan rata-rata yang dihasilkan sebesar 2,96 MPa meningkat 25% dari kuat tekan tanpa silika dan pada campuran 15% kuat tekan yang dihasilkan sebesar 3,11 MPa meningkat 29%. Nilai kuat tekan terus meningkat seiring dengan penambahan silika. Hal ini terjadi karena nanosilika memiliki sifat kristalinitas yang tinggi sehingga silika mampu menutupi pori-pori yang dibentuk oleh foaming agent. Silika jika bereaksi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  yang terdapat pada semen akan menjadi senyawa CSH gel, senyawa ini akan mengisi celah-celah lemah antara agregat dan pasta. Dalam skala nano, silika lebih mudah bereaksi membentuk CSH gel dan memperbaiki daerah yang lemah antara agregat dan pasta. Hal ini sejalan dengan penelitian (Chiang, Chou, Hua, Chien, & Cheeseman, 2009) menunjukkan pada persentase 15% silika dari proses pembakaran meningkatkan kekuatan bata ringan. Namun berbeda dengan penelitian (Sari, Fuad, & Diantoro, 2015), pada penambahan nanosilika 15% terjadi penurunan pada kuat tekan. Hal ini disebabkan karena kurang homogennya

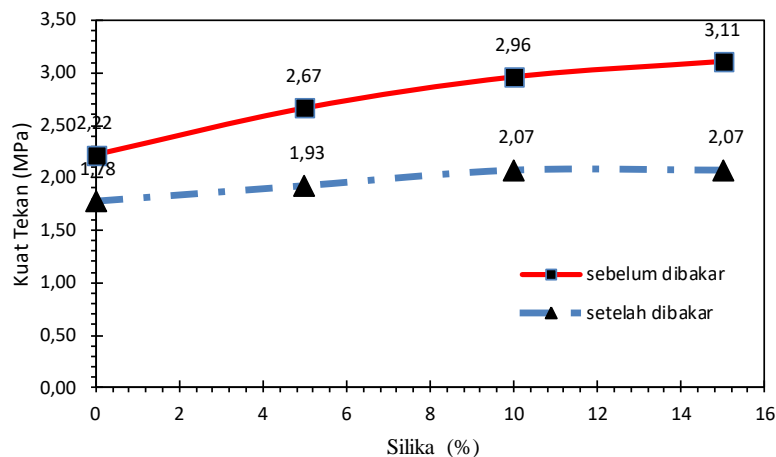


adukan beton sehingga terjadi aglomerasi. Untuk menghindari aglomerasi perlu digunakan *vibrator* pada saat penuangan adukan ke dalam cetakan

Hasil pengujian daya serap air menunjukkan tidak ada perubahan yang berarti dari kemampuan silika sebagai penahan rembesan air. Peningkatan yang terjadi belum cukup membuktikan silika pada bata ringan mampu menahan rembesan air. Daya serap air bata ringan berkisar 15,17% sampai dengan 18,71%. Nilai penyerapan air bata ringan sudah sesuai standar (SNI 03-0349-1989, n.d.) yaitu maksimum 25%.

### Pengujian Ketahanan Terhadap Kebakaran

Uji ketahanan terhadap kebakaran digunakan untuk mengetahui kemampuan bata ringan menahan peningkatan suhu tanpa merubah kekuatan struktur. Pengujian kebakaran dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari, dengan suhu 200-400°C selama 25 menit. Sebelum dibakar benda uji terlebih dahulu diukur dimensi dan ditimbang beratnya. Hal ini perlu dilakukan untuk membandingkan perubahan baik bentuk maupun berat setelah bata dibakar.



**Gambar 6.** Pengaruh silika terhadap kuat tekan bata ringan sebelum dan sesudah dibakar

Dari gambar tersebut, terlihat terjadi penurunan kuat tekan akibat peningkatan suhu. Silika tidak berpengaruh banyak dalam mempertahankan kuat tekan. Namun demikian bata ringan dengan 10% dan 15% silika yang terbakar masih dapat digunakan dan memenuhi standar SNI yaitu kuat tekan diatas 1 MPa. Sedangkan pada bata ringan dengan persentase silika 5% sudah rapuh dengan kuat tekan 1,93 MPa. Bata yang telah mengalami pembakaran kerapuhannya berjalan perlahan-lahan dan benda uji ini akan terus menurun kekuatannya. Pada material yang telah terbakar terjadi perubahan komposisi kimia secara bertahap. Akibat pengaruh suhu, persentase penurunan kuat tekan berkisar antara 25 sampai 50%. Hal ini sesuai dengan penelitian (Ahmad, Taufieq, & Aras, 2009), penurunan kuat

tekan pada suhu 200 - 400°C sebesar 46,64% dan penelitian (Atmaja, Triana, & Ujianto, 2017) menyebutkan sampai suhu 400°C penurunan terjadi sebesar 35,08%. Perbedaan persentase penurunan tergantung kepada material pengisi, metode pelaksanaan dan zat aditif yang ditambahkan.

### Kesimpulan

Dari pengamatan dan analisa yang dilakukan terhadap data-data penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Pada proses sintesis nano silika kandungan silika turun menjadi 89,17%. Penurunan ini terjadi karena dalam proses sintesis terjadi kehilangan silika akibat temperatur dan proses pengerjaan secara manual. Puncak silika terlihat pada gelombang 1121,11  $\text{cm}^{-1}$ . Hal ini tidak berbeda jauh antara silika yang dihasilkan dengan silika komersial. Ukuran partikel silika yang terbentuk rata-rata  $92 \pm 25$  nm. Ukuran ini tidak seragam seluruh silika, masih ada mikro silika yang terbentuk. Kuat tekan bata ringan terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah silika. Pengaruh silika terhadap daya serap air tidak signifikan. Pada kondisi peningkatan temperatur hingga 400°C selama 25 menit bata ringan dengan komposisi silika 10% dan 15% masih dapat digunakan. Silika yang disintesis dari abu sekam padi dapat digunakan sebagai substitusi semen pada bata ringan

### Daftar Kepustakaan

- Ahmad, I. A., Taufieq, N. A. S., & Aras, A. H. (2009). Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 16(2), 63–70. <https://doi.org/10.5614/jts.2009.16.2.2>
- Atmaja, F. R., Triana, D., & Ujianto, R. (2017). Struktur Beton Pasca Kebakaran Terhadap Kuat Tekan Dan Karakteristik Beton. *Jurnal CIVTECH Teknik Sipil Universitas Serang Raya*, 1(1), 1–13. Retrieved from <http://e-jurnal.lppmunsera.org/index.php/CIVTECH/article/view/177>
- Chiang, K. Y., Chou, P. H., Hua, C. R., Chien, K. L., & Cheeseman, C. (2009). Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks. *Journal of Hazardous Materials*, 171(1–3), 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.144>
- Cordeiro, G. C., Filho, R. D. T., & Fairbairn, E. de M. R. (2009). Use of ultrafine rice husk ash with high-carbon content as pozzolan in high performance concrete. *Materials and Structures*, 42, 983–992.
- Foong, K. Y., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., & Mo, K. H. (2015). Enhancement of the mechanical properties of lightweight oil palm shell concrete using rice husk ash and manufactured sand. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*, 16(1), 59–69.
- Gill, A. S., & Siddique, R. (2018). Durability properties of self-compacting

- concrete incorporating metakaolin and rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 176, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.054>
- Handayani, P. A., Nurjanah, E., & Rengga, W. D. P. (2014). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 3(2), 55–59. <https://doi.org/10.15294/jbat.v3i2.3698>
- James, J., & Rao, M. S. (1986). Silica from rice husk through thermal decomposition. *Thermochimica Acta*, 97, 329–336. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(86\)87035-6](https://doi.org/10.1016/0040-6031(86)87035-6)
- Meliyana, M., Rahmawati, C., & Handayani, L. (2019). Sintesis Nano Silika dari Abu Sekam Padi Dengan Metode Sol-Gel. In *Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu Universitas Asahan ke-3* (pp. 800–807).
- Nair, D. G., Fraaij, A., Klaassen, A. A. K., & Kentgens, A. P. M. (2008). A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes. *Cement and Concrete Research*, 38(6), 861–869. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2007.10.004>
- Sari, D. N., Fuad, A., & Diantoro, M. (2015). Pengaruh Penambahan Nanosilika Terhadap Prositas, Komposisi Penyusun dan Kuat Tekan Beton. *Jurnal Mahasiswa Fisika Universitas Malang*, 1–10.
- SNI 03-0349-1989. (n.d.). *Bata Beton Untuk Pasangan Dinding, Badan Standarisasi Nasional*.
- Thomas, B. S. (2018). Green concrete partially comprised of rice husk ash as a supplementary cementitious material – A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3913–3923. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.081>
- Thuadaij, N., & Nuntiya, A. (2008). Preparation of Nanosilica Powder from Rice Husk Ash by Precipitation Method. *Chiang Mai Journal of Science*, 35(1), 206–211.
- Van, V.-T.-A., Rößler, C., Bui, D.-D., & Ludwig, H.-M. (2013). Mesoporous structure and pozzolanic reactivity of rice husk ash in cementitious system. *Construction and Building Materials*, 43, 208–216. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.02.004>
- Van Tuan, N., Ye, G., van Breugel, K., & Copuroglu, O. (2011). Hydration and microstructure of ultra high performance concrete incorporating rice husk ash. *Cement and Concrete Research*, 41(11), 1104–1111. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2011.06.009>
- Yuzer, N., Cinar, Z., Akoz, F., Biricik, H., Yalcin Gurkan, Y., Kabay, N., & Kizilkanat, A. B. (2013). Influence of raw rice husk addition on structure and properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 44, 54–62. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.02.070>
- Zain, M. F. M., Islam, M. N., Mahmud, F., & Jamil, M. (2011). Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material.

- Construction and Building Materials*, 25(2), 798–805.  
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2010.07.003>
- Zerbino, R., Giaccio, G., & Marfil, S. (2014). Evaluation of alkali–silica reaction in concretes with natural rice husk ash using optical microscopy. *Construction and Building Materials*, 71, 132–140.  
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.08.022>