

Abu Sekam Padi dan Carbon Nanotube sebagai Material Alternatif Penyusun Beton Ringan Seluler

Rice Husk Ash and Carbon Nanotube as Alternative Materials for Concrete Materials for Cellular Lightweight Concrete

Yogie Risdianto¹, Nur Andajani², Andang Widjaya³, Krisna Dwi Handayani⁴, Meity
Wulandari⁵

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang Surabaya. Telp: (031)
8280009. Email : yogierisdianto@unesa.ac.id

Abstrak

Dunia konstruksi membutuhkan inovasi dan alternatif untuk membuat material baru yang lebih baik. Khususnya pada beton ringan, dapat ditambahkan alternatif berupa bahan yang lebih rendah biaya dengan memanfaatkan limbah dan bahan lain yang kandungannya dapat menambah kekuatan pada beton ringan. Penelitian ini menggunakan abu sekam padi dan *Carbon Nanotube* sebagai bahan penyusun. Abu sekam padi merupakan limbah dari hasil pembakaran sekam padi yang memiliki kandungan silika yang cukup tinggi dan *Carbon Nanotube* (CNTs) adalah salah satu jenis dari karbon nano material. Penggunaan dua material selain semen dalam penelitian ini untuk mengetahui pengaruh pada kuat tekan, berat volume, dan penyerapan air. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dilaboratorium supaya dapat mengamati proses serta mengetahui cara-cara yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Penambahan abu sekam padi ini memiliki beberapa variasi penambahan sebesar 0%, 10%, 13%, 15% dari berat semen terhadap benda uji yang dibuat. Pengumpulan data diambil dengan cara membuat benda uji berbentuk kubus 5x5x5 cm pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil penelitian ini dalam penambahan abu sekam padi dan CNTs tersebut dihasilkan kuat tekan beton ringan tertinggi pada variasi 15% sebesar 0.594 MPa dengan berat volume sebesar 0.99gr/cm³, sedangkan pada variasi 0.0% sebagai kontrol diperoleh kuat tekan 0.66 MPa dengan berat volume sebesar 0.85gr/cm³, dengan pengujian umur 14 hari.

Kata Kunci: Beton ringan seluler; abu sekam padi; carbon nanotube

Abstract

The world of construction requires innovation and alternatives to make innovative materials that are more advanced. In particular, lightweight concrete can add an alternative to lower-cost building materials by utilizing natural waste whose contents can add strength. This study uses rice husk ash and carbon nanotube. Rice husk ash is waste from combustion with relatively high silica content. Carbon Nanotubes (CNTs) are one type of carbon nanostructure. This research was conducted to determine lightweight concrete's compressive strength, water absorption, volume weight, and the optimal use of rice husk ash in lightweight cellular concrete. This research uses quantitative research methods using experimental methods in the laboratory. By observing the experimental process, one can determine the methods used to get maximum results. For example, in adding rice husk ash, there are several variations of additions of 0%, 10%, 13%, and 15% of the test objects made. Data collection was taken by making test objects in a 5x5x5 cm³ cube with 3, 7, 14, 21, and 28 days. The results of this study in the addition of rice husk ash produced the highest compressive strength of lightweight concrete at a 15% variation of 0.594 MPa with a volume weight of 0.99gr/cm³. In comparison, in a 0.0% variation, compressive strength of 0.66 MPa was obtained with a volume weight of 0.85gr/cm³, the test object at 14 days.

Keywords: Cellular lightweight concrete; rice husk ash; carbon nanotube

PENDAHULUAN

Perkembangan beton ringan untuk aplikasi elemen non-struktural khususnya terhadap dinding pengisi bangunan berupa panel dinding,

memberikan alternatif berupa bahan bangunan yang ringan dan memanfaatkan bahan yang terbuang (Hua Huang *et al.*, 2019). Inovasi ini diterapkan dengan harapan, bahwa beton ringan dapat

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n1.p14-20>

memperbaiki kelemahan beton ringan non-struktural berupa biaya yang lebih rendah dikarenakan kecepatan pengerjaan lebih cepat, lebih tahan terhadap suhu, berat jenisnya lebih ringan, dan mudah dikerjakan (Strzałkowski *et al.*, 2021).

Penggunaan abu sekam padi sebagai material alternatif untuk mengurangi pemakaian semen terhadap sifat mekanik beton ringan seluler ini memberi pengaruh pada kadar abu sekam padi sebesar 20% dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen dalam pembuatan beton busa ringan yang dihasilkan dalam penelitian ini semuanya sesuai dengan mix design yaitu mempunyai kekuatan 1.4 MPa. Jenis yang diperoleh rata-rata sebesar 700 kg/m³, sehingga memenuhi persyaratan sebagai beton ringan (Triastuti dan Ananto Nugroho, 2017).

Komposisi beton ringan seluler berupa semen portland, silika semen, semen pozzolan, pozzolan-kapur atau kapur silika pasta atau campuran pasta yang berasal dari bahan-bahan tersebut dan juga memiliki rongga udara yang terperangkap menyerupai struktur sel yang berasal dari pembentuk gelembung udara atau foam agent (ASTM C796-97). Beton ringan seluler dapat diaplikasikan pada beton struktural, dinding partisi, insulation wall, dan filling hole (Jain *et al.*, 2019)

Beton ringan memiliki tujuan penggunaan untuk pengurang beban beton sendiri yang dikategorikan sebagai beban mati pada perhitungan struktur, yang selanjutnya akan mengurangi dimensi elemen kolom, elemen pemikul beban gravitasi dan pondasi, tetapi pada prinsipnya beton ringan digunakan untuk memenuhi kekuatan yang sama dengan beton normal (Bayuaji dan Biyanto, 2009). Kombinasi antara beton ringan dan beton normal digunakan dapat digunakan sebagai rekayasa teknologi beton (Tiong, *et al.*, 2020). Penggunaan dengan agregat ringan yang tepat dapat meningkatkan kinerja sifat mekanis dari beton (Chung S., *et al.*, 2019).

ASTM C869M menjelaskan ciri-ciri fisik beton ringan seluler :

1. Memiliki kuat tekan 1,4 MPa, beton ringan ini dibuat sesuai dengan tes metode ASTM C796.
2. Memiliki kuat tarik 0,17 MPa untuk membuat beton ringan sesuai dengan tes metode ASTM C796
3. Penyerapan air 25% volume maksimal

Abu Sekam padi

Sekam padi merupakan limbah dari hasil penggilingan padi yang belum dimanfaatkan secara optimal oleh masyarakat. Hasil pembakaran sekam padi mempunyai kandungan silika yang dominan

yaitu sebesar 93 % dan hampir sama kandungan silika yang terdapat pada microsilica buatan pabrik (Swamy, 1986).

Abu sekam padi telah digunakan sebagai bahan pozzolan reaktif yang sangat tinggi untuk meningkatkan mikrostruktur pada daerah transisi interfase antara pasta semen dan agregat beton yang memiliki kekuatan tinggi (Sung-Hoon Kang *et al.*, 2018). Penggunaan abu sekam padi pada komposit semen dapat memberikan beberapa keuntungan seperti meningkatkan kekuatan dan ketahanan, mengurangi biaya bahan, mengurangi dampak lingkungan limbah bahan, dan mengurangi emisi karbon dioksida (Bui *et al.*, 2005).

Abu sekam memiliki unsur yang bermanfaat untuk meningkatkan mutu beton, mengandung silika yang sangat menonjol, bila unsur ini dicampur dengan semen akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi (Ika Bali, Agus Prakoso. 2002 : hal 76).

Di sisi lain jumlah ketersediaan abu sekam lebih banyak dan mudah, karena mayoritas penduduk Indonesia menggunakan beras sebagai bahan makanan pokok. Dalam proses penggilingan padi akan menghasilkan sekam yang dapat diproses menjadi abu sekam. Berikut tabel 1 produksi dan produktifitas padi di Jawa timur.

Tabel 2. Produksi dan produktifitas padi di Jawa timur

Produksi dan Produktifitas Padi di Jawa Timur								
Luas Panen (ha)			Produktifitas (ku/ ha)			Produksi (ton)		
2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
1.702.421	1.754.381	1.745.813	56.28	56.68	56.47	958093399	44538990893	

Sumber : Badan Pusat Statistik

Carbon Nanotube

Carbon Nanotubes (CNTs) adalah salah satu jenis dari karbon nanostruktur. Karbon nanostruktur telah menarik perhatian dunia (Iijima, 1991; Kumar dkk., 2016). Bentuk strukturnya berukuran nano dan terdiri dari atom-atom karbon. Karbon mempunyai bentuk alotrop dari 0-D sampai 3-D, sehingga berdasarkan strukturnya karbon nanostruktur terdiri dari karbon nanostruktur 0-D yaitu fullerenes, karbon nanostruktur 1-D yaitu carbon nanotubes (CNTs), karbon nanostruktur 2-D yaitu graphenedan karbon nanostruktur 3-D yaitu grafit (Tarbozagh *et al.*, 2020).

Kuat Tekan Beton Mortar Berdasarkan ASTM C109 M-07

Standar untuk kuat tekan didapat menurut ASTM C109 M-07 untuk mengetes kuat tekan beton mortar dengan benda uji kubus 5x5x5 cm³. Pembuatan benda uji untuk kubus 5x5x5 cm³ ini dilakukan dengan cara adonan yang dicampurkan ke

dalam *mixer* sesuai ASTM C305 dengan batas pengadukan rentang waktu 2 min 3 detik.

Perhitungan kuat tekan (ASTM C109 M-07, 2008) dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$f_m = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [1]$$

keterangan:

f_m = Kuat Tekan (*psi* atau MPa)

P = Total Maksimum Beban (*lbf* atau N)

A = Luas Bidang Tekan (in^2 atau mm^2)

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif, dengan menggunakan metode eksperimen di laboratorium. Dengan mengamati dalam proses percobaan dapat mengetahui cara-cara yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

Penelitian dilakukan dengan mengadakan kegiatan percobaan untuk mendapatkan data melalui pengamatan pada setiap percobaan. Data penelitian berupa data kuantitatif yang selanjutnya diolah agar mendapatkan hasil. Penelitian eksperimental ini terdapat beberapa tahap yang harus dilakukan. Tahapan-tahapan ini dilakukan untuk mencapai sasaran penelitian dan mendapatkan data yang benar-benar valid.

Rancangan penelitian ini akan dilakukan percobaan penambahan abu sekam padi dan carbon nanotube dalam campuran beton ringan seluler yang bertujuan untuk mengetahui bentuk dan kuat tekan beton ringan seluler. Persentase penambahan abu sekam padi dalam penelitian ini yaitu 0%, 10%, 13%, dan 15%. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan, sifat mekanik, sifat fisik dan persentase optimum penambahan abu sekam padi pada beton ringan seluler. Pengumpulan data diambil dengan cara membuat benda uji berbentuk kubus $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ dengan umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari.

Sampel merupakan data primer yang digunakan untuk menganalisis data. *Mix desain* yang digunakan untuk benda uji kubus ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ penjelasan secara detail pada tabel 2.

Tabel 2. Mix Desain Benda Uji

Kode	Semen	CNT	Abu Sekam Padi	Agregat Halus (Pasir)	Foam	Foam Agent Air
	g	g	g	g	g	
BR0%	234.38	0.00	26.04	520.83	781.25	1:30
BR 0.04%	234.38	1.04	26.04	520.83	781.25	1:30
BR 0.06%	234.38	1.56	26.04	520.83	781.25	1:30
BR 0,08%	234.38	2.08	26.04	520.83	781.25	1:30
BR 1%	234.38	2.60	26.04	520.83	781.25	1:30
BR 1.2%	234.38	3.13	26.04	520.83	781.25	1:30
BR 1.4%	234.38	3.65	26.04	520.83	781.25	1:30
BR 1.6%	234.38	4.17	26.04	520.83	781.25	1:30
Total	1875.0	18.23	208.33	4166.67	6250.0	

Alat dan Bahan Yang Digunakan

• Alat

Alat merupakan bagian penunjang pelaksanaan pembuatan benda uji. Peralatan yang lengkap dalam proses pembuatan benda uji akan menghasilkan benda uji yang baik dan mudah. Peralatan yang perlu dipersiapkan berupa Gelas ukur 2000 ml, neraca digital, ayakan pasir ukuran nomor 30, cetakan kubus $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$, ember plastik, *mixer*, kompresor, penggaris besi, alat perojok, *foam Generator* dan selang.

Alat merupakan bagian penunjang pelaksanaan pembuatan benda uji. Peralatan yang lengkap dalam proses pembuatan benda uji akan menghasilkan benda uji yang baik dan mudah. Peralatan yang perlu dipersiapkan berupa Gelas ukur 2000 ml, neraca digital, ayakan pasir ukuran nomor 30, cetakan kubus $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$, ember plastik, *mixer*, kompresor, penggaris besi, alat perojok, *foam Generator* dan selang.

• Bahan

1. Semen

Semen yang digunakan merupakan semen tipe PPC (*Pozzolan Portland Cement*) dengan berat jenis 3.03 gr/cm^3 .

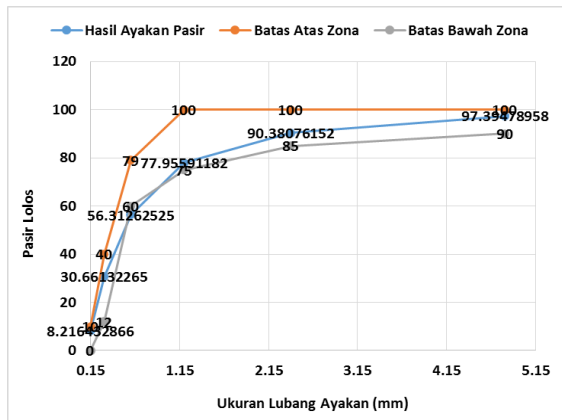
2. Pasir

Pasir yang digunakan merupakan jenis pasir pasuruan dengan lolos ayakan no. 30. Hasil pengujian pasir dapat diketahui melalui tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian pasir

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Berat Jenis	2.63 g/cm^3
2	Kadar Lumpur	3.85 %
3	Analisa Ayakan	Zona 3/agak halus

Pemilihan gradasi pasir ini termasuk dalam zona 3 dikarenakan memiliki gradasi butiran lebih halus dibandingkan zona 1 dan zona 2 sehingga berat jenis lebih ringan dibandingkan dengan zona 1 dan zona 2 maka ketika dilakukan pencampuran *foam* dengan pasir dapat menghasilkan adonan beton yang menyatu, dan pasir dapat melayang dan menempel pada *foam*.



Gambar 1. Gradasi pasir

3. Foam

Foam memiliki berat jenis 0.04 g/cm^3 dengan pemakaian *foam* didalam air dengan menggunakan perbandingan 1:30 (1 liter *Foam Agent* : 40 liter Air).



Gambar 2. *Foam agent*



Gambar 3. Tabung *foam*



Gambar 4. *Foam Generator*



Gambar 5. Hasil *Foam*

Pembuatan Benda Uji

Pembuatan foam dengan cara mencampurkan air dengan foam agent sesuai perbandingan. Setelah itu menggunakan alat yaitu foam generator untuk mendapatkan foam yang kadar airnya rendah, karena kadar air pada foam mempengaruhi hasil benda uji.

- Zat Aditif

Zat aditif adalah salah satu larutan yang digunakan untuk membantu mempercepat pengerasan beton. Zat aditif ini sengaja dicampurkan bertujuan untuk merubah sifat dan karakteristik beton ringan yang diinginkan.

- Abu Sekam Padi

Abu sekam memiliki unsur yang bermanfaat untuk meningkatkan mutu beton, mengandung silika yang sangat menonjol, bila unsur ini dicampur dengan semen akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi.

Di sisi lain jumlah ketersediaan abu sekam yang melimpah dan mudah untuk didapatkan, karena mayoritas penduduk Indonesia menggunakan beras sebagai bahan makanan pokok. Dalam proses penggilingan padi akan menghasilkan sekam yang dapat diproses menjadi abu sekam.

- Carbon Nanotubes

Material yang berasal dari susunan atom carbon yang berhibridisasi sp^2 dan berikatan satu sama lain secara heksagonal membentuk struktur sarang madu (honeycomb). Diameter dari CNTs berkisar antara 0,4-2,5 nanometer dengan panjangnya dapat lebih dari 10 milimeter. Dengan dimensi yang kecil carbon nanotube sehingga sangat fleksibel, membuat carbon nanotube mempunyai banyak potensi untuk diaplikasikan di berbagai bidang.

Terdapat dua jenis CNTs jika dibedakan berdasarkan jumlah dindingnya, yaitu CNTs berdinding tunggal (single wall carbon nanotubes) dan CNTs berdinding banyak (multi wall carbon nanotubes).

Pengujian yang dilakukan

- Pengujian Fisik

Pengujian kuat tekan berupa benda uji berbentuk kubus ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$, sesuai dengan ASTM C109. Umur pengujian digunakan 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari dengan masing-masing pengujian diperlukan 3 buah benda uji. Variasi yang dipakai 4 variasi dengan penambahan abu sekam padi yaitu 0.0%, 0.10%, 0.13%, dan 0.15%.

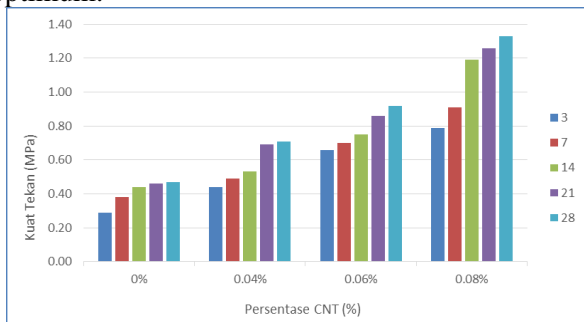
- Pengujian Mekanik

Hasil pengujian mekanik menghasilkan data pengujian kuat tekan dan resapan air. Untuk mencapai penggunaan penambahan abu sekam padi yang optimal dalam campuran beton ringan di dapatkan menaikkan kuat tekan dan penurunan resapan air.

1. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan ini dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari dengan menggunakan alat *Hydraulic Jack*. Tabel 4 menyajikan data untuk kuat tekan variasi penambahan abu sekam padi 10%, dan carbon nanotube 0.0%, 0.10%, 0.13%, dan 0.15%.

Nilai kuat tekan tertinggi pada 1.33 MPa pada umur 28 hari untuk variasi abu sekam padi 0.10% dan CNT 0.08%, sedangkan tanpa CNT pada umur 28 hari dihasilkan 0.98 MPa. Hal ini memberikan kesimpulan bahwa penambahan variasi CNT sebesar 0.08%, merupakan variasi penambahan Carbon Nanotube (CNT) paling optimum.



Gambar 5. Kuat Tekan Rata-Rata

Menurut ASTM C869 beton ringan seluler harus memiliki nilai kuat tekan lebih besar dari 1.4 Mpa, sehingga dapat dinyatakan memenuhi syarat. Sesuai hasil perhitungan kuat tekan menunjukkan bahwa penambahan CNT sebesar 0.08% dapat memenuhi syarat kuat tekan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

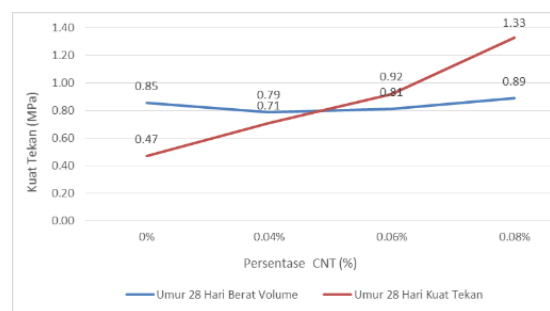
Pengaruh Abu Sekam Padi dan Carbon Nanotube (CNT) Terhadap Sifat Fisik

Penggunaan bahan tambah abu sekam padi dan carbon nanotube menyebabkan bertambahnya keuletan panel dan permukaan menjadi lebih halus. Pada penambahan abu sekam padi terhadap beton ringan menyebabkan penurunan berat volume beton yang dikarenakan semen dikurangi dan diganti dengan adanya abu sekam padi. Penggunaan carbon nanotube sendiri menyebabkan lebih meningkatkan kuat tekan.

Pengaruh Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanik

Pengaruh terhadap sifat mekanik mengenai pengaruh kuat tekan, dan resapan air terhadap penambahan variasi abu sekam padi.

- Pengaruh Terhadap Kuat Tekan

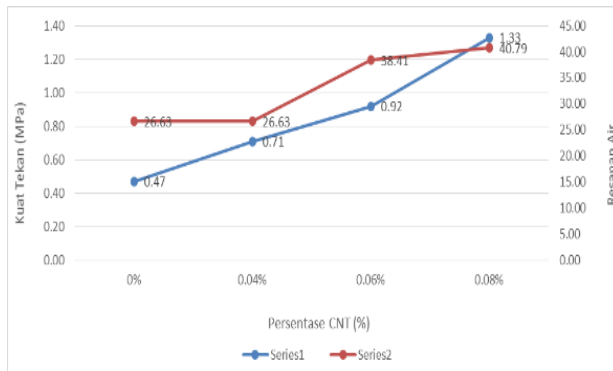


Gambar 6. Berat Volume vs Kuat Tekan

Dari grafik diatas menjelaskan hasil hubungan berat volume tertinggi pada penambahan variasi 0.08% yaitu 0.89 g/cm^3 dengan nilai kuat tekan 1.33 MPa, untuk kuat tekan tertinggi pada penambahan variasi 0.08% yaitu 0.89 g/cm^3 dengan berat volume 1.33 MPa, dapat dinyatakan bahwa sudah memenuhi ketentuan sasaran penelitian dan untuk kuat tekan juga memenuhi syarat yaitu dibawah 1.4 MPa sesuai dengan peraturan ASTM C869.

- Hubungan Kuat Tekan vs Resapan Air

Gambar 7 menunjukkan nilai kuat tekan tertinggi pada variasi 0.08% penambahan carbon nanotube yaitu 1.33 MPa pada umur 28 hari dengan resapan air tertinggi yaitu 40.79%. Hasil yang didapat melebihi ketentuan syarat yaitu 25% resapan air dari ASTM C869.



Gambar 7. Kuat Tekan vs Resapan Air

Kuat tekan pada variasi penambahan 0.08% CNT adalah persentase optimal penggunaan carbon nanotube untuk kuat tekan, ketika kuat tekan tersebut tinggi maka, resapan air akan tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa kuat tekan akan mempengaruhi nilai resapan air.

KESIMPULAN

Hasil penelitian mendapatkan simpulan yaitu penambahan abu sekam padi pada campuran pembuatan beton ringan menghasilkan sifat fisik berupa warna yaitu abu-abu yang berasal dari penggunaan semen dan abu sekam padi yang digunakan, dengan ditambahkan carbon nanotube warna menjadi lebih gelap karna berasal dari serbuk carbon nanotube, kemudian bentuk permukaan dari benda uji tersebut yang rata-rata memiliki pori-pori akibat dari penggunaan *foam*. Berat volume pada penambahan 0.08% carbon nanotube terjadi berat volume yang lebih besar, tetapi untuk penambahan diatas 0.08% carbon nanotube terjadi penurunan berat volume beton ringan dikarenakan berat volume yang dipakai benda uji kecil.

Pengaruh sifat mekaniknya berupa kuat tekan yang lebih besar untuk penambahan 0.08% carbon nanotube dibandingkan dengan tanpa carbon nanotube (0.0%). Dengan hasil yang 1.33 MPa untuk 0.08% carbon nanotube dan 0.47 MPa untuk 0.00% carbon nanotube pada umur 28 hari. Persentase optimal penggunaan carbon nanotube didapatkan pada 0.10% abu sekam padi dan 0.08% carbon nanotube terhadap berat total benda uji, ketika penambahan kurang dari 0.08% maka akan terjadi penurunan kuat tekan dan berat volume. Dikarenakan komposisi yang terdapat pada beton ringan tidak seimbang.

REFERENSI

Akeke, Gedwin A, Akobo, Ephraim, Maurice E, I.Z.S and Ukpata, Joseph O. 2013. "Structural Properties Of Rice Hush Ash Concrete".

Cross River University of Technology, Calabar, Nigeria.

ASTM C109/C109M. 2008. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement*

Mortars (Using 50mm) Cube Specimens, Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02.2008. ASTM 2008: Philadelphia.

ASTM C796-97. 1998. *Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam*, Annual Book of ASTM Standard Vo04.02.1998. ASTM, 1998: Philadelphia.

ASTM C869/C869M-11, *Standard Specification for Foaming Agent Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete*, Annual Book of ASTM Standard. Pennsylvania: ASTM, 2011.

Chung, S., et al., 2019, "Comparison of lightweight aggregate and foamed concrete with the same density level using image-based characterizations", *Construction and Building Materials*, 211, pp. 988-999.

Huang H. et al., 2019, "Microstructure investigation of the interface between lightweight concrete and normal-weight concrete", *Material Today Communications*, 21, pp. 1-7.

Jain D., et al., 2019, "Evaluation of Properties of Cellular Light Weight Concrete", *AIP Conference Proceedings*, 020034.

Jonnalagadda, Jayaseela, Jonnalagadda, Jayavani dan Sarikonda, Venkata Sivaraju. 2020. "Triple Blending Of Concrete By Partial Replacement Of Cement With Perlite And Rice Hush Ash". *Narasaraopet Institute of Technology and P.N.C & Vijal Institute of Engineering and Technology*, Phirangipuram.

Rijal, Khaerul dan Sukandi. 2018. "Analisis Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang dan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan". *Universitas Tenggara Barat*.

Strzalkowski, J. et al., 2021, "Thermal performance of building envelopes with structural layers of the same density: Lightweight aggregate concrete versus foamed concrete", *Building and Environment*, 196, pp. 1-14.

Sung-Hoon Kang et al., 2019, "The use of rice husk ash as reactive filler in ultra-high performance concrete", *Cement and Concrete Research*, 115, pp. 389-400.

Tarbozagh et al., 2020, "Magnetic enhancement of carbon nanotube concrete compressive

- behavior”, *Construction and Building Materials*, 262, pp. 1-13.
- Tiong HY. *et al*, 2020, “Environmental impact and quality assessment of using eggshell powder incorporated in lightweight foamed concrete”, *Construction and Building Materials*, 244.
- Triastuti dan Nugroho, Ananto. 2017. “Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanik Beton Busa Ringan”. *Jurnal Teknik Sipil ITB*.
- Triyatno, D., Cahyo, Y., Ridwan, A., & Karisma, D. A. (2021). Penelitian Campuran Aspal Beton Dengan Menggunakan Filler Ampas Tahu. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 3(1), 40-45.