



## Kajian Sifat Kejuruteraan Konkrit Ringan Berbusa Diubahsuai dengan Serat Batang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambah

### Study on the Engineering Properties of Lightweight Foamed Concrete Modified with Palm Stalk Fiber as an Additive

Md Azree Othuman Mydin<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Pusat Pengajian Perumahan, Bangunan dan Perancangan, Universiti Sains Malaysia, 11800, Penang, Malaysia

#### ARTICLE INFO

##### **Article history:**

Received 3 June 2024

Received in revised form 8 October 2024

Accepted 21 October 2024

Available online 31 October 2024

##### **Katakunci:**

Konkrit ringan berbusa; serat batang kelapa sawit; kekuatan lenturan; mampatan; tegangan; pengecutan

#### ABSTRACT

Pertambahan sisa pertanian di Malaysia telah menjadi salah satu titik tumpuan hari ini. Secara amnya, sisa pertanian yang tidak wajar dibuang di tapak pelupusan tanpa sebarang pertimbangan terhadap aspek alam sekitar. Penyelidikan terdahulu telah mendapati bahawa sisa yang mengandungi silika yang sangat reaktif boleh bertindak balas dengan kalsium hidroksida dalam konkrit menghasilkan struktur mikro konkrit padat. Oleh itu, kajian ini memberi tumpuan kepada potensi penggunaan serat batang kelapa sawit (SBK) sebagai bahan tambahan dalam konkrit ringan berbusa (KRB) untuk peningkatan sifat kejuruteraan. Sifat kejuruteraan yang dinilai ialah kekuatan mampatan, kekuatan lenturan, kekuatan tegangan, pengecutan dan halaju nadi ultrasonik. Empat peratusan SBK berbeza sebanyak 0.15, 0.30, 0.45 dan 0.60 % digunakan sebagai bahan tambahan kepada campuran KRB. Keputusan menunjukkan bahawa penambahan 0.45 % SBK dalam KRB memberikan hasil terbaik untuk kekuatan mampatan, kekuatan lentur, kekuatan tegangan, pengecutan dan halaju nadi ultrasonik KRB. Kekasaran permukaan SBK telah terbukti bermanfaat untuk ikatan antara muka gentian ke matriks kerana permukaan yang lebih kasar membenarkan gentian SBK dan matriks saling bercantum dalam matriks simen.

\* Corresponding author.

E-mail address: [azree@usm.my](mailto:azree@usm.my)

<https://doi.org/10.37934/ard.121.1.1121>

**Keywords:**

Lightweight foamed concrete; palm stalk fibre; bending strength; compression; tensile; shrinkage

The escalation of agricultural waste in Malaysia has emerged as a significant focal point today. Agricultural trash is typically disposed of in landfills without regard for environmental considerations. Prior studies have demonstrated that highly reactive silica-containing debris can interact with calcium hydroxide in concrete, resulting in a thick microstructure. This study examines the possible application of palm stalk fibre (PSF) as an additive in lightweight foamed concrete (LFC) to enhance its engineering properties. The assessed engineering properties include compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength, shrinkage and ultrasonic pulse velocity. Four distinct PSF percentages of 0.15, 0.30, 0.45 and 0.60 % were utilized as additions to the LFC mix. The findings indicated that incorporating 0.45 % PSF into LFC yielded optimal outcomes for compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength, shrinkage and ultrasonic pulse velocity of LFC. The surface roughness of PSF enhances fiber-to-matrix interfacial bonding, since a rougher surface facilitates the interlocking of SBK fibre with the matrix within the LFC cementitious matrix.

## 1. Pengenalan

Penggunaan konkrit ringan berbuis (KRB) telah menjadi lebih menonjol dan meluas dalam mengembangkan pengeluaran dan rangkaian aplikasi dalam sektor pembinaan di Malaysia. KRB dianggap sebagai alternatif yang menjimatkan dalam pembuatan bahan dan komponen pembinaan ringan berskala besar, seperti elemen struktur, sekatan, gred pengisian dan tambak jalan, kerana proses pembuatannya yang mudah, yang merangkumi semua peringkat dari kilang pembuatan hingga akhir. kedudukan permohonan [1]. Selama 30 tahun yang lalu, KRB pada dasarnya telah digunakan untuk pengisian saluran paip, pengisian pukal, pemulihan parit, penimbunan dinding penahan, penebat kepada asas dan pengisian sandwic untuk komponen pasang siap [2]. Walaupun begitu, terdapat peningkatan perhatian untuk menggunakan KRB sebagai elemen separa struktur ringan dalam pembinaan bangunan untuk memanfaatkan sifat penebatnya yang ringan dan baik [3].

Namun begitu, KRB dikenal pasti bersifat rapuh apabila terdedah kepada tegasan lentur dan mampatan, di mana kekuatan lenturnya adalah kira-kira satu per sepuluh daripada kekuatan mampatannya [4]. Akibatnya, elemen lentur KRB tidak dapat menyokong beban sedemikian yang biasanya berlaku semasa hayat perkhidmatan mereka untuk ciri-ciri ini [5]. Dalam kebanyakan projek yang menggunakan KRB, anggota telah diperkuatkan dengan bar pengukuhan berterusan seterusnya untuk menahan tekanan lentur dan tegangan dan mengimbangi kekurangan kemuluran [6]. Di samping itu, tetulang keluli digunakan untuk mengatasi kemungkinan tegangan ricih dan tegangan yang tinggi di lokasi kritikal dalam komponen KRB. Walaupun kemasukan tetulang keluli meningkatkan kekuatan KRB, perkembangan retakan mikro ingin dikawal untuk menghasilkan KRB dengan sifat tegangan biasa [7].

Oleh itu, gentian asli dilihat sebagai penyelesaian untuk membangunkan KRB dengan kekuatan lenturan dan tegangan yang lebih baik, yang merupakan bentuk pengikat baru yang boleh menggabungkan simen Portland dalam ikatan dengan matriks simen [8]. Gentian semulajadi ini kebanyakannya tidak berterusan, teragih secara rawak ke seluruh matriks simen. Kemasukan gentian asli dalam KRB adalah untuk melambatkan dan mengawal keretakan tegangan bahan komposit. Gentian dengan itu mengubah penyebaran retakan tegangan tidak seimbang intrinsik untuk memperlambatkan pembangunan retak terkawal [9]. Oleh itu kajian ini menyiasat potensi penggunaan sisa biojisim gentian batang kelapa sawit sebagai bahan tambahan dalam KRB untuk peningkatan sifat kejuruteraan.

## 2. Metodologi

### 2.1 Penyediaan Bahan

KRB ialah campuran mortar selular ringan dengan penambahan buih yang stabil. Simen Portland Biasa (OPC), pengisi (pasir halus), air dan surfaktan prabentuk adalah bahan utama yang digunakan untuk membuat KRB. Simen Portland Jenis 1 (CEM1) telah digunakan mengikut Piawaian British BS12 [10] dan penjana berbuih mudah alih digunakan untuk menghasilkan buih yang stabil. Dalam penilaian ini, agen berbuih sintetik digunakan untuk menghasilkan buih. Tambahan pula, pengisi halus (pasir) telah digunakan yang diperoleh daripada pengedar tempatan. Saiz pasir halus yang sesuai digunakan ialah 1.18 mm menggunakan mesin pengayak mengikut BS882 [11]. Air bersih yang bebas daripada sebarang serpihan dan bahan organik lain telah digunakan. Nisbah air-simen ditetapkan pada 0.45. Gentian batang kelapa sawit (SBK) yang digunakan dalam penyelidikan ini dikumpul dari ladang tempatan di Seberang Jaya, Pulau Pinang dan menjalani proses penapisan mekanikal untuk menghasilkan SBK sepanjang 19 mm (Gambarajah 1). Pecahan isipadu SBK yang digunakan ialah 0.15, 0.30, 0.45 dan 0.60 % daripada jumlah isipadu campuran berat. Gambarajah 2 menunjukkan spesimen KRB yang telah disediakan. Jadual 1, 2 dan 3 menunjukkan sifat fizik, komposisi kimia dan sifat mekanikal SBK yang sepadan.



Gambarajah 1. SBK yang dikeringkan



Gambarajah 2. Spesimen KRB yang disediakan

Jadual 1

Sifat fizikal SBK

Elemen	Sifat
Diameter	31.8 $\mu\text{m}$
Ratio Runkel	0.29
Ketumpatan	0.75 $\text{g}/\text{cm}^3$
Panjang	19 mm
Lebar lumen	17.65 $\mu\text{m}$
Sudut fibril ( $^\circ$ )	42

**Jadual 2**

Komposisi kimia SBK

Komposisi	%, berat kering
Hemiselulosa	16.9
Selulosa	28.6
Glukosa	28.1
Lignin	20.8
Xylose	15.9
Abu	2.4

**Jadual 3**

Sifat mekanikal SBK

Elemen	Sifat
Kekuatan tegangan	81.5 MPa
Pemanjangan semasa rehat	14.1%
Modulus keanjalan	5.72 GPa

## 2.2 Penyediaan Adunan KRB

Secara keseluruhan, sebanyak 5 campuran KRB telah disediakan dalam penyelidikan ini. Ketumpatan KRB yang dipilih ialah 1000 kg/m<sup>3</sup>. Pecahan isipadu SBK yang digunakan ialah 0.15 %, 0.30, 0.45 dan 0.60 %. Bagi semua bancuhan KRB, nisbah pasir-simen ditetapkan pada 1:1.5, dan nisbah air-simen ialah 0.38. Jadual 4 menunjukkan bahagian campuran yang dipertimbangkan dalam kajian ini. Ke semua bancuhan KRB disediakan dalam persekitaran yang bersih bagi menghasilkan produk akhir yang baik.

**Jadual 4**

Perkadaran campuran KRB

Kod campuran	Ketumpatan (kg/m <sup>3</sup> )	Perkadaran campuran (p:s:a)	Simen (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)
0.00% SBK	1000	1:1.5:0.4	45.74	68.61	18.29
0.15% SBK	1000	1:1.5:0.4	45.74	68.61	18.29
0.30% SBK	1000	1:1.5:0.4	45.74	68.61	18.29
0.45% SBK	1000	1:1.5:0.4	45.74	68.61	18.29
0.60% SBK	1000	1:1.5:0.4	45.74	68.61	18.29

## 2.3 Eksperimen

### 2.3.1 Ujian mampatan

Ujian mampatan (Gambarajah 3) telah dijalankan mengikut standard BS12390-3 [12] melalui Mesin Pengujian Universal GoTech GT-7001-BS300. Saiz sampel ialah 100 mm x 100 mm x 100 mm kubus. Beban maksimum dan kekuatan mampatan direkodkan.



**Gambarajah 3.** Ujian kekuatan mampatan

### 2.3.2 Ujian lenturan

Untuk mencapai ujian khusus ini, ujian lenturan tiga mata telah dipilih mengikut piawaian ASTM International C293 [13] seperti ditunjukkan dalam Gambarajah 4. Saiz sampel ialah 100 mm x 100 mm x 500 mm prisma menggunakan Mesin Pengujian Universal GoTech GT-7001-C10 untuk menentukan tegasan lentur.



**Gambarajah 4.** Ujian kekuatan lenturan

### 2.3.3 Ujian tegangan

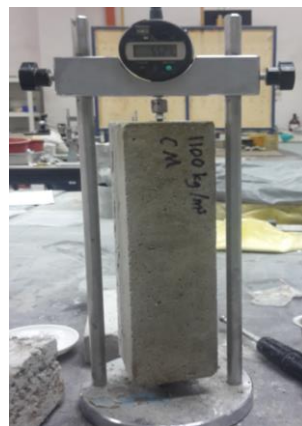
Ujian kekuatan tegangan KRB telah dilakukan menggunakan Mesin Ujian Universal GoTech GT-7001-BS300. Beban maksimum dan kekuatan tegangan belahan direkodkan mengikut piawaian ASTM International C496 [14]. Saiz spesimen ialah 100 mm diameter x 200 mm tinggi silinder (Gambarajah 5).



**Gambarajah 5.** Penyediaan spesimen untuk ujian kekuatan tegangan

#### 2.3.4 Ujian pengecutan

Ujian pengecutan (Gambarajah 6) dilakukan mengikut piawaian ASTM International C878 [15]. Saiz sampel ialah 75 mm x 75 mm x 275 mm prisma. Palam tolok sfera dipasang pada kedua-dua hujung spesimen untuk memudahkan pengukuran perubahan panjang.



**Gambarajah 6.** Ujian pengecutan

#### 2.3.5 Ujian halaju nadi ultrasonik

Ujian halaju nadi ultrasonik (UPV) dilakukan dengan mengukur halaju perambatan denyut ultrasonik longitudinal yang dihantar merentasi kawasan keratan rentas. Transduser diletakkan untuk ujian pada panjang 0.5 m mengikut piawaian BS12504-4 [16]. Saiz sampel ialah 100 mm x 100 mm x 500 mm prisma. Gambarajah 7 menunjukkan persediaan untuk ujian halaju nadi ultrasonik.

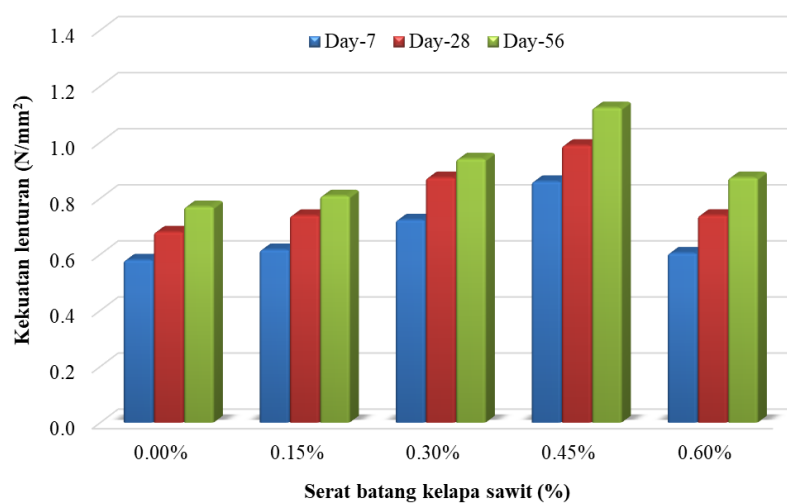


**Gambarajah 7.** Ujian halaju nadi ultrasonik

### 3. Keputusan dan Perbincangan

#### 3.1 Kekuatan Lenturan

Gambarajah 8 menunjukkan hasil kekuatan lenturan KRB dengan kemasukan dos berbeza SBK. Graf menunjukkan peratusan SBK sebanyak 0.45 % menyumbang kepada kekuatan lentur yang paling tinggi, iaitu 1.0 N/mm<sup>2</sup> pada hari ke 28. Kekuatan lenturan ditingkatkan lagi kepada 1.2 N/mm<sup>2</sup> pada hari ke 56. Trend ini menunjukkan SBK juga memainkan peranan penting. dalam pembangunan kekuatan lenturan jangka panjang. SBK ialah medium pengukuhan, memandangkan ciri-cirinya yang boleh terurai. SBK juga menimbulkan ketegangan kegagalan yang tinggi yang boleh memberikan keserasian yang lebih besar antara gentian dan matriks simen [17]. Kekuatan lenturan KRB menurun apabila melebihi 0.45 % daripada dos SBK disebabkan oleh ikatan komposit yang tidak lengkap antara gentian dan matriks simen KRB. Selain itu, kekuatan lenturan yang paling rendah adalah untuk sampel kawalan yang mencatatkan bacaan 0.6, 0.7 dan 0.8 N/mm<sup>2</sup> pada hari ke-7, ke-28 dan ke-56.

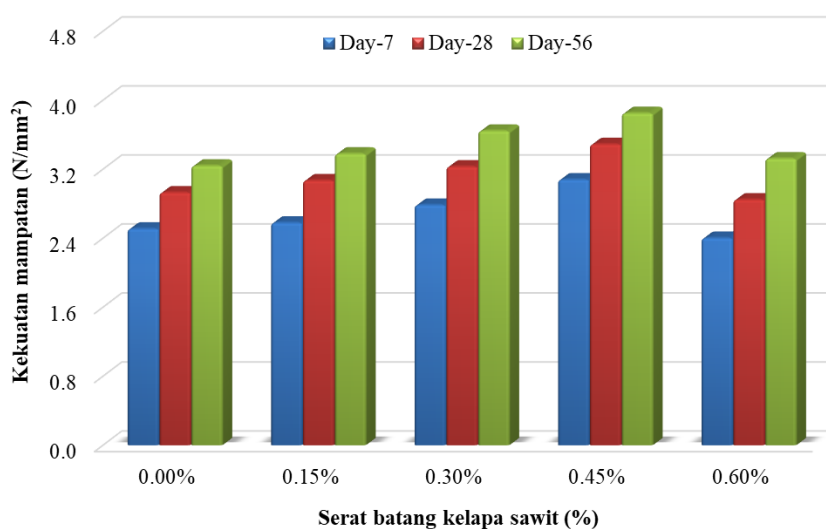


**Gambarajah 8.** Kekuatan lenturan

#### 3.2 Kekuatan Mampatan

Gambarajah 9 menunjukkan keputusan kekuatan mampatan dengan penambahan peratusan berbeza SBK. Dapat dilihat dengan jelas daripada Gambarajah 9 bahawa sampel kawalan (tanpa sebarang penambahan SBK) mempunyai kekuatan mampatan yang lebih rendah berbanding dengan

KRB dengan kemasukan SBK. Perkembangan kekuatan mampatan dikaji dari hari ke-7 hingga hari ke-56. Keputusan kekuatan mampatan tertinggi dicapai dengan penambahan 0.45 % SBK berbanding peratusan lain SBK, iaitu 3.9 N/mm<sup>2</sup> pada hari ke-56. Oleh itu, Gentian SBK membantu dalam menghentikan pembiakan retakan mikro dalam keadaan plastik matriks simen KRB apabila beban dikenakan. Selain itu, keputusan terendah kekuatan mampatan, spesimen kawalan, ialah 3.24 N/mm<sup>2</sup> pada hari ke 56. Daripada Gambarajah 9, jelas menunjukkan bahawa spesimen dengan 0.45 % SBK memberikan kekuatan mampatan optimum dan kekuatan menurun apabila dos SBK adalah dari 0.45 hingga 0.60 %. Penurunan kekuatan mampatan apabila sehingga kandungan gentian tertentu mungkin dicetuskan oleh penciptaan lompong udara dalam campuran dengan pecahan isipadu gentian yang tinggi [18].

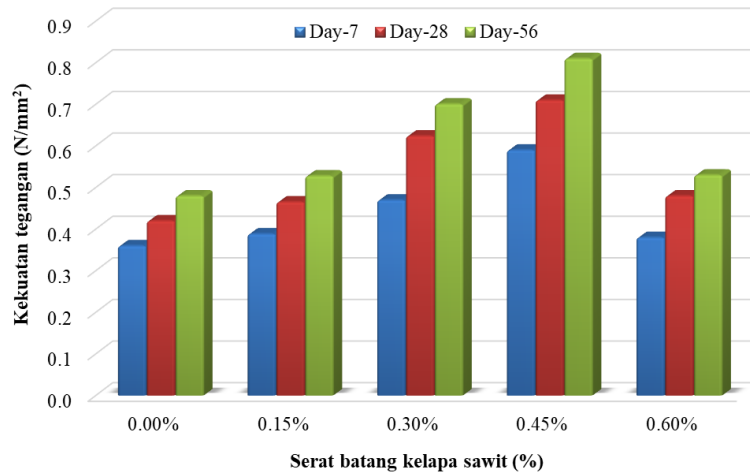


Gambarajah 9. Kekuatan mampatan

### 3.3 Kekuatan Tegangan

Gambarajah 10 menunjukkan hasil kekuatan tegangan KRB dengan penambahan peratusan berbeza SBK. Daripada Gambarajah 10 dapat dilihat bahawa KRB tanpa penambahan SBK mempunyai kekuatan tegangan yang lebih rendah berbanding dengan KRB dengan kemasukan SBK. Gambarajah 10 menggambarkan bahawa dos SBK 0.45 % menyumbang kepada kekuatan tegangan tertinggi, iaitu 0.6, 0.7 dan 0.8 N/mm<sup>2</sup> pada hari ke-7, ke-28 dan ke-56. Selain itu, keputusan terendah bagi kekuatan tegangan bagi sampel kawalan ialah 0.3, 0.4 dan 0.5 N/mm<sup>2</sup> masing-masing pada hari ke-7, ke-28 dan ke-56. Perlu diingatkan bahawa pemanjangan putus untuk gentian batang kelapa sawit adalah rendah, menghasilkan kekuatan tegangan yang tinggi. Pemanjangan semasa putus menyatakan keupayaan gentian asli untuk menahan perubahan bentuk tanpa pembentukan retak [19]. Gentian asli seperti gentian batang kelapa sawit dianggap kaku, oleh itu menyumbang kepada meningkatkan kekuatan tegangan KRB. Penggunaan 0.45 % SBK dianggap sebagai peratusan optimum untuk konkrit jenis ini berdasarkan peningkatan kekuatan tegangan.

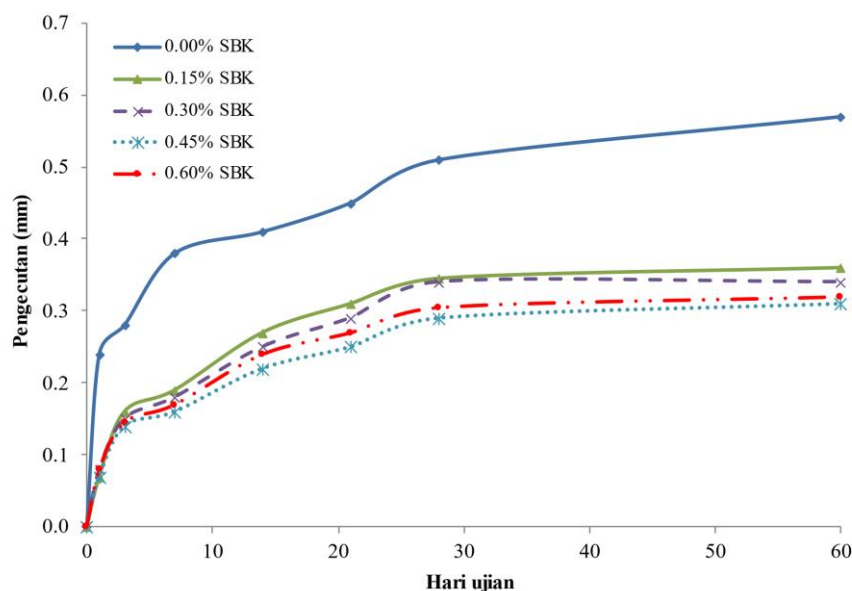




Gambarajah 10. Kekuatan tegangan

### 3.4 Pengecutan

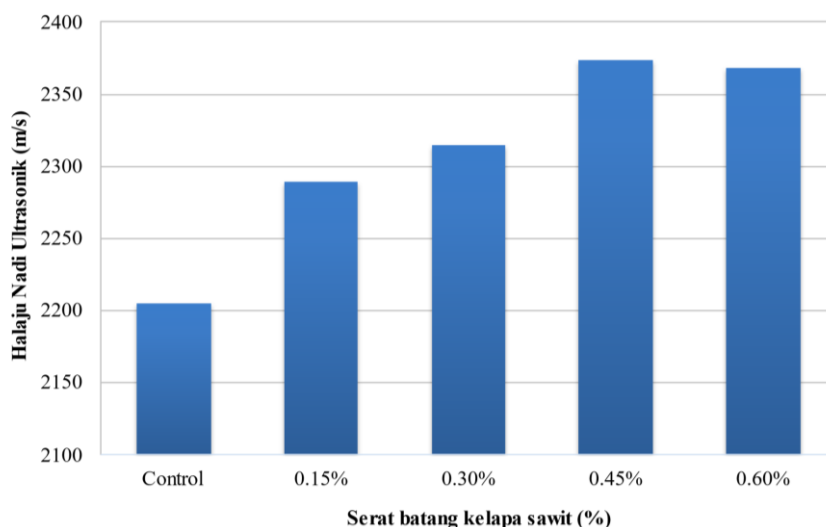
Gambarajah 11 menunjukkan keputusan ujian pengecutan untuk KRB dengan peratusan SBK yang berbeza. Pengecutan KRB dengan kemasukan SBK didapati meningkat dengan ketara sehingga hari ke-28 usia ujian. Dapat dilihat daripada Gambarajah 11 bahawa semua pengecutan dalam KRB dengan kemasukan SBK meningkat sedikit selepas hari ke 28 sehingga hari ke 60. Ini disebabkan oleh keadaan spesimen konkrit dalam tempoh tujuh hari pertama, yang tidak mengeras sepenuhnya, manakala pada hari ke-28 dan seterusnya, spesimen konkrit mengeras sepenuhnya, oleh itu mengurangkan pengecutan dalam konkrit. SBK bertindak balas sebagai agregat yang memberikan konfigurasi padat struktur mikro, yang mengurangkan saiz lompong, justeru memperhalusi pengecutan [19]. Berdasarkan Gambarajah 11, campuran kawalan mengalami pengecutan yang paling tinggi. Secara ketara, bacaan pengecutan yang tinggi tidak baik untuk konkrit kerana ia boleh menyebabkan keretakan pada masa hadapan.



Gambarajah 11. Pengecutan

### 3.5 Halaju Nadi Ultrasonik

Ujian halaju nadi ultrasonik telah dijalankan untuk menentukan kualiti KRB. Gambarajah 12 menunjukkan hasil halaju nadi ultrasonik KRB dengan dos SBK yang berbeza. Daripada Gambarajah 12, kita boleh membuat kesimpulan bahawa konkrit tidak mengandungi lompong atau retak yang besar, yang pasti akan menjejaskan integriti strukturnya. Dos SBK 0.45 % menyumbang kepada hasil terbaik halaju nadi ultrasonik 2380 m/s. Spesimen kawalan hanya merekodkan bacaan 2200 m/s untuk halaju nadi ultrasonik. Konkrit dengan bacaan halaju nadi ultrasonik antara 3500-4000 m/s berada dalam julat yang mencerminkan baik kepada jenis konkrit yang sangat baik. KRB menimbulkan bacaan halaju nadi ultrasonik yang rendah kerana ketumpatannya yang lebih rendah berbanding konkrit kekuatan biasa.



Gambarajah 12. Halaju nadi ultrasonik

## 4. Kesimpulan

SBK sebanyak 0.45 % adalah peratusan optimum dalam KRB yang memberikan kekuatan mampatan, kekuatan lentur, kekuatan tegangan, pengecutan pengeringan dan halaju nadi ultrasonic yang terbaik. SBK membantu menghentikan penyebaran keretakan mikro dalam keadaan plastik matriks simen KRB apabila beban dikenakan. SBK juga menimbulkan ketegangan kegagalan yang tinggi yang boleh memberikan keserasian yang lebih besar antara gentian dan matriks simen. Akhirnya SBK bertindak balas sebagai agregat yang memberikan konfigurasi padat struktur mikro, yang mengecilkkan saiz lompong, justeru menapis pengecutan.

### Pengakuan

Penulis merakamkan ucapan terima kasih atas sokongan kewangan yang diterima daripada Kementerian Pengajian Tinggi, Malaysia, untuk projek penyelidikan di bawah Skim Geran Penyelidikan Fundamental (FRGS) dengan nombor rujukan FRGS/1/2022/TK01/USM/02/3.

### Rujukan

- [1] Fu, Yanbin, Xiuling Wang, Lixin Wang, and Yunpeng Li. "Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review." *Advances in Materials Science and Engineering* 2020, no. 1 (2020): 6153602. <https://doi.org/10.1155/2020/6153602>
- [2] Thakrele, Maheshkumar H. "Experimental study on foam concrete." *International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development* 4, no. 1 (2014): 145-158.

- [3] Munir, Abdul. "Utilization of palm oil fuel ash (POFA) in producing lightweight foamed concrete for non-structural building material." *Procedia Engineering* 125 (2015): 739-746. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.119>
- [4] Sari, Kamarul Aini Mohd, and Abdul Rahim Mohammed Sani. "Applications of foamed lightweight concrete." In *MATEC Web of Conferences*, vol. 97, p. 01097. EDP Sciences, 2017. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179701097>
- [5] Islam, Mohammad Momeen Ul, Kim Hung Mo, U. Johnson Alengaram, and Mohd Zamin Jumaat. "Durability properties of sustainable concrete containing high volume palm oil waste materials." *Journal of Cleaner Production* 137 (2016): 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.061>
- [6] Hamad, Ali J. "Materials, production, properties and application of aerated lightweight concrete." *International journal of materials science and engineering* 2, no. 2 (2014): 152-157. <https://doi.org/10.12720/ijmse.2.2.152-157>
- [7] Al Rim, K., A. Ledhem, O. Douzane, R. M. Dheilily, and M. Queneudec. "Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites." *Cement and Concrete Composites* 21, no. 4 (1999): 269-276. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(99\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(99)00008-6)
- [8] Chakraborty, Sumit, Sarada Prasad Kundu, Aparna Roy, Ratan Kumar Basak, Basudam Adhikari, and S. B. Majumder. "Improvement of the mechanical properties of jute fibre reinforced cement mortar: A statistical approach." *Construction and Building Materials* 38 (2013): 776-784. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.067>
- [9] Ramamurthy, K., EK Kunhanandan Nambiar, and G. Indu Siva Ranjani. "A classification of studies on properties of foam concrete." *Cement and concrete composites* 31, no. 6 (2009): 388-396. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.04.006>
- [10] British Standards Institution, BS 12, 1-18 (1996)
- [11] British Standards Institution, BS 882, 1-14 (1992)
- [12] British Standards Institution, BS 12390-3 (2011)
- [13] ASTM International, ASTM C293 / C293M-16 (2016)
- [14] ASTM International, ASTM C496 / C496M-17 (2017)
- [15] ASTM International, ASTM C878 / C878M-14a (2014)
- [16] British Standards Institution, BS 12504-4 (2004)
- [17] Mahzabin, Mst Sadia, Lim Jee Hock, Md Shabbir Hossain, and Lim Siong Kang. "The influence of addition of treated kenaf fibre in the production and properties of fibre reinforced foamed composite." *Construction and Building Materials* 178 (2018): 518-528. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.169>
- [18] Kamaruddin, Sufian, Wan Inn Goh, Ashfaque Ahmed Jhatial, and Muhammad Tahir Lakhari. "Chemical and fresh state properties of foamed concrete incorporating palm oil fuel ash and eggshell ash as cement replacement." *International Journal of Engineering & Technology* 7, no. 4.30 (2018): 350-354. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.30.22307>
- [19] Mohammadhosseini, Hossein, A. S. M. Abdul Awal, and Abdul Rahman Mohd Sam. "Mechanical and thermal properties of prepacked aggregate concrete incorporating palm oil fuel ash." *Sādhanā* 41 (2016): 1235-1244. <https://doi.org/10.1007/s12046-016-0549-9>