



Potensi Penggunaan Gentian Pelepah Sawit ke atas Prestasi Mekanikal Konkrit Ringan Berbusa

The Potential Use of Palm Frond Fibre on the Mechanical Performance of Lightweight Foamed Concrete

Md Azree Othuman Mydin^{1,*}

¹ Pusat Pengajian Perumahan, Bangunan dan Perancangan, Universiti Sains Malaysia, 11800, Penang, Malaysia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 3 June 2024

Received in revised form 27 September 2024

Accepted 7 October 2024

Available online 17 October 2024

Katakunci:

Konkrit ringan berbusa; kekuatan mampatan; belahan; retakan mikro; serat pelepah kelapa sawit

ABSTRAK

Keretakan konkrit akibat pengecutan plastik, autogen dan pengeringan menimbulkan cabaran besar dalam industri pembinaan di Malaysia di mana ia secara langsung menjejaskan ketahanan jangka panjang dan prestasi struktur. Pendedahan kepada pelbagai keadaan persekitaran sepanjang hayatnya menjadikan struktur ini terdedah kepada penembusan bahan-bahan berbahaya seperti klorida dan karbonat, yang membawa kepada kakisan dalam tetulang keluli dan menjejaskan integriti struktur secara holistik. Kajian ini menumpukan pada penilaian makmal untuk menilai potensi penggunaan serat yang diasingkan daripada kulit kelapa sawit dalam konkrit ringan berbusa (KRB) untuk meningkatkan sifat kekuatan mekanikal. Sampel KRB telah diperkukuh dengan pecahan isipadu 0.1, 0.2, 0.3 dan 0.4 % serat pelepah sawit (SPS). Terdapat tiga ketumpatan KRB telah dipertimbangkan, iaitu 600, 800 dan 1000 kg/m³. Parameter yang dikaji adalah kekuatan mampatan, kekuatan belahan dan kekuatan lenturan. Keputusan ujikaji menunjukkan bahawa penggunaan 0.3 % SPS dalam KRB membantu memperoleh keputusan tertinggi untuk kekuatan mampatan, belahan dan lenturan. SPS bertindak sebagai pengisi ruang dan merapatkan jurang dan retakan mikro dalam KRB dan seterusnya menghasilkan kekuatan tinggi. Di samping itu, SPS membantu menghalang retakan mikro dalam keadaan plastik KRB. Kajian ini menyediakan data eksperimen penting untuk membantu penyelidik masa depan dalam bidang KRB dalam menggunakan gentian semulajadi untuk meningkatkan prestasi mekanikal KRB. Kebaharuan kajian ini adalah mengisi kelompongan dalam bidang penyelidikan berasaskan simen iaitu penggunaan gentian semulajadi bagi menggantikan gentian konvensional seperti kaca dan keluli. Peralihan ini adalah disebabkan oleh nilai tambah yang ditawarkan oleh gentian semulajadi terutamanya dari segi kemampuan.

* Corresponding author.

E-mail address: azree@usm.my

<https://doi.org/10.37934/ard.120.1.3646>

Cracking in concrete resulting from plastic, autogenous, and drying shrinkage presents a significant concern in the Malaysian construction industry, as it directly impacts the long-term durability and performance of structures. Exposure to diverse climatic conditions over its lifespan renders the structure susceptible to the infiltration of deleterious elements such as chlorides and carbonates, which induce corrosion in the steel reinforcement and compromise the overall integrity of the structure. This study examines the laboratory assessment of fibres extracted from oil palm skins for their possible application in lightweight foamed concrete (LFC) to enhance mechanical strength attributes. LFC samples were supplemented with volume fractions of 0.1%, 0.2%, 0.3%, and 0.4% palm frond fibre (PFB). Three LFC densities are considered namely 600 kg/m³, 800 kg/m³, and 1000 kg/m³. The parameters studied include compressive strength, splitting tensile strength, and flexural strength. The test findings indicate that the application of 0.3% PFB in LFC yields the optimal outcomes for compressive, splitting tensile, and bending strengths. PFB serves as a space filler, bridging gaps and micro-cracks in LFC, hence enhancing strength. Furthermore, SPS aids in the prevention of micro-cracks during the plastic phase of LFC. This study offers significant experimental data to aid future researchers in the domain of LFC in utilising natural fibres to enhance the mechanical performance of LFC. This study aspires to address a gap in cement-based research by utilising natural fibres as substitutes for traditional fibres like glass and steel. This transformation is attributable to the enhanced value provided by natural fibres, particularly regarding sustainability.

Keywords:

Lightweight foamed concrete;
compressive strength; splitting tensile;
micro crack; palm frond fibre

1. Pengenalan

Kebelakangan ini, penyelidik dari seluruh dunia telah menumpukan perhatian kepada pembangunan konkrit hijau untuk bahan binaan yang ringan, tahan lasak, mudah digunakan dan menjimatkan [1]. Dengan pertumbuhan penyelidikan untuk bahan binaan mampan yang digunakan dalam bangunan, kemajuan teknologi dalam bidang ini telah dipercepatkan secara berperingkat. Salah satu idea yang paling ketara ialah perolehan dan penggunaan bahan binaan tempatan bukan konvensional, yang melibatkan kemungkinan menggunakan pelbagai bahan buangan yang ditanam sebagai bahan binaan [2]. Bahan pengukuhan semula jadi boleh diperolehi pada harga dan tenaga yang lebih murah menggunakan tenaga buruh dan teknologi serantau. Penggunaan gentian semulajadi adalah amat penting bagi kawasan kurang maju di mana bahan binaan tradisional tidak mudah diakses atau terlalu mahal [3]. Konkrit ringan berbuisa (KRB) telah digunakan terutamanya sebagai bahan pengisi dalam pembinaan. Namun begitu, sifat terma yang cemerlang dan prestasi rintangan api menandakan potensi besarnya sebagai bahan binaan [4]. KRB diperbuat daripada simen Portland biasa (OPC) mempunyai beberapa sifat: ia sangat baik di bawah mampatan tetapi tegangan rendah dan mempunyai kecenderungan untuk menjadi rapuh. Kerentanan tegangan boleh diatasi dengan pengukuhan keluli konvensional dan, sedikit sebanyak, dengan menyepadukan bilangan gentian khusus yang mencukupi. Penggunaan gentian juga mengubah prestasi komposit gentian-matriks selepas kegagalan, meningkatkan kekukuhannya [5]. KRB boleh ditentukan sebagai bahan yang mengandungi sekurang-kurangnya 10 % mengikut isipadu lembapan yang dibentuk secara mekanikal dalam buburan mortar, di mana lompong udara dibetulkan dalam matriks menggunakan surfaktan yang sesuai. KRB boleh dihasilkan dengan memasukkan agen berbuih ke dalam mortar berasaskan simen. Surfaktan pelbagai jenis boleh dimasukkan, dan buih dihasilkan dengan pencampuran yang lembut tetapi menyeluruh. Sebaliknya, surfaktan boleh diudara sebelum ia digunakan [6]. Walaubagaimanapun, dalam beberapa tahun kebelakangan ini, terdapat kebimbangan yang semakin meningkat tentang penggunaan KRB sebagai bahan separa struktur dalam bangunan [7]. KRB dikenali sebagai bahan yang agak rapuh di bawah tegangan biasa dan beban hentaman. Disebabkan sifat-sifat ini, KRB, pada masa lalu, anggota struktur KRB telah diperkuatkan dengan bar pengukuhan untuk menahan ketegangan tegangan. Walaupun kehadiran tetulang keluli

dengan ketara meningkatkan kekuatan KRB, pertumbuhan retakan mikro harus dikawal dengan betul untuk menghasilkan konkrit dengan sifat tegangan homogen [8].

Di Malaysia, kelapa sawit merupakan salah satu perdagangan terpenting yang telah menyumbang kepada pembangunan ekonomi [9]. Tandan kosong kelapa sawit, pelepah dan cangkang dari kilang kelapa sawit termasuk dalam klasifikasi ini. Bagaimanapun, memandangkan kehadiran dan jumlah sisa kelapa sawit, masalah tapak pelupusan utama timbul. Bagi menyelesaikan masalah sisa biojisim, sisa hasil sampingan kelapa sawit boleh digunakan sebagai bahan pengisi dalam KRB untuk mengembangkan ketahanan dan prestasi mekanikalnya [10]. KRB ialah bahan bersimen berliang yang diperolehi dengan memasukkan buih prabentuk ke dalam matriks simen. Gabungan bahan ini menghasilkan lompong udara yang terbentuk dalam struktur mikro yang mendasari bahan tersebut [11].

Oleh yang demikian, objektif utama kajian ini memfokus kepada penyiasatan potensi penggunaan serat pelepah sawit (SPS) yang dihasilkan daripada industri kelapa sawit dalam usaha untuk meningkatkan kekuatan tegangan mampatan, lenturan dan pemisahan KRB. Penambahan gentian selulosa semula jadi dalam KRB dijangka meningkatkan ikatan antara komposit bersimen. Penambahan gentian selulosa dalam jumlah yang kecil boleh mengurangkan kesan penuaan awal pada sifat ketahanan KRB [12]. Ia juga boleh menghalang pembentukan keretakan di bawah beban. KRB diperkukuh gentian semulajadi mempunyai banyak kelebihan, seperti ringan, kos rendah, ketahanan dan kekukuhan yang tinggi. Kebaharuan kajian ini adalah mengisi kelompongan dalam bidang penyelidikan berasaskan simen iaitu penggunaan gentian semulajadi bagi menggantikan bahan tambahan konvensional lain seperti gentian kaca dan keluli, yang telah digunakan secara meluas. Peralihan arah aliran ini disebabkan oleh nilai tambah yang ditawarkan oleh gentian kepada bahan ini, terutamanya dari segi kemampuan.

2. Metodologi

2.1 Penyediaan Bahan

Simen, pasir, agen berbuih dan air adalah bahan utama yang digunakan untuk membuat KRB. Simen Portland mengikut Piawaian British BS-12 [13] telah digunakan dan penjana buih berguna digunakan untuk menghasilkan buih. Dalam penilaian ini, surfaktan sintetik telah digunakan untuk menghasilkan buih berbuisa seperti yang ditunjukkan dalam Gambarajah 1. Juga, pasir halus digunakan, yang diperolehi daripada pembekal serantau. Saiz pasir halus yang sesuai digunakan ialah 1.19 mm dan diayak dengan mesin ayak mengikut BS-882 [14]. Air paip yang bebas daripada kekotoran telah digunakan. Nisbah air kepada simen ditetapkan pada 0.5. SPS yang digunakan dalam kajian ini dikumpulkan dari ladang pemprosesan kelapa sawit tempatan (Gambarajah 2), dan diproses menjadi 19mm (panjang) melalui proses penapisan mekanikal (Gambarajah 3). Peratusan mengikut berat SPS yang digunakan adalah masing-masing 0.1, 0.2, 0.3 dan 0.4 % daripada jumlah keseluruhan adunan. Jadual 1, 2 dan 3 menunjukkan sifat fizik, komposisi kimia dan sifat mekanikal SPS, dalam susunan tersebut.



Gambarajah 1. Penghasilan buih berbusa dari surfaktan sintetik



Gambarajah 2. SPS diambil dari ladang memproses kelapa sawit



Gambarajah 3. SPS melalui proses penapisan mekanikal (mendapatkan panjang yang konsisten)

Jadual 1
Sifat fizikal SPS

Elemen	Sifat
Diameter	22.2 um
Ratio Runkel	0.2
Ketumpatan	0.6 g/cm ³
Panjang	19 mm
Lebar lumen	15.0 um
Sudut fibril (°)	40

Jadual 2
Komposisi kimia SPS

Komposisi	%, berat kering
Hemiselulosa	15.0
Selulosa	27.1
Glukosa	22.0
Lignin	25.1
Xylose	8.9
Abu	1.9

Jadual 3
Sifat mekanikal SPS

Elemen	Sifat
Kekuatan tegangan	77.2 MPa
Pemanjangan semasa rehat	11.9 %
Modulus keanjalan	5.00 GPa

2.2 Penyediaan Adunan KRB

Untuk kajian ini, 15 campuran telah disediakan. Ketumpatan yang dipilih ialah 600, 800 dan 1000 kg/m³. Peratusan berat SPS ialah 0.1, 0.2, 0.3 dan 0.4 %. Bagi semua bancuhan KRB, perkadaran pasir-simen (p-s) ditetapkan pada 1:2 dan perkadaran air-simen pada 0.5 (a-s). Nisbah campuran yang dipertimbangkan dalam kajian ini ditunjukkan dalam Jadual 4.

Jadual 4

Nisbah campuran untuk penghasilan KRB

Spesimen	Ketumpatan (kg/m ³)	Perkadaran campuran (p:s:a)	Simen (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	SPS (kg)
600-0	600	1:2:0.5	16.4	32.8	8.2	0.00
600-1	600	1:2:0.5	16.4	32.8	8.2	0.06
600-2	600	1:2:0.5	16.4	32.8	8.2	0.12
600-3	600	1:2:0.5	16.4	32.8	8.2	0.18
600-4	600	1:2:0.5	16.4	32.8	8.2	0.24
800-0	800	1:2:0.5	24.0	48.0	12.0	0.00
800-1	800	1:2:0.5	24.0	48.0	12.0	0.09
800-2	800	1:2:0.5	24.0	48.0	12.0	0.18
800-3	800	1:2:0.5	24.0	48.0	12.0	0.27
800-4	800	1:2:0.5	24.0	48.0	12.0	0.35
1000-0	1000	1:2:0.5	31.6	63.2	16.8	0.00
1000-1	1000	1:2:0.5	31.6	63.2	16.8	0.11
1000-2	1000	1:2:0.5	31.6	63.2	16.8	0.22
1000-3	1000	1:2:0.5	31.6	63.2	16.8	0.33
1000-4	1000	1:2:0.5	31.6	63.2	16.8	0.44

2.3 Ujian Makmal

Ujian mampatan telah dicapai selaras dengan BS12390-3 [15]. Saiz sampel KRB ialah kiub bersaiz 100 x 100 x 100 mm seperti yang ditunjukkan dalam Gambarajah 4. Beban had atas dan kekuatan mampatan telah didokumenkan. Seterusnya, ujian lenturan dilaksanakan dengan mematuhi ASTM C-293 [16]. Saiz spesimen ialah prisma bersaiz 100 mm x 100 mm x 500 untuk memastikan tegasan lentur seperti ditunjukkan dalam Gambarajah 5. Berikutan itu, ujian kekuatan tegangan belahan KRB telah disiapkan dengan mematuhi ASTM C-496 [17]. Saiz sampel KRB ialah silinder berdiameter 100mm dan ketinggian 200mm (Gambarajah 6).



Gambarajah 4. Ujian kekuatan mampatan



Gambarajah 5. Ujian kekuatan lenturan

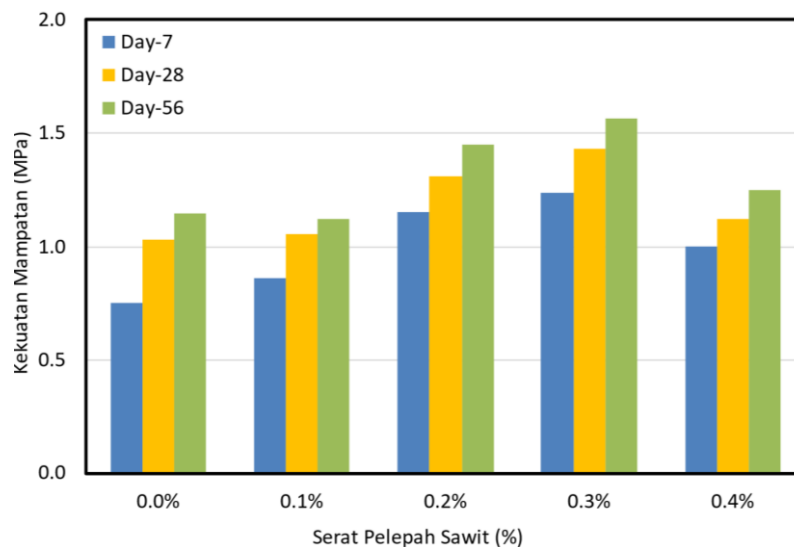


Gambarajah 6. Ujian kekuatan mampatan

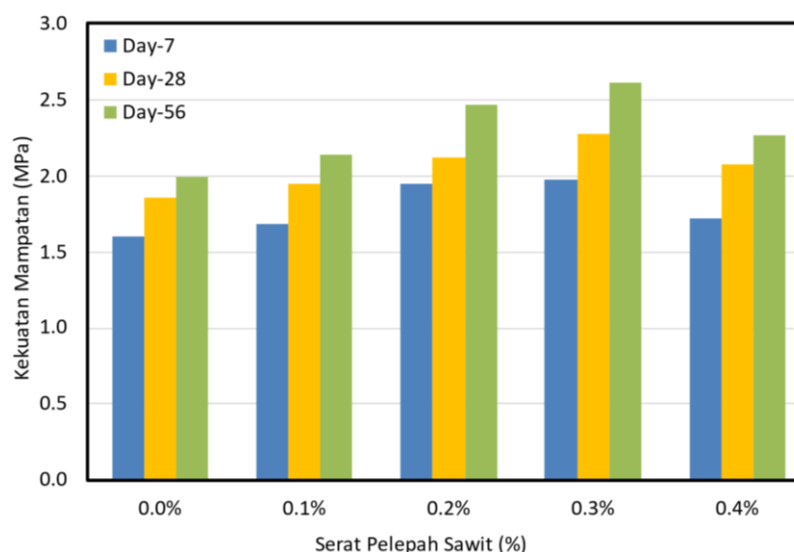
3. Keputusan dan Perbincangan

3.1 Kekuatan Mampatan

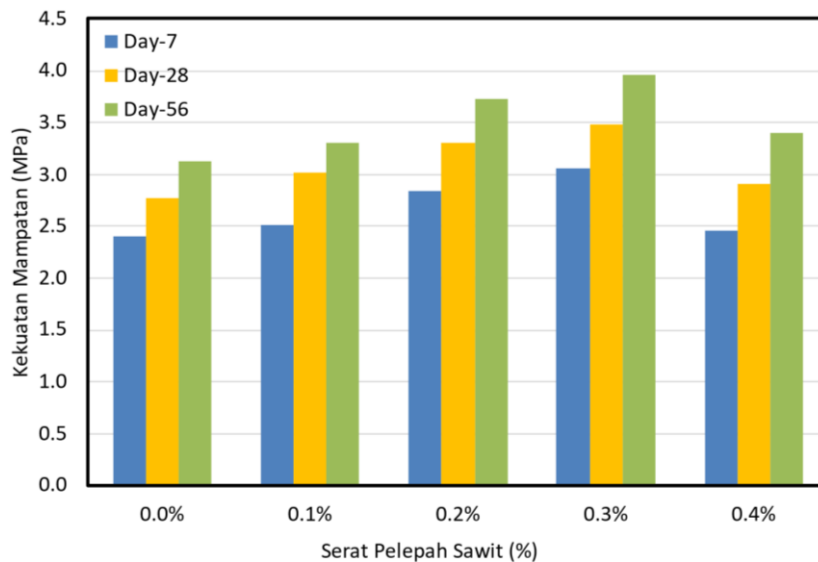
Daripada Gambarajah 7 - 9 ini, dapat dilihat bahawa penambahan SPS dalam KRB meningkatkan kekuatan mampatan tanpa mengira pecahan isipadu. Ujian selepas 7, 28 dan 56 hari pengawetan menunjukkan bahawa campuran mempunyai kekuatan mampatan yang lebih tinggi berbanding sampel kawalan untuk semua ketumpatan. Pecahan isipadu ideal SPS ialah 0.3 %. Kekuatan mampatan tertinggi yang dicapai pada hari-56 ialah 1.6, 2.6 dan 4.0 MPa pada pecahan isipadu 0.3 % SPS untuk ketumpatan 600, 800 dan 1000 kg/m³, masing-masing, berbanding dengan sampel kawalan, yang mempunyai kekuatan mampatan hanya 1.1 MPa (600 kg/m³), 2.0 MPa (800 kg/m³) dan 3.1 MPa (1000 kg/m³). Di luar kandungan SPS yang optimum, taburan tidak seragam dan penggumpalan SPS telah diperhatikan, mengakibatkan penurunan kekuatan mampatan (pada pecahan volum 0.4 % daripada SPS). Kandungan SPS yang tinggi dalam KRB melambatkan proses penghidratan dan dengan itu membawa kepada kekuatan mampatan yang rendah [18]. Oleh kerana KRB mempunyai lompong pelbagai bentuk dan saiz dalam matriks KRB dan retakan mikro dalam zon peralihan di antara matriks, kehadiran gentian SPS menyumbang kepada kegagalan bahan.



Gambarajah 7. Kekuatan mampatan untuk ketumpatan 600 kg/m³



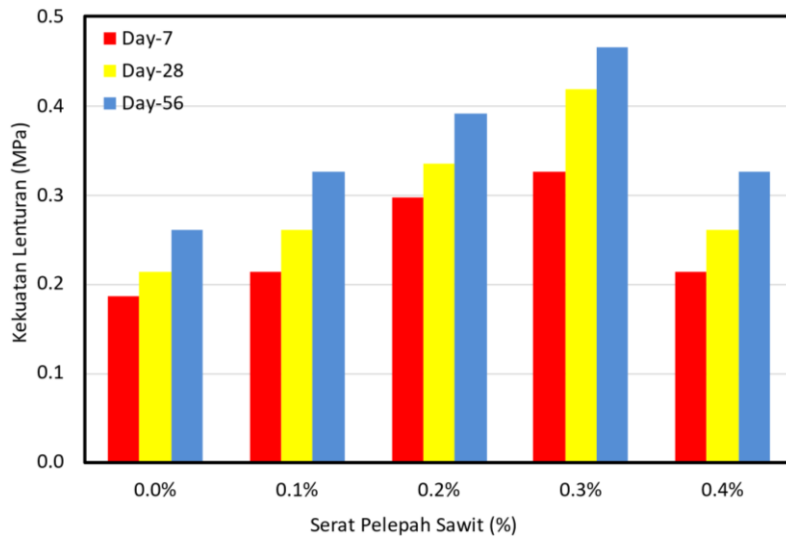
Gambarajah 8. Kekuatan mampatan untuk ketumpatan 800 kg/m³



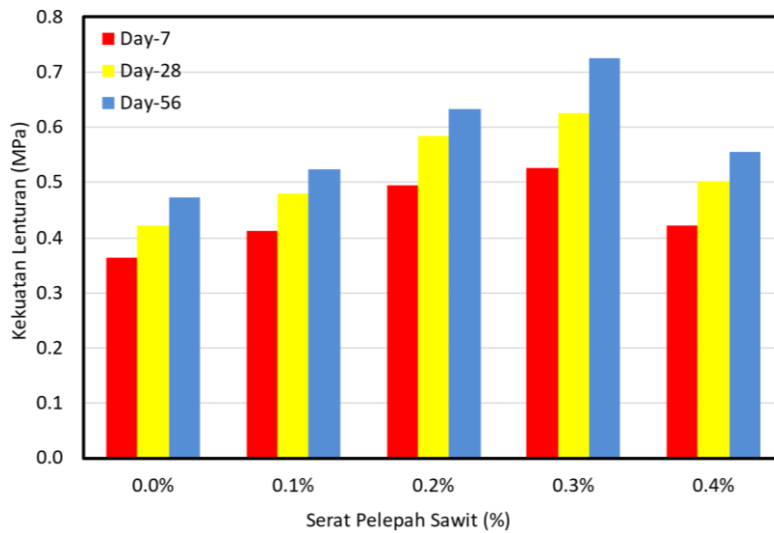
Gambarajah 9. Kekuatan mampatan untuk ketumpatan 1000 kg/m³

3.2 Kekuatan Lenturan

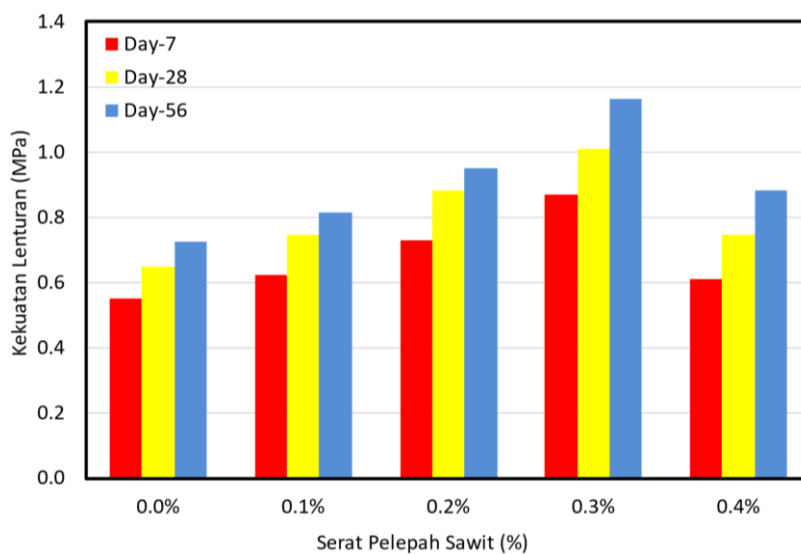
Kekuatan lenturan KRB dengan kemasukan SPS meningkat untuk semua ketumpatan walaupun pecahan isipadu SPS dalam KRB berbeza. Keputusan kekuatan lenturan yang diperolehi untuk ketumpatan 600, 800 dan 1000 kg/m³, masing-masing ditunjukkan dalam Gambarajah 10, 11 dan 12. Spesimen kawalan memperoleh kekuatan lenturan yang paling rendah, yang meningkat secara tidak ketara dengan umur ujian. Walau bagaimanapun, spesimen dari KRB dengan kehadiran SPS menunjukkan peningkatan yang ketara dalam kekuatan lenturan dengan usia. Pada hari ke-28, kekuatan lentur sampel kawalan ialah 0.2, 0.4 dan 0.6 MPa untuk ketumpatan 600, 800 dan 1000 kg/m³, masing-masing dalam susunan tersebut. Pecahan isipadu optimum SPS yang memberikan keputusan kekuatan lenturan terbaik ialah 0.4 %. Kekuatan lenturan tertinggi yang diperolehi pada hari ke-56 ialah 0.5, 0.8 dan 1.2 MPa dengan pecahan isipadu 0.3 % SPS untuk ketumpatan 600, 800 dan 1000 kg/m³ masing-masing. Penggabungan SPS dalam KRB memainkan peranan penting dalam menambah baik matriks KRB dan mengubah sifat bahan daripada rapuh kepada keadaan mulur. SPS meningkatkan kekuatan lenturan untuk keseluruhan ketumpatan. Walau bagaimanapun, pecahan berat gentian FBB yang terlalu tinggi dalam KRB (melebihi 0.3 %) mengakibatkan pengurangan ikatan antara gentian dan matriks simen. Penggunaan pecahan isipadu 0.3 % SPS boleh dianggap sebagai peratusan optimum untuk KRB. Peningkatan dalam kekuatan lenturan sepadan dengan baik dengan peningkatan kekuatan mampatan. Kekuatan lenturan tinggi yang dicapai adalah disebabkan oleh penurunan keliangan dalam KRB [19].



Gambarajah 10. Kekuatan lenturan untuk ketumpatan 600 kg/m³



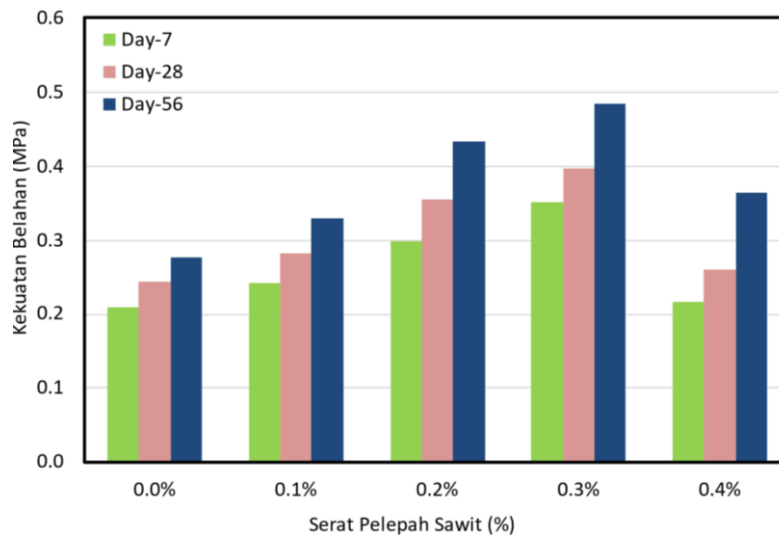
Gambarajah 11. Kekuatan lenturan untuk ketumpatan 800 kg/m³



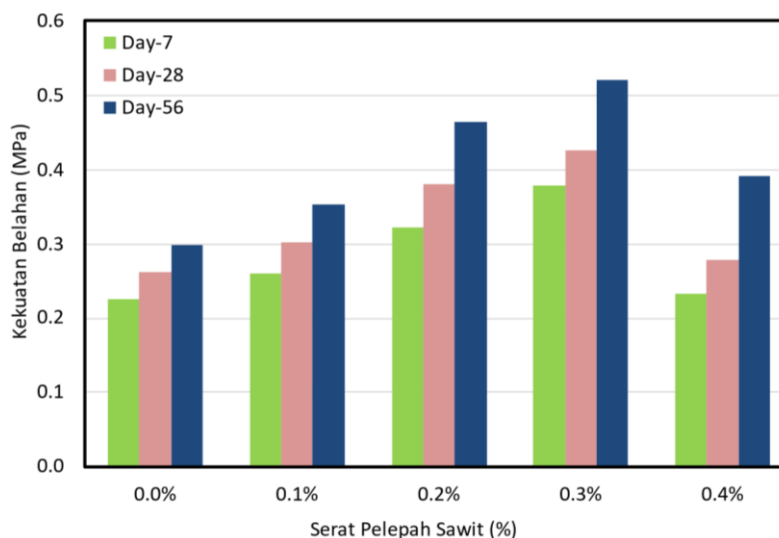
Gambarajah 12. Kekuatan lenturan untuk ketumpatan 1000 kg/m³

3.3 Kekuatan Belahan

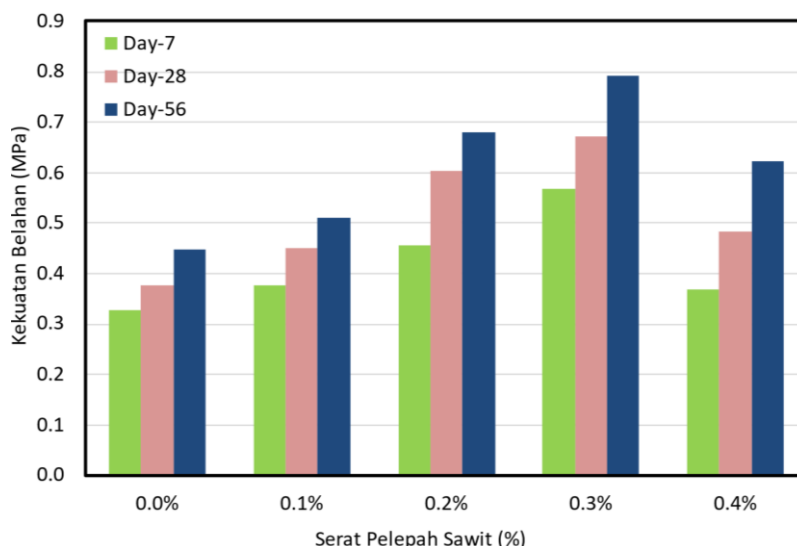
Keputusan kekuatan belahan untuk keseluruhan ketumpatan yang dipertimbangkan dalam kajian ini ditunjukkan dalam Gambarajah 13, 14 dan 15. Kecenderungan yang sama diperhatikan, di mana kehadiran 0.3 % mengikut berat SPS memberikan kekuatan belahan yang optimum. Kekuatan belahan paling atas yang diperoleh pada hari-56 ialah 0.4, 0.6 dan 0.8 MPa pada 0.3 % SPS mengikut berat untuk ketumpatan 600, 800 dan 1000 kg/m³, masing-masing berbanding kawalan. spesimen, yang mencapai kekuatan tegangan belahan hanya 0.2 MPa (600 kg/m³), 0.3 MPa (800 kg/m³) dan 0.5 MPa (1000 kg/m³). Di luar tahap ideal penggabungan SPS, pengumpulan dan pengedaran SPS yang tidak teratur telah diperhatikan, yang membawa kepada penurunan kekuatan belahan (daripada 0.3 % berat SPS). Peningkatan kekuatan belahan adalah disebabkan oleh peningkatan keliatan KRB akibat kewujudan gentian SPS. Penambahan 0.3 % gentian meningkatkan kekuatan belahan KRB, dengan menggalakkan tindak balas pozzolanik muktamad dengan simen sekali gus menghasilkan KRB yang lebih padat. Ini memerlukan kewujudan SPS menambah kekuatan belahan KRB tanpa mengira pecahan isipadu SPS [20]. Pemanjangan SPS semasa kegagalan didapati kecil, menghasilkan kekuatan belahan yang sangat baik apabila dimasukkan ke dalam KRB.



Gambarajah 13. Kekuatan belahan untuk ketumpatan 600 kg/m³



Gambarajah 14. Kekuatan belahan untuk ketumpatan 800 kg/m³



Gambarajah 15. Kekuatan belahan untuk ketumpatan 1000 kg/m³

4. Kesimpulan

Penyiasatan makmal ini meneroka potensi penggunaan SPS dalam bahan KRB untuk meningkatkan sifat mekanikal. Pecahan isipadu sebanyak 0.3 % daripada SPS adalah peratusan optimum dalam KRB, yang menghasilkan kekuatan tegangan mampatan, lenturan dan belahan yang sangat baik. SPS membantu mengelakkan berlakunya keretakan dalam keadaan plastik KRB. Di samping itu, SPS mempamerkan pemanjangan yang tinggi semasa putus, yang boleh membawa kepada pertalian yang lebih baik antara matriks bersimen dan gentian. SPS bertindak balas seperti agregat, menjadikan struktur mikro lebih padat, mengurangkan saiz lompong, dan dengan itu memperhalusi susunan liang secara keseluruhan. Hasil dapatan kajian ini memberi satu dimensi baru dalam penggunaan serat semulajadi dalam penghasilan KRB yang mempunyai sifat-sifat mekanikal yang lebih baik untuk digunakan dalam industri pembinaan di Malaysia.

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] Abd Elrahman, Mohamed, Mohamed E. El Madawy, Sang-Yeop Chung, Pawel Sikora, and Dietmar Stephan. "Preparation and characterization of ultra-lightweight foamed concrete incorporating lightweight aggregates." *Applied sciences* 9, no. 7 (2019): 1447. <https://doi.org/10.3390/app9071447>
- [2] Zhu, W. H., B. C. Tobias, R. S. P. Coutts, and G. Langfors. "Air-cured banana-fibre-reinforced cement composites." *Cement and concrete composites* 16, no. 1 (1994): 3-8. [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(94\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0958-9465(94)90024-8)
- [3] Serri, Eravan, Md Azree Othuman Mydin, and Mohd Zailan Suleiman. "Thermal properties of Oil Palm Shell lightweight concrete with different mix designs." *Jurnal Teknologi* 70, no. 1 (2014). <https://doi.org/10.11113/jt.v70.2507>
- [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] Castillo-Lara, Joaquin F., Emmanuel A. Flores-Johnson, Alex Valadez-Gonzalez, Pedro J. Herrera-Franco, Jose G. Carrillo, P. I. Gonzalez-Chi, and Q. M. Li. "Mechanical properties of natural fiber reinforced foamed concrete." *Materials* 13, no. 14 (2020): 3060. <https://doi.org/10.3390/ma13143060>
- [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] Awang, Hanizam, and Muhammad Hafiz Ahmad. "Durability properties of foamed concrete with fiber inclusion." *International Journal of Civil, Structural, Construction and Architectural Engineering* 8, no. 3 (2014): 273-276.
- [8] 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>
- [9] 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>
- [10] 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>
- [11] Klyuev, Sergei V., Tolya Khezhev, Yu V. Pukharensko, and Alexander V. Klyuev. "Fiber concrete on the basis of composite binder and technogenic raw materials." In *Materials Science Forum*, vol. 931, pp. 603-607. Trans Tech Publications Ltd, 2018. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.603>
- [12] 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>
- [13] British Standard Institution. BS 12: 1996. Specification for Portland cement. British Standards Institute
- [14] British Standard Institution. BS 882: 1992. Specification for aggregates from natural sources for concrete. London, United Kingdom: British Standards Institute.
- [15] British Standard Institution. BS 12390-3: 2011. Testing hardened concrete. Compressive strength of test specimens. London, United Kingdom: British Standards Institute.
- [16] ASTM International. ASTM C293 / C293M-16: 2016. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading). West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [17] ASTM International. ASTM C496 / C496M-17: 2017. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [18] Savastano Jr, Holmer, P. G. Warden, and R. S. P. Coutts. "Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites." *Cement and Concrete Composites* 22, no. 5 (2000): 379-384. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00034-2](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00034-2)
- [19] Bilba, Ketty, Marie-Ange Arsene, and Alex Ouensanga. "Study of banana and coconut fibers: Botanical composition, thermal degradation and textural observations." *Bioresource technology* 98, no. 1 (2007): 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.11.030>
- [20] Lim, Siong Kang, Cher Siang Tan, Ooi Yuan Lim, and Yee Ling Lee. "Fresh and hardened properties of lightweight foamed concrete with palm oil fuel ash as filler." *Construction and building materials* 46 (2013): 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.015>