

Kesan Sisa Enapcemar Naftalena terhadap Kebolehkerjaan dan Kekuatan Mortar dan Konkrit

(Effect of Waste Naphthalene Sludge on Workability and Strength of Mortar and Concrete)

Syarman Khan Syed Mohamed^a & Jacob Lim Lok Guan^{a,b*}

^aJabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina, 43600 Universiti Kebangsaan Malaysia

^bSmart and Sustainable Township Research Centre (SUTRA), 43600 Universiti Kebangsaan Malaysia

*Corresponding author: jacoblim@ukm.edu.my

Received 14 June 2024, Received in revised form 22 August 2024

Accepted 22 September 2024, Available online 30 November 2024

ABSTRAK

Peningkatan populasi dan permintaan gaya hidup moden telah menyebabkan peningkatan pengeluaran sisa dalam jumlah yang banyak sekaligus menyebabkan pencemaran alam sekitar. Oleh itu, idea untuk menggunakan semua sisa buangan muncul sebagai cara alternatif untuk menggunakannya semula membuat produk daripada membuangnya. Sisa enapcemar Naftalena yang terhasil dari pengeluaran bahan tambahan dalam konkrit atau lebih dikenali sebagai superplasticizer, digunakan dalam kajian ini sebagai bahan tambahan dalam konkrit. Konkrit dihasilkan dengan 0%, 1%, 2% dan 3% tambahan sisa enapcemar Naftalena dan kebolehkerjaan serta kekuatan mortar dan konkrit dikaji untuk menyiasat kesan sisa enapcemar ini terhadap konkrit. Sampel untuk ujian kekuatan mampatan disediakan dengan nisbah air-simen (W/C) tetap iaitu 0.5 dan dirawat selama 7 dan 28 hari. Hasil kajian menunjukkan peningkatan kekuatan konkrit dan mortar apabila penambahan sisa enapcemar Naftalena ditingkatkan. 3% tambahan sisa ini menunjukkan kekuatan konkrit tertinggi berdasarkan kekuatan selama 28 hari dan memperoleh kebolehkerjaan terbaik diantara sampel kawalan dan sampel lain iaitu set 1% dan 2%. Set konkrit dengan tambahan sisa enapcemar Naftalena sebanyak 3% mencapai nilai kekuatan mampatan 10% lebih tinggi berbanding set kawalan. Dengan mengamalkan amalan mampan dalam pengurusan sisa dan inovasi, kesan buruk dapat dikurangkan pada masa yang sama menyokong matlamat Pembangunan Mampan Global (SDG) 2030 di Malaysia dan peringkat global.

Kata kunci: Sisa konkrit; kekuatan konkrit; kebolehkerjaan; konkrit hijau; inovasi sisa; SDG 2030

ABSTRACT

The increasing population and modern lifestyle demand have caused the increase in waste sludge production gradually at the same time causing environmental pollution. Thus, the idea of reusing this waste sludge emerges as an alternative way of reusing it to create a product instead of disposing it. The Naphthalene sludge, a by-product obtained from the production of superplasticizer, also known as concrete admixture, is used in this study as an additive in concrete. Concrete was produced with 0%, 1%, 2% and 3% additive of the naphthalene sludge and the workability and strength of mortar and concrete were studied to investigate the effect of the waste sludge on concrete. Samples for compressive strength test were prepared with fixed Water-cement (W/C) ratio of 0.50 and cured for 7 and 28 days. The results showed an increase of concrete and mortar strength when the waste sludge addition is increased. 3% of Naphthalene sludge additive shows the highest concrete strength based on the 28 days strength and obtained the best workability among the control sample and the other 1% and 2% of additive. By adopting sustainable practices in waste management and innovation can mitigate adverse impacts while supporting global sustainability development goals (SDG) 2030.

Keywords: Concrete waste; concrete strength; workability; green concrete; waste innovation; SDG2030

PENGENALAN

Berhubung dengan peningkatan teknologi yang perlu memenuhi gaya hidup moden serta peningkatan populasi telah menyebabkan peningkatan sisa yang dihasilkan daripada pelbagai sumber sehingga menyebabkan krisis pembuangan sisa (Batayneh et al. 2007; Lim et al. 2018). Ini adalah isu yang amat membimbangkan yang memerlukan perhatian dan penyelesaian yang betul seiring dengan pengurangan penajanaan sisa bagi memberikan impak positif terhadap alam sekitar. Oleh itu, elemen Pembangunan mampan dalam industri pembinaan diperkenalkan. Pendekatan inovatif dan tidak konvensional diperlukan untuk mencapai Pembangunan mampan dalam industri pembinaan terutamanya industri konkrit (Hrabova et al. 2020, Lim et al. 2023). Konkrit adalah salah satu bahan yang dihasilkan secara besar-besaran kerana permintaannya dan ia ditempatkan di kedudukan kedua di dunia sebagai bahan yang paling banyak dihasilkan (Bamigboye et al. 2022; Jamaludin et al. 2024). Konkrit adalah campuran yang terdiri daripada simen, air, agregat halus dan kasar (Bamigboye et al. 2022; Abro et al. 2024). Oleh itu, keperluan untuk melakukan perlombongan bagi mendapatkan komponen-komponen tersebut dilakukan untuk memenuhi ramuan konkrit.

Industri konkrit menghadapi pelbagai cabaran, dengan satu isu yang signifikan khususnya memberi impak besar terhadap alam sekitar berkaitan dengan agregat semula jadi yang diperoleh melalui proses perlombongan konvensional, yang juga memakan jumlah kos yang tinggi (Assi et al. 2018). Mengambil kira kesan yang diberikan terhadap alam sekitar dan mengambil kira kos yang diperlukan untuk mendapatkan agregat semula jadi ini, cara dan kaedah baharu perlu dicipta untuk menyelesaikan dilema ini. Agregat alternatif yang dapat digunakan dalam pengeluaran konkrit pada masa yang sama mesra alam adalah pilihan yang berpotensi (Lehner et al. 2022). Seperti yang dilaporkan oleh persatuan konkrit dan simen global, angka pengeluaran global untuk 2020 menunjukkan pengeluaran sebanyak 14 bilion m³ konkrit dan 4.2 bilion tan simen (Ercan et al. 2023; Abro et al. 2024). Simen, yang digunakan sebagai elemen penting dalam konkrit, menyumbang secara signifikan kepada jejak karbon di mana proses pengeluaran melibatkan penggunaan bahan mentah dan tenaga yang besar, menyebabkan pengeluaran gas rumah hijau yang tinggi (Ercan et al. 2023).

Pertimbangan dan pelaksanaan penggunaan semula

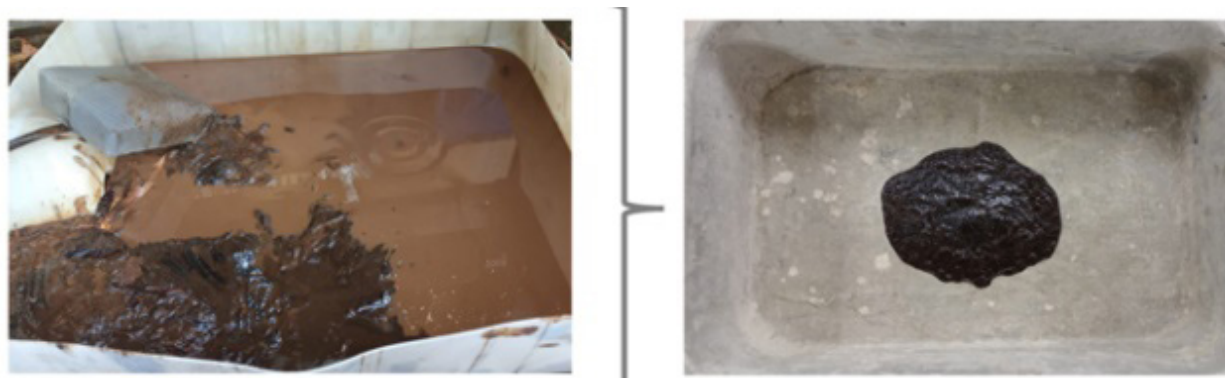
bahan sisa dalam mortar dan konkrit telah dilakukan selama beberapa dekad sejak unsur kemampanan ditekankan. Beberapa contoh yang telah digunakan termasuk abu terbang, slag, agregat kitar semula, silika fume, sisan enapcemar, sisa kertas dan banyak lagi. Chandra Sekar et al. (2023) menyebutkan penggabungan sisa industri seperti serbuk kaca, serbuk kulit telur, abu terbang, dan sekam padi ke dalam konkrit, yang berkhidmat sebagai pengganti separa untuk simen, boleh menyumbang kepada pengurangan emisi CO₂. Sisa enapcemar Naftalena adalah sisa yang terhasil daripada pengeluaran sebatian berasaskan Naftalena, yang digunakan sebagai superplasticizer untuk meningkatkan keboleherjaan konkrit (Xin et al. 2023). Keboleherjaan konkrit segar adalah penting untuk proses penempatan dan pepadatan konkrit (Yu et al. 2019; Xin et al. 2023). Secara tradisional, kaedah pelupusan untuk sisa enapcemar Naftalena telah menimbulkan cabaran alam sekitar kerana komposisi kimianya dan mampu memberikan impak bahaya jika tidak dilupuskan dengan betul (Chen et al. 2016; Wu et al. 2021).

Kajian ini bertujuan untuk meneroka manfaat dan kesan atau potensi penggunaan sisa enapcemar naftalena dalam pengeluaran konkrit, dengan memberi tumpuan kepada kesannya terhadap sifat-sifat konkrit seperti keboleherjaan konkrit, perkembangan kekuatan, dan prestasi keseluruhan konkrit.

METODOLOGI

PENYEDIAAN SAMPEL DAN BAHAN

Sifat kimia dan fizikal sisa enapcemar Naftalena (NS) pada awalnya ditentukan menggunakan analisis X-Ray Diffraction (XRD) untuk mendapatkan komposisi kimia (dalam Jadual 1 dan Rajah 2). Keputusan analisis XRD menunjukkan bahawa sisa enapcemar Naftalena dalam bentuk serbuk hanya mengandungi elemen Disodium sulfate. Ini membolehkan penggunaan sisa ini ke dalam konkrit kerana ia tidak mengandungi elemen yang tidak diingini seperti logam berat atau elemen yang menunjukkan sifat toksik yang boleh menyebabkan isu alam sekitar di masa hadapan. Ujian komposisi kimia ini adalah ujian pertama yang dilakukan sebelum membuat sebarang perancangan untuk menggunakannya dalam konkrit. Taburan saiz partikel (dalam Rajah 3 dan 4) digunakan untuk mendapatkan ciri-ciri asas bahan dalam konkrit.



(a) Rupa asal

(b) Setelah Dikeringkan

RAJAH 1. Sisa enapcemar Naftalena

JADUAL 1. Komposisi kimia sisa enapcemar Naftalena dan simen OPC

Peratus Komponen kimia, %	OPC	NS
C ₃ S	70%	-
C ₂ S	12%	-
C ₃ A	5%	-
C ₄ AF	10%	-
NA ₂ (SO ₄) Disodium Sulfate	-	100

Taburan saiz partikel dan sifat kimia sisa enapcemar Naftalena apabila dibandingkan dengan simen OPC mencadangkan bahawa ia tidak boleh digunakan sebagai pengganti simen kerana saiznya tidak sepadan dengan simen OPC dan sifat kimianya juga tidak serupa. Oleh itu, ia disarankan untuk digunakan sebagai bahan tambahan dalam konkrit. Setelah peranan sebagai bahan tambahan ditetapkan, kerja perancangan makmal dilakukan. Ini termasuk penyediaan bahan yang membawa kepada pencampuran dan pembancuhan, ujian turun dilakukan untuk mendapatkan keboleherjaan dan konkrit segar tersebut kemudian dituangkan ke dalam acuan konkrit. Kiub konkrit kemudian dikeluarkan dari acuan selepas 24

jam dan dirawat dalam tangki rawatan selama 7 hari dan 28 hari untuk ujian mampatan. Analisis keputusan dilakukan selepas itu untuk membuat kesimpulan mengenai kesan sisa enapcemar Naftalena ini dalam konkrit.

REKA BENTUK CAMPURAN

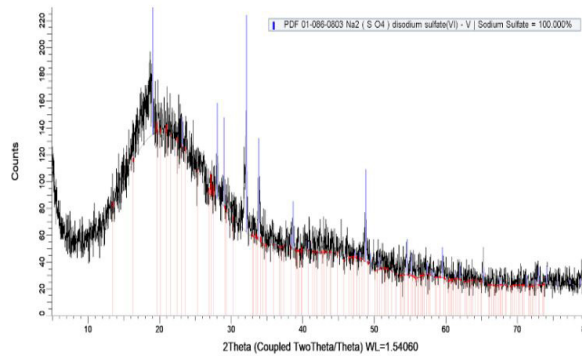
Reka bentuk campuran (dalam Jadual 2 dan 3) digunakan berdasarkan kaedah Jabatan Alam Sekitar (DOE) untuk kekuatan konkrit biasa 30 MPa. Nisbah air-simen 0.5 digunakan dalam kajian ini. Peratusan tambahan NS adalah 0% sebagai sampel kawalan dan 1%, 2%, 3% berdasarkan nilai berat simen yang dibancuh masing-masing.

JADUAL 2. Reka bentuk campuran untuk sampel Mortar

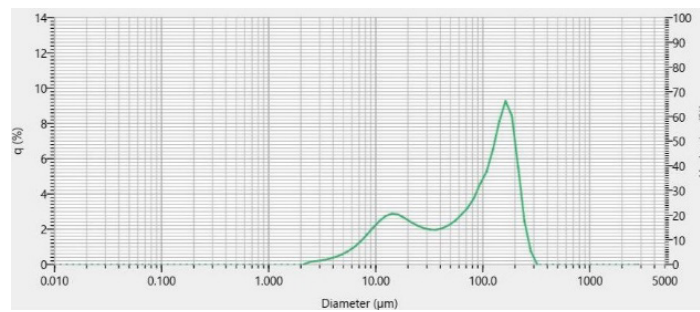
Simen (kg/m ³)	Air(kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Batu (kg/m ³)	NS (%)
380	190	820	0	0
380	190	820	0	1
380	190	820	0	2
380	190	820	0	3

JADUAL 3. Reka bentuk campuran untuk sampel Konkrit

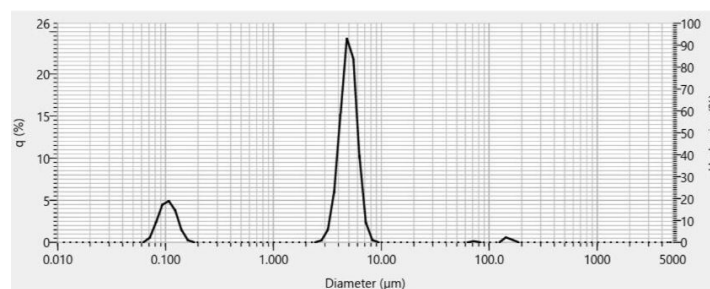
Simen (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Batu (kg/m ³)	NS (%)
380	190	820	965	0
380	190	820	965	1
380	190	820	965	2
380	190	820	965	3



RAJAH 2. Analisis XRD terhadap sisa Naftalena



RAJAH 3. Saiz distribusi partikel sisa Naftalena



RAJAH 4. Saiz distribusi partikel simen OPC

UJIAN MEKANIKAL DAN PERSAMPELAN

Selepas process pencampuran dalam pengadun dilakukan, kuib mortar berukuran 50mm dan konkrit berukuran 100mm dihasilkan dengan menggunakan acuan kuib yang

disapu minyak yang kemudiannya diletakkan di atas meja getar untuk tujuan pemadatan bagi mendapatkan pemadatan yang seragam dan secukupnya. Enam kuib bagi setiap sampel dibancuh dan dihasilkan serta dirawat selama 7 dan 28 hari (dalam Rajah 5,6 dan 7).



RAJAH 5. Penghasilan kuib konkrit dengan acuan



RAJAH 6. Ujian mampatan sampel Mortar



RAJAH 7. Ujian mampatan sampel konkrit

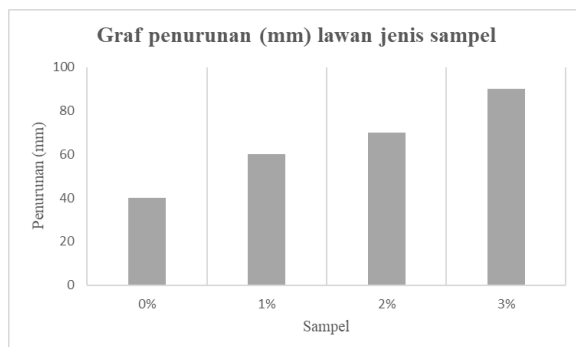
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

KEBOLEHKERJAAN

Rajah 8 dan 9 menunjukkan ujian turun yang dijalankan dan nilai ujian turun bagi semua sampel yang dibancuh. Kesan yang dapat dilihat adalah apabila peratusan enapcemar Naftalena ditambah, kebolehkeraan konkrit segar juga meningkat seiring. Set dengan tambahan sisa enapcemar Naftalena 3% menunjukkan kebolehkeraan tertinggi di antara semua sampel yang diuji. Korelasi antara kebolehkeraan dan peratusan sisa enapcemar Naftalena menunjukkan bahawa sisa ini, yang terhasil daripada pengeluaran bahan tambahan konkrit iaitu superplasticizer, mengekalkan sifat asalnya, yang meningkatkan kebolehkeraan konkrit segar. Penemuan ini sejajar dengan jangkaan mengenai tingkah laku bahan tambahan sedemikian yang meningkatkan kebolehkeraan dalam konkrit segar (Xin et al. 2023; Paul 2022). Fenomena kebolehkeraan yang meningkat dengan pertambahan sisa enapcemar ini boleh dikaitkan dengan beberapa faktor seperti kapasiti penyerapan, luas permukaan, dan kehalusan. Pertama, sisa enapcemar Naftalena, yang diperoleh daripada pengeluaran superplasticizer, kaya dengan sebatian kimia yang memiliki sifat pengurangan air dalam konkrit dan penyebaran. Sifat-sifat ini adalah penting dalam campuran konkrit kerana ia memudahkan penyebaran partikel yang lebih baik, mengurangkan kandungan air tanpa menjejaskan hidrasi, dan memperbaiki keseluruhan kelekitan campuran (Lim et al. 2018; Paul 2022). Superplasticizer biasanya digunakan dalam pengeluaran konkrit untuk mencapai kebolehkeraan tinggi tanpa meningkatkan kandungan air secara signifikan. Oleh itu, kehadiran sifat superplasticizing dalam sisa enapcemar sejajar dengan peningkatan kebolehkeraan yang diperhatikan. Penemuan kesan superplasticizing dalam sisa enapcemar Naftalena ini adalah penting untuk amalan mampan, kerana ia menunjukkan potensi untuk menggunakan semula hasil sampingan industri dengan berkesan dalam aplikasi pembinaan (Wu et al. 2021; Jamaludin et al. 2024).



RAJAH 8. Ujian Turun dijalankan



RAJAH 9. Graf Ujian Turun terhadap semua set

KEKUATAN MAMPATAN

Kekuatan mampatan bahan binaan seperti mortar dan konkrit bukan sahaja merupakan sifat asas tetapi juga penunjuk kritikal kesesuaian mereka untuk diaplikasikan dalam struktur. Dalam kajian ini, penilaian kekuatan mampatan telah dijalankan pada selang masa utama iaitu 7 hari dan 28 hari selepas proses pengawetan. Titik masa ini adalah penting dalam industri pembinaan kerana ia mencerminkan kekuatan bahan pada peringkat awal dan

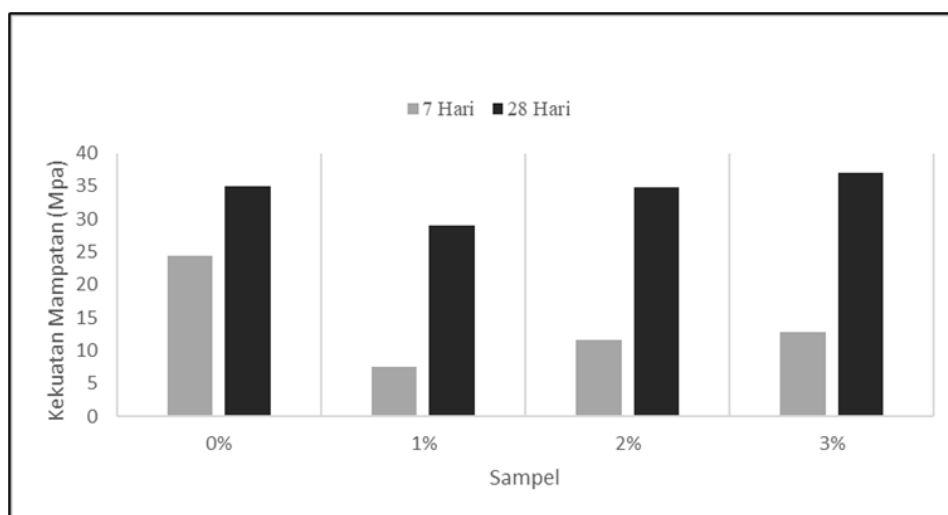
peringkat matang, memberikan pandangan dan pengetahuan berkaitan dengan prestasi mereka dari masa ke masa.

Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 10 dan Rajah 11, Mortar dan Konkrit mencapai peningkatan kekuatan mampatan yang konsisten dan ketara apabila peratusan tambahan sisa enapcemar Naftalena ditambah secara berperingkat dalam sampel mortar dan konkrit. Kesan ini menekankan pengaruh positif bahan tambahan terhadap sifat mekanikal bahan-bahan tersebut, yang membawa kepada peningkatan parameter kekuatan. Memahami perkembangan kekuatan pada peringkat awal adalah penting dalam projek pembinaan kerana ia secara langsung mempengaruhi kapasiti menanggung beban awal struktur. Konkrit biasanya menunjukkan sekitar 65% daripada kekuatan cirinya pada hari ke-7 pengawetan.

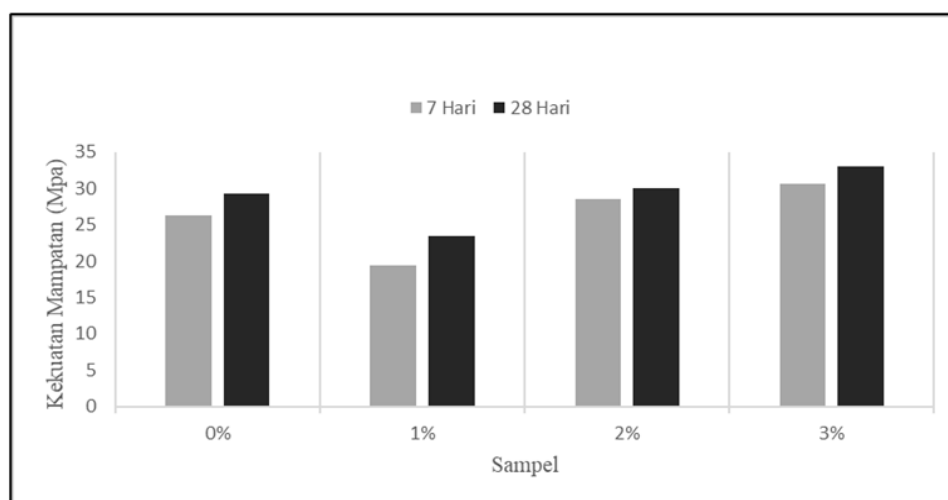
Dalam kajian ini, berdasarkan gred konkrit 30 MPa, kekuatan yang dijangka pada hari ke-7 adalah sekitar 19.5 MPa. Adalah penting untuk diperhatikan bahawa kecuali set 1%, semua set lain melepasi ambang kekuatan 65% pada hari ke-7, menunjukkan keberkesanan tambahan sisa enapcemar Naftalena dalam memberikan impak positif dalam perkembangan kekuatan awal. Namun, adalah sama penting untuk menganalisis prestasi jangka panjang bahan-bahan tersebut. Pada hari ke-28, konkrit dijangka mencapai kekuatan yang dikehendaki, biasanya mencapai atau melebihi kekuatan cirinya.

Dalam kajian ini, semua set konkrit yang dibancuh tidak mencapai kekuatan yang dijangka pada hari ke-28, menunjukkan cabaran atau perbezaan yang berpotensi terjadi semasa prosedur pengawetan dan ujian dijalankan. Faktor-faktor seperti variasi dalam mutu kerja, kesilapan semasa penyediaan bahan, keadaan persekitaran yang kurang optimal semasa pengawetan, dan juga variasi dalam kualiti bahan mampu menyumbang kepada perbezaan ini. Walaupun tiada set yang mencapai kekuatan ciri yang diinginkan pada hari ke-28, tambahan sisa enapcemar Naftalena sebanyak 3% secara konsisten menunjukkan kekuatan purata tertinggi berbanding dengan set kawalan dan set tambahan yang lebih rendah (1% dan 2%). Set konkrit dengan tambahan sisa enapcemar Naftalena sebanyak 3% mencapai nilai kekuatan mampatan 10% berbanding set kawalan.

Penemuan ini mengukuhkan kesan positif bahan tambahan ini terhadap perkembangan kekuatan jangka panjang, mencadangkan bahawa dengan pengoptimuman dan penapisan lanjut, mencapai tahap kekuatan yang diinginkan dalam tempoh pengawetan yang ditetapkan adalah suatu yang mungkin (Wu et al. 2021; Torres et al. 2020).



RAJAH 10. Ujian mampatan terhadap sampel mortar



RAJAH 11. Ujian Mampatan terhadap sampel konkrit

KESIMPULAN

Analisis XRD terhadap komposisi kimia sisa enapcemar Naftalena menunjukkan bahawa ia mengandungi 100% disodium sulfat yang merupakan sebatian bukan organik dan tidak mengandungi unsur lain serta bebas daripada sebarang kandungan toksik atau berbahaya. Manakala, taburan saiz distribusi partikel sisa ini juga menunjukkan bahawa ia lebih halus daripada pasir. Justeru, ia diputuskan untuk digunakan sebagai bahan tambahan dalam konkrit dan bukannya penggantian separa daripada simen atau pasir. Penambahan sisa enapcemar Naftalena juga menunjukkan peningkatan dalam kebolehkeraan selari dengan peningkatan peratusan yang digunakan. Penambahan 3% sisa ini mencatatkan nilai turun sebanyak 90 mm yang merupakan nilai tertinggi berbanding sampel

kawalan iaitu 40 mm manakala 1% dan 2% menunjukkan nilai turun sebanyak 60 mm dan 70 mm masing-masing. Berdasarkan kekuatan mampatan bagi mortar dan konkrit, penambahan 3% sisa enapcemar Naftalena juga menunjukkan kekuatan mampatan tertinggi berbanding set kawalan dan set tambahan 1% dan 2%. Terdapat potensi terhadap penggunaan sisa ini kerana ia menunjukkan hasil positif dari segi kebolehkeraan dan kekuatan mampatan dalam penyelidikan ini. Penyelidikan lanjut perlu dijalankan menggunakan sisa ini untuk mengkaji kekuatan tegangan belah dan kekuatan lentur bagi menyelidik sepenuhnya keupayaannya.

Secara kesimpulan, mempertimbangkan aspek kelestarian bahan binaan semakin penting dalam amalan kejuruteraan moden. Bahan tambahan yang diperoleh daripada sisa seperti enapcemar Naftalena bukan sahaja

menawarkan manfaat teknikal tetapi juga menyumbang kepada amalan lestari dengan menggunakan semula hasil sampingan industri. Ini sejajar dengan inisiatif global ke arah prinsip ekonomi sekitar dan kecekapan sumber dalam pembinaan, serta menyumbang kepada matlamat Pembangunan Mampan Global (SDG 12) iaitu Penggunaan dan Pengeluaran yang Bertanggungjawab dengan mengurangkan penajanaan sisa dan mempromosikan prinsip ekonomi sekitar.

PENGHARGAAN

Para Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Malaysia atas sokongan kewangan dari Skim Geran Penyelidikan Fundamental (FRGS), di bawah projek FRGS/1/2023/TK01/UKM/02/2

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- Abro, F. U. R., Buller, A. S., Ali, T., Channa, I. A., Abdin, Z. U. Zaheer, S. A., 2024. Optimizing coal ash as a sustainable substitute of cement and aggregate in structural concrete. *Jurnal Kejuruteraan* 36(1): 191-198 [https://doi.org/10.17576/jkukm-2024-36\(1\)-18](https://doi.org/10.17576/jkukm-2024-36(1)-18)
- Assi, L., Carter, K., Deaver, E. (Eddie), Anay, R., & Ziehl, P. 2018. Sustainable concrete: Building a greener future. *Journal of Cleaner Production* 198: 1641–1651. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.123>
- Bamigboye, G. O., Okechukwu, U. E., Olukanni, D. O., Basse, D. E., Okorie, U. E., Adebesein, J., & Jolayemi, K. J. 2022. Effective economic combination of waste seashell and river sand as fine aggregate in green concrete. *Sustainability (Switzerland)* 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912822>
- Batayneh, M., Marie, I., & Asi, I. 2007. Use of selected waste materials in concrete mixes. *Waste Management* 27(12): 1870–1876. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.026>
- Chandra Sekar, K., Murugesan, R., Sivaraja & M., Prakash, R. 2023. Development of sustainable concrete from hypo sludge combined with basalt fibre and latex. *Sustainability (Switzerland)* 15(14). <https://doi.org/10.3390/su151410986>
- Chen, Z, Lim, L.L.G. & Yang, E.H. 2016 Ultra high performance cement-based composites incorporating low dosage of plasma synthesized carbon nanotubes *Materials & Design* 108: 479-487 <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.07.016>
- Ercan E., Andreas, L., Cwirzen, A., & Habermehl-Cwirzen, K. 2023. Wood ash as sustainable alternative raw material for the production of concrete—A review. *Materials*16(7). <https://doi.org/10.3390/ma16072557>
- Hrabova, K., Teply, B., & Vymazal, T. 2020. Sustainability assessment of concrete mixes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 444(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/444/1/012021>
- Jamaludin, A.H., Md Nor, N., Ruslan, A.K., Mat Saliah, S.N., Ahmad, N.A, Md Hassan, A.S., Fauzi, M.A. & Aziz, N.A. 2024 Structural performance evaluation of cross dapped connection for vertical wall to-wall connection of precast wall panel. *Jurnal Kejuruteraan* 36(1): 307-315 [https://doi.org/10.17576/jkukm-2024-36\(1\)-28](https://doi.org/10.17576/jkukm-2024-36(1)-28)
- Lehner, P., Hornáková, M., Pizoň, J. & Gołaszewski, J. 2022. Effect of chemical admixtures on mechanical and degradation properties of metallurgical sludge waste concrete. *Materials* 15(23). <https://doi.org/10.3390/ma15238287>
- Lim, J. L. G., Raman, S. N., Lai, F. C., Zain, M. F.M. & Hamid, R. 2018. Synthesis of nano cementitious additives from agricultural wastes for the production of sustainable concrete. *Journal of Cleaner Production* 171: 1150-1160 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.143>
- Lim, J. L. G., Too Yi Yang, Joo Brice Wei The & Kum Yung Juan. 2023. Characterisation of steel fiber reinforced concrete: Ductility and service life. *Construction* 3(2): 300-307. <https://doi.org/10.15282/construction.v3i2.10071>
- Paul, E. 2022, Influence of superplasticizer on workability and strength of ambient cured alkali activated mortar *Cleaner Materials* 6: 100152 <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100152>
- Torres, A., Federico A., Srinivas A. & Michael E. 2020. The effect of various polynaphthalene sulfonate based superplasticizers on the workability of reactive powder concrete. *Journal of Building Material Science* 02(01). <https://doi.org/10.30564/jbms.v2i1.2731>
- Wu, Y., Li, Q., Li, G., Tang, S., Niu, M. & Wu, Y. 2021. Effect of naphthalene-based superplasticizer and polycarboxylic acid superplasticizer on the properties of sulfoaluminate cement. *Materials*14(3): 662. <https://doi.org/10.3390/ma14030662>

Xin, W., Quanle, Z., Ying, L. & Li, Z. 2023. Effect of naphthalene dispersant on the hydration kinetics of cement slurry: Nuclear magnetic resonance-based investigation. 23: 587603 <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.01.031>

Yu, L., Lili, H. & Hui, D. 2019. Rheological and mechanical properties of ultra-high-performance concrete containing fine recycled concrete aggregates. *Materials* 12(22): 3717. <https://doi.org/10.3390/ma12223717>