

Kajian Penggunaan Perlite, Abu Dasar (Bottom Ash) dan Gentian Sabut Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Halus dalam Menghasilkan Nisbah Campuran Pontoon Konkrit Ringan

Mohd Fahmi Abd Razak^{1,*}, dan Siti Zuraifa Md. Sah¹

¹Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Mukah, KM 7.5, Jalan Oya 96400 Mukah, Sarawak.

Malaysia

*Corresponding author: fahmi@pmu.edu.my

Abstrak

Kajian ini dijalankan adalah untuk menghasilkan produk konkrit ringan yang boleh terapung di atas permukaan air dengan menggunakan bahan-bahan buangan seperti *Perlite* dan *Bottom Ash* atau abu dasar. Perlite ialah mineral silika yang telah mengalami pemanasan pada suhu tinggi. Proses ini telah menyebabkan mineral telah melalui proses pengembangan seperti bertih jagung. Hasil daripada proses tersebut, mineral berkenaan akan menjadi steril dan mampu menyerap air dengan banyak dan sebaliknya boleh dikeringkan dengan cepat. Sehubungan dengan itu, bahan ini mampu meningkatkan isipadu, saliran dan pengudaraan pada campuran konkrit. Abu dasar (*Bottom Ash*) adalah sisa yang terhasil daripada pembakaran arang batu dari Loji Janakuasa Elektrik. Apabila arang batu dibakar dalam dandang, kira-kira 80% hingga 90% daripada arang batu yang tidak terbakar akan menjadi Abu terbang (Fly ash) dan baki 10% - 20% akan menjadi abu dasar yang berwarna kelabu gelap, sangat ringan dan berbutir sangat mikro tetapi berliang dan berpotensi menggantikan aggregate halus dalam campuran konkrit ringan. Tujuan kajian ini adalah untuk menghasilkan konkrit ringan yang tahan dari segi kekuatan mampatan dan menghasilkan konkrit ringan yang boleh terapung dan stabil di atas permukaan air bagi penggunaan menghasilkan pontoon yang merupakan struktur konkrit terapung diperbuat daripada bahan konkrit digunakan dalam kejuruteraan pelabuhan dan pantai seperti pembinaan jeti, pembinaan struktur luar pantai, pengorekan dan kemudahan pelabuhan. Sebanyak 36 buah kiub konkrit saiz 150 mm x 150 mm x 150 mm termasuk kiub kawalan dihasilkan dalam kajian ini akan menjalankan ujian untuk 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Setiap konkrit yang dihasilkan adalah mempunyai ketumpatan yang berbeza iaitu berketumpatan kg/m³ dari 1215 kg/m³ - 1718 kg/m³. Kekuatan mampatan bagi konkrit nisbah 1:0.5:1.5 yang berketumpatan 1215 kg/m³ adalah 2.7 N/mm² dan 5.7 N/mm² pada hari ke 7 dan 28 proses pengurangan. Manakala bagi konkrit nisbah 1:1:1 yang berketumpatan 1551 kg/m³, kekuatan mampatan adalah 2.4 N/mm² dan 5.2 N/mm². Hasil daripada kajian yang dilakukan, semua kiub konkrit yang dihasilkan untuk kajian kekuatan mampatan untuk hari ke-28 didapati tidak gagal iaitu melebihi 2.5 MPa tetapi tidak memenuhi piawaian konkrit ringan iaitu 15-17 kN/mm² dengan ketumpatan tidak kurang 2000 kg/m³. Namun konkrit yang dihasilkan mampu untuk terapung di atas permukaan air dimana semakin rendah ketumpatan konkrit yang dihasilkan, semakin tinggi daya keapungan bagi konkrit tersebut dan semakin tinggi ketumpatan bancuhan konkrit, semakin tinggi nilai kekuatan mampatan yang mampu diperolehi.

Kata kunci: - konkrit ringan, bahan tambah, perlite, abu dasar, kekuatan mampatan, pontoon

1. Pengenalan

Konkrit ringan merupakan bahan binaan yang telah digunakan secara meluas dalam industri pembinaan. Dimana simen merupakan bahan utama yang bertindak sebagai bahan pengikat dalam penyediaan konkrit. Bahan binaan yang berasaskan konkrit memenuhi ciri-ciri kekuatan dan ketahanan konkrit yang lebih baik berbanding bahan binaan yang lain seperti kayu dan besi. Asas utama penyediaan konkrit ialah campuran simen, agregat halus dan air. Simen merupakan bahan utama yang bertindak sebagai pengikat antara agregat halus, manakala agregat merupakan bahan penguat dan keras yang paling banyak digunakan dalam campuran konkrit, sehingga 70% agregat

membentuk kekuatan konkrit. Air pula merupakan bahan yang bertindak balas dengan serbuk simen bagi membentuk simen terhidrat yang bersifat jelekit dan melekat. Simen akan mudah melekat pada butiran agregat dan membentuk ikatan yang padu. Proses penghidratan ini akan terus berlaku dengan kehadiran air yang bertindakbalas dengan serbuk simen. Campuran dan ikatan padu ini akan mengeras dan membentuk bahan komposit baru yang dikenali sebagai "konkrit". Penggunaan bahan-bahan tambah dan pelbagai bahan-bahan lain juga biasa digunakan dalam campuran konkrit bagi menghasilkan konkrit berkualiti tinggi atau menghasilkan konkrit berciri tertentu mengikut keperluan pengguna. Selain itu konkrit juga boleh dicampur dengan bahan tambah seperti habuk kayu,

fiber kaca, gentian kelapa dan sebagainya. Kajian dan penghasilan produk untuk sekaligus telah menghasilkan konkrit ringan yang mampu terapung pada permukaan air. Pengitaran semula bahan-bahan terbuang perlu bagi menyediakan konkrit yang mesra alam dan pengitaran semula bahan-bahan buangan seperti Perlite dan Bottom Ash dan juga gentian kelapa sebagai pengikat. Perlite adalah sumber yang tidak boleh diperbaharui dan kaca gunung berapi amorfus yang mempunyai kandungan air yang tinggi, biasanya dibentuk oleh penghidratan obsidian. Perlite adalah salah satu alternatif bagi penghasilan konkrit ringan dan menjimatkan kos. Hasil penyelidikan makmal menunjukkan bahawa abu bawah mempunyai sudut zarah dengan tekstur permukaan yang sangat berliang. Saiznya adalah antara saiz kerikil hingga pasir halus. (Abdulhameed dan Khairul, 2012). Selain itu, bahan pengikat seperti gentian sabut kelapa juga membantu dalam mengikat konkrit agar ianya lebih kukuh dan padu. Kekuatan lenturan konkrit bertetulang gentian sabut kelapa meningkat untuk 1%, 2%, 3% bagi gentian yang digunakan untuk gred M20 berbanding dengan konkrit biasa (Achudhan et al., 2018). Bottom Ash pula berkemampuan mewujudkan satu keadaan dimana ketika ia didalam relau pembakaran arang batu ia membentuk klinker dan berpegang teguh pada relau. Penambahan CBA hingga 10% sebagai bahan pengganti simen Portland dapat meningkatkan sifat mekanik konkrit, dan dengan itu, dapat digunakan dalam industri konkrit (Kurama dan Kaya, 2008).

1.1 Objektif Kajian

Kajian ini dijalankan berdasarkan objektif berikut:

- i. Mengkaji sifat kekuatan mampatan konkrit ringan dengan menggunakan Perlite dan Bottom Ash sebagai bahan menggantikan agregat halus dalam campuran dan gentian kelapa sebagai pengikat untuk konkrit ringan.
- ii. Menghasilkan konkrit ringan yang boleh terapung pada permukaan air dengan menggunakan Perlite dan Bottom Ash.

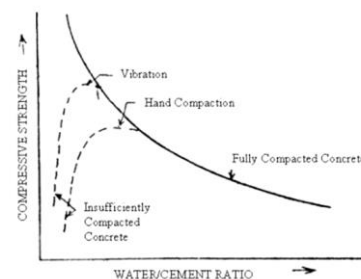
1.2 Skop Kajian

Kajian ini dijalankan untuk mengkaji perbandingan kekuatan mampatan konkrit ringan dengan menggunakan dua bahan iaitu Perlite dan Bottom Ash sebagai bahan menggantikan agregat halus di dalam konkrit ringan dan gentian kelapa sebagai pengikat. Dalam kajian ini juga, nisbah bancuhan yang digunakan adalah bancuhan konkrit kawalan nisbah 1:2, yang mewakili simen:agregat halus/pasir bagi setiap nilai dan campuran di dalam konkrit ringan dibandingkan dengan nisbah bancuhan 1:1:1 dan 1:½:1½ yang mewakili

simen:Bottom Ash:Perlite. Campuran tersebut akan diuji menggunakan Ujian Mampatan dan Ujian Pengapungan.

2. Kajian Literatur

Kekuatan konkrit adalah salah satu sifat konkrit yang penting untuk memberi gambaran yang menyeluruh berhubung dengan mutu konkrit kerana kekuatan adalah berkait terus dengan struktur adunan simen terkeras. Nisbah air-simen adalah antara faktor utama yang mengawal kekuatan konkrit. Rajah 1 menunjukkan hubungan antara kekuatan konkrit dan nisbah air-simen (Shetty, 2016). Menurut (Whitney dan Robert, 1981), bahan tambah adalah bahan yang dicampurkan ke dalam campuran konkrit biasa bertujuan untuk mengawal dan mengubahsuai kepada campuran konkrit untuk kegunaan pada struktur-struktur tertentu bergantung kepada keadaan dan keperluan yang dikehendaki.



Rajah 1: Hubungan kekuatan konkrit dan nisbah air-simen

2.1 Gentian Kelapa

Gentian kelapa diperolehi daripada sabut kelapa. Sekitar 35% dari jumlah berat buah kelapa merupakan berat sabut kelapa. Gentian kelapa mudah dierkstrak dengan hanya rendaman dalam air dan kaedah lain adalah secara mekanikal. Gentian ini dikenali sebagai bahan yang ideal kerana mesra alam dan menjadi penyelesaian kepada masalah ekologi.



Rajah 2: Gentian sabut kelapa

2.2 Perlite

Perlite adalah batuan silika yang mengalami pengembangan pada suhu tinggi kira-kira 1600 F ke atas dan menjadi sangat ringan. Ia adalah batuan yang terhasil semasa berlakunya letusan gunung

berapi yang mengalami pengembangan 13 kali ganda dari saiz asal. Perlite berwarna putih bersih. Perlite digunakan dalam media campuran untuk menggantikan pasir sungai yang agak berat.



Rajah 3: Perlite

2.3 Abu Dasar/Abu Terbang

Di antara produk yang terhasil akibat proses pembakaran arang batu ialah abu dasar 'bottom ash', abu terbang 'fly ash' dan pelbagai jenis gas. Abu dasar merupakan sisa pepejal yang telah keluar pada aliran relau dan didapati partikelnya adalah besar dan berat. Warna partikelnya adalah dari warna kelabu kepada warna kehitaman dan permukaanya kelihatan berliang.



Rajah 4: Abu terbang (fly ash)

2.4 Pontoon Konkrit

Pontoon konkrit adalah struktur konkrit terapung diperbuat daripada bahan konkrit. Pontoon digunakan dalam bidang kejuruteraan marin dan pembinaan seperti pembinaan kapal, kejuruteraan laut, pengorekan dan di kemudahan pelabuhan. Pontoon juga digunakan untuk membina sesuatu seperti jambatan pontoon dan jeti terapung.



Rajah 5: Pontoon konkrit

2.4 Daya Apungan Pontoon

Daya apungan (CB) adalah daya yang bertindak terhadap objek yang terendam dan mengarah ke atas. Daya apungan ini mengikut prinsip Archimedes dimana menyatakan apabila suatu objek direndam ke dalam bendalir sepenuhnya atau separa penuh, berat bendalir yang disasarkan itu adalah sama nilainya dengan daya apungan (titik sentroid).

$$\gamma_0 V_0 = \gamma_w V_d \quad (1)$$

Selain itu, kedudukan titik metacentre juga perlu diambil perhatian dalam memastikan pontoon dalam keadaan stabil. Ketinggian metacentre boleh di perolehi dengan persamaan (2) berikut:

$$GM = wd / W \tan \theta \quad (2)$$

3. Metodologi

Proses penghasilan sampel konkrit ringan dengan campuran yang dicadangkan telah direkabentuk. Bagi mencapai objektif kajian yang telah digariskan sebelum ini, ujian kekuatan mampatan akan dilakukan pada umur konkrit ke-7, ke-14, ke-21 dan ke-28.



Rajah 6: Prosuder penghasilan sampel konkrit

3.1 Rekabentuk Konkrit

Perbandingan kekuatan mampatan konkrit ringan dengan menggunakan dua bahan iaitu Perlite dan Bottom Ash sebagai bahan menggantikan agregat halus di dalam konkrit ringan dan gentian kelapa sebagai pengikat. Kekuatan konkrit dapat dibezakan melalui nisbah bancuhan konkrit. Dalam kajian ini, nisbah bancuhan konkrit yang digunakan ialah 1:2 yang mewakili simen:agregat halus/pasir bagi setiap nilai dan campuran di dalam konkrit ringan dibandingkan dengan nisbah bancuhan 1:1:1 dan 1:0.5:1.5 yang mewakili simen:Bottom Ash:Perlite. Nisbah air simen yang diperlukan ialah 0.65. Bancuhan konkrit adalah berdasarkan nisbah. Jadual 1 menunjukkan nisbah penggunaan bahan dalam bancuhan konkrit. Sebanyak 36 kiub konkrit dihasilkan untuk membuktikan keberkesanan kajian ini. Kiub-kiub konkrit ini akan diuji pada hari ke-7, ke-14, ke-21 dan ke-28.

Jadual 1: Nisbah bahan dalam bancuhan konkrit.

Nisbah	(Konkrit kawalan) 1:2	1:1:1	1:0.5:1.5
Air	0.65	0.65	0.65
Simen Portland	1	1	1
Aggregat Halus	2	-	-
Bottom Ash	-	1	0.5
Coconut coir	-	1	1
Perlite 1 : 18mm sieve size (MS30: Part 2 (1995))	-	1	1.5

3.2 Ujian Mampatan

Ujian kekuatan mampatan dilakukan untuk mendapatkan kekuatan sampel konkrit tersebut. Sampel yang digunakan ini adalah sampel konkrit yang telah mencapai usia 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Prosedur untuk ujian kekuatan mampatan pada kadar tekanan tertentu berdasarkan saiz konkrit.



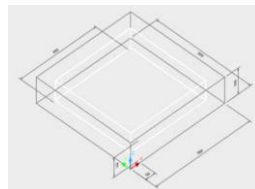
Rajah 7: Ujian kekuatan mampatan kiub konkrit

3.3 Ujian Pengapungan / Keapungan Pontoon

Untuk menguji keapungan pontoon, satu pontoon berukuran saiz 500 mm x 500 mm x 100 mm (panjang x lebar x tebal) perlu disediakan. Pontoon tersebut hendaklah terdiri daripada 50% konkrit daripada jumlah keseluruhan isipadu konkrit.



(a)



(b)

Rajah 8: (a) Ujian apungan dan, (b) saiz pontoon

4. Hasil Kajian dan Analisis

Segala keputusan ujikaji dianalisis bagi melihat perbandingan keputusan diantara ujian terhadap konkrit yang berbeza ketumpatan. Kesan perbezaan penggunaan perlite, abu terbang dan gentian sabut

kelapa pada setiap bancuhan dikaji bagi melihat faktor kekuatan mampatan setiap bancuhan. Berdasarkan kepada ujian yang telah dijalankan, keputusan dan data telah diperolehi digunakan untuk menganalisis serta mendapatkan kesimpulan berkaitan kajian dijalankan untuk memastikan objektif kajian dan matlamat kajian ini tercapai mengikut apa yang telah dirancang.

4.1 Kekuatan Mampatan Konkrit

Kekuatan mampatan konkrit menggunakan ketumpatan yang berbeza bagi 2 jenis bancuhan yang berbeza telah dibuat pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Keputusan kekuatan mampatan konkrit telah dijadualkan seperti dalam jadual 2. Setiap bancuhan mempunyai kekuatan mampatan yang berlainan setelah dikenakan beban yang maksimum yang dapat ditanggung oleh setiap kiub. Didapati pada bancuhan yang pertama yang berketumpatan 1511.1 kg/m³, mempunyai kekuatan yang lebih tinggi berbanding kiub yang lain. Mungkin ini disebabkan dengan keseimbangan bahan yang terdapat didalam campuran konkrit yang menyebabkan ianya kukuh dan kuat berbanding dengan campuran yang lain. Saiz kiub yang diuji adalah 150mm x 150mm x 150mm.

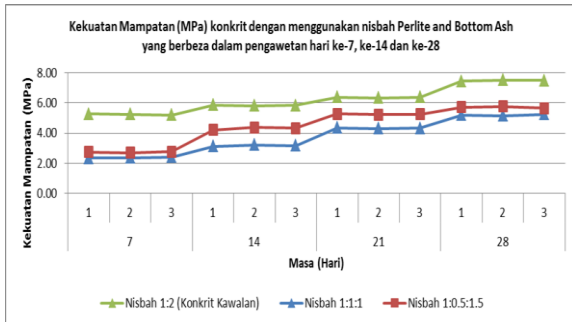
Jadual 2: Data ujian mampatan kiub ke atas konkrit.

Nisbah	Sampel	Umur (Hari)	Berat (kg)	Ketumpatan (kg/m ³)	Purata Ketumpatan (kg/m ³)	Beban (kN)	Purata Beban (kN)	Kekuatan Mampatan (MPa)	Purata Kekuatan Mampatan (MPa)
Konkrit kawalan 1:02	1	7	5.8	1718.5	1718.5	118.6	117.8	5.27	5.2
	2		5.9	1748.1		117.9		5.24	
	3		5.7	1688.9		116.8		5.19	
	1	14	5.4	1600	1619.8	131.8	131.2	5.86	5.8
	2		5.5	1629.6		130.5		5.80	
	3		5.5	1629.6		131.4		5.84	
	1	21	5.2	1540.7	1511.1	143.5	143.1	6.38	6.4
	2		5.1	1511.1		142.4		6.33	
	3		5	1481.5		143.5		6.38	
	1	28	4.3	1274.1	1264.2	167.5	168.3	7.44	7.5
	2		4.2	1244.4		169.1		7.52	
	3		4.3	1274.1		168.2		7.48	
1:01:01	1	7	5	1481.5	1481.5	52.8	53.4	2.35	2.4
	2		5.1	1511.1		53.2		2.36	
	3		4.9	1451.9		54.3		2.41	
	1	14	4.8	1422.2	1412.3	70.1	71.1	3.12	3.2
	2		4.7	1392.6		72.1		3.20	
	3		4.8	1422.2		71.1		3.16	
	1	21	4.6	1363	1343.2	97.8	97.2	4.35	4.3
	2		4.5	1333.3		96.5		4.29	
	3		4.5	1333.3		97.3		4.32	
	1	28	4.3	1274.1	1254.3	116.7	116.8	5.19	5.2
	2		4.2	1244.4		115.8		5.15	
	3		4.2	1244.4		117.9		5.24	
1:0.5:1.5	1	7	5.2	1540.7	1550.6	61.4	61.4	2.73	2.7
	2		5.3	1570.4		60.4		2.68	
	3		5.2	1540.7		62.4		2.77	
	1	14	5.1	1511.1	1530.9	94.5	96.6	4.20	4.3
	2		5.3	1570.4		98.4		4.37	
	3		5.1	1511.1		97		4.31	
	1	21	4.8	1422.2	1372.8	118.7	118.0	5.28	5.2
	2		4.5	1333.3		117.4		5.22	
	3		4.6	1363		117.9		5.24	
	1	28	4	1185.2	1214.8	128.3	128.3	5.70	5.7
	2		4.2	1244.4		129.5		5.76	
	3		4.1	1214.8		127.1		5.65	

Berdasarkan Jadual 2 dapat diperhatikan bahawa kekuatan mampatan konkrit meningkat mengikut umur. Keputusan ini telah dijangkakan kerana semakin lama pengawetan konkrit berlaku, penghidratan simen yang berlaku akan semakin lengkap sekaligus menguatkan lagi konkrit tersebut tetapi ianya perlulah mempunyai kesesuaian bahan

tambah dan bancuhan yang seimbang bagi menghasilkan konkrit yang lebih baik.

Berdasarkan penggunaan nisbah penggunaan bahan bancuhan konkrit 1:0.5:1.5 dipilih berbanding nisbah bancuhan konkrit 1:1:1 tersebut kurang dari segi kekuatan mampatan tetapi masih mencapai kehendak 2.5 MPa. Lebihnya penggunaan Perlite membantu dari segi pengapungan untuk digunakan dalam pontoon kerana Perlite bersifat ringan.



Rajah 9: Kekuatan mampatan (MPa) konkrit dengan menggunakan nisbah perlite dan abu dasar yang berbeza dalam pengawetan hari ke-7, ke-14 dan ke-28

4.2 Daya Apungan Pontoon

Daya apungan untuk pontoon telah di uji berdasarkan kedudukan titik pusat gravity, pusat apungan dan pusat metacenter serta berat pontoon dan isipadu air sesar.

Jadual 3: Data ujian apungan ke atas konkrit pontoon.

Nisbah / Saiz Pontoon (m)	Sampel	Umur (Hari)	Berat (kN)	Kedalaman Tenggelam, h_d (m)	Titik Pusat Apungan OB (m)	Titik Pusat Graviti OG (m)	Titik Pusat Meta GM (m)	Rumusan
1:0.5:1.5 & 0.5 x 0.5 x 0.01	1	7	0.188	0.0076	0.0038	0.0030	0.004	OB atas OG (Tidak Stabil)
	2	14	0.176	0.0071	0.0035	0.0033	0.005	OB atas OG (Tidak Stabil)
	3	21	0.158	0.0064	0.0032	0.0045	0.006	OG atas OB (Stabil)
	4	28	0.144	0.0058	0.0029	0.0050	0.007	OG atas OB (Stabil)

5. Kesimpulan

Hasil kajian mendapati, kekuatan mampatan bagi konkrit yang menggunakan bahan menggantikan agregat iaitu Perlite dan Bottom Ash tidak dapat mengatasi kekuatan mampatan bancuhan konkrit biasa disebabkan oleh bancuhan konkrit yang menggunakan Perlite dan Bottom Ash tidak mempunyai agregat kasar.

5.1 Ketumpatan Bancuhan Konkrit Ringan

Ketumpatan bancuhan yang optimum yang dipilih dalam kajian ini adalah bancuhan nisbah 1:0.5:1.5 yang mempunyai ketumpatan 1215 kg/m³ kerana kekuatan mampatan konkrit ini lebih rendah dan lebih stabil serta daya apungan yang sama berbanding dengan ketumpatan bancuhan nisbah 1:2 sebagai konkrit kawalan dan nisbah bancuhan konkrit 1:1:1. Konkrit ringan ini mempunyai kelasakan yang sederhana dan tidak mudah pecah disebabkan oleh gentian kelapa sebagai pengikat dan juga sifat Perlite yang ringan membuatkan ianya sesuai digunakan untuk pembinaan seperti pontoon, struktur dinding, blok konkrit dan penebat haba pada bumbung.



Rajah 10 : Ketumpatan perlite memberikan ketumpatan yang optimum untuk konkrit ringan

5.2 Kekuatan Mampatan Konkrit Ringan

Secara keseluruhannya, kekuatan mampatan konkrit ringan yang dihasilkan tidak memenuhi piawaian konkrit ringan iaitu 15-17 kN/mm² dengan ketumpatan tidak kurang 2000 kg/m³. Perbandingan diantara semua konkrit ringan yang telah dihasilkan, kekuatan mampatan yang paling maksimum hanya mencapai 5.7 N/mm² pada 28 hari pengawetan bagi bancuhan yang pertama, sampel yang ketiga.



Rajah 11: Bahan tambah gentian sabut kelapa membantu menambah kekuatan kiub konkrit.

5.3 Keapungan Konkrit Ringan

Daya apungan yang tinggi dan kedudukan titik metacenter yang tepat telah membolehkan konkrit pontoon terapung diatas air. Satu beban minimum 5kg dikenakan pada permukaan atas pontoon sehingga beban maksimum 5.5 kg sebelum ponton tenggelam dalam air telah direkodkan.



Rajah 12: Konkrit pontoon terapung selepas dikenakan beban 5kg

5.4 Rumusan

Keseluruhan kajian menunjukkan, semakin rendah ketumpatan pada setiap bancuhan konkrit, semakin tinggilah daya apungan bagi kiub konkrit. Tetapi semakin tinggi ketumpatan bancuhan konkrit, semakin tinggi nilai kekuatan mampatan yang mampu diperolehi pada ujian mampatan konkrit. Campuran nisbah bancuhan ini telah diuji di Concrete Pontoon Competition 2017 di Universiti Tun Hussien Onn, Johor dan berjaya melepasi semua spesifikasi yang ditetapkan oleh penganjur iatu melepasi kekuatan mampatan konkrit 2.5 Mpa dan keupayaan pontoon terapung dengan beban 5kg.

Penghargaan

Kerja penyelidikan ini di sokong sepenuhnya oleh Politeknik. Sokongan dari rakan-rakan sepasukan, rakan-rakan pensyarah serta sumbangan rakan-rakan dari industri di dahului dengan ucapan jutaan terima kasih.

Rujukan

- Abubakar, A. U., & Baharudin, K. S. (2012). Potential use of Malaysian thermal power plants coal bottom ash in construction. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 3(2), 25-37.
- Achudhan, A. M., Sankar, S. S., & Saikumar, K. (2018). Experimental study on coir fibre mixed concrete. *Int J Pure Appl Math*, 118(20), 2913-2929.
- British Standard Institution. (1881), Testing Concrete – Part 116: Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes. *BS 1881*, 1983.
- Das Gupta, N. C., Paramsivam, P., & Lee, S. L. (1979). Coir reinforced cement pastes composites. In *Conference proceedings of our world in concrete and structures* (pp. 111-116).
- Kurama, H., & Kaya, M. (2008). Usage of coal combustion bottom ash in concrete mixture. *Construction and building materials*, 22(9), 1922-1928.
- Shetty, M. S. (2016). *Concrete Technology Theory and Practice*” revised edition, S. Chand Company Limited, New Delhi.
- The Concrete Centre. (2015). *Lightweight Concrete*. Diakses September 6, 2021, daripada <https://www.concretecentre.com/Specification/Special-Concrete/lightweight-concrete.aspx>.
- Whitney, C. H., Robert, E. M. (1981). *Building Construction; Materials and Types of Construction Fifth Edition*. Wiley.