

Kajian Literatur Kesan Penggunaan abu Terbang di dalam Konkrit Padat Sendiri 2016 hingga 2021

Anies Nazira Mustaffa Kamal¹, Isham Ismail^{1*}

¹Jabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan Awam dan Alam Bina, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 86400, Parit Raja, Johor, MALAYSIA

*Corresponding Author Designation

DOI: <https://doi.org/10.30880/rtcebe.2022.03.01.145>

Received 4 July 2021; Accepted 13 December 2021; Available online 15 July 2022

Abstrak: Penggunaan semula bahan debu buangan merupakan alternatif untuk mengurangkan sisa pembuangan dari aktiviti industri, berikutan dengan peningkatan penghasilan sisa debu buangan yang mengakibatkan kesan terhadap alam sekitar. Kajian ini akan mengenalpasti jenis dan ciri debu buangan yang digunakan untuk menghasilkan konkrit padat sendiri (KPS) berdasarkan kajian literatur dan menilai kesan peratusan penggunaan bahan debu yang paling banyak digunakan untuk menghasilkan KPS. Sifat dan kesan bahan debu buangan terhadap keboleherjaan, kekuatan mampatan, kekuatan tegangan, kekuatan lenturan dan nilai *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dikenalpasti melalui sumber debu, imej SEM dan data XRF. Analisis yang digunakan adalah *Preferred Reporting of Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) untuk mendapatkan objektif kajian. Hasil dapatan kajian ini menghasilkan rumusan terhadap kesan penggunaan abu terbang di dalam KPS daripada penyelidik terdahulu dan antara cadangan kajian terhadap penyelidik akan datang adalah dengan menjalankan kajian terhadap kesan penggunaan jenis debu lain terhadap sifat konkrit segar, kekuatan dan kemeresapan konkrit.

Kata Kunci: Debu Buangan, Abu Terbang, Konkrit Padat Sendiri

Abstract: Reusing waste ash material is an alternative method to reduce waste from the industrial activities, due to the increasing waste ash material which resulting the environment. This study will identify the types and characteristics of waste ash being used in Self - Compacting Concrete (SCC) based on the literature review and evaluate the effect on the percentage of dust material which widely used to produce SCC. The properties and effects of the waste dust material on workability, compressive strength, tensile strength, flexural strength and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) values were identified based on ash sources, SEM images and XRF data. Preferred Reporting of Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) is used for literature material selection to analysis the data. The results of this study produce a summary on the effect of reusing flying ash in SCC from the previous researchers and

recommend a future study on the effect of other waste ash on the properties of fresh concrete, strength and permeability.

Keywords: Waste Dust, Fly Ash, Self Solid Concrete

1. Pengenalan

Aktiviti mengitar semula bahan debu merupakan aspek penting yang perlu diambil berat bagi mengurangkan kuantiti pembuangan sisa debu di tapak pelupusan [1]. Peningkatan bahan debu yang tidak terkawal dari sektor industri menjurus kepada ancaman terhadap alam sekitar, kesihatan penduduk setempat [2]. Termasuk kesan dan ancaman kepada lapisan atmosfera, litosfera dan hidrosfera bumi [3]. Selain itu, permintaan konkrit yang terus meningkat juga menjadi cabaran kepada peningkatan pengeluaran simen [1]. Pengeluaran simen menghasilkan pelepasan hampir satu tan karbon dioksida (CO₂) ke atmosfera dari setiap tan yang dihasilkan [4]. Antara langkah yang diambil oleh penyelidik terdahulu adalah melalui penggunaan semula bahan debu buangan dari aktiviti industri di dalam konkrit padat sendiri, sebagai bahan tambahan atau gantian simen atau agregat bagi langkah mengurangkan kesan bahan debu dan simen.

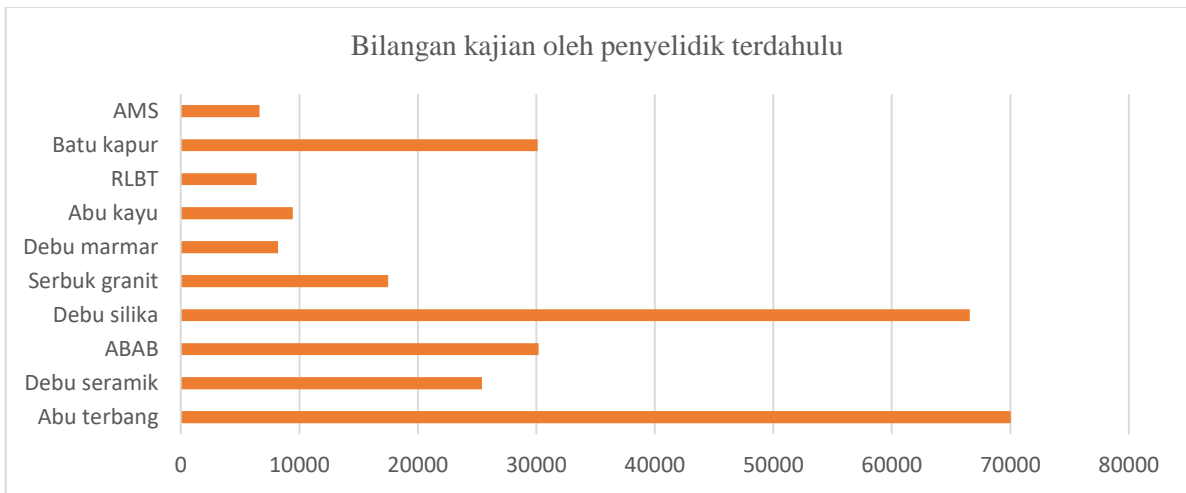
Bahan debu terdiri daripada bahan pozzolanik dan bukan pozzolanik. Kedua-dua bahan ini mempunyai ciri yang berbeza dan memberi kesan yang berbeza terhadap sifat konkrit segar, kekuatan dan ketelapan konkrit. Manakala, konkrit padat sendiri ialah konkrit yang mampu memadat tanpa menggunakan mesin pemadat konkrit, ia mudah memenuhi ruang kotak acuan yang kompleks dan mempunyai kekuatan struktur yang baik [5]. Kejelekannya yang tinggi membolehkan ia berkebolehan untuk mengekalkan ikatan campuran bancuhan konkrit semasa proses penuangan dan penghasilan produk akhir yang berkualiti, padat dan stabil [2]. Pelbagai kajian telah dijalankan oleh penyelidik terdahulu terhadap kesan penggunaan semula bahan sisa industri di dalam campuran KPS. Walau bagaimanapun, setiap kajian yang dikaji menghasilkan keputusan kajian yang berbeza berdasarkan sumber, ciri dan campuran bahan yang digunakan. Seterusnya, mengakibatkan kesukaran kepada penyelidik baharu untuk mengkaji peranan campuran bahan debu yang digunakan dengan cepat dan mudah.

Tujuan kajian ini adalah untuk menjalankan kajian literatur yang berfokuskan tentang kesan penggunaan bahan debu buangan yang paling banyak digunakan di dalam konkrit padat sendiri berdasarkan dari kajian-kajian yang telah dijalankan oleh penyelidik terdahulu. Jenis dan ciri debu buangan yang telah digunakan untuk menghasilkan konkrit padat sendiri daripada kajian penyelidik terdahulu akan ditentukan berdasarkan kajian literatur. Seterusnya, penggunaan bahan debu yang paling banyak digunakan akan dinilai terhadap kesan penggunaannya di dalam konkrit padat sendiri. Kajian ini diharap akan memudahkan pemahaman tentang kesan penggunaan bahan debu di dalam konkrit padat sendiri.

1.1 Jenis debu yang popular digunakan di dalam KPS

Pelbagai jenis bahan debu buangan yang dikitar semula penggunaannya untuk menghasilkan konkrit padat sendiri. Setiap bahan debu yang digunakan mempunyai ciri-ciri yang berbeza, bergantung kepada sumber bahan debu. Rajah 1.1 menunjukkan carta terhadap data bilangan penggunaan antara jenis debu yang digunakan oleh kajian penyelidik terdahulu. Data yang diambil adalah berdasarkan bilangan bahan literatur dari pangkalan data elektronik *ScienceDirect*.

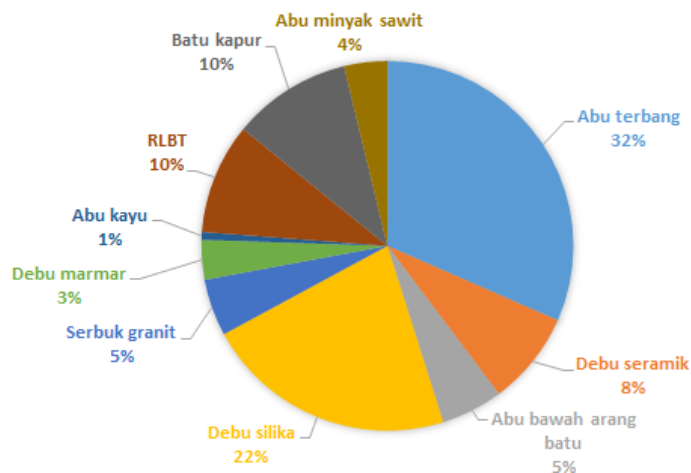
Abu terbang merupakan bahan debu yang paling banyak dikitar semula berdasarkan bilangan kajian oleh penyelidik terdahulu. Manakala debu silika ialah bahan debu kedua tertinggi yang dikaji oleh penyelidik terdahulu. Seterusnya, abu bawah arang batu, batu kapur, debu seramik, serbuk granit, abu kayu, debu marmar, abu minyak sawit dan relau letupan bebutir tanah.



Rajah 1.1: Data bilangan penggunaan debu di dalam konkrit oleh penyelidik terdahulu

1.2 Abu terbang di dalam konkrit padat sendiri

Berdasarkan data yang diambil daripada pengkalan data elektronik *ScienceDirect* seperti di Rajah 1.2, sebanyak 9055 jumlah bilangan bahan literatur yang dikaji oleh penyelidik terdahulu terhadap penggunaan bahan debu buangan di dalam KPS dari tahun 2016 hingga 2021. Sebanyak 32% abu terbang, 22% debu silika, 10% serbuk batu kapur, 10% relau letupan bebutir tanah, 8% debu seramik, 5% abu bawah arang batu, 5% serbuk granit, 4% abu minyak sawit, 3% debu marmar dan 1% abu kayu digunakan di dalam konkrit padat sendiri. Abu terbang merupakan bahan debu yang paling banyak digunakan oleh para penyelidik terdahulu untuk dijalankan kajian dan dianalisa. Manakala, debu silika merupakan bahan debu kedua yang terbanyak digunakan untuk dijalankan kajian oleh penyelidik terdahulu. Kajian ini adalah berfokuskan terhadap bahan debu buangan yang paling banyak digunakan oleh penyelidik terdahulu. Oleh itu, analisa terhadap bahan debu abu terbang dijalankan untuk menilai kesan penggunaan abu terbang di dalam konkrit padat sendiri.



Rajah 1.2: Bilangan kajian oleh penyelidik terdahulu terhadap bahan debu buangan di dalam konkrit padat sendiri

1.3 Sifat fizikal abu terbang

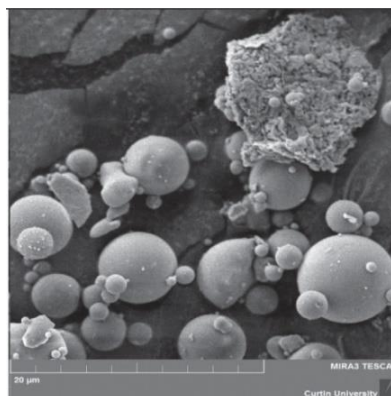
Abu terbang merupakan debu buangan yang terhasil daripada aktiviti pembakaran arang batu di stesen janakuasa termal dan berwarna kelabu gelap [6][7][8]. Peningkatan sisa abu terbang dari aktiviti industri tersebut memberi kesan terhadap peningkatan sisa di tapak pelupusan sampah dan ancaman kepada alam sekitar [9]. Abu terbang kerap digunakan sebagai bahan tambahan atau bahan gantikan simen di dalam konkrit disebabkan kelebihan penggunaannya seperti mengurangkan hampir 50% pelepasan CO₂, 15% kos penghasilan konkrit, 18% tenaga untuk bancuhan konkrit dan memberi

kelebihan terhadap prestasi konkrit [6][10]. Jadual 1.1 menunjukkan ringkasan sifat fizikal abu terbang daripada penyelidik terdahulu.

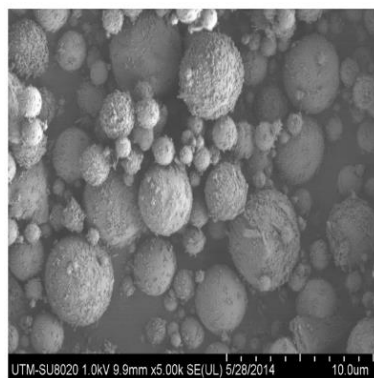
Jadual 1.1: Ringkasan sifat fizikal abu terbang daripada penyelidik terdahulu

Rujukan	Jenis	Graviti tertentu (g/cm ³)	Zarah kekal pada ayak 45µm (%)	Dia. min	Modulus Kehalusan	Ketumpatan Pukul/ Zarah (g/cm ³)	Permukaan luas (m ² /g)
[15]	Kelas F	2.40	-	-	-	-	-
[16]	-	2.40	-	-	5500	-	-
[17]	Kelas C	2.68	-	-	-	-	-
[18]	Tidak diketahui	-	-	-	-	1.08 /1.86	1.80
[19]	Kelas F	2.40	11.2	12.9	-	-	3.83
[20]	-	2.03	-	-	-	-	-
[21]	Kelas F	2.20	-	10.0	-	-	18.1
[22]	-	2.34	15	-	-	-	-

Hasil campuran abu terbang di dalam KPS sebagai bahan tambahan menghasilkan gel kalsium silikat hidrat (C-S-H) pada konkrit, bergantung kepada peratus kandungan abu terbang dalam bancuhan KPS dan tempoh pengawetan. Imej SEM bentuk abu terbang yang lebih jelas dapat dilihat di Rajah 1.3 dan Rajah 1.4. Abu terbang membentuk rupa kristal dan permukaan bulat yang halus tanpa ruang udara [25][19]. Menurut Ting, Rahman & Lau [26], penghasilan bentuk sedemikian adalah disebabkan oleh abu terbang masih berada pada tahap awal penghidratan.



Rajah 1.3: Imej SEM Abu Terbang [19]



Rajah 1.4: Imej SEM Abu Terbang [25]

1.4 Komposisi kimia abu terbang

Berdasarkan Jadual 1.2, abu terbang terdiri daripada kategori kelas F dan kelas C. Abu terbang kelas C (AT-C) merupakan abu yang terhasil daripada pembakaran arang batu sub-bitumen dan abu terbang kelas F (AT-F) ialah abu yang terhasil daripada pembakaran batu bara bitumen. Spesifikasi komposisi kimia ASTM C618-12a digunakan untuk mengkategorikan kelas abu terbang. Abu terbang kelas C mengandungi kandungan kalsium yang tinggi melebihi 24% dan karbon kurang daripada 2%. Manakala AT-F mengandungi kandungan kalsium yang rendah dan karbon yang kurang dari 5% [11]. Abu terbang kelas F juga dikenali sebagai abu terbang silikat atau alumino-silikat yang terdiri daripada kristal mullite dan kuarza [12][13]. Hasil campuran komposisi kimia abu terbang Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan SiO_2 bagi AT-F ialah minima 70% dan minima 50% bagi AT-C. Walau bagaimanapun, terdapat juga abu terbang yang tidak diketahui (AT-TD) kelasnya. AT-TD merupakan abu terbang yang tidak memenuhi kriteria yang terdapat di spesifikasi ASTM C618-12a dan digunakan di dalam konkrit untuk mengoptimumkan sisa abu terbang yang tidak boleh diperbaharui [14].

Jadual 1.2: Ringkasan komposisi kimia (%) abu terbang daripada penyelidik terdahulu

Rujukan	Kelas	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂
[15]	F	1.10	57.2	25.4	6.00	-	2.4	-	0.4	0.1	4.6	-
[17]	C	26.46	35.17	21.07	-	6.58	6.22	-	1.91	1.43	0.44	-
[23]	F	5.72	58.33	26.23	-	3.49	1.26	-	0.27	-	0.48	1.46
[20]	-	1.76	67.48	23.94	-	4.68	1.16	0.03	1.14	-	0.99	0.94
[24]	F	5.23	45.43	24.36	-	9.70	1.46	-	0.36	1.03	0.23	-
[21]	F	5.16	57.20	28.81	-	3.67	1.48	-	0.08	0.10	0.94	-

2. Metodologi

Kaedah kajian ini menggunakan kaedah pengumpulan dan pemilihan bahan journal berimpak tinggi dan artikel berindeks scopus yang relevan berdasarkan kaedah *Preferred Reporting of Items for Systematic Review and Meta-Analyses* (PRISMA). Bahan-bahan literatur yang relevan dinilai dan dianalisa terhadap kesan penggunaan bahan abu terbang di dalam KPS.

2.1 Pencarian bahan literatur

Pencarian bahan artikel berindeks scopus dan journal berimpak tinggi dijalankan melalui pengkalan data elektronik yang terdapat di akses luar kampus, UTHM di laman sesawang Perpustakaan Tunku Tun Aminah, UTHM. Pengkalan data elektronik *ScienceDirect* digunakan bagi proses pencarian bahan artikel dan journal yang relevan pada April 2021. Teknik pencarian artikel adalah berdasarkan kata

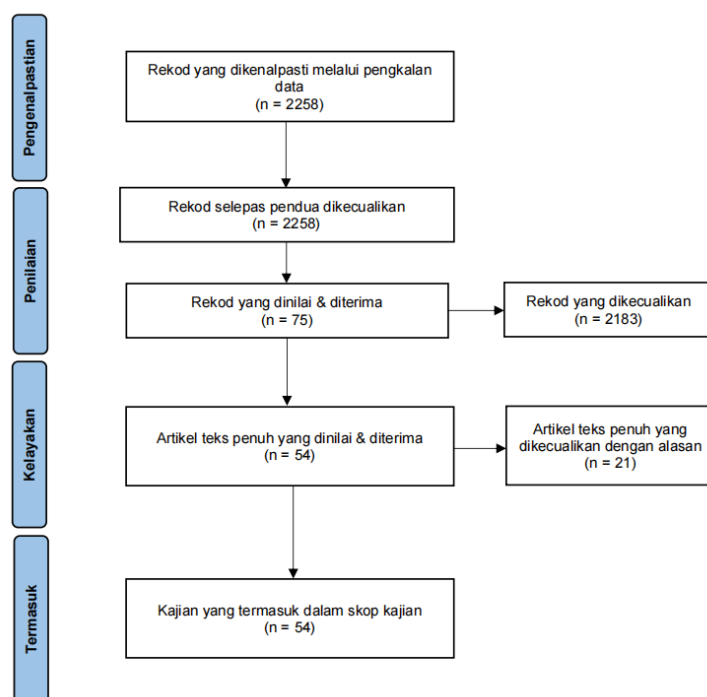
kunci, diskriptor dan pengendali Boolean. Rentetan carian untuk kajian ini ialah (*Self-Compacting Concrete OR SCC*) AND "*Fly Ash*". Kriteria tambahan yang digunakan bagi pencarian bahan adalah (a) artikel penyelidikan, (b) bahasa inggeris, (c) mempunyai akses teks penuh, (d) diterbitkan antara tahun 2016 hingga 2021. Tempoh lima tahun dipilih bagi kajian ini adalah untuk mendapatkan hasil kajian yang terkini berkaitan dengan penggunaan abu terbang di dalam konkrit padat sendiri dan kriteria (e) artikel yang merangkumi bahan debu buangan abu terbang dan konkrit padat sendiri. 2.2 Pemilihan bahan literatur

Proses pemilihan artikel dan journal yang relevan daripada hasil pencarian bahan literatur dipilih melalui kaedah PRISMA. Setiap artikel dan journal yang didapati dari pengkalan data elektronik *ScienceDirect* ditapis untuk mendapatkan bahan literatur yang relevan. Terdapat tiga proses tapisan untuk pemilihan bahan literatur yang relevan. Antaranya (a) pengecualian pendua, (b) pengecualian berdasarkan kriteria pertama seperti (i) tajuk kajian dan (ii) abstrak. Pengecualian ketiga (c) pengecualian berdasarkan dari teks penuh. Pemilihan dan tapisan bahan journal dan artikel yang relevan dijalankan secara manual di perisian *Mendeley*. Journal dan artikel yang melepasi proses tapisan, digunakan untuk kajian terhadap kesan penggunaan bahan debu abu terbang di dalam KPS.

2.2 Penilaian & analisis kesan penggunaan abu terbang di dalam KPS

Proses analisa dan penilaian terhadap abu terbang dijalankan untuk menilai kesan penggunaan abu terbang di dalam KPS. Data berkaitan peratus kandungan bahan debu abu terbang di dalam KPS dan kesan penggunaannya dinilai berdasarkan kajian penyelidik terdahulu dibandingkan berdasarkan kesan terhadap keboleherjaan, sifat kekuatan mampatan, kekuatan tegangan, kekuatan lenturan dan nilai *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV). Akhir sekali, ulasan kritikal berdasarkan analisa dan hasil kajian yang didapati daripada kajian penyelidik terdahulu dibincangkan untuk memudahkan penyelidik akan datang.

3. Hasil dan Perbincangan



Rajah 3.1: Carta alir pemilihan bahan literatur berdasarkan kaedah PRISMA

Hasil pemilihan artikel dan journal yang relevan berdasarkan kaedah PRISMA, hanya 54 bahan literatur yang melepasi tapisan. Sebanyak 2258 artikel yang dikenalpasti daripada pengkalan data

elektronik *ScienceDirect* yang melewati kelima-lima kriteria (a) artikel penyelidikan, (b) bahasa inggeris, (c) mempunyai akses penuh, (d) diterbitkan antara tahun 2016 hingga 2021 dan (e) merangkumi bahan debu buangan abu terbang dan konkrit padat sendiri untuk dimuat turun bagi pemilihan yang selanjutnya secara manual di *Mendeley*. Hasil keputusan mendapati tiada artikel yang dikeluarkan atas faktor pendua. Kemudian, sebanyak 2183 artikel dikeluarkan atas alasan tidak berfokuskan tentang abu terbang dan konkrit padat sendiri berdasarkan kriteria (i) tajuk kajian dan (ii) abstrak. Jumlah bahan literatur sebanyak 75 masih kekal untuk proses pengecualian yang seterusnya. Hasil tapisan daripada bacaan teks penuh artikel, 20 artikel yang dikecualikan dengan alasan tidak mempunyai kandungan yang berkaitan dengan abu terbang dan konkrit padat sendiri. Hasil akhir pemilihan, sebanyak 54 artikel yang relevan dipilih untuk dianalisis. Rajah 3.1 menunjukkan carta alir pemilihan bahan literatur berdasarkan kaedah PRISMA.

3.1 Keboleherjaan

Keboleherjaan konkrit adalah berdasarkan kepada sifat konkrit segar. Konkrit segar merupakan keadaan plastik konkrit yang membolehkan konkrit berubah bentuk seperti acuan. Manakala, keboleherjaan konkrit merupakan keadaan yang memudahkan konkrit untuk dicampurkan, dikendalikan dan dipadatkan [27]. Kesan keboleherjaan konkrit padat sendiri dengan peningkatan peratus sehingga 50% campuran abu terbang kelas F menghasilkan peningkatan keboleherjaan konkrit dengan mengurangkan bahan superplastik [13]. Pengurangan campuran bahan superplastik di dalam konkrit adalah untuk mengurangkan kadar hidrasi air yang tinggi di dalam campuran KPS walaupun ia berkesan untuk menjadikan gabungan KPS lebih mampat dan terhidrat sepenuhnya [28]. Manakala, peningkatan peratus kandungan abu terbang di dalam KPS mendorong kepada peningkatan keboleherjaan konkrit adalah disebabkan oleh struktur mikro zarah abu terbang yang berbentuk bulat dan mempunyai permukaan yang licin yang mampu mengurangkan geseran antara zarah [29].

Siddique, Kaur & Kunal [30], mendapati keboleherjaan KPS berkurang dengan campuran abu terbang dan bahan tambahan gentian cangkuk keluli. Ia disebabkan oleh kehadiran gentian cangkuk keluli menyekat pengaliran dan mengurangkan keboleherjaan KPS untuk memenuhi ruang kompleks dan memadat. Analisa Sua-iam & Makul [31] terhadap campuran abu terbang dan sisa alumina mengalami kemerosotan masa pengaliran konkrit dengan peningkatan abu terbang. Walau bagaimanapun, pengurangan peratus kandungan sisa alumina mendorong kepada peningkatan keboleherjaan KPS dengan pertambahan peratus abu terbang. Ia disebabkan oleh pengurangan sisa alumina membantu abu terbang untuk mengurangkan geseran antara zarah abu terbang dan sisa alumina [29].

3.2 Kekuatan mampatan

Kekuatan mampatan merupakan sifat mekanikal konkrit yang sangat penting dan mempengaruhi secara langsung kepada sifat kekuatan yang lain konkrit seperti kekuatan lenturan dan kekuatan tegangan [27]. Manikanta et, [32] mendapati kekuatan mampatan terhadap campuran 20% kandungan abu terbang dan 2%, 4% dan 6% oksida graphene pada hari ke 7, 28 dan 90 meningkat berkadar langsung. Kekuatan maksimum yang diperoleh dengan campuran 20% abu terbang dan 6% oksida graphene. Kajian Ting, Rahman & Lau [26] terhadap kekuatan mampatan KPS dengan abu terbang tanpa campuran bahan lain mendapati kekuatan mampatan bertambah baik dengan pertambahan usiannya dari hari ke 7 hingga 90. Walaubagaimanapun, pertambahan peratus kandungan abu terbang dari 30%, 40% dan 50% di dalam KPS pada hari pertama menunjukkan penurunan terhadap kekuatan mampatan konkrit. Penurunan kekuatan mampatan pada konkrit menjelaskan tindak balas pozzolanik yang perlahan disebabkan oleh kandungan komposisi kimia abu terbang kelas F yang mengandungi kalium rendah.

Perbandingan terhadap kekuatan mampatan dengan campuran abu terbang dan abu minyak sawit oleh Brabha Hari Nagaratnam et al, [19] mendapati abu terbang mempunyai kekuatan mampatan yang

lebih tinggi dari hari pertama hingga hari ke-100 berbanding dengan campuran abu minyak sawit di dalam KPS. Kekuatan mampatan yang tinggi terhasil pada campuran abu terbang di dalam KPS adalah disebabkan oleh struktur mikro abu terbang yang berbentuk sfera dan tidak berpori, membolehkan kandungan abu terbang dapat berpori membolehkan abu terbang mampu bertahan pada kekuatan mampatan yang tinggi berbanding abu minyak sawit yang mempunyai struktur yang tidak teratur dan bersudut.

3.3 Kekuatan tegangan

Kekuatan tegangan merupakan sifat asas pada konkrit yang diperlukan bagi proses merekabentuk struktur elemen konkrit yang merangkumi kesan ricihan, kilasan, pengecutan dan suhu [27]. Mehdipour et, [33] peningkatan kadar nisbah simen air dan peratus abu terbang mengakibatkan penurunan terhadap kekuatan tegangan konkrit. Manakala, kajian Chinthakunta et, [34] terhadap campuran abu terbang dan titanium oksida menghasilkan kekuatan tegangan yang maksimum dengan campuran 20% abu terbang dan 2% titanium oksida. Walaubagaimanapun, dengan pertambahan titanium oksida hingga 3% dan peratus kandungan abu terbang dari 10%, 20% dan 30% menghasilkan kekuatan tegangan yang lebih rendah. Abu terbang mempunyai struktur mikro yang berbentuk sfera, pertambahan kandungan abu terbang di dalam konkrit menghasilkan peningkatan struktur berongga pada konkrit dan menyebabkan kekuatan tegangan konkrit lemah berbanding dengan 10% kandungan abu terbang [19].

3.4 Kekuatan lenturan

Kekuatan lenturan merupakan kaedah untuk menentukan daya tarikan kekuatan konkrit dan ditentukan melalui ujian beban titik tengah atau tiga titik [27]. Kajian Rajhans, Panda & Nayak [35] terhadap abu terbang dan abu silika mendapati kekuatan lenturan konkrit meningkat dengan pertambahan usia konkrit disebabkan tindak balas pozzolanik yang menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) meningkat dari usia pada hari ke 28 hingga 56. Manakala, campuran abu terbang dan gentian cangkuk keluli turut memberikan kekuatan lenturan yang tinggi dan lebih baik dapat dihasilkan. Ia disebabkan oleh kehadiran gentian cangkuk keluli untuk menahan retakan dan mampu memindahkan beban dari satu sisi ke sisi yang lain menyebabkan kekuatan lenturan campuran abu terbang dan gentian cangkuk keluli dapat dipertingkatkan [36].

3.5 Nilai UPV

Kelajuan denyutan ultrasonik yang bergerak dalam pepejal bergantung kepada ketumpatan pepejal tersebut [37]. Jain et, [38] campuran abu terbang dengan serbuk granit menghasilkan nilai UPV yang rendah dengan peningkatan campuran bahan abu terbang dan serbuk granit. Penurunan yang berlaku disebabkan oleh struktur mikro konkrit yang berlompang dan mengakibatkan ketumpatan konkrit berkurang. Manakala campuran abu terbang dan gentian cangkuk keluli di dalam KPS menghasilkan nilai UPV yang rendah. Ia disebabkan oleh lompong yang terhasil disebabkan gentian cangkuk keluli menyebabkan kelajuan UPV yang lebih perlahan terhasil dengan pertambahan peratus kandungan gentian cangkuk keluli. Manakala kajian Sua-iam & Makul [31] mendapati nilai UPV dengan kandungan 40% abu terbang pada hari ke 91 menghasilkan nilai UPV yang tinggi berbanding dengan hari pertama pengawetan konkrit. Peningkatan nilai UPV adalah disebabkan oleh peningkatan penghasilan gel CSH yang terhasil dari tindak balas pozzolanik yang meningkat dari hari pertama hingga hari ke 91, menyebabkan konkrit lebih tumpat.

3.6 Analisis terhadap sifat segar

Keboleherjaan konkrit padat sendiri bergantung kepada peratus bahan abu terbang dalam konkrit. Peningkatan peratus abu terbang dalam KPS membantu meningkatkan keboleherjaan konkrit. Ia disebabkan oleh struktur abu terbang yang berbentuk sfera atau bulat dan mempunyai permukaan yang licin mampu mengurangkan kesan geseran antara zarah. Walau bagaimanapun, campuran abu terbang

dengan bahan debu atau bahan bukan debu yang lain yang seperti sisa alumina dan gentian cangkuk keluli, berkemungkinan bahan akan memberi kesan terhadap keboleherjaan KPS. Oleh itu, dengan mengurangkan peratus campuran bahan tambahan lain dan meningkatkan peratus bahan abu terbang, keboleherjaan konkrit dapat dipertingkatkan disebabkan kandungan zarah abu terbang yang lebih banyak dan mendominasi campuran konkrit. Selain itu, pengurangan bahan superplastik dapat mengurangkan kadar hidrasi air dan membantu kepada keboleherjaan konkrit.

3.7 Analisis terhadap sifat kekuatan

Sifat kekuatan mampatan konkrit, kekuatan lenturan dan kekuatan tegangan bergantung secara langsung antara satu sama lain [27]. Peningkatan peratus bahan abu terbang dalam konkrit padat sendiri memberi penurunan terhadap kekuatan mampatan, lenturan dan tegangan KPS disebabkan struktur mikro abu terbang yang berbentuk sfera dan memberi kesan terhadap lompong pada struktur konkrit. Semakin tinggi peratus bahan abu terbang, semakin banyak lompong yang terhasil dan memudahkan pendarahan pada konkrit berlaku. Walau bagaimanapun, peningkatan kekuatan mampatan KPS dengan abu terbang terhasil dengan pertambahan tempoh pengawetan. Ia disebabkan oleh pertambahan pembentukan C-S-H dalam konkrit dari hari pertama hingga hari terakhir ujian. Hasil daripada kajian penyelidikan terdahulu juga didapati campuran abu terbang dengan bahan lain seperti abu silika, metakaolin, abu minyak sawit, alccofine, abu sekam padi, gentian cangkuk keluli dan oksida graphene turut memberi kesan terhadap struktur kekuatan konkrit. Ia disebabkan tindak balas yang berlaku antara campuran abu terbang dan bahan lain yang berlaku pada campuran KPS.

3.8 Analisis terhadap sifat ketelapan

Peningkatan peratus abu terbang memberi penurunan terhadap nilai UPV. Disebabkan struktur mikro abu terbang berbentuk sfera, peningkatan peratus abu terbang dalam campuran konkrit padat sendiri mendorong kepada penghasilan lebih banyak lompong. Ujian kelajuan UPV adalah dipengaruhi oleh ketumpatan konkrit. Lebih tumpat konkrit, lebih tinggi nilai UPV dan kelajuan UPV terhasil. Oleh itu, semakin rendah ketelapan pada struktur konkrit, menghasilkan nilai ujian kelajuan UPV yang rendah. Manakala, campuran abu terbang dengan bahan lain menghasilkan peningkatan terhadap kelajuan UPV. Bergantung kepada hasil tindak balas antara abu terbang dan bahan tambahan pada KPS.

4. Kesimpulan

Kesan penggunaan abu terbang di dalam konkrit padat sendiri mampu meningkatkan keboleherjaan konkrit, disebabkan struktur mikro abu terbang yang mampu mengurangkan kesan geseran antara zarah dan kadar penghidratan air dalam campuran KPS. Sifat kekuatan dan ketelapan abu terbang di dalam KPS menurun dengan peningkatan peratus bahan abu terbang. Walau bagaimanapun, peningkatan kekuatan dan ketelapan KPS dapat diperhatikan melalui campuran abu terbang dengan bahan lain, bergantung kepada ciri dan sifat bahan tambahan tersebut. Ia disebabkan setiap bahan tambahan mempunyai ciri yang berbeza. Oleh tindak balas bahan tambahan dengan campuran abu terbang turut berbeza.

Akhir sekali, peningkatan usia pengawetan menghasilkan peningkatan ikatan C-S-H dalam konkrit yang membantu untuk meningkatkan ketumpatan dan mengurangkan lompong pada struktur konkrit. Hasil daripada kajian mendapati hasil tindak balas bahan pozzolanik membantu konkrit untuk mencapai peningkatan sifat kekuatan dan nilai UPV yang maksimum dengan peningkatan tempoh pengawetan konkrit. Hasil kajian ini mendapati penggunaan abu terbang di dalam konkrit padat sendiri memberi kelebihan terhadap keboleherjaan, kekuatan dan ketelapan KPS bergantung kepada tempoh pengawetan, peratus kandungan abu terbang dan jenis bahan tambahan lain yang dicampurkan sekali di dalam KPS dan sesuai digunakan untuk meningkatkan sifat konkrit.-

Penghargaan

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada penyelia dan sokongan dari keluarga dan rakan-rakan yang membantu secara tidak langsung untuk kajian ini.

Rujukan

- [1] S. A. Mangi, Z. A. Memon, S. H. Khahro, R. A. Memon, and A. H. Memon, "Potentiality of Industrial Waste as Supplementary Cementitious Material in Potentiality of Industrial Waste as Supplementary Cementitious Material in Concrete Production," no. October, 2020, doi: 10.15866/irece.v11i5.18779.
- [2] I. P. Sfikas and J. Engineering, "Self-compacting concrete" June, 2017.
- [3] T. E. Butt, E. Lockley, and K. O. K. Oduyemi, "Risk assessment of landfill disposal sites - State of the art," *Waste Manag.*, vol. 28, no. 6, pp. 952–964, 2008, doi: 10.1016/j.wasman.2007.05.012.
- [4] C. Meyer, "Cement & Concrete Composites The greening of the concrete industry," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 31, no. 8, pp. 601–605, 2009, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2008.12.010.
- [5] G. Lalitha, S. Tejaswini, and A. V. Rao, "Materials Today : Proceedings A detailed report on various behavioral aspects of self-compacting concrete," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.273.
- [6] B. Mahalingam, K. Nagamani, L. S. Kannan, K. Mohammed Haneefa, and A. Bahurudeen, "Assessment of hardened characteristics of raw fly ash blended self-compacting concrete," *Perspect. Sci.*, vol. 8, pp. 709–711, 2016, doi: 10.1016/j.pisc.2016.06.066.
- [7] F. A. Mustapha, A. Sulaiman, R. N. Mohamed, and S. A. Umara, "The effect of fly ash and silica fume on self-compacting high-performance concrete," *Mater. Today Proc.*, vol. 39, pp. 965–969, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.04.493.
- [8] A. Dhavamani, N. Balasundaram, and V. Karthik, "The effect of alkali-activated fly ash on the strength properties of FRSCC," *Mater. Today Proc.*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.107>.
- [9] S. Shanmugan, V. Deepak, J. Nagaraj, D. Jangir, S. Viyagula Jegan, and S. Palani, "Enhancing the use of coal-fly ash in coarse aggregates concrete," *Mater. Today Proc.*, vol. 30, pp. 174–182, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.734.
- [10] D. Suji, A. Adesina, and R. Mirdula, "Optimization of self-compacting composite composition using Taguchi-Grey relational analysis," *Materialia*, vol. 15, p. 101027, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2021.101027>.
- [11] J. Xie and O. Kayali, "Effect of superplasticiser on workability enhancement of Class F and Class C fly ash-based geopolymers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 122, pp. 36–42, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.067.
- [12] S. Dadsetan and J. Bai, "Mechanical and microstructural properties of self-compacting concrete blended with metakaolin, ground granulated blast-furnace slag and fly ash," *Constr. Build. Mater.*, vol. 146, pp. 658–667, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.158>.
- [13] H.-A. Nguyen, T.-P. Chang, J.-Y. Shih, and H. Suryadi Djayaprabha, "Enhancement of low-cement self-compacting concrete with dolomite powder," *Constr. Build. Mater.*, vol. 161, pp. 539–546, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.148>.
- [14] A. R. Esquinas, J. I. Álvarez, J. R. Jiménez, and J. M. Fernández, "Durability of self-compacting concrete made from non-conforming fly ash from coal-fired power plants," *Constr. Build. Mater.*, vol. 189, pp. 993–1006, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.056>.

- [15] R. Siddique, G. Kaur, and Kunal, “Strength and permeation properties of self-compacting concrete containing fly ash and hooked steel fibres,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 103, pp. 15–22, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.11.044.
- [16] N. Puthipad, M. Ouchi, S. Rath, and A. Attachaiyawuth, “Enhanced entrainment of fine air bubbles in self-compacting concrete with high volume of fly ash using defoaming agent for improved entrained air stability and higher aggregate content,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 144, pp. 1–12, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.049.
- [17] H. H. Alghazali and J. J. Myers, “Shear behavior of full-scale high volume fly ash-self consolidating concrete (HVFA-SCC) beams,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 157, pp. 161–171, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.061.
- [18] A. R. Esquinas, J. I. Álvarez, J. R. Jiménez, and J. M. Fernández, “Durability of self-compacting concrete made from non-conforming fly ash from coal-fired power plants,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 189, pp. 993–1006, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.056.
- [19] B. H. Nagaratnam, M. A. Mannan, M. E. Rahman, A. K. Mirasa, A. Richardson, and O. Nabinejad, “Strength and microstructural characteristics of palm oil fuel ash and fly ash as binary and ternary blends in Self-Compacting concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 202, pp. 103–120, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.12.139.
- [20] A. Duran-Herrera, J. De-León-Esquivel, D. P. Bentz, and P. Valdez-Tamez, “Self-compacting concretes using fly ash and fine limestone powder: Shrinkage and surface electrical resistivity of equivalent mortars,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 199, pp. 50–62, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.191.
- [21] G. F. Huseien and K. W. Shah, “Durability and life cycle evaluation of self-compacting concrete containing fly ash as GBFS replacement with alkali activation,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 235, p. 117458, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117458.
- [22] A. Sambangi and A. E., “Fresh and mechanical properties of SCC with fly ash and copper slag as mineral admixtures,” *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.144.
- [23] H. A. Nguyen, T. P. Chang, and J. Y. Shih, “Effects of sulfate rich solid waste activator on engineering properties and durability of modified high volume fly ash cement based SCC,” *J. Build. Eng.*, vol. 20, no. April, pp. 123–129, 2018, doi: 10.1016/j.job.2018.07.010.
- [24] Y. Zheng, L. Zhou, S. E. Taylor, and H. Ma, “Serviceability of one-way high-volume fly ash-self-compacting concrete slabs reinforced with basalt FRP bars,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 217, pp. 108–127, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.05.044.
- [25] M. Rafieizonooz, J. Mirza, M. Razman, M. Warid, and E. Khankhaje, “Investigation of coal bottom ash and fly ash in concrete as replacement for sand and cement,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 116, pp. 15–24, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.080.
- [26] T. Z. H. Ting *et al.*, “Sustainable lightweight self-compacting concrete using oil palm shell and fly ash,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 264, p. 120590, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120590>.
- [27] B. S. Thomas, S. Kumar, and H. S. Arel, “Sustainable concrete containing palm oil fuel ash as a supplementary cementitious material – A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 80, no. December, pp. 550–561, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.128.
- [28] G. Lalitha Surya Tejaswini *et al.*, “A detailed report on various behavioral aspects of self-compacting concrete,” *Mater. Today Proc.*, vol. 33, pp. 839–844, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.273>.
- [29] S. C. Gnanaraj, R. B. Chokkalingam, G. L. Thankam, and S. K. M. Pothinathan, “Durability properties of self-compacting concrete developed with fly ash and ultra fine natural steatite

- powder,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 13, pp. 431–439, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.04.074>.
- [30] R. Siddique, G. Kaur, and Kunal, “Strength and permeation properties of self-compacting concrete containing fly ash and hooked steel fibres,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 103, pp. 15–22, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.044>.
- [31] G. Sua-iam and N. Makul, “Incorporation of high-volume fly ash waste and high-volume recycled alumina waste in the production of self-consolidating concrete,” *J. Clean. Prod.*, vol. 159, pp. 194–206, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.075>.
- [32] D. Manikanta, D. P. Ravella, S. R. C. M., and J. Y. M., “Mechanical and durability characteristics of high performance self-compacting concrete containing flyash, silica fume and graphene oxide,” *Mater. Today Proc.*, vol. 43, no. xxxx, pp. 2361–2367, 2021, doi: [10.1016/j.matpr.2021.01.684](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.684).
- [33] K. Amini, I. Mehdipour, S. D. Hwang, and M. Shekarchi, “Effect of binder composition on time-dependent stability and robustness characteristics of self-consolidating mortar subjected to prolonged agitation,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 112, pp. 654–665, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.226>.
- [34] R. Chinthakunta, D. P. Ravella, M. Sri Rama Chand, and M. Janardhan Yadav, “Performance evaluation of self-compacting concrete containing fly ash, silica fume and nano titanium oxide,” *Mater. Today Proc.*, vol. 43, no. xxxx, pp. 2348–2354, 2021, doi: [10.1016/j.matpr.2021.01.681](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.681).
- [35] P. Rajhans, S. K. Panda, and S. Nayak, “Sustainability on durability of self compacting concrete from C&D waste by improving porosity and hydrated compounds: A microstructural investigation,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 174, pp. 559–575, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.137>.
- [36] K. R. Siddique, *7 - Utilization of industrial by-products and natural ashes in mortar and concrete: Development of sustainable construction materials*, Nonconvent. Woodhead Publishing, 2016.
- [37] G. Sua-iam and N. Makul, “Utilization of high volumes of unprocessed lignite-coal fly ash and rice husk ash in self-consolidating concrete,” *J. Clean. Prod.*, vol. 78, pp. 184–194, 2014, doi: [10.1016/j.jclepro.2014.04.060](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.060).
- [38] A. Jain, R. Gupta, and S. Chaudhary, “Sustainable development of self-compacting concrete by using granite waste and fly ash,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 262, p. 120516, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120516>.