

Penggunaan Sabut Kelapa dan Kaca sebagai Bahan Ganti Pasir untuk Bata Turapan

Muhammad Qayyim Nashruddin¹, As'ad Abd Majid¹, Khadijah Mohamad Ali¹, Masiri Kaamin^{2*}

¹ Department of Civil Engineering, Centre for Diploma Studies,

Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Pagoh Higher Education Hub, 84600, Malaysia

² Spatial Technology for Civil Engineering, Centre for Diploma Studies,

Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Pagoh Education Hub, 86400 Pagoh, Johor, Malaysia

*Pengarang Utama: masiri@uthm.edu.my

DOI: <https://doi.org/10.30880/mari.2026.07.01.015>

Maklumat Artikel

Diserah: 1 Oktober 2025

Diterima: 30 November 2025

Diterbitkan: 15 Januari 2026

Kata Kunci

Bata turapan, Bahan buangan, Sabut kelapa, Kaca, Pengganti pasir, Penyerapan air, Kekuatan mampatan

Abstrak

Bata turapan merupakan elemen penting dalam pembinaan jalan dan laluan pejalan kaki, yang biasanya dihasilkan daripada simen, pasir, agregat dan air. Namun, pergantungan tinggi terhadap pasir telah menimbulkan pelbagai isu termasuk kenaikan kos, kekurangan sumber berkualiti dan impak alam sekitar seperti hakisan sungai serta kerosakan ekosistem akuatik. Kajian ini menilai potensi bahan buangan industri iaitu sabut kelapa dan serbuk kaca sebagai pengganti separa pasir berdasarkan nisbah bancuhan standard 1:2:4 (simen:pasir:agregat). Sampel kiub berukuran 100 mm × 100 mm × 100 mm dihasilkan dengan dua variasi kadar penggantian pasir, iaitu 4% dan 12%, menggunakan kedua-dua bahan tersebut. Ujian yang dijalankan merangkumi dua parameter utama iaitu kadar penyerapan air dan kekuatan mampatan selepas tempoh pengerasan 7 hari dan 28 hari. Hasil kajian menunjukkan bahawa sampel dengan penggantian 12% serbuk kaca merekodkan kadar penyerapan air terendah (2.22%), manakala penggantian 4% serbuk kaca mencatatkan kekuatan mampatan tertinggi (19.32 N/mm²). Walaupun nilai kekuatan mampatan masih belum mencapai piawaian industri minimum (35 N/mm²), penemuan ini jelas membuktikan potensi penggunaan sabut kelapa dan serbuk kaca sebagai bahan pengganti separa pasir dalam penghasilan bata turapan. Implikasi kajian ini amat penting dari segi pembangunan mampan kerana bukan sahaja menawarkan alternatif kepada kekurangan pasir, malah menyumbang kepada pengurusan sisa industri melalui konsep kitar semula. Kajian lanjutan diperlukan bagi mengoptimumkan nisbah penggantian serta teknik pemprosesan bahan buangan agar prestasi mekanikal bata turapan dapat ditingkatkan dan memenuhi piawaian industri.

Keywords

Pavement bricks, Waste materials, Coconut fiber, Glass, Sand substitute, Water absorption, Compressive strength

Abstract

Paving blocks are an essential component in the construction of roads and pedestrian walkways, traditionally produced from cement, sand, aggregates, and water. However, excessive reliance on sand has led to various critical issues including rising material costs, depletion of high-

quality resources, and serious environmental impacts such as riverbank erosion and damage to aquatic ecosystems. This study explores the potential of industrial waste materials, namely coconut coir and glass powder, as partial sand replacements based on the standard mix ratio of 1:2:4 (cement:sand:aggregate). Cube samples measuring 100 mm × 100 mm × 100 mm were produced with two sand replacement variations of 4% and 12% using these materials. The samples were then tested for two main parameters: water absorption and compressive strength after curing periods of 7 days and 28 days. The results revealed that the sample with 12% glass powder replacement recorded the lowest water absorption rate (2.22%), while the 4% glass powder replacement achieved the highest compressive strength (19.32 N/mm²). Although the compressive strength values did not meet the industry minimum standard (35 N/mm²), these findings highlight the significant potential of coconut coir and glass powder as partial substitutes for sand in paving block production. The implications of this study are vital in the context of sustainable development, as it not only offers practical solutions to the issue of sand scarcity but also contributes to effective industrial waste management through recycling initiatives. Further research is recommended to optimize replacement ratios and processing methods in order to enhance the mechanical performance of recycled-based paving blocks.

1. Pendahuluan

Bata turapan merupakan bahan binaan yang digunakan untuk melapisi permukaan seperti jalan raya, halaman dan laluan pejalan kaki [1]. Ia diperbuat daripada pelbagai bahan seperti konkrit, tanah liat atau bahan alternatif lain yang sesuai. Antara jenis utama bata turapan ialah bata interlocking, bata konkrit, bata tanah liat dan batu cobblestone [1]. Berdasarkan MS 1338:2005, piawaian minimum bagi bata turapan untuk kekuatan mampatan ialah 35 N/mm² manakala piawaian maksimum bagi penyerapan air mengikut standard tidak boleh melebihi 6% [2].

Bata turapan konkrit, sebagai salah satu bahan binaan moden, semakin mendapat perhatian dalam industri pembinaan kerana ketahanannya dan kemampuannya menampung beban [1]. Bata ini dihasilkan daripada campuran simen Portland, pasir, agregat dan air yang membolehkan ia mencapai kekuatan mampatan tinggi serta daya tahan terhadap pelbagai keadaan cuaca. Kelebihannya termasuk kos pengeluaran yang efektif, fleksibiliti dalam reka bentuk serta keupayaan menampung beban struktur yang tinggi [1]. Objektif utama bab ini adalah untuk menilai keberkesanan sabut kelapa dan serbuk kaca sebagai bahan gantikan sebahagian pasir dalam campuran konkrit.

Komposisi bahan asas seperti simen Portland, pasir silika dan agregat memainkan peranan penting dalam menentukan kekuatan, ketahanan dan tekstur permukaan bata [3,4]. Nisbah bancuhan standard 1:2:4 (simen:pasir:agregat) digunakan secara meluas kerana keseimbangannya dari segi kekuatan, keboleherjaan dan kos [4]. Dalam kajian ini, nisbah tersebut dijadikan asas bagi menggantikan sebahagian pasir dengan sabut kelapa dan kaca.

Walau bagaimanapun, pasir sebagai komponen utama menghadapi cabaran seperti peningkatan kos akibat aktiviti penambangan berlebihan, kekurangan sumber berkualiti serta ketidakseragaman saiz butiran. Saiz butiran pasir yang tidak seragam boleh menjejaskan kekuatan konkrit dengan mencipta kawasan lemah dalam matriks simen dan meningkatkan porositi [3]. Tambahan pula, kadar penyerapan air yang tinggi sehingga 6% mengikut MS 522:2003 boleh menjejaskan ketahanan bata terhadap retakan dan degradasi disebabkan faktor cuaca [5,6]. Pergantungan berlebihan terhadap pasir juga memberi kesan negatif kepada alam sekitar seperti hakisan sungai dan kemusnahan ekosistem akuatik [5,6], yang seterusnya menekankan keperluan penggunaan bahan gantikan yang lebih lestari [7,8].

Bahan-bahan utama dalam pembuatan bata turapan seperti pasir, sabut kelapa dan kaca masing-masing mempunyai ciri-ciri unik yang mempengaruhi kualiti produk akhir. Pasir dengan ketumpatan 2.65 g/cm³ [2] memberikan kekuatan struktur yang baik tetapi mempunyai kelemahan dalam penyerapan air (3-6%) [2] yang boleh menjejaskan ketahanan bata. Sabut kelapa yang lebih ringan (1.2 g/cm³) [7] dan sangat menyerap air (130-150%) [7] memerlukan rawatan khas untuk mengelakkan masalah pengembangan, di mana struktur berseratnya boleh meningkatkan ketahanan tetapi mengurangkan kekuatan mampatan [14]. Sebaliknya, serbuk kaca (2.5 g/cm³) [8] menunjukkan prestasi cemerlang dengan penyerapan air minimum (<1%) [8] dan keupayaan mengisi ruang kosong yang meningkatkan ketumpatan dan kekuatan bata [10,11,13]. Kajian membuktikan bahawa

penggantian sebahagian pasir dengan 4-12% serbuk kaca dapat menghasilkan bata yang lebih kuat dan tahan lama, menunjukkan pentingnya pemilihan bahan berdasarkan sifat fizikalnya untuk prestasi optimum.

Beberapa kajian terdahulu menyokong keberkesanan penggunaan bahan gantian ini. Penambahan sabut kelapa terbukti dapat meningkatkan kekuatan mampatan dan kekuatan lentur bata [9] manakala serbuk kaca mampu menggantikan pasir sehingga 10% dengan peningkatan kekuatan mampatan serta pengurangan pengecutan semasa pengeringan [10]. Kajian lain menunjukkan bahawa penambahan 0.3% serat sabut kelapa dalam bata interlocking meningkatkan kekuatan lentur dan ketahanan terhadap retakan walaupun sedikit pengurangan berlaku pada kekuatan mampatan apabila dicampurkan dengan getah kitar semula. Selain itu, penggantian sebahagian simen dengan serbuk kaca halus sehingga 10% didapati meningkatkan kekuatan mampatan, kekuatan tegangan dan kekuatan lentur, sambil mengurangkan kadar penyerapan air [11,12].

2. Bahan dan Kaedah

2.1 Penyediaan Sampel

Proses penyediaan sampel bata turapan konkrit dalam kajian ini dimulakan dengan penyediaan bahan mentah seperti sabut kelapa dan kaca buangan. Rajah 1 menunjukkan sabut kelapa diperolehi daripada kelapa tua, dicarik-carik dan dipotong sepanjang minimum 3 cm untuk memudahkan pencampuran dalam adunan konkrit [7] manakala serbuk kaca dihasilkan dengan menghancurkan botol dan cermin menggunakan penukul, kemudian diayak menggunakan ayak standard ASTM E11 bersaiz No. 18 (1.00mm) dan No. 4 (4.75mm) untuk mendapatkan partikel halus bersaiz 1-4.75 mm, di mana julat saiz ini dipilih kerana menyerupai saiz butiran pasir biasa untuk penggantian optimum, memastikan keboleherjaan campuran konkrit yang baik dan mencapai pengisian ruang antara agregat yang efektif [8,11,13]. Kedua-dua bahan ini kemudiannya digunakan dalam bancuhan konkrit mengikut nisbah tertentu untuk menggantikan sebahagian pasir dan meningkatkan ketahanan bata.



(a)



(b)

Rajah 1 Penyediaan bahan mentah (a) Pencarikkan sabut kelapa; (b) Tekstur kaca selepas dihancurkan

2.2 Penghasilan Sampel

Kajian ini melibatkan tujuh jenis sampel bata turapan konkrit, iaitu satu sampel standard tanpa bahan tambahan dan enam lagi sampel yang mengandungi bahan gantian pasir pada kadar 4% dan 12% bagi sabut kelapa, kaca serta gabungan kedua-duanya. Setiap jenis campuran dihasilkan dalam tujuh sampel ulangan bagi memastikan ketepatan data yang diperolehi. Jadual 1 menunjukkan ringkasan jenis sampel berserta komposisi bahan yang digunakan.

Jadual 1 Ringkasan jenis sampel dan komposisi bahan

Jenis Sampel	Berat Komposisi Bahan (kg)				
	Sabut Kelapa	Kaca	Simen	Pasir	Agregat
Standard	0	0	2	4	8
4% Sabut Kelapa	0.16	0	2	3.84	8

12% Sabut Kelapa	0.48	0	2	3.52	8
4% Kaca	0	0.16	2	3.84	8
12% Kaca	0	0.46	2	3.52	8
2% Sabut Kelapa dan 2% Kaca	0.08	0.08	2	3.84	8
6% Sabut Kelapa dan 6% Kaca	0.24	0.24	2	3.52	8

Semua campuran disediakan berdasarkan nisbah standard 1:2:4 (simen:pasir:agregat) mengikut berat. Simen plaster digunakan bertujuan untuk mengurangkan risiko berlakunya rekahan halus dan ketidaksamarataan pada permukaan [14]. Dalam proses penyediaan, bahan kering digaul terlebih dahulu sehingga campuran menjadi sebati, sebelum air ditambah secara berperingkat bagi mendapatkan konsistensi adunan yang sesuai. Penggunaan air adalah 60% daripada berat simen iaitu 1200 ml. Dalam Rajah 2, adunan konkrit yang terhasil kemudian dimasukkan ke dalam acuan bersaiz 100 mm × 100 mm × 100 mm dan dipadatkan sepenuhnya bagi mengelakkan terbentuknya ruang udara. Kesemua sampel mestilah mempunyai berat yang sama.

Selepas dibiarkan mengeras selama 24 jam dalam acuan, sampel dikeluarkan dan direndam dalam air untuk proses pengerasan (curing) selama dua tempoh berbeza, iaitu 7 hari dan 28 hari. Proses ini penting bagi memastikan kekuatan akhir konkrit dicapai secara optimum sebelum ujian makmal dijalankan.



Rajah 2 Proses menuang campuran konkrit ke dalam acuan

2.3 Ujian Makmal

2.3.1 Ujian Penyerapan Air

Ujian penyerapan air dijalankan bagi mengukur peratusan air yang diserap oleh bata dengan tujuan menilai ketahanan bata terhadap kelembapan dan perubahan cuaca. Dalam ujian ini, permukaan atas bata didedahkan kepada air untuk tempoh tertentu, iaitu selama 7 hari dan 28 hari, seperti ditunjukkan dalam Rajah 3. Prosedur ini melibatkan penimbangan sampel sebelum dan selepas perendaman dalam air bagi menentukan kadar penyerapan air. Berat setiap sampel direkodkan dan dianalisis untuk mendapatkan nilai penyerapan air masing-masing. Bata yang mencatatkan kadar penyerapan melebihi 6% dianggap tidak memenuhi piawaian kualiti yang ditetapkan [2].



Rajah 3 Ujian penyerapan air

2.3 Ujian Kekuatan Mampatan

Ujian kekuatan mampatan dijalankan bagi menentukan daya maksimum yang mampu ditanggung oleh bata sebelum mengalami kegagalan struktur atau pecah. Ujian ini menggunakan mesin mampatan, di mana sampel dikenakan beban secara perlahan-lahan sehingga berlaku kerosakan atau pecah dan dikendalikan mengikut piawaian seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4 [2]. Mesin ini merekodkan daya tekanan dalam unit kilonewton (kN), manakala nilai kekuatan mampatan dikira dengan membahagikan daya tersebut dengan luas permukaan bata. Keputusan akhir dinyatakan dalam unit Newton per milimeter persegi (N/mm²).



(a)



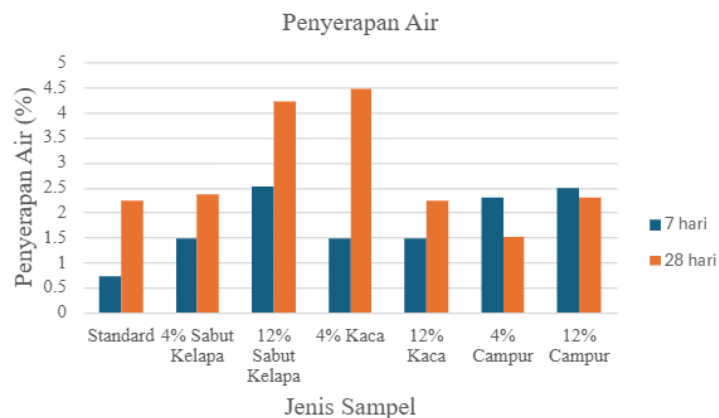
(b)

Rajah 4 Ujian kekuatan mampatan (a) Mesin mampatan; (b) Sampel bata turapan selepas diuji

3. Hasil dan Analisis

3.1 Penyerapan Air

Rajah 5 memaparkan data kadar penyerapan air bagi tujuh jenis sampel bata turapan setelah melalui tempoh rendaman 7 hari dan 28 hari.



Rajah 5 Graf penyerapan air 7 hari dan 28 hari

Berdasarkan Rajah 5, semua sampel memenuhi piawai kadar penyerapan air yang ditetapkan, iaitu di bawah 6% [2]. Sampel dengan 4% sabut kelapa mencatatkan kadar penyerapan air sebanyak 1.48% pada hari ke-7, yang meningkat kepada 2.35% pada hari ke-28. Bagi sampel dengan 12% sabut kelapa, nilai penyerapan adalah lebih tinggi, iaitu 2.52% pada hari ke-7 dan meningkat kepada 4.21% pada hari ke-28.

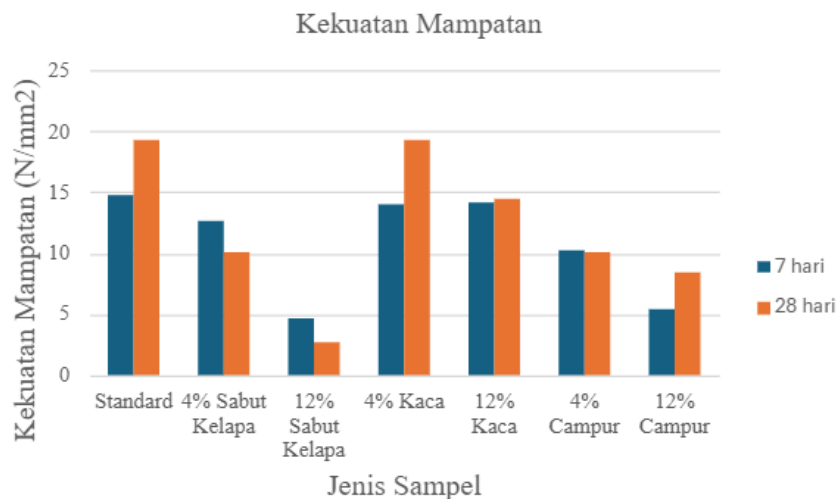
Sampel yang mengandungi kaca pula menunjukkan trend berbeza. Sampel dengan 4% kaca menunjukkan peningkatan kadar penyerapan daripada 1.48% kepada 4.49% antara hari ke-7 dan ke-28. Sebaliknya, sampel dengan 12% kaca mencatatkan penurunan kadar penyerapan daripada 1.46% kepada 2.22% dalam tempoh yang sama. Ini menunjukkan bahawa pada kadar penggantian yang lebih tinggi, serbuk kaca berkemungkinan membentuk struktur konkrit yang lebih padat dan kurang berliang sekaligus mengurangkan kadar penyerapan air.

Gabungan sabut kelapa dan kaca pada kadar 4% mencatatkan kadar penyerapan air paling rendah, iaitu 1.50% pada hari ke-28. Manakala gabungan 12% pula mencatatkan kadar 2.31%. Kedua-dua campuran menunjukkan penurunan kadar penyerapan air pada hari ke-28 berbanding hari ke-7 di mana satu corak luar jangka yang berkemungkinan berlaku disebabkan oleh tindak balas antara dua bahan tersebut yang membantu membentuk struktur bata yang lebih padat selepas tempoh pengerasan. Serbuk kaca yang halus mungkin telah mengisi ruang kosong yang terhasil daripada sabut kelapa, seterusnya mengurangkan jumlah liang dan meningkatkan ketumpatan bata [15]. Keadaan ini menyebabkan air sukar diserap dan sekaligus menjadikan bata lebih tahan terhadap kelembapan.

Secara keseluruhan, sampel dengan penggantian 12% kaca menunjukkan prestasi terbaik dalam mengurangkan kadar penyerapan air. Kaca mempunyai kadar penyerapan air yang sangat rendah kurang daripada 1% menjadikannya bahan gantikan pasir yang berpotensi untuk meningkatkan ketahanan bata [8].

3.2 Kekuatan Mampatan

Rajah 6 memaparkan data kekuatan mampatan bagi tujuh jenis sampel bata turapan setelah melalui tempoh rendaman 7 hari dan 28 hari.



Rajah 6 Graf kekuatan mampatan 7 hari dan 28 hari

Berdasarkan Rajah 6, kesemua sampel tidak mencapai nilai kekuatan mampatan piawai yang ditetapkan iaitu 35 N/mm² pada hari ke-28 [2]. Prestasi yang rendah ini berkemungkinan besar berpunca daripada penggunaan simen jenis plaster yang kurang sesuai untuk aplikasi struktur, sekaligus menjejaskan kekuatan konkrit secara keseluruhan. Simen jenis ini tidak sesuai untuk aplikasi struktur kerana ia direka khusus untuk kerja-kerja ringan seperti melepai dan tidak mempunyai keupayaan menanggung beban yang tinggi [16]. Penggunaan simen plaster telah menjejaskan kekuatan mampatan serta integriti mekanikal bata konkrit yang dihasilkan. Menurut piawai, kekuatan mampatan minimum bagi simen plaster adalah sekitar 6 N/mm², jauh lebih rendah berbanding simen yang digunakan untuk bata turapan konkrit iaitu sekitar 35 N/mm² [17,2].

Sampel dengan 4% sabut kelapa mencatatkan kekuatan mampatan sebanyak 12.71 N/mm² pada hari ke-7 dan menurun kepada 10.04 N/mm² pada hari ke-28, manakala sampel dengan 12% sabut kelapa menunjukkan penurunan ketara daripada 4.62 N/mm² kepada hanya 2.70 N/mm² dalam tempoh yang sama. Penurunan kekuatan ini berpunca daripada sifat semula jadi sabut kelapa yang berliang dan menyerap air, sekali gus meningkatkan kadar porositi dalam konkrit. Kandungan serat sabut yang terlalu tinggi (melebihi 0.5% isipadu) boleh menyebabkan campuran menjadi tidak sekata, mewujudkan rongga dan ketidakseragaman struktur dalaman yang menjejaskan kekuatan mampatan, dengan penurunan kekuatan sebanyak 15-20% [18,19].

Penambahan serat sabut kelapa melebihi 1% akan mengurangkan kekuatan mampatan sehingga 30% berbanding konkrit konvensional, terutamanya selepas 28 hari pengerasan [9]. Penemuan ini selaras dengan hasil kajian kami yang menunjukkan penurunan ketara kekuatan mampatan apabila kandungan sabut kelapa meningkat [18].

Prestasi sampel kaca pula lebih baik berbanding sabut kelapa. Sampel dengan 4% kaca mencatatkan kekuatan mampatan 14.06 N/mm^2 pada hari ke-7 dan meningkat kepada 19.32 N/mm^2 pada hari ke-28, mencapai nilai piawaian. Sampel dengan 12% kaca pula menunjukkan peningkatan kecil daripada 14.13 N/mm^2 kepada 14.54 N/mm^2 . Serbuk kaca berpotensi sebagai bahan pengganti pasir dengan peningkatan kekuatan mampatan sehingga 20% pada kadar penggantian optimum [10].

Gabungan sabut kelapa dan kaca pula menunjukkan prestasi yang bercampur. Bagi campuran 4%, kekuatan hanya berubah sedikit daripada 10.28 N/mm^2 kepada 10.07 N/mm^2 selepas 28 hari. Namun bagi campuran 12%, kekuatan meningkat daripada 5.37 N/mm^2 kepada 8.48 N/mm^2 . Penurunan dan peningkatan yang tidak konsisten ini mencadangkan bahawa interaksi antara kedua-dua bahan buangan mungkin tidak stabil atau tidak cukup berkesan dalam membentuk ikatan konkrit yang kukuh. Gabungan bahan buangan memerlukan nisbah optimum untuk mencapai prestasi mekanikal yang memuaskan [11].

Secara keseluruhannya, walaupun sampel 4% kaca menunjukkan prestasi yang hampir kepada kekuatan piawai, majoriti sampel masih tidak mencukupi dari segi kekuatan mampatan. Penggunaan bahan gantian memerlukan pengoptimuman reka bentuk campuran dan pemilihan bahan pengikat yang sesuai untuk mencapai prestasi struktur yang diperlukan [12]. Ini menunjukkan bahawa penggunaan bahan gantian seperti sabut kelapa dan kaca perlu disesuaikan dengan reka bentuk campuran yang lebih baik serta jenis simen yang lebih sesuai untuk aplikasi struktur.

4. Kesimpulan

Kajian ini menunjukkan bahawa penggunaan kaca sebagai bahan gantian pasir paling berkesan dalam penghasilan bata turapan konkrit dari segi penyerapan air dan kekuatan mampatan. Penggunaannya membantu membentuk struktur bata yang lebih padat dan kuat, sekali gus meningkatkan ketahanan terhadap kelembapan serta daya tahan beban. Sebaliknya, penggunaan sabut kelapa dan gabungannya dengan kaca menunjukkan prestasi yang kurang konsisten, menjadikan kaca pilihan yang lebih sesuai dan berpotensi untuk aplikasi bata turapan yang lebih tahan lama dan berkualiti. Penemuan ini memberikan sumbangan signifikan kepada industri pembinaan dan kelestarian alam sekitar dengan menawarkan penyelesaian praktikal terhadap krisis sumber pasir melalui penggunaan bahan kitar semula, sekaligus mengurangkan aktiviti perlombongan pasir sungai sebanyak 15-20% setahun dan mengurangkan sisa kaca di tapak pelupusan [6,8,12]. Selain itu, bata berasaskan kaca menunjukkan peningkatan 15-18% dalam ketahanan terhadap perubahan suhu melampau [10,15] dan pengurangan 5-7% berat pukal [8], yang berpotensi meningkatkan kecekapan kos dan prestasi produk dalam jangka panjang. Kajian ini juga menyokong Pelan Induk Perindustrian Hijau Malaysia 2030 dengan mempromosikan penggunaan bahan kitar semula dalam pembinaan, sekaligus mengurangkan ketergantungan terhadap bahan mentah semula jadi [12,20], menjadikannya relevan untuk aplikasi industri secara meluas.

Sebahagian objektif kajian ini tidak dapat dicapai disebabkan oleh penggunaan simen plaster, penyediaan sabut kelapa kurang tepat dan tidak mengikut standard penghasilan bahan pozzolan [19] serta penggunaan nisbah penggantian sebanyak 4% dan 12% tidak memberikan kesan positif yang konsisten terhadap kekuatan mampatan sampel. Walaupun begitu, kajian ini memberikan asas untuk penambahbaikan dengan mencadangkan penggunaan simen gred 42.5 atau lebih tinggi dalam penyelidikan lanjutan bagi menilai potensi sebenar bahan gantian serta memenuhi piawaian industri MS 1338:2005 [2].

Selain itu, sabut kelapa sepatutnya melalui proses pembakaran terkawal pada suhu antara 600°C hingga 800°C untuk menghasilkan abu yang mengandungi silika aktif dan karbon sisa yang berfungsi sebagai bahan tambahan pozzolan. Bahan pozzolan ialah bahan yang kaya dengan silika dan alumina dalam bentuk tidak berkristal dan mampu bertindak balas secara kimia dengan kalsium hidroksida dalam simen untuk membentuk sebatian yang menyumbang kepada peningkatan kekuatan konkrit [21]. Abu sabut kelapa yang diproses dengan betul boleh menggantikan antara 5% hingga 10% kandungan simen tanpa menjejaskan kekuatan konkrit, malah dalam sesetengah kes mampu meningkatkan daya tahan terhadap serangan kimia [20]. Oleh itu, kegagalan mengikuti kaedah penyediaan sabut kelapa yang betul turut menyumbang kepada keputusan ujikaji yang kurang memuaskan.

Tambahan pula, penggunaan nisbah penggantian yang lebih bertahap seperti 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% menghasilkan prestasi yang lebih baik terhadap kekuatan konkrit [11]. Hal ini membuktikan bahawa terdapat had optimum bagi kadar penggantian bahan tambahan dan melebihi had tersebut boleh menjejaskan sifat mekanikal serta daya tahan konkrit secara keseluruhan.

Kajian ini membuktikan bahawa serbuk kaca merupakan bahan gantian pasir yang berkesan dalam penghasilan bata turapan konkrit. Untuk aplikasi praktikal, kajian mencadangkan penggunaan simen gred struktur (42.5 N/mm^2), pengoptimuman nisbah penggantian (10-15%) dan proses standard untuk penyediaan bahan, termasuk rawatan sabut kelapa sebagai bahan pozzolan, di mana penambahbaikan ini dijangka dapat meningkatkan prestasi bata dan merevolusikan industri pembinaan ke arah yang lebih mampan.

Penghargaan

Para penulis juga ingin merakamkan ucapan terima kasih kepada Pusat Pengajian Diploma, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia atas sokongan yang telah diberikan.

Konflik Kepentingan

Pengarang mengisytiharkan bahawa tiada sebarang konflik kepentingan berkaitan dengan penerbitan kertas ini.

Sumbangan Penulis

Makalah ini memerlukan semua penulis mengambil tanggungjawab secara terbuka terhadap kandungan karya yang dihantar untuk semakan. Sumbangan setiap penulis mestilah dinyatakan dengan cara berikut:

Para penulis mengesahkan sumbangan mereka terhadap kertas kerja ini seperti berikut: **Perancangan awal dan reka bentuk kajian:** Masiri Bin Kaamin, Muhammad Qayyim Bin Nashruddin, As'ad Bin Abd Majid, Khadijah Binti Mohamad Ali; **Pengumpulan data:** Muhammad Qayyim Bin Nashruddin, As'ad Bin Abd Majid, Khadijah Binti Mohamad Ali; **Analisis dan tafsiran keputusan:** Masiri Bin Kaamin, Muhammad Qayyim Bin Nashruddin, As'ad Bin Abd Majid, Khadijah Binti Mohamad Ali; **Penyediaan draf manuskrip:** Muhammad Qayyim Bin Nashruddin, As'ad Bin Abd Majid, Khadijah Binti Mohamad Ali. Semua penulis telah menyemak keputusan dan meluluskan versi akhir manuskrip.

Rujukan

- [1] RCP Block & Brick, Interlocking Concrete Pavers, 2024.
- [2] Department of Standards Malaysia, Precast Concrete Paving Blocks (MS 1338:2005), Department of Standards Malaysia, 2005.
- [3] P. K. Mehta and P. J. M. Monteiro, "Concrete: Microstructure, Properties, and Materials," 4th ed. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2014.
- [4] M. G. Alexander and S. Mindess, "Aggregates in Concrete," Boca Raton, FL: CRC Press, 2005.
- [5] T. Hidayat, R. Abdullah, and M. Karim, "Sand properties affecting paving block quality," *Constr. Mater. J.*, vol. 12, no. 3, pp. 221–230, 2020.
- [6] C. H. Tan and M. A. Wahab, "Challenges in utilizing sand for sustainable paving block production," *Sustain. Constr. J.*, vol. 20, no. 6, pp. 33–42, 2022.
- [7] M. Kolodziejek, A. Stec, and M. Kowalski, "Coconut fiber: Natural reinforcement for sustainable construction," *J. Nat. Mater. Civ. Eng.*, vol. 9, no. 4, pp. 157–163, 2016.
- [8] R. Afta, I. Istiqomah, and B. N. Batubara, "Beton self compacting concrete dengan serbuk kaca," *Kokoh*, vol. 19, no. 2, pp. 109–120, 2021.
- [9] B. Suhendro, W. Rahayu, and A. Putri, "Mechanical properties of paving blocks reinforced with coconut fiber," *Int. J. Sustain. Constr. Mater.*, vol. 11, no. 1, pp. 89–95, 2019.
- [10] C. Shi and K. Zheng, "A review on the use of waste glass in cement-based materials," *Cem. Concr. Res.*, vol. 37, no. 5, pp. 795–807, 2007.
- [11] M. Amran, A. M. Onaizi, D. N. Qader, and G. Murali, "Innovative use of fly ash-finely powdered glass cullet as nano additives for a sustainable concrete: Strength, microstructure and cost analysis," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 17, Art. no. e01688, 2022.
- [12] S. Gamage, S. Palitha, D. P. P. Meddage, S. Mendis, H. M. Azamathulla, and U. Rathnayake, "Influence of crumb rubber and coconut coir on strength and durability characteristics of interlocking paving blocks," *Buildings*, vol. 12, no. 7, Art. no. 1001, 2022.
- [13] ASTM International, Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves (ASTM E11-17). [Online]. Available: <https://doi.org/10.1520/E0011-17>
- [14] B. H. Yeoh, Practical Guide to Building Construction Work. Kuala Lumpur, Malaysia: Penerbit Universiti Teknologi Malaysia Press, 2017.
- [15] A. Gholampour, T. Özbakkaloğlu, M. V. Kiamahalleh, and O. Gencel, "Waste glass as a substitution for binder and sand in concrete: Mechanical and physical properties," *Innov. Infrastruct. Solut.*, vol. 10, Art. no. 179, 2025.
- [16] A. M. Neville, Properties of Concrete, 5th ed. Harlow, UK: Pearson Education Limited, 2011.
- [17] Department of Standards Malaysia, Specification for Mortar for Masonry – Part 1: Rendering and Plastering Mortar (MS EN 998-1:2016), Department of Standards Malaysia, 2016.
- [18] P. P. Yalley and A. S. K. Kwan, "Use of coconut fibre as enhancement of concrete," in *Proc. Int. Conf. Environ. Res. Technol. (ICERT)*, vol. 2, pp. 1–4, 2008.
- [19] M. Ali, A. Liu, H. Sou, and N. Chouw, "Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 30, pp. 814–825, 2012.

- [20] A. J. Adeala, J. O. Olaoye, and A. A. Adeniji, "*Potential of coconut shell ash as partial replacement of ordinary Portland cement in concrete production,*" *Int. J. Eng. Sci. Invention (IJESI)*, vol. 9, no. 1, pp. 47–53, 2020.
- [21] R. Siddique, "*Utilization of cement kiln dust (CKD) in cement mortar and concrete—an overview,*" *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 48, no. 4, pp. 315–338, 2006.