

POTENSI ABU TEMPURUNG KELAPA DALAM KELESTARIAN KONKRIT

Hayazi Hanafi, Hamizi Yahya, Suhaini Mat Daud
Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah

Abstrak: Kajian ini menumpukan kepada potensi penggunaan abu tempurung kelapa sebagai bahan gantikan separa kepada simen dalam campuran konkrit. Tempurung kelapa, yang merupakan bahan buangan pertanian, mempunyai kekuatan mekanikal yang tinggi serta kandungan lignin dan silika yang tinggi, menjadikannya sesuai sebagai bahan binaan mampan. Melalui proses pirolisis, tempurung kelapa diubah menjadi abu yang memiliki ciri fizikal seperti konsistensi yang tinggi, kadar penyerapan air yang ketara, dan kehalusan zarah yang baik. Beberapa kajian lepas telah dianalisis, Dimana dapatan menunjukkan bahawa abu tempurung kelapa dapat meningkatkan kekuatan mampatan konkrit terutamanya selepas tempoh pengawetan 28 hari. Ujian kebolehkeraan konkrit menunjukkan penurunan nilai kemerosotan (slump) apabila kandungan abu ditambah, disebabkan kadar penyerapan air yang tinggi oleh abu tersebut. Walau bagaimanapun, peningkatan dalam kekuatan mampatan dan tegangan menunjukkan potensi penggunaan bahan ini secara lebih meluas dalam industri pembinaan, terutamanya dalam menghasilkan konkrit berprestasi tinggi yang mesra alam. Kajian ini menyokong bahawa abu tempurung kelapa boleh digunakan sebagai bahan gantikan separa simen, namun penggunaannya memerlukan kawalan optimum terhadap nisbah air dalam bancuhan konkrit bagi menjamin prestasi yang konsisten.

Kata Kunci: Tempurung Kelapa, Konkrit, Binaan Mampan, Bahan Buangan

1.0 Pengenalan

Konkrit merupakan bahan binaan utama yang digunakan secara meluas dalam industri pembinaan termasuklah dalam pembinaan bangunan, jambatan, jalan raya, dan empangan. Kelebihan seperti ketahanan, kebolehkeraan dan kos pengeluaran yang kompetitif menjadikannya pilihan utama dalam pelbagai aplikasi struktur. Walau bagaimanapun, salah satu komponen utama dalam penghasilan konkrit ialah simen, yang merupakan antara penyumbang utama kepada pelepasan gas rumah kaca. Menurut Ranatunga et al. (2023), industri simen menyumbang lebih daripada 7% daripada jumlah pelepasan karbon dioksida global, meskipun simen hanya merangkumi sekitar 10% hingga 15% daripada jumlah isipadu konkrit. Proses penghasilan simen melibatkan pembakaran batu kapur dan tanah liat pada suhu tinggi antara 1,400°C hingga 1,600 °C, sekali gus menyumbang kepada pemanasan global melalui penggunaan bahan api fosil dan tindak balas kimia semasa penghasilan klinker.

Bagi mengurangkan kesan alam sekitar yang berpunca daripada pengeluaran simen, para penyelidik dan industri pembinaan kini memberi tumpuan kepada penggunaan bahan simen tambahan (Supplementary Cementitious Materials, SCM) sebagai pengganti separa simen dalam campuran konkrit. SCM seperti abu terbang dan silika fume telah terbukti dapat meningkatkan kekuatan, ketahanan dan kebolehkeraan konkrit, di samping mengurangkan

kesan karbon. Namun begitu, bekalan SCM konvensional seperti abu terbang semakin berkurangan berikutan pengurangan penggunaan loji janakuasa arang batu di pelbagai negara. Keadaan ini menimbulkan keperluan untuk mencari alternatif SCM yang lestari, mudah diperoleh dan mesra alam.

Dalam konteks ini, bahan buangan pertanian seperti tempurung kelapa mula mendapat perhatian sebagai sumber SCM alternatif. Malaysia, seperti negara tropika lain, menghasilkan jumlah tempurung kelapa yang tinggi sebagai hasil sampingan daripada industri kelapa yang berkembang pesat. Di peringkat global, lebih daripada 50 bilion biji kelapa dituai setiap tahun, dan sekitar 85% tempurung kelapa dianggap sebagai sisa yang tidak dimanfaatkan (Ismail et al., 2017). Sisa ini lazimnya dibuang secara terbuka atau dibakar, yang bukan sahaja menyebabkan pencemaran udara dan tanah, malah menyumbang kepada pelepasan gas metana yang mempercepatkan perubahan iklim.

Abu tempurung kelapa (ATK) yang dihasilkan melalui pembakaran terkawal tempurung kelapa telah dikenalpasti mempunyai potensi tinggi sebagai bahan pengganti separa simen. ATK mengandungi komponen kimia utama seperti kalsium oksida (CaO), silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan oksida besi (Fe_2O_3), yang serupa dengan komposisi simen Portland. Kandungan silika reaktif yang tinggi dalam ATK membolehkannya bertindak balas secara pozolanik dengan kalsium hidroksida untuk membentuk gel kalsium silikat hidrat (C-S-H), yang memainkan peranan penting dalam menguatkan struktur konkrit (Ranatunga et al., 2023). Di samping itu, tempurung kelapa yang bersifat keras dan tahan lama turut menyumbang kepada peningkatan sifat mekanikal dalam konkrit apabila digunakan dalam bentuk abu.

Sehubungan itu, penggunaan ATK bukan sahaja dapat mengurangkan kebergantungan terhadap simen, malah berpotensi menyelesaikan isu pelupusan sisa pertanian yang berterusan. Pendekatan ini selari dengan matlamat kelestarian alam sekitar dan ekonomi kitar semula, sekaligus menyumbang kepada pembangunan industri pembinaan yang lebih hijau dan mampan.

2.0 Ulasan Literatur

2.1 Abu Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan salah satu bahan buangan semula jadi yang mempunyai potensi tinggi untuk dimanfaatkan dalam industri pembinaan. Ia mempunyai kekuatan mekanikal yang tinggi serta kandungan lignin yang banyak, menjadikannya tahan terhadap keadaan cuaca. Keistimewaan ini membolehkan abu tempurung kelapa digunakan sebagai bahan gantikan dalam pembuatan konkrit, selain daripada produk lain seperti bahan hiasan dan tali. Menurut kajian Kumar Nagarajan et al. (2014), tempurung kelapa juga mempunyai kandungan selulosa yang rendah, memberikan kelebihan tambahan kepada kestabilan struktur dalam jangka masa panjang.

Proses penghasilan abu tempurung kelapa dilakukan melalui proses pirolisis, iaitu penguraian bahan organik melalui pemanasan tanpa kehadiran oksigen. Tempurung kelapa mengandungi kira-kira 65–75% bahan meruap dan kelembapan yang akan dikeluarkan ketika proses pembakaran. Daripada jumlah keseluruhan jisim kering, hanya 30% akan kekal sebagai arang. Sifat ini menunjukkan keberkesanan tempurung kelapa dalam menukar struktur fizikal dan kimianya untuk menghasilkan bahan pembinaan alternatif yang lebih lestari

2.2 Kajian Terdahulu

2.2.1 Sifat Fizikal Abu Tempurung Kelapa vs Simen

Pengkaji yang lepas, Bheel et al. (2021) telah menilai keberkesanan zarah abu tempurung kelapa sebagai penguat kepada resin epoksi serta kesesuaiannya untuk menggantikan sebahagian simen dalam campuran konkrit. Hasil kajian menunjukkan bahawa abu tempurung kelapa mempunyai nilai sifat fizikal yang lebih tinggi berbanding simen.

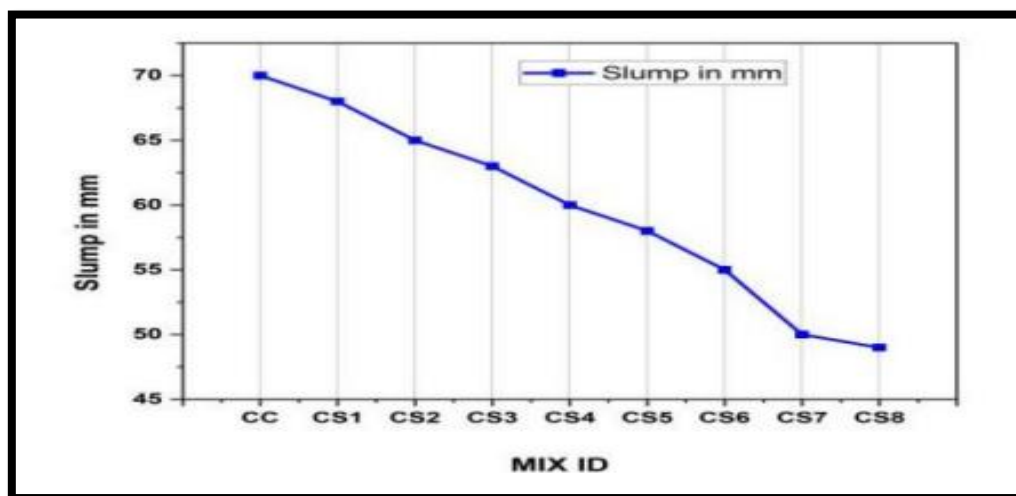
Jadual 1: Perbandingan Sifat Fizikal Simen dan Abu Tempurung Kelapa

No	Ciri-ciri	Simen	Abu Tempurung Kelapa
01	Konsistensi	34%	38%
02	Graviti Spesifik	3.15	1.33
03	Penyerapan Air	-	25%
04	Modulus Kehalusan	5%	8%

Daripada jadual 1 di atas, jelas bahawa abu tempurung kelapa mempunyai konsistensi dan modulus kehalusan yang lebih tinggi, menjadikan zarahnya lebih halus dan mudah bercampur dalam bancuhan konkrit. Namun, kadar penyerapan air yang tinggi (25%) memerlukan pengawalan rapi dalam nisbah air-semen untuk mengelak kelemahan dalam kekuatan akhir konkrit. Kajian ini menyokong potensi ATK sebagai bahan pengganti simen dari aspek fizikokimia.

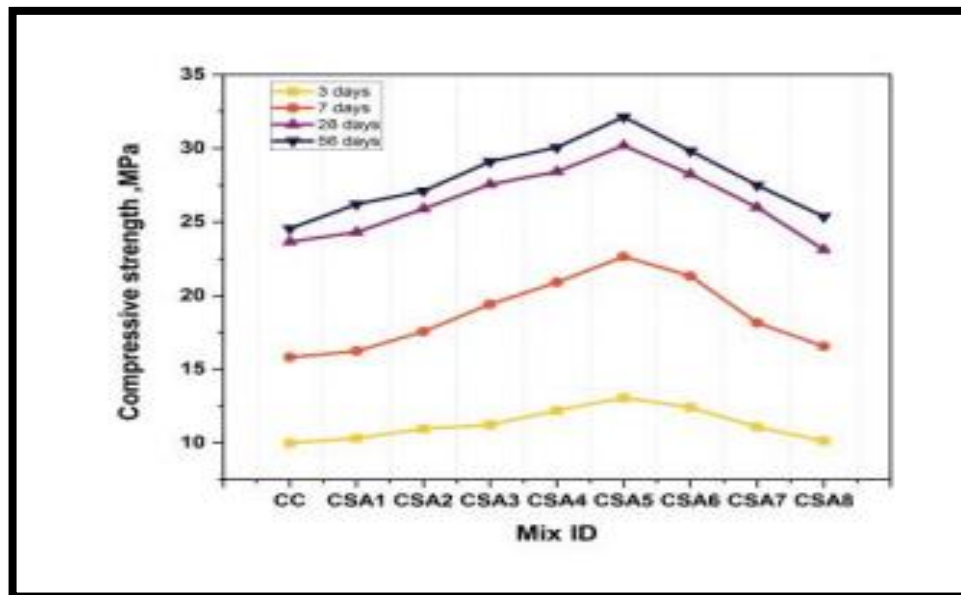
2.2.2 Kebolehkerjaan dan Kekuatan Mampatan

Kajian oleh Shanmuga Priya dan Padmanaban (2024) pula meneliti kebolehkerjaan dan kekuatan mampatan konkrit dengan pelbagai nisbah abu tempurung kelapa. Ujian kemerosotan (slump test) menunjukkan bahawa penambahan ATK menyebabkan penurunan kebolehkerjaan kerana kadar penyerapan airnya yang tinggi.



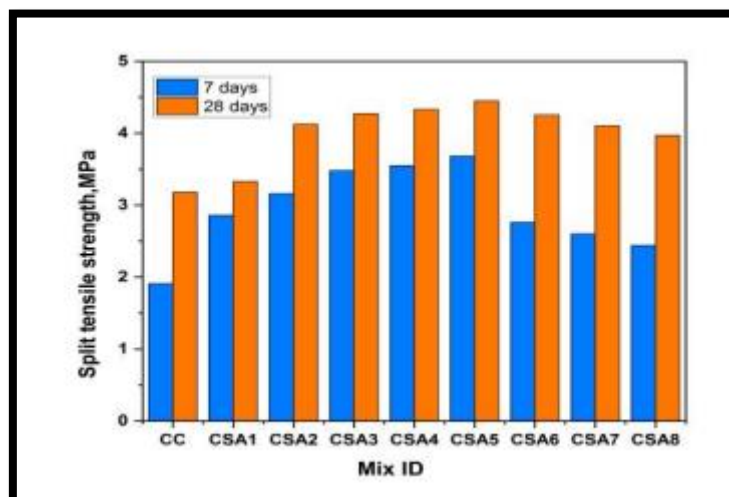
Rajah 1: Keruntuhan Konkrit Abu Tempurung Kelapa

Penurunan ini menunjukkan bahawa campuran menjadi lebih kaku dan mungkin memerlukan agen pencair atau tambahan air untuk mengekalkan keplastikan bancuhan konkrit. Dari segi kekuatan mampatan, ATK5 (5% penggantian simen dengan abu tempurung kelapa) menunjukkan prestasi yang lebih baik berbanding konkrit kawalan.



Rajah 2: Kekuatan Mampatan (MPa) vs Hari Pengawetan

Kekuatan mampatan tertinggi dicapai pada hari ke-28 dengan nilai 30.19 MPa, mengatasi konkrit kawalan. Ini membuktikan bahawa dengan pengawalan nisbah campuran yang sesuai, ATK bukan sahaja setanding malah berpotensi meningkatkan prestasi konkrit dalam tempoh jangka panjang.



Rajah 3: Graf kekuatan tegangan untuk ATK dan CC

2.2.3 Kekuatan Tegangan

Kajian yang sama turut menunjukkan peningkatan dalam kekuatan tegangan bagi campuran ATK berbanding konkrit kawalan, terutamanya selepas 28 dan 56 hari pengawetan. (Rujuk Graf 2.3 – *Kekuatan Tegangan vs Hari Pengawetan*, menunjukkan pola kenaikan kekuatan ATK mengatasi konkrit kawalan secara berperingkat).

Secara keseluruhannya, ulasan literatur menunjukkan bahawa abu tempurung kelapa mempunyai potensi besar sebagai bahan tambahan dalam campuran konkrit. Dari segi sifat fizikal, ATK menawarkan kehalusan zarah yang baik dan kandungan silika yang tinggi, menjadikannya bahan pozolanik yang berfungsi dalam memperkukuhkan struktur konkrit. Prestasi mekanikal konkrit yang mengandungi ATK juga menunjukkan peningkatan kekuatan mampatan dan tegangan, terutamanya pada peratusan penggantian yang optimum seperti 5%. Namun begitu, isu utama yang perlu diambil kira ialah kadar penyerapan air yang tinggi, yang boleh menjejaskan kebolehkeraan konkrit. Oleh itu, kawalan terhadap nisbah air-simen dan penggunaan bahan tambah seperti agen pencair adalah penting untuk memastikan kualiti campuran konkrit kekal pada tahap optimum.

Penggunaan ATK bukan sahaja memberi faedah dari segi teknikal, tetapi juga menyumbang kepada pendekatan pembinaan lestari dengan mengurangkan kebergantungan terhadap simen serta menangani isu pelupusan sisa pertanian. Maka, penyelidikan lanjut yang lebih mendalam terhadap prestasi jangka panjang dan kebolehgunaan ATK dalam skala besar amat digalakkan.

3.0 Metodologi Kajian

Bahagian ini menerangkan reka bentuk kajian dan kaedah yang digunakan untuk menilai potensi abu tempurung kelapa (ATK) sebagai bahan pengganti sebahagian simen dalam bancuhan konkrit. Kajian ini melibatkan beberapa fasa utama, termasuk penyediaan bahan, ujian kebolehkeraan konkrit (slump test), serta ujian kekuatan mampatan. Selain itu, keputusan

ujian akan dibandingkan dengan konkrit kawalan bagi menilai keberkesanan penggunaan ATK dalam aplikasi pembinaan.

3.1 Reka Bentuk Kajian

Kajian ini berbentuk eksperimen kuantitatif yang melibatkan penggantian simen dengan abu tempurung kelapa dalam nisbah berbeza iaitu 0% (kawalan), 10%, dan 40%. Kesemua sampel konkrit diuji dari segi kebolehkerjaan dan kekuatan mampatan berdasarkan tempoh pengawetan selama 7 dan 28 hari. Hasil ujian akan dianalisis dan dibandingkan dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh piawaian British Standard (BS).

3.2 Penyediaan Bahan dan Abu Tempurung Kelapa (ATK)

Tempurung kelapa diperoleh daripada pelbagai sumber termasuk kedai runcit, penjual air kelapa dan suri rumah. Proses penyediaan ATK merangkumi langkah berikut:

1. Pembersihan: Tempurung kelapa dibersihkan daripada sisa isi kelapa dan dikeringkan di bawah cahaya matahari selama tiga hari.
2. Pembakaran: Tempurung kelapa kering dibakar dalam keadaan terkawal menggunakan zink atau tong besi selama 24 jam untuk menghasilkan arang.
3. Pengisaran: Arang yang terbentuk ditumbuk atau dikisar sehingga menjadi abu halus.
4. Penapisan: Abu diayak menggunakan penapis halus untuk mendapatkan zarah yang seragam.

3.3 Penyediaan Sampel Konkrit

Sebanyak 36 sampel konkrit disediakan bagi tiga kumpulan peratus penggantian ATK (0% (kawalan), 10%, dan 40%). Bancuhan konkrit disediakan menggunakan bahan piawai iaitu simen, pasir, agregat kasar dan air, serta abu tempurung kelapa mengikut peratus penggantian dan tambahan yang ditetapkan. Prosedur bancuhan adalah seperti berikut:

- Sukatan bahan dilakukan berdasarkan nisbah tertentu secara volumetrik.

- Campuran konkrit dimasukkan ke dalam acuan kiub 150 mm × 150 mm × 150 mm, setiap lapisan dipadatkan sebanyak 35 kali menggunakan rod keluli.
- Spesimen dibiarkan mengeras selama 24 jam sebelum proses pengawetan selama 7 dan 28 hari.

3.4 Ujian Kebolehkerjaan Konkrit (Slump Test)

Ujian penurunan atau slump test dijalankan mengikut standard bagi semua sampel yang disediakan.

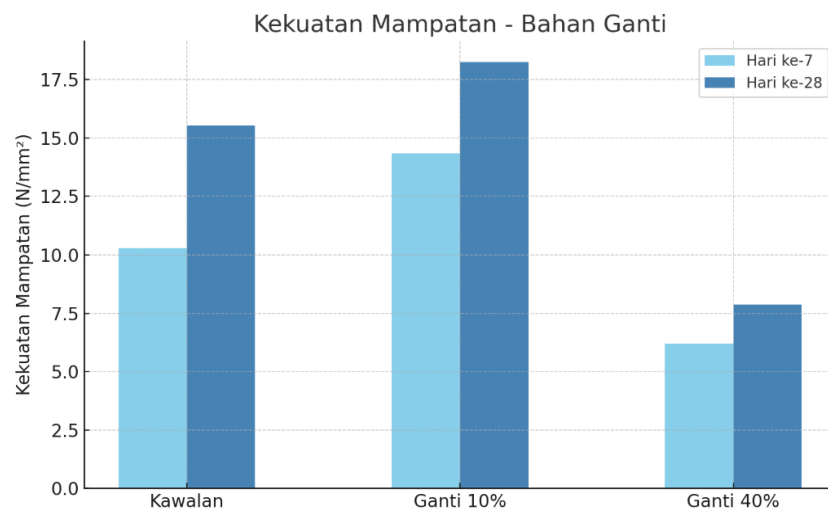
3.5 Ujian Kekuatan Mampatan

Ujian kekuatan mampatan dijalankan menggunakan mesin mampatan untuk menentukan kekuatan maksimum konkrit bagi semua sampel untuk tempoh 7 dan 28 hari. Beban maksimum direkodkan dan digunakan untuk mengira kekuatan mampatan.

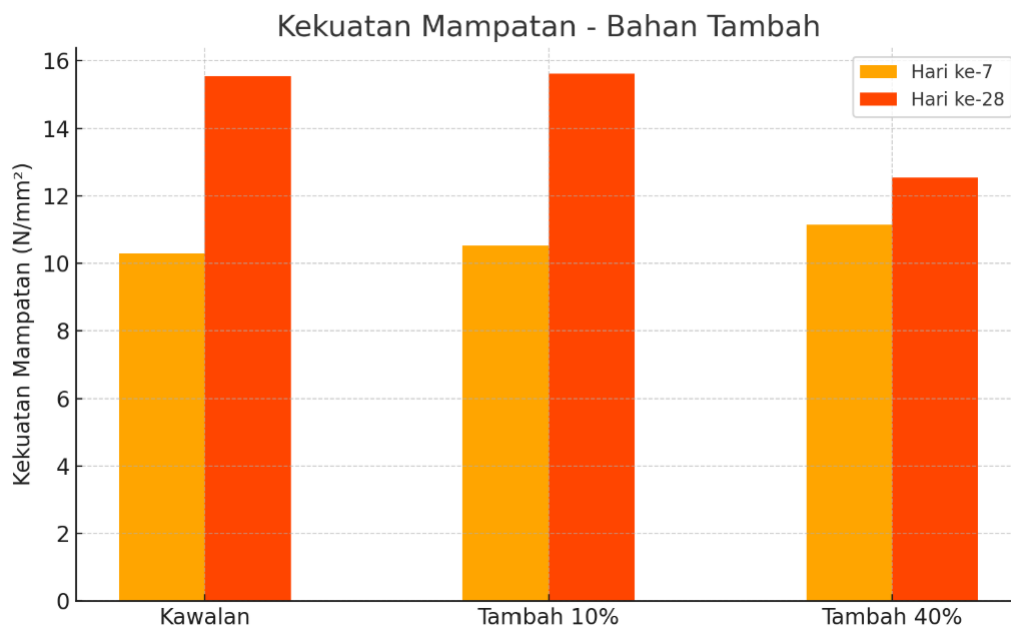
3.6 Analisis Data

Data yang diperoleh daripada ujian penurunan dan ujian mampatan akan dianalisis dan dibandingkan dengan konkrit kawalan berdasarkan piawaian BS untuk menilai kesesuaian ATK sebagai bahan pengganti simen dalam konkrit. Keputusan ujian akan membantu mengenal pasti peratusan optimum penggunaan abu tempurung kelapa yang boleh memberikan kekuatan dan kebolehkerjaan yang setanding dengan konkrit konvensional.

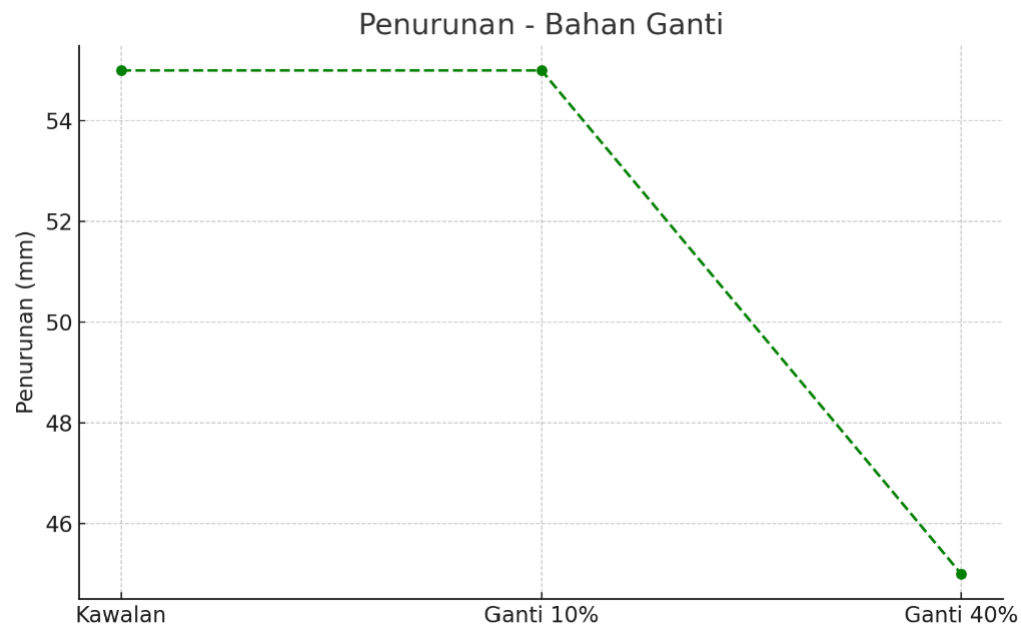
4.0 Analisis Dapatan Kajian



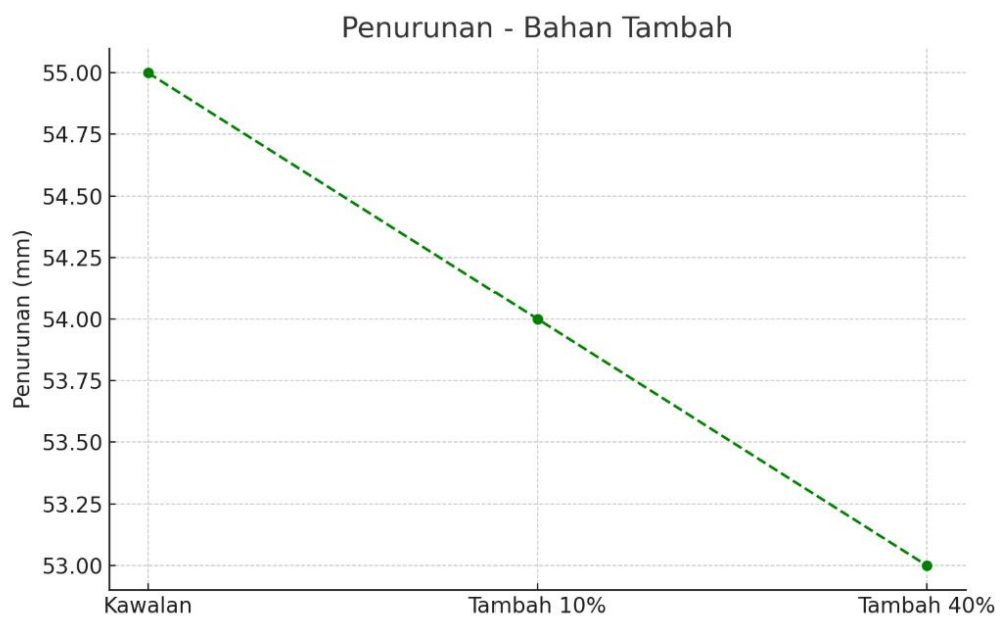
Rajah 4: Kekuatan Mampanan (Bahan Ganti)



Rajah 5: Kekuatan Mampanan (Bahan Tambah)



Rajah 6: Penurunan (BahanGanti)



Rajah 7:Penurunan (Bahan Tambah)

Penggunaan abu tempurung kelapa (ATK) sebagai bahan ganti dan bahan tambah kepada simen dalam konkrit menunjukkan bahawa kekuatan mampatan konkrit menurun apabila kandungan ATK meningkat. Namun, campuran dengan 10% ATK sebagai bahan ganti menghasilkan kekuatan tertinggi, melebihi sampel kawalan. Campuran ini memenuhi

spesifikasi dan sesuai untuk struktur ringan seperti laluan pejalan kaki, papak dan tapak asas, mengikut piawaian JKR.

5.0 Perbincangan dan Kesimpulan

Ujian makmal yang telah dijalankan melibatkan penghasilan konkrit dengan menggunakan abu tempurung kelapa (ATK) sebagai bahan ganti dan bahan tambah bagi sebahagian simen dalam bancuhan konkrit. Dua kadar peratusan digunakan dalam kajian ini, iaitu 10% dan 40% bagi kedua-dua bahan penggantian dan bahan tambahan. Prosedur pengujian dijalankan mengikut piawaian British Standard BS 5328:198, yang merangkumi ujian kekuatan mampatan dan kelecakan konkrit.

Hasil ujian menunjukkan bahawa kekuatan mampatan konkrit menurun apabila kadar penggantian atau penambahan ATK meningkat. Walau bagaimanapun, campuran konkrit dengan 10% bahan penggantian simen menghasilkan kekuatan mampatan tertinggi dalam kalangan sampel ujikaji, melebihi sampel kawalan dan campuran lain.

Secara keseluruhan, campuran konkrit yang menggunakan 10% ATK sebagai bahan pengganti sebahagian simen berjaya mencapai spesifikasi kekuatan mampatan yang ditetapkan mengikut BS 5328:198, sekali gus menjadikannya sesuai untuk aplikasi struktur ringan seperti permukaan jalan pejalan kaki, papak, tapak asas, dinding sub-struktur dan peti turap, sebagaimana disarankan dalam piawaian Jabatan Kerja Raya (JKR).

Jadual 2 menunjukkan kekuatan mampatan konkrit untuk tempoh 7 hari dan 28 hari.

Jadual 2: Kemampatan Konkrit Untuk Tempoh 7 hari Dan 28 Hari

Campuran	7 Hari (N/mm²)	28 Hari (N/mm²)
Kawalan (0%)	10.30	15.54
10% Ganti	14.33	18.25
40% Ganti	6.20	7.89
10% Tambah	10.53	15.62
40% Tambah	11.14	12.53

Kekuatan mampatan tertinggi dicatatkan oleh konkrit dengan 10% bahan penggantian (18.25 N/mm² pada hari ke-28), iaitu hampir setara dengan piawaian Gred M15 (nisbah

campuran 1:2:4). Ini menunjukkan potensi besar penggunaan ATK sebagai bahan alternatif yang mampu mengurangi kebergantungan kepada simen konvensional.

Berdasarkan keputusan dan analisis data yang diperoleh daripada ujian makmal, kajian ini membuktikan bahawa abu tempurung kelapa mempunyai potensi besar sebagai bahan ganti dan bahan tambah sebahagian simen dalam campuran konkrit. Campuran dengan 10% ATK sebagai bahan pengganti adalah paling berkesan kerana:

- Mencapai kekuatan mampatan tertinggi berbanding campuran lain.
- Mematuhi piawaian British Standard (BS 5328:198).
- Mampu digunakan dalam pembinaan struktur ringan.

Selain itu, ujian kelecakan (slump test) yang dijalankan juga menunjukkan nilai yang berada dalam julat kerja yang baik dan selari dengan piawaian JKR, menjadikan campuran konkrit ini mudah digunakan di tapak pembinaan.

Berdasarkan hasil kajian, beberapa cadangan boleh diketengahkan:

1. Kajian Lanjut – Kajian lanjutan disarankan untuk menilai ketahanan konkrit jangka panjang yang mengandungi abu tempurung kelapa terhadap faktor persekitaran seperti kelembapan, karbonasi, dan serangan kimia.
2. Penggunaan dalam Struktur Berat – Penilaian ke atas kesesuaian konkrit ATK untuk struktur berskala besar atau berat juga wajar dilakukan.
3. Gabungan dengan Bahan Tambahan Lain – Campuran ATK dengan bahan pozzolanik lain seperti abu dasar (fly ash) atau silika fume boleh diteroka untuk menambah baik prestasi mekanikal konkrit.
4. Analisis Kos dan Impak Alam Sekitar – Analisis kos efektif dan penilaian jejak karbon perlu dilaksanakan bagi menyokong penggunaan ATK secara komersial.

Kajian ini menyokong Matlamat Pembangunan Lestari (SDG) 17 – “*Partnerships for the Goals*”, dengan membuka ruang kolaborasi antara institusi penyelidikan, industri pembinaan, dan pengeluar bahan buangan pertanian seperti tempurung kelapa. Inisiatif ini bukan sahaja memanfaatkan sisa organik secara lebih produktif, malah mengurangkan kebergantungan terhadap simen, sekali gus membantu mengurangkan pelepasan karbon dalam sektor pembinaan.

REFERENCES

- Behera, S. K., Ghosh, C. N., Mishra, D. P., Mandal, P. K., Verma, A., Mohanty, S., ... & Singh, P. K. (2019). Slump Test. *Current Science*, 117(2), 235-241.
- Bheel, N., Mangi, S. A., & Lal, S. (2021). Coconut Shell Ash as Cementitious Material In Concrete: A Review. *Jurnal Kejuruteraan*, 33(1), 27-38.
- Binti Mahasan, M., & Binti Hayat, R. (2019). Keberkesanan Penggunaan Tempurung Kelapa Sawit Dalam Pembuatan Bata Simen.
- British Standards Institution., 2006
- De Shirley Terjemahan Oleh Mohammad Ismail (1992). *Pengenalan Kepada Konkrit Utm*
- Hisham, D. B. B. N. (2023). Kesan Lintel Ibs Dengan Penggantian Tempurung Kelapa Sawit Sebagai Agregat Kasar.
- Ismail, A., & Isa, N. M. Potensi Penggantian Tempurung Kelapa Sebagai Agregat Kasar Dalam Campuran Asfalt Panas.
- Nagarajan, V. K., Devi, S. A., Manohari, S. P., & Santha, M. M. (2014). Experimental Study on Partial Replacement of Cement with Coconut Shell Ash In Concrete. *International Journal of Science and Research*, 3(3), 651-661.
- Owens Pl (2007). *Kaedah Campuran Asas*. Penerbitan Palladian Ltd
- Prakash, R., Thenmozhi, R., Raman, S. N., & Subramanian, C. (2020). Characterization Of Eco-Friendly Steel Fiber-Reinforced Concrete Containing Waste Coconut Shell As Coarse Aggregates and Fly Ash as Partial Cement Replacement. *Structural Concrete*, 21(1), 437-447.
- Ranatunga, K. S., Del Rey Castillo, E., & Toma, C. L. (2023). Evaluation Of The Optimal Concrete Mix Design with Coconut Shell Ash as A Partial Cement Replacement. *Construction And Building Materials*, 401, 132978.
- Shanmuga Priya, S., & Padmanaban, I. (2024). Effect Of Coconut Shell Ash As An Additive on The Properties of Green Concrete. *Global Nest Journal*, 26, 05413.



-
- Thomas P. Fahl (2001). Prinsip Konkrit. Amerika: Penerbit Teknikal Amerikabang Yeong Lee, Taemin Kim Dan Yun Yon Kim (2010). Jurnal Konkrit Lanjutanteknologi, Jilid 8.
- Wan Mohammad, W. A. S. (2018). Campuran Abu Kulit Kupang (Perna Veridis) Sebagai Bahan Gantian Separa Simen Di Dalam Konkrit (Doctoral Dissertation, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia).