

PENILAIAN PRESTASI TERMA PANEL SILING PELAPIS BULUH SEMANTAN SEBAGAI ALTERNATIF MESRA ALAM KEPADA ASBESTOS

Nor Hazian Osman¹, Abdul Aziz Ahmad¹, Zuryani Ramli¹

¹ Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Sultan Azlan Shah, Malaysia
hazian@psas.edu.my

Abstrak: Asbestos telah lama digunakan dalam industri pembinaan sebagai bahan siling kerana sifat penebatnya yang baik. Namun, risiko kesihatan yang tinggi akibat pendedahan kepada asbestos menuntut pencarian bahan alternatif yang lebih selamat dan lestari. Kajian ini bertujuan menilai prestasi terma panel siling berasaskan pelapis buluh Semantan sebagai pengganti mesra alam kepada asbestos. Sampel panel bersaiz 100 mm × 100 mm × 10 mm telah dihasilkan menggunakan buluh Semantan dengan aplikasi resin fenol formaldehid (PF) dan salutan epoksi. Ujian kekonduksian haba menggunakan Hot Disk Thermal Constants Analyzer menunjukkan nilai purata 0.194 W/m·K, lebih rendah berbanding kekonduksian haba asbestos (0.31 W/m·K). Ujian kadar kandungan kelembapan pula mencatat purata 6.14%, iaitu dalam julat selamat untuk bahan binaan dalaman. Hasil ini menunjukkan bahawa panel siling buluh Semantan bukan sahaja berpotensi sebagai bahan penebat terma yang cekap, malah menyumbang ke arah pembangunan bahan binaan hijau yang lebih selamat, mapan dan sesuai untuk aplikasi di iklim tropika.

Kata Kunci: Buluh Semantan, Panel siling, Kekonduksian haba, Kelembapan, Bahan binaan hijau.

1.0 Pengenalan

Keperluan terhadap bahan binaan lestari semakin mendesak ekoran kesan negatif penggunaan asbestos dalam industri siling. Kajian semasa menunjukkan bahawa pendedahan kepada asbestos boleh menyebabkan penyakit respiratori yang serius seperti mesothelioma dan kanser paru-paru. Menurut Kamal (2025), walaupun asbestos telah diharamkan dalam projek kerajaan sejak 1999, penggunaannya masih berleluasa dalam sektor swasta di Malaysia, termasuk dalam produk seperti papan siling dan atap. Risiko kesihatan ini bukan sahaja menjejaskan pekerja, tetapi juga komuniti sekitar. Oleh itu, penggantian asbestos dengan bahan alternatif yang selamat dan mesra alam menjadi keperluan mendesak.

Di Malaysia, buluh Semantan (*Gigantochloa scortechinii*) muncul sebagai calon utama pengganti asbestos kerana sifatnya yang boleh diperbaharui, kekuatan mekanikal yang tinggi, dan mesra alam. Potensi buluh sebagai bahan binaan alternatif semakin mendapat perhatian, namun aplikasinya sebagai panel siling penebat haba masih kurang diterokai. Kajian ini bertujuan menilai prestasi panel siling pelapis buluh Semantan sebagai alternatif kepada asbestos dari aspek penebatan haba. Pendekatan ini selari dengan matlamat pembangunan mampan yang menekankan penggunaan sumber tempatan. Dapatan kajian diharap dapat menyokong peralihan industri ke arah bahan binaan hijau, khususnya di iklim tropika seperti Malaysia. Kajian ini juga dijangka memberikan asas saintifik untuk aplikasi komersial buluh dalam sektor pembinaan, sekali gus mengurangkan kebergantungan terhadap bahan berbahaya seperti asbestos (Kamal, 2025; Kottek & Yuen, 2021).

1.2 Objektif Kajian

Kajian ini dijalankan untuk mencapai objektif-objektif berikut dalam penghasilan panel siling laminat buluh Semantan:

- i. Menentukan nilai kekonduksian haba panel siling laminat buluh Semantan.
- ii. Membandingkan prestasi terma panel buluh dengan siling asbestos konvensional.
- iii. Mengkaji potensi aplikasi panel buluh sebagai bahan penebat haba alternatif dalam pembinaan

1.3 Skop Kajian

Kajian ini memfokuskan kepada penghasilan dan penilaian panel siling berasaskan buluh Semantan (*Gigantochloa scortechinii*) sebagai alternatif kepada siling asbestos konvensional. Bahan utama yang digunakan ialah buluh Semantan, resin *fenol formaldehid* (PF) sebagai pelekat, dan epoksi sebagai pelapis. Buluh diperoleh daripada kawasan Banjaran Titiwangsa, manakala resin PF dan epoksi dibekalkan oleh pembekal kimia industri. Panel dihasilkan dengan melekatkan kepingan buluh bersaiz 25 mm × 300 mm menggunakan resin PF, kemudian dilapisi epoksi untuk membentuk panel bersaiz 300 mm × 300 mm × 10 mm. Skop kajian merangkumi penghasilan panel serta ujian kekonduksian haba untuk menilai prestasi terma dan perbandingan keberkesanan dengan siling asbestos sedia ada.

2.0 Kajian Literatur

Buluh telah dikenal pasti sebagai bahan binaan mampan yang memiliki pertumbuhan pesat, kekuatan mekanikal yang tinggi, serta kebolehtahanan yang baik untuk aplikasi struktur. Kajian oleh Sharma et al. (2015) melaporkan bahawa buluh berlaminasi dan buluh komposit yang disesuaikan menunjukkan sifat mekanikal yang kompetitif, dengan kekuatan lenturan yang setanding atau melebihi kayu keras tertentu. Sementara itu, kajian oleh Rassiah et al. (2014) ke atas buluh Semantan melaporkan bahawa komposit berlaminasi buluh ini menunjukkan kekuatan lenturan tinggi dan sesuai untuk penggunaan dalam pembinaan ringan. Di Malaysia, buluh Semantan menjadi pilihan utama kerana ia boleh dituai dalam tempoh tiga hingga empat tahun dan mempunyai struktur gentian yang padat serta ketumpatan asas yang tinggi (hingga 0.95 g/cm³ pada lapisan luar), menjadikannya bahan yang sesuai sebagai alternatif lestari kepada kayu konvensional Rassiah et al. (2014). Justeru, buluh Semantan menunjukkan potensi besar sebagai bahan binaan alternatif dalam sektor pembinaan yang mementingkan kelestarian dan prestasi struktur.

Buluh Semantan menunjukkan variasi sifat fizikal bergantung kepada lokasi dan lapisan batangnya. Kajian oleh Anokye et al. (2014) menunjukkan bahawa kandungan lembapan, ketumpatan asas, dan pengecutan volum berubah mengikut kedudukan dan ketebalan lapisan. Sebagai contoh, lapisan luar mencatatkan ketumpatan asas tertinggi iaitu 0.95 g/cm³ dan pengecutan volum yang lebih rendah sebanyak 10.40%. Sebaliknya, lapisan dalam menunjukkan kandungan lembapan tertinggi iaitu 125.90% dan pengecutan volum tertinggi pada kadar 15.45%. Ciri-ciri ini memberi implikasi penting terhadap kestabilan dimensi serta prestasi terma apabila buluh digunakan sebagai bahan panel siling.

Penebatan haba yang baik memerlukan bahan dengan nilai kekonduksian haba yang rendah, lazimnya di bawah 0.25 W/mK. Bahan dengan kekonduksian rendah berupaya mengurangkan kadar pemindahan haba, sekali gus membantu mengekalkan suhu dalaman bangunan (Jelle, 2011). Komposit berasaskan buluh telah dikenal pasti sebagai salah satu bahan semula jadi yang berpotensi tinggi untuk penebatan terma kerana kekonduksian haba yang rendah serta struktur mikronya yang unik (Zhang et al., 2018). Kajian oleh Zhang et al. (2018) juga mendapati bahawa komposit gentian buluh yang diperkuat dengan epoksi menunjukkan kekonduksian haba antara 0.18–0.22 W/mK, menjadikannya sesuai untuk aplikasi dalam pembinaan yang menekankan kecekapan tenaga. Tambahan pula, struktur mikroskopik buluh yang berongga membantu memerangkap udara dan menyumbang kepada keupayaan penebatan pasif yang berkesan. Wu et al. (2021) melaporkan bahawa struktur ini juga boleh dipertingkatkan melalui rawatan tertentu, seperti rawatan beku-cair, yang turut memberi kesan kepada kekonduksian haba buluh. Ini membuktikan bahawa buluh bukan sahaja bahan mampan, tetapi juga boleh diubah suai untuk meningkatkan prestasinya sebagai bahan penebat terma.

Penambahbaikan terhadap kestabilan dimensi buluh boleh dicapai melalui proses laminasi dan rawatan pelapisan. Kajian oleh Huang et al. (2020) menunjukkan bahawa penggunaan resin PF dengan berat molekul rendah membolehkan penembusan resin ke dalam dinding sel buluh, membentuk ikatan

kimia dan interaksi sekunder yang meningkatkan kekuatan ikatan antara buluh dan resin. Sementara itu, kajian oleh Widiastuti et al. (2020) mendapati bahawa penggunaan lapisan epoksi pada komposit buluh dapat mengurangkan penyerapan air, dengan kadar penyerapan air meningkat bergantung kepada suhu perendaman. Kombinasi penggunaan resin PF dan pelapisan epoksi berpotensi menghasilkan kadar kelembapan akhir yang rendah, menunjukkan prestasi penyerapan air yang baik dan kestabilan dimensi yang lebih baik. Pemilihan lapisan luar buluh yang mempunyai ciri pengecutan rendah dan ketumpatan tinggi juga menyumbang kepada peningkatan ketahanan terhadap kelembapan.

Buluh menawarkan kelebihan dari sudut kelestarian, khususnya dalam aspek penyerapan karbon. Kajian oleh Yuen et al. (2017) melaporkan bahawa buluh mampu menyerap antara 16 hingga 128 tan karbon per hektar setahun, bergantung kepada spesies dan pengurusan ladang, menjadikannya alternatif hijau yang berkesan dalam mitigasi perubahan iklim. Sebaliknya, asbestos telah dikenal pasti sebagai bahan karsinogenik oleh Agensi Perlindungan Alam Sekitar Amerika Syarikat, yang menyatakan bahawa semua bentuk asbestos boleh menyebabkan kanser seperti *mesothelioma* dan *karsinoma bronkial* (U.S. Environmental Protection Agency, 2021). Dari aspek kejuruteraan bahan, buluh turut menunjukkan nilai kekonduksian haba yang lebih rendah berbanding asbestos, memperkukuh potensinya sebagai bahan alternatif yang bukan sahaja lestari tetapi juga selamat dan cekap untuk aplikasi dalam pembinaan.

Kajian lapangan menunjukkan bahawa penggunaan siling buluh dapat mengurangkan suhu permukaan dalaman bangunan, menjadikannya pilihan yang berkesan untuk pengawalan suhu dalaman. Namun, cabaran utama penggunaan buluh adalah ketahanannya terhadap serangan kulat dan kelembapan, terutamanya di iklim tropika yang lembap. Kajian oleh Huang et al. (2018) mendapati bahawa pemindahan haba dan kelembapan dalam panel buluh sangat dipengaruhi oleh struktur mikronya serta kandungan air, dan prestasi boleh ditingkatkan melalui perlindungan permukaan. Oleh itu, kaedah pengawetan dan pelapisan yang sesuai, serta pemilihan lapisan buluh yang optimum, boleh dijadikan strategi utama dalam meningkatkan ketahanan dan jangka hayat panel siling buluh.

3.0 Metodologi

3.1 Reka Bentuk Kajian

Kajian ini menggunakan reka bentuk eksperimen makmal untuk menilai sifat terma dan kestabilan panel siling buluh komposit, khususnya dari aspek kekonduksian haba dan kadar kandungan kelembapan. Pendekatan ini membolehkan kawalan sistematik terhadap pemboleh ubah serta memperoleh pengukuran kuantitatif yang tepat dan boleh diulang. Pemilihan ujian kekonduksian haba dan kelembapan adalah berasaskan pendekatan yang biasa digunakan dalam penilaian prestasi haba bahan semula jadi, seperti yang dibincangkan oleh Bakar et al. (2020).

Sampel panel siling dihasilkan menggunakan buluh Semantan dan diuji berdasarkan piawaian pengujian bahan kejuruteraan bangunan. Hasil ujian dibandingkan dengan bahan konvensional seperti asbestos untuk menilai potensi buluh sebagai bahan alternatif yang lebih selamat dan lestari dalam pembinaan. Kajian ini juga merujuk kepada kajian oleh Zhang et al. (2018) dan Wu et al. (2021) yang menilai sifat haba bahan berasaskan gantikan semula jadi dan buluh.

3.2 Bahan

Kajian ini menggunakan buluh Semantan sebagai bahan utama kerana sifat mekanikalnya yang tinggi, struktur berongga, dan ketersediaan tempatan yang menjadikannya sesuai sebagai bahan komposit pembinaan. Spesies ini terbukti mempunyai nisbah kekuatan kepada berat yang baik, selain mudah dibentuk dan diproses. Kajian oleh Daud et al. (2018) menunjukkan bahawa buluh Semantan dirawat mempunyai kekuatan mampatan antara 31.74 hingga 36.60 MPa, modulus keanjalan (MOE) antara

28.83 hingga 33.41 GPa, dan modulus pecah (MOR) antara 58.23 hingga 62.86 MPa, menjadikannya sesuai untuk aplikasi struktur.

Untuk proses perekatan, resin PF dipilih kerana sifatnya yang tahan terhadap kelembapan, kestabilan dimensi yang konsisten, dan kebolehan menghasilkan ikatan kuat pada suhu tinggi. Ciri ini menjadikan resin PF sebagai salah satu pilihan utama dalam aplikasi panel berlaminata. Kajian oleh Xiao et al. (2015) menunjukkan bahawa penggunaan resin PF dengan kandungan 15.5% dan parameter penekanan panas yang optimum dapat meningkatkan sifat mekanikal komposit hibrid kayu-buluh, termasuk modulus pecah (MOR) dan modulus keanjalan (MOE).

Sebagai perlindungan tambahan, salutan epoksi digunakan pada permukaan luar panel. Epoksi bertindak sebagai lapisan pelindung yang menghalang penyerapan kelembapan, serangan mikroorganisma, dan degradasi akibat persekitaran tropika yang lembap. Di samping itu, epoksi turut menyumbang kepada peningkatan kekuatan permukaan dan jangka hayat bahan (Yang et al., 2024).

3.2 Pembuatan Panel Siling

Panel siling buluh komposit disediakan melalui beberapa fasa penting bagi memastikan kestabilan dimensi dan prestasi fizikal yang optimum. Proses dimulakan dengan pemotongan batang buluh Semantan menggunakan table saw kepada kepingan bersaiz 300 mm panjang dan 25 mm lebar. Kepingan ini kemudiannya dikeringkan dalam ketuhar pada suhu terkawal sehingga kandungan kelembapan mencecah kira-kira 12%, bagi mengurangkan risiko pengecutan dan kerosakan struktur semasa proses perekatan (Kabir et al., 2012).

Seterusnya, kepingan buluh diratakan menggunakan thicknesser planner sehingga mencapai ketebalan 5 mm, diikuti dengan proses penghalusan permukaan menggunakan *disk and belt sander*. Resin fenol formaldehid kemudiannya disapu secara sekata pada permukaan buluh, dan lapisan disusun dalam orientasi selari sebelum ditekan menggunakan *hydraulic hot press* pada suhu dan tekanan terkawal. Proses ini telah terbukti meningkatkan kekuatan mekanikal dan kestabilan dimensi produk akhir (Huang et al., 2020). Panel akhir disalut dengan epoksi sebagai perlindungan terhadap kelembapan dan degradasi biologi, serta untuk meningkatkan ketahanan jangka panjang produk (Yang et al., 2024).

3.3 Penyediaan Sampel Ujian

Setelah panel siling siap, ia dipotong kepada saiz 100 mm × 100 mm menggunakan pemotong halus untuk tujuan pengujian kekonduksian haba. Proses pemotongan ini dilakukan dengan berhati-hati bagi memastikan dimensi yang seragam dan permukaan yang rata. Hal ini penting bagi mendapatkan hasil pengujian yang konsisten dan tepat, seperti yang disarankan oleh Mirizzi et al. (2021), yang menekankan bahawa geometri sampel yang seragam mempengaruhi kestabilan dan keandalan pengukuran kekonduksian haba dalam bahan komposit. Sampel yang telah dipotong dilabelkan dan disimpan dalam bekas tertutup sebelum ujian dijalankan untuk mengelakkan perubahan kelembapan persekitaran.

3.4 Proses Pembentukan Sampel

Proses pembentukan sampel dijalankan secara terkawal bagi memastikan kebolehlulangan data dan keseragaman dimensi. Panel buluh yang telah disusun disalut dengan resin phenol formaldehid dan diproses menggunakan kaedah hot press. Tekanan dan suhu semasa proses hot press dikekalkan pada julat 150–160 °C dan tekanan sekitar 1 MPa selama 10–15 minit. Parameter ini dipilih berdasarkan kajian oleh Zhang et al. (2021), yang menunjukkan bahawa suhu dan tekanan dalam julat tersebut memberikan kestabilan dimensi dan prestasi mekanikal yang baik bagi komposit berasaskan gentian buluh. Ketebalan akhir panel disemak semula bagi menjamin keseragaman dimensi sebelum ujian lanjut dijalankan.

3.5 Jenis-Jenis Ujian dan Kaedah Pengujian

Kajian ini melibatkan dua ujian utama untuk menilai prestasi terma panel siling buluh Semantan, iaitu ujian kekonduksian haba dan ujian kadar kandungan kelembapan.

Ujian kekonduksian haba dijalankan menggunakan peralatan *Hot Disk Thermal Constants Analyzer* yang beroperasi berdasarkan prinsip *Transient Plane Source (TPS)*. *Sensor TPS* diletakkan di antara dua permukaan panel dan pemanasan dijalankan dalam keadaan terkawal. Bacaan kekonduksian haba ($W/m \cdot K$) direkodkan bagi setiap sampel, dan purata nilai digunakan bagi menilai prestasi termal panel siling buluh.

Ujian kadar kandungan kelembapan dilaksanakan menggunakan kaedah gravimetri dengan teknik pengeringan dalam ketuhar. Sampel panel siling buluh Semantan ditimbang untuk mendapatkan berat awal, kemudian dikeringkan menggunakan oven sehingga beratnya stabil. Selepas itu, sampel ditimbang semula untuk menentukan kadar kehilangan lembapan. Kaedah ini selari dengan prosedur standard bagi bahan berasaskan kayu dan buluh seperti yang dilaporkan oleh Zhang et al. (2018).

3.5.1 Ujian Kekonduksian Haba

Ujian ini bukan sahaja mengukur nilai kekonduksian haba (k), tetapi juga membolehkan pengiraan kapasiti haba volumetrik (C_p) dan kemeresapan haba (a), yang diperolehi secara automatik melalui sistem *Hot Disk Thermal Constants Analyzer* berdasarkan prinsip *Transient Plane Source (TPS)*. Nilai kemeresapan haba dikira berdasarkan hubungan berikut:

$$a = k / C_p$$

di mana a ialah kemeresapan haba (m^2/s), k ialah kekonduksian haba ($W/m \cdot K$), dan C_p ialah kapasiti haba volumetrik ($J/m^3 \cdot K$). Ketiga-tiga parameter ini memberikan gambaran menyeluruh tentang prestasi haba panel. Nilai k yang rendah menunjukkan kecekapan penebatan yang baik, manakala nilai a yang rendah menunjukkan keupayaan bahan melambatkan penyebaran haba ke persekitaran. Kaedah ini terbukti berkesan dalam analisis bahan berasaskan buluh seperti yang dilaporkan oleh Zhang et al. (2021) dan disokong dalam kajian oleh Yang et al. (2024) yang menunjukkan hubungan langsung antara struktur buluh terkompres dan prestasi haba serta kestabilan dimensi panel.

3.5.2 Ujian Kadar Kandungan Kelembapan

Ujian kadar kandungan kelembapan dijalankan bagi menentukan peratus kandungan air dalam sampel buluh sebelum digunakan dalam pembuatan panel siling. Penilaian kelembapan ini penting kerana kandungan lembapan yang tinggi boleh menjejaskan kestabilan dimensi, mempercepatkan pertumbuhan kulat, serta mengurangkan ketahanan bahan terhadap persekitaran tropika yang lembap (Sumardi & Suzuki, 2005).

Sampel buluh yang telah dipotong ditimbang untuk mendapatkan berat awal (W_1) menggunakan penimbang digital berketepatan tinggi. Kemudian, sampel dikeringkan dalam ketuhar pada suhu $103 \pm 2^\circ C$ selama 24 jam atau sehingga mencapai berat tetap. Selepas pengeringan, berat akhir (W_2) direkodkan. Kadar kandungan kelembapan (%) dikira menggunakan formula berikut:

$$\text{Kadar kandungan kelembapan (\%)} = ((W_1 - W_2) / W_2) \times 100$$

Kaedah ini berpandukan piawaian ASTM D4442 (ASTM, 2020), yang merupakan piawaian bagi pengukuran kandungan kelembapan bahan *lignoselulosa* melalui teknik *oven drying*.

4.0 Analisis Data dan Dapatan Kajian

4.1 Analisis Ujian Kekonduksian Haba

Ujian kekonduksian haba merupakan penilaian penting untuk menentukan keupayaan bahan memindahkan haba apabila terdedah kepada perbezaan suhu, yang secara langsung mempengaruhi prestasi penebat terma sesuatu bahan. Dalam kajian ini, sampel panel siling buluh Semantan bersaiz 100 mm × 100 mm × 10 mm diuji menggunakan peralatan *Hot Disk Thermal Constants Analyzer*, yang beroperasi berdasarkan prinsip *Transient Plane Source (TPS)*. *Sensor TPS* diletakkan di antara dua permukaan panel dan ujian dijalankan dalam keadaan terkawal sehingga suhu stabil. Bacaan kekonduksian haba (W/m·K), kapasiti kalori (J/m³·K) dan kemeresapan haba (m²/s) direkodkan, dan purata nilai digunakan untuk analisis.

Jadual 1

Keputusan ujian kekonduksian haba, kapasiti kalori dan kemeresapan haba panel siling buluh Semantan.

Sampel	Bahan	Kekonduksian Haba, k (W/m.K)	Kapasiti Kalori, Cp (J/m ³ K)	Kemerresapan Haba, a (m ² /s)	Suhu (°C)
1.	Bacaan 1	0.195	1.44	0.136	31.84
2.	Bacaan 2	0.193	1.43	0.135	33.87
Purata		0.194	1.44	0.136	32.86

Hasil ujian menunjukkan bahawa purata kekonduksian haba panel siling buluh Semantan ialah 0.194 W/m·K, lebih rendah berbanding nilai kekonduksian asbestos yang dilaporkan sekitar 0.31 W/m·K (Jelle, 2011). Selain itu, purata kapasiti kalori sebanyak 1.44 J/m³·K menunjukkan keupayaan bahan menyimpan tenaga haba dalam julat sederhana, manakala kemeresapan haba purata 0.136 m²/s menunjukkan kadar penyebaran haba yang stabil dan terkawal. Suhu ambien semasa ujian ialah 32.86°C, sejajar dengan keadaan iklim tropika tempatan.

Dapatan ini mengesahkan potensi panel siling buluh Semantan sebagai bahan penebat terma yang berkesan dan mampan. Nilai kekonduksian yang direkodkan adalah sejajar dengan hasil kajian oleh Zhang et al. (2018), yang melaporkan kekonduksian haba dalam julat 0.18–0.22 W/m·K bagi komposit gentian buluh berpeneguh epoksi. Selain itu, Huang et al. (2018) turut menunjukkan prestasi penebatan yang tinggi bagi panel berasaskan buluh, sekali gus menyokong penggunaan buluh sebagai alternatif mesra alam kepada bahan konvensional seperti asbestos dalam industri pembinaan

4.2 Analisis Ujian Kadar Kandungan Kelembapan

Ujian kadar kandungan kelembapan dijalankan untuk menilai tahap kelembapan panel siling buluh Semantan selepas proses pengeringan, kerana kandungan lembapan berlebihan boleh menjejaskan kestabilan dimensi serta ketahanan panel terhadap kulat dan serangga. Penilaian ini penting terutamanya dalam konteks iklim tropika yang lembap. Keputusan ujian diperoleh melalui perbandingan berat sampel sebelum dan selepas dikeringkan dalam ketuhar pada suhu 103 ± 2°C selama 24 jam, seperti ditunjukkan dalam Jadual 2.

Jadual 2

Keputusan Ujian Kadar Kandungan Kelembapan Panel Siling Buluh Semantan.

Sampel	Berat Sebelum Pengerangan (g)	Berat Selepas Pengerangan (g)	Kandungan Lembapan (%)
1	19.44	18.09	7.47
2	22.72	21.45	5.93
3	23.03	21.79	5.68
4	23.70	22.54	5.15
5	21.33	20.03	6.49
Purata			6.14

Hasil ujian menunjukkan bahawa purata kadar kandungan kelembapan panel siling buluh Semantan ialah 6.14%. Nilai ini berada dalam julat yang disarankan untuk bahan binaan dalaman (<8%) bagi memastikan kestabilan dimensi, mencegah pertumbuhan kulat, serta meningkatkan ketahanan terhadap kelembapan persekitaran (Huang et al., 2018).

Sebagai perbandingan, asbestos yang bersifat bukan organik tidak menghadapi isu penyerapan lembapan kerana ia tidak bersifat hygroskopik (Jelle, 2011). Sebaliknya, buluh sebagai bahan semula jadi cenderung menyerap lembapan dan memerlukan kawalan kelembapan yang berkesan untuk mengekalkan prestasi mekanikal dan terma optimum dalam penggunaan binaan. Kajian oleh Zhang et al. (2018) menunjukkan bahawa kandungan lembapan yang tidak dikawal boleh mempengaruhi kestabilan struktur buluh, menegaskan keperluan rawatan awal dan proses pengeringan yang teliti agar panel siling berasaskan buluh tahan lama dan sesuai untuk aplikasi binaan lestari.

5.0 Perbincangan dan Kesimpulan

Dapatan kajian menunjukkan bahawa panel siling berasaskan pelapis buluh Semantan berjaya mencapai prestasi terma yang baik, dengan purata nilai kekonduksian haba 0.194 W/m·K. Nilai ini adalah lebih rendah berbanding nilai kekonduksian haba bagi asbestos yang dilaporkan sekitar 0.31 W/m·K (Jelle, 2011). Perbezaan ini menunjukkan keupayaan panel buluh untuk memperlambatkan pemindahan haba, sekali gus menawarkan prestasi penebatan haba yang sesuai untuk iklim tropika seperti Malaysia.

Selain itu, purata kadar kandungan kelembapan panel buluh yang direkodkan ialah 6.14%, iaitu dalam julat yang disarankan untuk bahan binaan dalaman (<8%). Nilai ini menunjukkan bahawa panel memiliki kestabilan dimensi yang baik dan daya tahan terhadap serangan kulat serta kelembapan persekitaran. Walaupun buluh bersifat hygroskopik dan mudah menyerap air, kombinasi proses pengeringan yang betul, penggunaan resin PF dan salutan epoksi didapati mampu mengekalkan kadar kelembapan panel dalam tahap yang selamat (Zhang et al., 2018; Huang et al., 2018).

Keberkesanan buluh Semantan dalam mengawal pemindahan dan penyerapan haba turut disokong oleh nilai kapasiti haba volumetrik (1.44 J/m³·K) dan kemeresapan haba (0.136 m²/s) yang dicatatkan. Parameter ini menunjukkan keupayaan panel dalam menyerap serta melambatkan penyebaran haba, menjadikannya sesuai untuk kawalan suhu pasif dalam ruang bangunan.

Secara keseluruhannya, hasil kajian ini memperkukuh kedudukan buluh Semantan sebagai bahan alternatif yang berdaya saing menggantikan asbestos. Ia bukan sahaja menunjukkan prestasi terma yang baik, tetapi juga membawa nilai tambah dari sudut kelestarian, keselamatan kesihatan, dan

pemanfaatan sumber tempatan. Penggunaan resin PF dan salutan epoksi juga terbukti menyumbang kepada peningkatan ketahanan panel terhadap kelembapan dan degradasi biologi.

Sebagai penutup, kajian ini menyimpulkan bahawa panel siling berasaskan pelapis buluh Semantan berpotensi tinggi sebagai bahan binaan hijau bebas asbestos. Kajian lanjutan disarankan untuk menilai prestasi panel ini dalam persekitaran sebenar serta mengkaji kesan rawatan tambahan bagi meningkatkan ketahanan terhadap cuaca tropika yang lebih ekstrem.

REFERENCES

- Anokye, R., Kalong, R. M., Bakar, E. S., Ratnasingam, J., Jawaid, M., & Awang, K. (2014). Variations in moisture content affect the shrinkage of *Gigantochloa scortechinii* and *Bambusa vulgaris* at different heights of the bamboo culm. *BioResources*, 9(4), 7484–7493
- Bakar, N., Chin, S. C., Siregar, J. P., & Ngien, S. K. (2020). A review on physical, mechanical, thermal properties and chemical composition of plant fibers. *Materials Science and Engineering*, 736, 052017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/736/5/052017>
- Daud, N. M., Nor, N. M., Yusof, M. A., Mustaffa Al Bakhri, A. A., & Shaari, A. A. (2018). The physical and mechanical properties of treated and untreated *Gigantochloa scortechinii* bamboo. *AIP Conference Proceedings*, 1930, 020016. <https://doi.org/10.1063/1.5022910>
- Huang, P., Chew, Y. M. J., Chang, W.-S., Ansell, M. P., Lawrence, M., Latif, E., Shea, A., Ormondroyd, G., & Du, H. (2018). Heat and moisture transfer behaviour in *Phyllostachys edulis* (Moso bamboo) based panels. *Construction and Building Materials*, 166, 35–49. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.092>
- Huang, Y., Lin, Q., Yang, C., Bian, G., Zhang, Y., & Yu, W. (2020). Multi-scale characterization of bamboo bonding interfaces with *phenol-formaldehyde* resin of different molecular weight to study the bonding mechanism. *Journal of the Royal Society Interface*, 17, 20190755. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2019.0755>
- Jelle, B. P. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings*, 43, 2549–2563. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.015>
- Kabir, M. M., Wang, H., Lau, K. T., & Cardona, F. (2012). Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Composites: Part B*, 43, 2883–2892. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.053>
- Kamal, H. (2025, May 2). Asbestos still in use despite known dangers. *TheSun*. <https://thesun.my/malaysia-news/asbestos-still-in-use-despite-known-dangers-EH14025212>
- Kottek, M., & Yuen, M. L. (2021). Public health risks from asbestos cement roofing. *Am J Ind Med*, 65, 157–161. <https://doi.org/10.1002/ajim.23321>

- Mirizzi, L., Carnevale, M., D'Arienzo, M., Milanese, C., Di Credico, B., Mostoni, S., & Scotti, R. (2021). Tailoring the thermal conductivity of rubber nanocomposites by inorganic systems: Opportunities and challenges for their application in tires formulation. *Molecules*, 26, 3555. <https://doi.org/10.3390/molecules26123555>
- Rassiah, K., Megat Ahmad, M. M. H., & Ali, A. (2014). Mechanical properties of laminated bamboo strips from *Gigantochloa scortechinii*/polyester composites. *Materials and Design*, 57, 551–559. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2013.12.070>
- Sharma, B., Gattoo, A., Bock, M., & Ramage, M. (2015). Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials*, 81, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.077>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2021). Asbestos hazards and exposures. <https://www.epa.gov/asbestos/learn-about-asbestos>
- Widiastuti, I., Pratiwi, Y. R., & Cahyo, D. N. (2020). A study on water absorption and mechanical properties in epoxy-bamboo laminate composite with varying immersion temperatures. *Open Engineering*, 10, 814–819. <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0091>
- Wu, J., Wang, X., Fei, B., Xu, X., Lian, C., & Chen, H. (2021). The mechanical properties and thermal conductivity of bamboo with freeze–thaw treatment. *Journal of Wood Science*, 67, 66. <https://doi.org/10.1186/s10086-021-01998-0>
- Xiao, S., Lin, H., Shi, S. Q., & Cai, L. (2015). Optimum processing parameters for wood-bamboo hybrid composite sleepers. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33(21), 2010–2018. <https://doi.org/10.1177/0731684414553281>
- Yang, Z., Meng, X., Zeng, G., Wei, J., Wang, C., & Yu, W. (2024). Effect of resin content on the structure, water resistance and mechanical properties of high-density bamboo scrimbers. *Polymers*, 16, 797. <https://doi.org/10.3390/polym16060797>
- Yuen, J. Q., Fung, T., & Ziegler, A. D. (2017). Carbon stocks in bamboo ecosystems worldwide: Estimates and uncertainties. *Forest Ecology and Management*, 393, 113–138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.017>
- Zhang, K., Wang, F., Liang, W., Wang, Z., Duan, Z., & Yang, B. (2018). Thermal and Mechanical Properties of Bamboo Fiber Reinforced Epoxy Composites. *Polymers*, 10, 608. <https://doi.org/10.3390/polym10060608>
- Zhang, Y., Yu, W., Kim, N., & Qi, Y. (2021). Mechanical performance and dimensional stability of bamboo fiber-based composite. *Polymers*, 13, 1732. <https://doi.org/10.3390/polym13111732>