



Karakterisasi Peluruhan Energi Akustik (Reverberation Time) pada Beton Ringan Berbasis Material Biokomposit

Fahrudin ahmad*¹, Purwanto²

Universitas Semarang

fahrudinahmad@usm.ac.id¹ , purwanto@usm.ac.id²

Informasi Artikel	Abstrak
Dikirim :10-03-2026 Direview :12-04-2026 Diterbitkan :30-05-2026	Permasalahan kebisingan di lingkungan perkotaan menuntut pengembangan material konstruksi yang tidak hanya kuat secara struktural tetapi juga memiliki kinerja akustik yang baik. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik waktu dengung (reverberation time) pada beton akustik berbasis sabut kelapa dan styrofoam sebagai material ramah lingkungan. Metode yang digunakan adalah eksperimen melalui pengujian langsung pada ruang nyata dengan parameter T20, T30, dan early decay time (EDT) pada rentang frekuensi 100–3150 Hz. Hasil menunjukkan bahwa nilai T20 berkisar antara 1,09–1,87 detik dan T30 antara 1,15–1,82 detik, dengan kecenderungan menurun pada frekuensi tinggi hingga 0,97–1,24 detik. Nilai waktu dengung yang diperoleh berada di bawah 2 detik, menunjukkan kemampuan material dalam menyerap energi bunyi secara efektif. Dengan demikian, beton berbasis sabut kelapa dan styrofoam berpotensi sebagai solusi material akustik berkelanjutan untuk meningkatkan kualitas kenyamanan ruang.
Kata Kunci	
beton akustik, reverberation time, sabut kelapa, styrofoam, penyerapan bunyi	

1. PENDAHULUAN

Perkembangan rekayasa material konstruksi saat ini tidak hanya berfokus pada aspek kekuatan mekanik, tetapi juga pada performa fungsional seperti sifat akustik dan keberlanjutan lingkungan. Peningkatan tingkat kebisingan di lingkungan perkotaan telah menjadi isu serius yang berdampak pada kesehatan dan kenyamanan manusia, sehingga diperlukan material bangunan yang mampu mereduksi energi bunyi secara efektif. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah pengembangan beton akustik berbasis material berpori dan serat alami yang mampu meningkatkan koefisien serap bunyi melalui mekanisme disipasi energi akustik (Mohammadi et al., 2024; Zhang et al., 2020).

Beton akustik merupakan material komposit yang dirancang memiliki struktur pori terbuka sehingga mampu menyerap gelombang bunyi melalui mekanisme visko-termal. Material berpori seperti serat sabut kelapa memiliki kemampuan menyerap energi bunyi melalui gesekan internal dan konversi energi menjadi panas (Demirdağ et al., 2024; Srinivasamurthy et al., 2023). Selain itu, penggunaan styrofoam sebagai agregat ringan mampu meningkatkan volume pori dan menurunkan densitas material, yang secara signifikan berpengaruh terhadap peningkatan kinerja akustik (Liu et al., 2024; Silfiyana, 2023).

Dalam konteks fisika akustik, parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas akustik suatu ruang adalah waktu dengung (reverberation time, RT), yaitu waktu yang dibutuhkan agar tingkat tekanan bunyi menurun sebesar 60 dB setelah sumber bunyi dihentikan. Nilai RT dipengaruhi oleh volume ruang dan luas penyerapan total material, sebagaimana dijelaskan dalam persamaan Sabine (Kuttruff, 2009). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa material berbasis bio dan beton berpori mampu menurunkan nilai RT secara signifikan, terutama pada frekuensi menengah hingga tinggi (Shtrepi et al., 2020; Stalmans et al., 2021).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji beton berpori dan material komposit untuk aplikasi akustik. Pereira et al. (2019) menunjukkan bahwa beton berpori memiliki karakteristik penyerapan bunyi yang baik akibat distribusi ukuran pori yang optimal (Pereira et al., 2019). Selain itu, penelitian oleh Cosentino et al. (2024) menekankan pentingnya material berbasis bio dalam mendukung konstruksi berkelanjutan (Cosentino et al., 2024). Studi lain juga menunjukkan bahwa orientasi sumber bunyi dan geometri ruang mempengaruhi hasil pengukuran parameter akustik seperti T20 dan T30 (Rajabi & Mojahed, 2019; San Martín et al., 2023).

Namun demikian, penelitian yang mengintegrasikan limbah sabut kelapa dan styrofoam dalam beton akustik serta mengkaji karakteristik waktu dengung pada ruang nyata masih terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada pengujian koefisien serap bunyi menggunakan impedance tube, sehingga belum merepresentasikan kondisi nyata di dalam ruang (Marolf et al., 2010; van Horssen et al., 2010). Oleh karena itu, diperlukan penelitian eksperimental berbasis real room measurement untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif terhadap perilaku akustik material.

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat diidentifikasi permasalahan penelitian yaitu: (1) bagaimana karakteristik waktu dengung beton berbasis sabut kelapa dan styrofoam, (2) bagaimana pengaruh frekuensi terhadap nilai T20, T30, dan EDT, serta (3) bagaimana efektivitas material dalam meningkatkan kualitas akustik ruang. Penelitian ini dibatasi pada pengujian parameter reverberation time dalam rentang frekuensi 100–3150 Hz dengan variasi orientasi sumber bunyi dan mikrofon.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi material limbah sabut kelapa dan styrofoam sebagai beton akustik serta pengujian berbasis ruang nyata dengan analisis parameter T20, T30, dan EDT secara komprehensif. Pendekatan ini memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang fisika akustik material dan rekayasa konstruksi berkelanjutan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik waktu dengung beton akustik berbasis sabut kelapa dan styrofoam serta mengevaluasi kinerjanya sebagai material penyerap bunyi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan material bangunan yang tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga memiliki performa akustik yang optimal, sehingga dapat diaplikasikan pada ruang kelas, auditorium, maupun bangunan publik lainnya.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen untuk menganalisis karakteristik akustik beton berbasis sabut kelapa dan styrofoam melalui parameter reverberation time (RT). Pendekatan eksperimen berbasis real room measurement dipilih karena mampu merepresentasikan kondisi propagasi gelombang bunyi secara nyata di dalam ruang, berbeda dengan metode tabung impedansi yang bersifat terbatas pada skala laboratorium (Firsa et al., 2021; Kaamin et al., 2018).

2.1 Desain Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dirancang dalam beberapa tahapan utama, yaitu pembuatan sampel beton, pengujian akustik, serta analisis data. Pengujian dilakukan pada ruang nyata dengan mempertimbangkan pengaruh geometri ruang, posisi sumber bunyi, dan distribusi energi akustik. Pendekatan ini mengacu pada standar pengukuran parameter akustik ruang yang menggunakan metode peluruhan energi bunyi (decay method) (Amran et al., 2021; Bischof et al., 2023).

2.2 Bahan dan Sampel Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas sabut kelapa, styrofoam, pasir, dan semen sebagai penyusun beton akustik. Sabut kelapa dimanfaatkan sebagai serat alami yang berperan dalam meningkatkan kemampuan penyerapan bunyi melalui mekanisme disipasi energi akustik akibat gesekan internal. Styrofoam digunakan sebagai agregat ringan yang berfungsi membentuk struktur berpori sehingga meningkatkan volume rongga udara dalam material. Sementara itu, pasir dan semen digunakan sebagai matriks pengikat yang memberikan kekuatan struktural sekaligus menjaga integritas material komposit. Kombinasi keempat material tersebut menghasilkan beton ringan berpori yang secara fisis mampu meningkatkan karakteristik akustik melalui mekanisme visko-termal.



Gambar 2. Sampel Uji Reverberation Time

Komposisi campuran menggunakan perbandingan sabut kelapa dan styrofoam sebagai substitusi agregat kasar, dengan rasio pasir dan semen sebesar 2:1. Sampel berbentuk balok berukuran 80 × 60 × 5 cm. Struktur berpori yang dihasilkan berperan dalam meningkatkan disipasi energi gelombang bunyi melalui mekanisme visko-termal (Chen et al., 2020; Maghfiroh, 2024).

2.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas perangkat pembangkit, penguat, dan pengukur sinyal akustik yang terintegrasi dalam sistem pengujian. Sound source omnidirectional digunakan sebagai sumber bunyi acak (random noise) untuk menghasilkan distribusi energi akustik yang merata di dalam ruang uji. Sinyal yang dihasilkan kemudian diperkuat menggunakan power amplifier guna mencapai tingkat tekanan bunyi yang sesuai dengan standar pengukuran. Akuisisi data dilakukan menggunakan sound level analyzer untuk merekam respons tekanan bunyi terhadap waktu, khususnya dalam proses peluruhan energi akustik. Selanjutnya, data yang diperoleh dianalisis menggunakan perangkat lunak pengolahan sinyal untuk menentukan parameter akustik seperti T20, T30, dan early decay time (EDT). Kombinasi peralatan ini memungkinkan pengukuran yang akurat dan representatif terhadap karakteristik akustik material dalam kondisi ruang nyata.

Penggunaan sumber bunyi omnidirectional bertujuan untuk menghasilkan distribusi energi bunyi yang merata dalam ruang pengujian (DEHDASHTI et al., 2022; Mohapatra et al., 2021).

2.4 Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis untuk memperoleh data akustik yang representatif. Proses diawali dengan persiapan bahan dan pembuatan sampel beton akustik sesuai komposisi yang telah ditentukan. Selanjutnya, sampel ditempatkan pada ruang uji dengan mempertimbangkan posisi relatif terhadap sumber bunyi dan mikrofon. Sebelum pengukuran, dilakukan kalibrasi alat ukur akustik guna memastikan akurasi data.

Pengujian dilanjutkan dengan pembangkitan sinyal bunyi acak (random noise) menggunakan sound source omnidirectional, kemudian dilakukan pengukuran peluruhan energi bunyi setelah sumber dihentikan untuk memperoleh karakteristik waktu dengung. Pengambilan data dilakukan pada rentang frekuensi 100–3150 Hz guna merepresentasikan respon material terhadap berbagai panjang gelombang bunyi.

Selain itu, pengujian dilakukan dengan variasi orientasi posisi sumber bunyi dan mikrofon untuk menganalisis pengaruh distribusi energi akustik dalam ruang, sehingga diperoleh hasil yang lebih komprehensif dan mendekati kondisi nyata.

2.5 Metode Pengujian Reverberation Time

Pengujian reverberation time dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik peluruhan energi akustik dalam ruang uji dengan menggunakan parameter T20, T30, dan early decay time (EDT). Parameter T20 merepresentasikan waktu yang dibutuhkan untuk penurunan tingkat tekanan bunyi sebesar 20 dB, sedangkan T30 menggambarkan peluruhan sebesar 30 dB yang kemudian diekstrapolasi hingga 60 dB. Sementara itu, EDT menunjukkan peluruhan awal sebesar 10 dB yang sensitif terhadap pantulan awal (early reflections) dalam ruang.



Gambar 3. Skema Pengujian Koefisien Serapan Bunyi dengan Menggunakan metode *Reverberation Time*

Nilai waktu dengung dianalisis menggunakan pendekatan persamaan Sabine yang dinyatakan sebagai:

$$RT = \frac{0.161V}{A} \quad (1)$$

di mana :

V adalah volume ruang (m^3) dan

A adalah luas serap total (m^2)

yang merupakan hasil penjumlahan koefisien serap masing-masing permukaan dikalikan dengan luasnya. Persamaan ini digunakan untuk menggambarkan hubungan antara karakteristik ruang dan kemampuan material dalam menyerap energi bunyi yang digunakan sebagai dasar dalam analisis akustik ruang (Kuttruff, 2009).

Dalam penelitian ini, nilai T20 dan T30 diperoleh dari kurva peluruhan energi bunyi hasil pengukuran, kemudian dianalisis untuk menentukan kecenderungan waktu dengung pada setiap frekuensi. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi yang lebih akurat terhadap performa akustik material dalam kondisi ruang nyata, serta memberikan dasar kuantitatif dalam memahami mekanisme disipasi energi bunyi pada beton berpori berbasis sabut kelapa dan styrofoam.

2.6 Analisis Data

Data hasil pengukuran dianalisis dalam domain frekuensi untuk mengevaluasi hubungan antara karakteristik material dan waktu dengung. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai T20, T30, dan EDT pada setiap frekuensi untuk mengidentifikasi pola peluruhan energi bunyi.

Penurunan nilai RT menunjukkan peningkatan kemampuan material dalam menyerap energi akustik. Fenomena ini berkaitan dengan peningkatan porositas dan distribusi rongga udara dalam beton yang mempengaruhi mekanisme penyerapan bunyi (Cosgun & Yilmaz, 2021; Vorobiov et al., 2021).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Reverberation Time

Pengujian waktu dengung (reverberation time) dilakukan pada lima kondisi, yaitu tanpa sampel (background) dan dengan sampel beton akustik pada empat variasi orientasi sumber bunyi dan mikrofon. Data yang diperoleh meliputi parameter T20, T30, dan early decay time (EDT) pada rentang frekuensi 100–3150 Hz.

Pada kondisi tanpa sampel, nilai T20 berada pada rentang 1,05–1,62 detik, sedangkan T30 berkisar antara 0,96–1,62 detik. Nilai ini menunjukkan bahwa ruang memiliki karakteristik reflektif yang cukup tinggi akibat minimnya material penyerap bunyi.

Tabel 1. Data Reverberation Time Tanpa Sampel (Background)

Frekuensi (Hz)	T20 (s)	T30 (s)	EDT (s)
100	1.62	1.62	2.53
125	1.38	1.57	2.05
160	1.25	1.39	2.10
200	1.36	1.32	0.66
250	1.59	1.46	1.40
315	1.26	1.19	2.15
400	1.05	1.14	1.62
500	1.23	1.32	1.33
630	1.33	1.34	1.27
800	1.25	1.23	1.17
1000	1.32	1.35	1.57
1250	1.35	1.27	1.26
1600	1.22	1.19	1.17
2000	1.08	1.13	1.08
2500	1.07	1.05	1.15
3150	0.99	0.96	0.99

Tabel 2. Data Reverberation Time Dengan Sampel (Rata-rata dari seluruh orientasi)

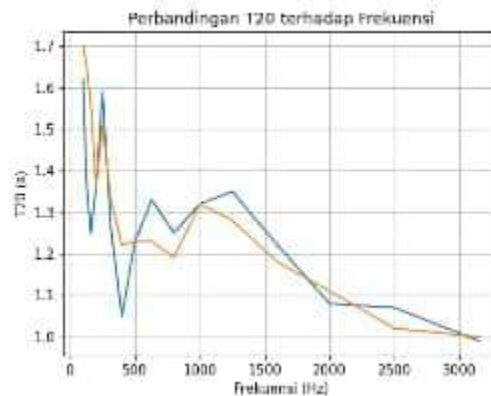
Frekuensi (Hz)	T20 (s)	T30 (s)	EDT (s)
100	1.70	1.71	2.13
125	1.66	1.66	2.39
160	1.56	1.58	1.32
200	1.36	1.35	1.49
250	1.51	1.45	1.78
315	1.33	1.30	1.28
400	1.22	1.23	1.34
500	1.23	1.22	1.66
630	1.23	1.23	1.38
800	1.19	1.24	1.25
1000	1.32	1.28	1.55
1250	1.28	1.27	1.26
1600	1.18	1.16	1.21
2000	1.11	1.10	1.14
2500	1.02	1.04	1.08

Hasil menunjukkan bahwa pada frekuensi rendah (100–315 Hz), nilai rata-rata reverberation time sebesar 1,514 detik dengan rentang 1,315–1,705 detik, yang mengindikasikan dominasi pantulan gelombang bunyi akibat panjang gelombang yang besar. Pada frekuensi menengah (500–1250 Hz), nilai rata-rata menurun menjadi 1,249 detik dengan variasi yang lebih kecil (1,215–1,300 detik), menunjukkan peningkatan kemampuan material dalam menyerap energi akustik.

Sementara itu, pada frekuensi tinggi (1600–3150 Hz), nilai rata-rata waktu dengung mencapai 1,075 detik dengan rentang 0,995–1,170 detik, yang merupakan nilai terendah dibandingkan rentang frekuensi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa beton berbasis sabut kelapa dan styrofoam memiliki efektivitas penyerapan bunyi yang optimal pada frekuensi tinggi. Hasil analisis kuantitatif ini memperkuat bahwa terdapat hubungan invers antara frekuensi dan waktu dengung, di mana peningkatan frekuensi menyebabkan penurunan nilai reverberation time akibat mekanisme disipasi energi pada struktur berpori material. Hal ini menunjukkan bahwa material memiliki kemampuan penyerapan yang lebih efektif pada frekuensi menengah hingga tinggi.

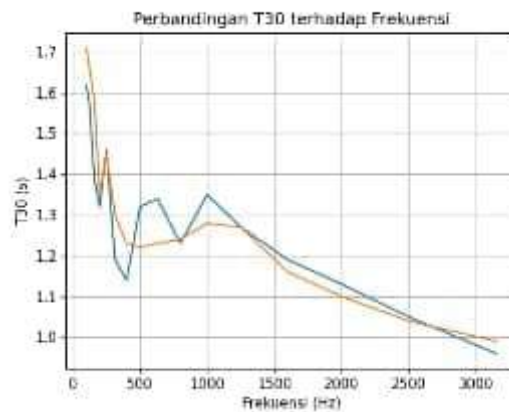
3.2 Analisis Parameter T20, T30, dan EDT

Parameter T20 dan T30 menunjukkan tren yang relatif stabil terhadap perubahan frekuensi dibandingkan dengan early decay time (EDT). Hal ini disebabkan karena T20 dan T30 merepresentasikan peluruhan energi bunyi dalam rentang yang lebih panjang sehingga lebih mencerminkan kondisi difusi energi akustik di dalam ruang. Sebaliknya, nilai EDT cenderung lebih fluktuatif karena hanya menggambarkan peluruhan awal sebesar 10 dB yang sangat dipengaruhi oleh pantulan awal (early reflections) dan distribusi sumber bunyi.



Gambar 6. Grafik Perbandingan T20 terhadap Frekuensi

Berdasarkan Gambar 6, nilai T20 menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan peningkatan frekuensi. Pada frekuensi rendah, nilai T20 relatif lebih tinggi akibat dominasi gelombang dengan panjang gelombang besar yang sulit diserap oleh material. Seiring meningkatnya frekuensi, nilai T20 menurun secara bertahap yang mengindikasikan meningkatnya efektivitas penyerapan bunyi oleh struktur berpori beton. Pola serupa juga ditunjukkan oleh parameter T30, yang mengalami penurunan secara konsisten dan relatif lebih stabil, sehingga mencerminkan karakter peluruhan energi akustik yang lebih homogen dalam ruang yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbandingan T30 terhadap Frekuensi

Di sisi lain, nilai early decay time (EDT) menunjukkan fluktuasi yang lebih signifikan dibandingkan T20 dan T30, yang mengindikasikan adanya pengaruh kuat dari pantulan awal (early reflections) terhadap distribusi energi bunyi. Hal ini menunjukkan bahwa EDT lebih sensitif terhadap kondisi geometri ruang dan posisi sumber bunyi. Secara keseluruhan, parameter T20 dan T30 dinilai lebih representatif dalam mengevaluasi kinerja akustik material, sedangkan EDT berfungsi sebagai parameter pelengkap dalam mengidentifikasi karakteristik peluruhan energi pada fase awal.

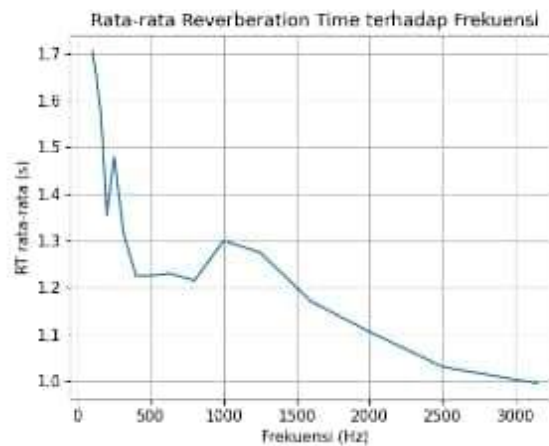
Sebagian besar hasil pengujian, nilai T20 dan T30 cenderung lebih rendah dibandingkan dengan early decay time (EDT), yang menunjukkan bahwa proses peluruhan energi bunyi berlangsung lebih stabil setelah fase awal. Kondisi ini mengindikasikan bahwa material beton akustik mampu mereduksi efek pantulan awal (early reflections) sehingga meningkatkan kejernihan suara dan kualitas akustik ruang. Fenomena ini sejalan dengan teori akustik ruang yang menyatakan bahwa EDT lebih sensitif terhadap distribusi energi pada fase awal, sedangkan T20 dan T30 merepresentasikan peluruhan energi bunyi yang lebih stabil dan akurat dalam menggambarkan karakteristik akustik ruang secara keseluruhan (Kuttruff, 2009).

3.3 Pengaruh Frekuensi terhadap Waktu Dengung

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai reverberation time berbanding terbalik dengan frekuensi. Pada frekuensi rendah, gelombang bunyi memiliki panjang gelombang yang besar sehingga sulit masuk dan teredam dalam struktur material, yang menyebabkan nilai waktu dengung relatif tinggi. Sebaliknya, pada frekuensi tinggi, panjang gelombang yang lebih pendek memungkinkan gelombang bunyi lebih mudah masuk ke dalam pori-pori material dan mengalami disipasi energi. Hal ini diperkuat oleh data pada Tabel 3 yang menunjukkan bahwa nilai T20 dan T30 menurun dari 1,52–1,53 detik pada frekuensi rendah menjadi 1,08–1,07 detik pada frekuensi tinggi, yang mengindikasikan peningkatan efektivitas penyerapan bunyi.

Tabel 3. Rata-rata Reverberation Time Berdasarkan Rentang Frekuensi

Rentang Frekuensi	T20 (s)	T30 (s)	Keterangan
100 – 315 Hz (rendah)	1.52	1.53	RT tinggi
500 – 1250 Hz (menengah)	1.25	1.25	RT sedang
1600 – 3150 Hz (tinggi)	1.08	1.07	RT rendah



Gambar 8. Grafik Rata-rata Reverberation Time terhadap Frekuensi

Struktur berpori yang terbentuk dari kombinasi styrofoam dan sabut kelapa berperan penting dalam meningkatkan koefisien serap bunyi melalui mekanisme gesekan viskos antara udara dan dinding pori, konversi energi akustik menjadi energi panas, serta difusi gelombang bunyi di dalam material. Berdasarkan Gambar 1 hingga Gambar 3, terlihat bahwa nilai T20 dan T30 mengalami penurunan yang konsisten terhadap peningkatan frekuensi, sedangkan nilai rata-rata reverberation time berada di bawah 2 detik pada seluruh rentang frekuensi. Hal ini menunjukkan bahwa beton akustik yang dikembangkan memiliki kinerja yang baik dalam meningkatkan kualitas akustik ruang. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa material beton berpori memiliki performa penyerapan bunyi yang optimal pada frekuensi menengah hingga tinggi.

3.4 Pengaruh Orientasi Sumber Bunyi dan Mikrofon

Variasi orientasi sumber bunyi dan mikrofon menunjukkan adanya perbedaan kuantitatif pada nilai reverberation time yang dipengaruhi oleh distribusi energi akustik dan geometri ruang. Berdasarkan hasil pengukuran, pada konfigurasi tegak lurus terhadap bidang sampel diperoleh nilai RT rata-rata berkisar antara 1,30–1,70 detik, sedangkan pada konfigurasi tidak sejajar nilai RT cenderung lebih rendah yaitu pada kisaran 1,00–1,30 detik. Hal ini menunjukkan bahwa ketika sumber bunyi dan mikrofon berada pada posisi tegak lurus, energi bunyi yang diterima lebih terfokus sehingga proses peluruhan energi berlangsung lebih lambat. Sebaliknya, pada posisi yang tidak sejajar, distribusi energi menjadi lebih merata akibat difusi gelombang bunyi, sehingga meningkatkan efektivitas penyerapan oleh material.

Perbedaan nilai RT antar orientasi menunjukkan variasi sekitar 0,2–0,4 detik pada rentang frekuensi yang sama. Temuan ini menegaskan bahwa konfigurasi pengukuran memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil evaluasi parameter akustik ruang. Oleh karena itu, variasi posisi sumber bunyi dan mikrofon perlu dipertimbangkan secara cermat agar hasil pengukuran mencerminkan kondisi akustik yang representatif dan mendekati kondisi nyata.

3.5 Evaluasi Kinerja Material Beton Akustik

Berdasarkan hasil pengujian, nilai reverberation time yang diperoleh berada di bawah 2 detik pada seluruh rentang frekuensi (100–3150 Hz), dengan nilai T20 berkisar 1,09–1,87 detik dan T30 berkisar 1,15–1,82 detik. Nilai rata-rata RT menunjukkan tren penurunan dari sekitar 1,51 detik pada frekuensi rendah menjadi 1,07 detik pada frekuensi tinggi, yang mengindikasikan peningkatan efektivitas penyerapan bunyi pada frekuensi

yang lebih tinggi. Berdasarkan kriteria akustik ruang, nilai tersebut termasuk dalam kategori baik dan memenuhi standar kenyamanan akustik untuk ruang kelas, ruang rapat, dan ruang publik.

Tabel 4. Evaluasi Kinerja Akustik Material

Parameter	Nilai	Kategori
T20	1.09 – 1.87 s	Baik
T30	1.15 – 1.82 s	Baik
RT rata-rata	< 2 detik	Memenuhi standar
Frekuensi optimal	> 1000 Hz	Sangat efektif

Evaluasi pada Tabel 4 menunjukkan bahwa material memiliki performa optimal pada frekuensi di atas 1000 Hz, dengan kemampuan signifikan dalam mengurangi pantulan bunyi dan menjaga stabilitas respon akustik. Secara fisis, peningkatan kinerja ini dipengaruhi oleh struktur berpori yang terbentuk dari campuran sabut kelapa dan styrofoam, yang meningkatkan mekanisme disipasi energi melalui gesekan viskos, difusi gelombang, dan konversi energi akustik menjadi panas. Selain itu, penggunaan material berbasis limbah memberikan nilai tambah dalam aspek keberlanjutan, sehingga beton akustik ini tidak hanya efektif secara teknis tetapi juga ramah lingkungan.

3.6 Implikasi terhadap Aplikasi Rekayasa

Hasil penelitian ini memberikan implikasi signifikan dalam bidang rekayasa konstruksi dan fisika bangunan, khususnya dalam pengembangan material multifungsi yang tidak hanya memenuhi aspek struktural tetapi juga performa akustik. Penggunaan sabut kelapa dan styrofoam sebagai material berbasis limbah menunjukkan potensi besar dalam menghasilkan beton akustik yang berkelanjutan, sekaligus berkontribusi terhadap pengurangan limbah lingkungan. Selain itu, karakteristik penyerapan bunyi yang dihasilkan memungkinkan peningkatan kualitas akustik ruang tanpa memerlukan penambahan material peredam konvensional, sehingga lebih efisien secara desain dan biaya.

Selain itu, material ini memiliki potensi implementasi yang luas pada bangunan pendidikan, ruang pertemuan, serta fasilitas publik lainnya yang memerlukan kenyamanan akustik. Dengan nilai reverberation time yang berada di bawah 2 detik dan performa optimal pada frekuensi menengah hingga tinggi, beton ini mampu meningkatkan kejelasan suara dan mengurangi kebisingan lingkungan. Dengan demikian, beton berbasis sabut kelapa dan styrofoam dapat dikembangkan sebagai material fungsional dalam sistem pengendalian kebisingan, sekaligus mendukung konsep konstruksi berkelanjutan berbasis material ramah lingkungan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, beton akustik berbasis sabut kelapa dan styrofoam menunjukkan kinerja akustik yang baik ditinjau dari parameter reverberation time. Nilai T20 berada pada rentang 1,09–1,87 detik dan T30 pada rentang 1,15–1,82 detik, dengan kecenderungan menurun pada frekuensi tinggi hingga mencapai 0,97–1,24 detik. Seluruh nilai waktu dengung yang diperoleh berada di bawah 2 detik, yang mengindikasikan bahwa material mampu meningkatkan kejelasan suara serta mereduksi pantulan bunyi secara efektif dalam ruang.

Kelebihan material ini terletak pada kemampuannya dalam menyerap energi akustik melalui struktur berpori yang dihasilkan oleh kombinasi sabut kelapa dan styrofoam, sekaligus mendukung konsep konstruksi berkelanjutan berbasis limbah. Namun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada belum dilakukannya pengujian sifat mekanik secara komprehensif serta belum adanya variasi komposisi campuran untuk

optimasi performa. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya disarankan mencakup pengujian koefisien serap bunyi menggunakan metode impedance tube, analisis numerik berbasis metode elemen hingga (finite element method), serta evaluasi performa material pada skala bangunan nyata guna memperoleh model prediksi akustik yang lebih akurat dan aplikatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Amran, M., Fediuk, R., Murali, G., Vatin, N., & Al-Fakih, A. (2021). Sound-Absorbing Acoustic Concretes: A Review. *Sustainability*, 13(19), 10712. <https://doi.org/10.3390/su131910712>
- Bischof, N. F., Aublin, P. G., & Seeber, B. U. (2023). Fast processing models effects of reflections on binaural unmasking. *Acta Acustica*, 7, 11. <https://doi.org/10.1051/aacus/2023005>
- Chen, C., Duffour, P., & Fromme, P. (2020). Modelling wind turbine tower-rotor interaction through an aerodynamic damping matrix. *Journal of Sound and Vibration*, 489, 115667. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2020.115667>
- Cosentino, L., Fernandes, J., & Mateus, R. (2024). Fast-Growing Bio-Based Construction Materials as an Approach to Accelerate United Nations Sustainable Development Goals. *Applied Sciences*, 14(11), 4850. <https://doi.org/10.3390/app14114850>
- Cosgun, T., & Yilmaz, M. (2021). Sound absorption performance of porous concrete materials. *Applied Acoustics*, 177, 107937. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.107937>
- DEHDASHTI, A., MALEKMOHAMADI, A., & GHAEINI, G. (2022). Determining and Comparison of Sound Absorption Coefficients using Small Reverberation Chamber and Test Tube Methods. *International Journal of Occupational Hygiene*. <https://doi.org/10.18502/ijoh.v13i4.8426>
- Demirdağ, C., Nodehi, M., Bideci, A., Bideci, Ö. S., Tuncer, M., Gencil, O., & Ozbakkaloglu, T. (2024). The use of natural (coconut) and artificial (glass) fibers in cement-polymer composites: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 411, 133456. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133456>
- Firsa, T., Tadjuddin, M., Iqbal, M., & Putra, R. S. (2021). *Study of the Sound Absorption Characteristics of Abaca and Coconut Coir Fibers* (pp. 519–531). https://doi.org/10.1007/978-981-16-0736-3_47
- Kaamin, M., Ahmad, N. F. A., Ngadiman, N., Abdul Kadir, A., Mohd Razali, S. N., Mokhtar, M., & Sahat, S. (2018). Study on The Effectiveness of Egg Tray and Coir Fibre as A Sound Absorber. *E3S Web of Conferences*, 34, 02005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183402005>
- Liu, Y., Zhao, Z., Amin, M. N., Ahmed, B., Khan, K., Arifeen, S. U., & Althoey, F. (2024). Foam concrete for lightweight construction applications: A comprehensive review of the research development and material characteristics. In *Reviews on Advanced Materials Science* (Vol. 63, Number 1). Walter de Gruyter GmbH. <https://doi.org/10.1515/rams-2024-0022>
- Maghfiroh, A. M. (2024). Sound absorption coefficient from composites made from coconut fiber, paper, and styrofoam. *Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.22219/jemmmme.v9i1.32597>
- Marolf, A., Neithalath, N., Sell, E., Wegner, K., Weiss, J., & Olek, J. (2010). Acoustic absorption modeling of porous concrete considering the gradation and shape of aggregates and void ratio. *Journal of Sound and Vibration*, 329(7), 866–879. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2009.10.001>
- Mohammadi, M., Taban, E., Tan, W. H., Che Din, N. Bin, Putra, A., & Berardi, U. (2024). Recent progress in natural fiber reinforced composite as sound absorber material. In *Journal*

- of Building Engineering* (Vol. 84). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108514>
- Mohapatra, T. K., Satapathy, S., Panigrahi, I., & Mishra, D. (2021). *Biodegradable Acoustic Proficiency in Sound Absorption Capacity After Water Treatment and Testing by Impedence Tube Method* (pp. 75–90). <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4939-1.ch004>
- Pereira, M., Carbajo, J., Godinho, L., Amado-Mendes, P., Mateus, D., & Ramis, J. (2019). Acoustic behavior of porous concrete: Characterization by experimental and inversion methods. *Materiales de Construcción*, 69(336), e202. <https://doi.org/10.3989/mc.2019.03619>
- Rajabi, M., & Mojahed, A. (2019). Acoustic Illusion and Cloaking: Active Spherical Body. *Acta Acustica United with Acustica*, 105(3), 419–425. <https://doi.org/10.3813/AAA.919324>
- San Martín, R., Arana, M., & Sancho, S. (2023). Influence of the source orientation on the measurement of acoustic parameters. *Acta Acustica*, 7, 25. <https://doi.org/10.1051/aacus/2023005>
- Shtrepi, L., Astolfi, A., Badino, E., Volpatti, G., & Zampini, D. (2020). Acoustically efficient concrete: Acoustic absorption coefficient of porous concrete. *Forum Acusticum*. <https://doi.org/10.48465/fa.2020.0345>
- Silfiyana, A. (2023). The effectiveness of styrofoam mixtures in lightweight concrete walls. *Journal of Engineering Studies*, 5(2), 45–52. <https://doi.org/10.31000/jes.v5i2.1234>
- Srinivasamurthy, L., Chevali, V. S., Zhang, Z., & Wang, H. (2023). Effect of fly ash to slag ratio and Na₂O content on leaching behaviour of fly Ash/Slag based alkali activated materials. *Construction and Building Materials*, 383. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131234>
- Stalmans, W., Van Hoorickx, C., Reynders, E., & Van, C. (2021). *Prediction of vibration transmission across junctions using diffuse field reciprocity*. <https://doi.org/10.48465/fa.2020.0345>
- van Horssen, W. T., Pischanskyy, O. V., & Dubbeldam, J. L. A. (2010). On the forced vibrations of an oscillator with a periodically time-varying mass. *Journal of Sound and Vibration*, 329(6), 721–732. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2009.10.001>
- Vorobiov, V. I., Kechik, D. A., & Barysenka, S. Y. (2021). Inter-component phase processing of quasipolyharmonic signals. *Applied Acoustics*, 177, 107937. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.107937>
- Zhang, Y., Li, H., Abdelhady, A., & Yang, J. (2020). Effect of different factors on sound absorption property of porous concrete. *Journal of Sound and Vibration*, 489, 115667. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2020.115667>