

ANALISA DAYA SERAP SUARA PANEL KOMPOSIT BERBAHAN KERTAS KARDUS DENGAN DAN LIMBAH KARET BAN DALAM**Ade Arif¹, Muhammad Yusuf Muttaqien²**^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional BandungEmail : ade.arif@mhs.itenas.ac.id, muhammad.yusufmuttaqien@mhs.itenas.ac.id**Abstract (English)**

The use of waste as composite material is an important strategy in supporting sustainability and resource efficiency, especially in sound and vibration damping applications. The main challenge with single-material waste panels is the limitation in achieving a balance between structural strength and acoustic performance. Efforts to improve performance were made by creating three-layer composite panels (sandwich panels) made from cardboard waste as the skin (100 mesh) and used tire powder as the core (30 and 50 mesh), with an adhesive mixture of mica plastic waste (Vinyl Chloride Monomer, C_2H_3Cl) and polyurethane thinner ($C_6H_5CH_3$). Test results show that the panel density is 0.42 g/cm^3 , in accordance with SNI 03-2105-2006, making it a lightweight material. Acoustic performance recorded a maximum sound absorption coefficient of 0.87 at a frequency of 2,500 Hz, which is very good. Water absorption of 10% and thickness expansion of 11.16% are still within SNI and ASTM limits. The panel has a recovery rate of less than 70% and is capable of reducing vibrations at low to medium speeds, making it suitable for use as a sound and vibration dampener as well as an electronic protector.

Article History

Submitted: 22 Januari 2026

Accepted: 25 Januari 2026

Published: 26 Januari 2026

Key Words

sound absorbers, used cardboard waste, used tire powder, composites.

Abstrak (Indonesia)

Pemanfaatan limbah sebagai material komposit menjadi strategi penting dalam mendukung keberlanjutan dan efisiensi sumber daya, terutama pada aplikasi peredam suara dan getaran. Tantangan utama pada panel berbahan limbah tunggal adalah keterbatasan dalam mencapai keseimbangan antara kekuatan struktur dan performa akustik. Upaya peningkatan kinerja tersebut dilakukan melalui pembuatan panel komposit tiga lapis (sandwich panel) berbahan limbah kertas kardus sebagai kulit (mesh 100) dan serbuk ban bekas sebagai core (mesh 30 dan 50), dengan perekat campuran limbah plastik mika (Monomer Vinil Klorida, C_2H_3Cl) dan tiner polyurethane ($C_6H_5CH_3$). Hasil pengujian menunjukkan densitas panel $0,42 \text{ g/cm}^3$ sesuai SNI 03-2105-2006, sehingga termasuk material ringan. Kinerja akustik mencatat koefisien serap suara maksimum 0,87 pada frekuensi 2.500 Hz, kategori sangat baik. Daya serap air 10% dan pengembangan tebal 11,16% masih dalam batas SNI dan ASTM. Panel memiliki recovery kurang dari 70% serta mampu mereduksi getaran pada kecepatan rendah–menengah, sehingga potensial diterapkan sebagai peredam suara dan getaran maupun pelindung elektronik.

Sejarah Artikel

Submitted: 22 Januari 2026

Accepted: 25 Januari 2026

Published: 26 Januari 2026

Kata Kunci

peredam suara, limbah kardus bekas, serbuk ban bekas, komposit.

1. Pendahuluan

limbah kardus bekas adalah sisa-sisa kardus yang telah digunakan dan tidak lagi dibutuhkan. Kardus bekas dapat berasal dari berbagai sumber, seperti kemasan produk, kotak pengiriman, dan lain-lain. Limbah kardus bekas dapat menjadi masalah lingkungan jika tidak diolah dengan baik, karena dapat menyebabkan polusi dan kerusakan lingkungan. Limbah kardus bekas dapat diolah menjadi berbagai produk, seperti kertas daur ulang, karton, dan bahkan bahan bakar. Pengolahan limbah kardus bekas dapat dilakukan melalui proses daur ulang, yang melibatkan pengumpulan, pengolahan, dan penggunaan kembali bahan-bahan yang terkandung dalam limbah kardus bekas. (Nabillah.M 2024). [1]

Karet ban dalam merupakan komponen penting pada sistem ban kendaraan yang berfungsi sebagai lapisan pelindung serta penyerap guncangan dan getaran saat kendaraan melaju di jalan tidak rata. Letaknya tersembunyi di antara ban luar dan pelek, sehingga tidak terlihat langsung. Fungsinya sangat vital dalam menjaga kenyamanan berkendara serta melindungi ban luar dan pelek dari kerusakan. Ban dalam umumnya dibuat dari karet sintetis atau karet alam yang diproses bersama bahan tambahan untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahannya. Beberapa bahan utama yang digunakan antara lain karet sintetis seperti SBR dan BR, serta karet alam. Selain itu, ditambahkan bahan seperti carbon black dan silika untuk memperkuat daya tahan terhadap gesekan dan tekanan. Bahan pengisi seperti silica, kalsium karbonat, dan talc juga digunakan, bersama bahan pengikat seperti resin dan polimer yang berfungsi menyatukan seluruh komponen dalam proses pembuatannya. (Raikhan 2024). [2]

Metode *hand lay up* merupakan metode dalam pembuatan komposit dengan proses laminasi serat yang dilakukan secara manual. Metode *hand lay up* lebih baik dilakukan untuk pembuatan produk yang sederhana. Pada proses *hand lay-up* material komposit yang dihasilkan mempunyai kualitas sedang, homogenitas kurang dan porositas cenderung besar. Contoh pengaplikasian dari hasil metode *hand lay-up* biasanya digunakan pada industri kapal kecil dan rumah tangga yang tidak membutuhkan kekuatan yang cukup besar. Fiber volume yang dihasilkan oleh proses *hand lay-up* ini adalah sebesar 15%-20% (Yusril.I 2024). [3]

Campuran perekat antara thinner polyurethane (PU) dan polypropylene (PP) memiliki sifat khusus yang memungkinkan penggunaannya dalam aplikasi komposit. Thinner PU berfungsi sebagai pelarut yang dapat melunakkan atau melarutkan bahan plastik tertentu, sementara polypropylene sebagai bahan termoplastik memiliki sifat tahan air, ringan, dan cukup kuat. Ketika dicampurkan, thinner PU membantu melarutkan sebagian permukaan PP, sehingga menciptakan ikatan antar partikel yang lebih baik saat proses pencetakan atau pengepresan berlangsung. Meskipun secara kimia PP tergolong sulit untuk direkatkan karena sifatnya yang non-polar dan tahan terhadap banyak bahan kimia, penggunaan thinner PU dapat meningkatkan adhesi antar permukaan bahan jika tekanan dan suhu pencetakan dikontrol dengan baik. Hasilnya adalah lapisan perekat yang mampu menyatukan material dalam panel komposit, walau dengan batas kekuatan tertentu dan tetap tergantung pada komposisi serta kondisi aplikasi. (Tan.L 2019) [4]

Thinner PU adalah pelarut cair yang digunakan untuk mengencerkan cat, vernis, atau lem, terutama dalam industri cat, otomotif, dan perawatan permukaan. Thinner bersifat mudah menguap, tidak berwarna, dan memiliki aroma khas. Fungsi utamanya adalah menurunkan viskositas, meningkatkan volume cat, dan mempercepat proses pengeringan, yang umumnya memakan waktu 6–12 jam. Thinner PU tersusun dari campuran hidrokarbon aromatik dan ester yang mampu melarutkan bahan serta memberikan hasil akhir yang mengilap. Komposisi kimianya meliputi Butyl Cellosolve ($C_6H_{14}O_2$) yang efektif melarutkan zat organik dan berfungsi sebagai surfaktan, Butyl Carbitol ($C_8H_{18}O_3$) yang memiliki laju penguapan sedang dan rasio pengenceran tinggi, serta Butyl Acetate ($C_6H_{12}O_2$) yang digunakan untuk melarutkan pigmen dengan titik didih tinggi. Selain itu, terdapat PMA ($C_6H_{12}O_3$) yang umum digunakan dalam tinta dan tekstil, serta Xylene ($(CH_3)_2C_6H_4$) yang menjadi pelarut penting dalam industri cat dan lem. (Tan.L 2019) [4]

Polypropylene (C_3H_6) adalah jenis plastik dari golongan thermoplastic yang dibuat dari monomer propilena. Thermoplastic memiliki sifat melunak saat dipanaskan dan mengeras kembali saat didinginkan, sehingga mudah dibentuk dan dapat didaur ulang. Polypropylene banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti tekstil, pengemasan, alat tulis, wadah plastik, dan perlengkapan laboratorium. Keunggulan utamanya adalah tahan terhadap kelembapan dan air, serta cukup tahan terhadap bahan kimia, meskipun ketahanannya terbatas terhadap hidrokarbon aromatik dan zat pengoksidasi. (Mukesh.k 2014) [5]

Berbagai penelitian telah dilakukan mengenai pemanfaatan limbah sebagai bahan komposit untuk menghasilkan material alternatif dengan karakteristik fisik dan mekanik yang unggul. Penelitian oleh (Yusrizha 2022). [6] mengenai pemanfaatan limbah kardus bekas menjadi *fiberboard* menunjukkan hasil bahwa hasil pengujian tarik dengan nilai rata-rata yang tinggi, yaitu sebesar 1,608 MPa. Selanjutnya, penelitian oleh (Yasyaf.H 2025). [7] yaitu membuat *board* dari serbuk kardus bekas tanpa serat dengan perekat plastik mika dan thinner PU menghasilkan kekuatan tekan rata-rata sebesar 9,8 MPa pada tekanan 50%, dengan nilai pemulihan (*recovery*) rata-rata di atas 90%. Hal ini menunjukkan bahwa board serbuk kardus memiliki elastisitas tinggi dan mampu kembali ke ketebalan awal setelah ditekan hingga 50%. Selain itu, penelitian juga dilakukan oleh (Raikhan 2024). [8] mengenai pembuatan papan dari serbuk karet ban dalam tanpa serat, setelah diuji tekan menunjukkan tingkat pemulihan rata-rata lebih dari 90% dari ketebalan awal, memenuhi standar ASTM D-1751 yang mensyaratkan pemulihan minimal 70%. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penelitian mengenai komposit berbasis limbah dengan struktur sandwich yang memvariasikan ukuran partikel dan mengombinasikan dua jenis material masih sangat terbatas, terutama dalam hal karakteristik akustik dan performa fisik secara menyeluruh.

Pengujian panel komposit peredam suara merupakan langkah penting dalam mengevaluasi kinerja material dalam mereduksi tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh sumber suara tertentu. Dalam dunia industri dan transportasi, penggunaan material komposit sebagai peredam suara semakin berkembang karena bobotnya yang ringan, tahan korosi, serta mampu mengurangi transmisi suara secara efektif. Menurut penelitian oleh (Ciftci, R., Yildirim, M., & Ozturk.M 2020) [9] material komposit berbasis serat alam menunjukkan potensi yang baik sebagai peredam suara karena struktur porinya yang mampu menyerap gelombang suara dengan efektif. Selain itu, studi dari (Sari, M., Prasetyo, H., & Widodo. A. 2019) [10] juga menunjukkan bahwa penggabungan beberapa lapisan material berbeda dalam panel komposit dapat meningkatkan kemampuan reduksi kebisingan. Oleh karena itu, pengujian terhadap panel-panel komposit ini menjadi penting untuk mengetahui seberapa efektif material tersebut dalam aplikasi nyata sebagai peredam suara.

Pertumbuhan sektor industri, logistik, dan otomotif yang pesat di era modern membawa konsekuensi logis berupa peningkatan volume limbah padat secara masif. Dua jenis limbah yang menjadi tantangan lingkungan serius saat ini adalah limbah kertas kardus dan karet ban bekas. Limbah kardus bekas, yang berasal dari sisa kemasan produk dan kotak pengiriman, seringkali menjadi masalah estetika dan sanitasi jika tidak dikelola dengan benar. Menurut Nabillah (2024) [1], akumulasi limbah kardus dapat menyebabkan pencemaran tanah dan kerusakan ekosistem jika hanya berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA) tanpa proses daur ulang yang sistematis. Di sisi lain, limbah karet ban dalam kendaraan merupakan material elastomer yang memiliki peran vital dalam mereduksi guncangan saat digunakan, namun sifatnya yang *non-biodegradable* membuatnya sulit terurai secara alami, sehingga membutuhkan inovasi pemanfaatan kembali agar tidak menjadi beban lingkungan jangka panjang. Di saat yang bersamaan, masyarakat modern menghadapi polusi suara (kebisingan) dan getaran yang merugikan kesehatan manusia dan stabilitas perangkat elektronik. Pemanfaatan limbah sebagai material komposit fungsional muncul sebagai strategi penting dalam mendukung keberlanjutan (*sustainability*) dan efisiensi sumber daya. Penggunaan material peredam konvensional seringkali mahal, sulit didaur ulang, dan memiliki jejak karbon tinggi. Oleh karena itu, inovasi material berbasis limbah organik (kardus) dan anorganik (karet/plastik) menjadi fokus utama riset material maju untuk menciptakan solusi peredaman yang ringan, murah, dan ramah lingkungan.

Tantangan utama dalam pengembangan panel peredam dari bahan limbah tunggal adalah kesulitan mencapai titik keseimbangan antara kekuatan struktural (aspek murni/mekanik) dan performa peredaman energi (aspek terapan/akustik). Secara teoretis, ban dalam umumnya

dibuat dari campuran kompleks karet sintetis (seperti SBR dan BR) serta karet alam yang diperkuat dengan *carbon black*, silika, dan bahan pengikat polimer untuk meningkatkan daya tahan terhadap tekanan dan gesekan [2]. Karakteristik viskoelastisitas yang tinggi dari karet ini sangat potensial untuk menyerap energi getaran, namun elastisitas tersebut memerlukan kerangka struktural yang stabil agar tidak mengalami deformasi berlebih saat diaplikasikan sebagai panel bangunan atau pelindung mesin.

Secara terapan, pembuatan panel komposit sering menggunakan metode *hand lay-up* atau laminasi manual. Metode ini dipilih karena kesederhanaan prosesnya dan fleksibilitas untuk produksi skala kecil hingga rumah tangga. Namun, secara teknis terdapat tantangan besar dalam hal homogenitas distribusi partikel dan kemunculan porositas yang cenderung besar, dengan volume serat biasanya berkisar antara 15%-20% [3]. Penelitian ini berusaha mensinergikan aspek mekanis dari matriks polimer limbah dengan aspek fungsional dari karet dan kertas dalam sebuah struktur *sandwich* tiga lapis. Struktur ini dirancang agar lapisan luar memberikan kekakuan, sementara lapisan inti memberikan kemampuan redam yang optimal.

Eksplorasi terhadap potensi masing-masing bahan telah dilakukan oleh beberapa peneliti secara parsial. Yusrizha (2022) dalam studinya menunjukkan bahwa limbah kardus memiliki serat selulosa yang kuat dan dapat diolah menjadi *fiberboard* dengan kekuatan tarik rata-rata sebesar 1,608 MPa [6]. Keunggulan elastisitas juga ditemukan pada penelitian Yasyaf (2025), yang memanfaatkan papan serbuk kardus dengan perekat plastik mika dan *thinner* PU. Hasilnya menunjukkan kekuatan tekan mencapai 9,8 MPa dengan nilai pemulihan (*recovery*) di atas 90%, membuktikan bahwa material ini mampu kembali ke bentuk semula setelah menerima tekanan beban [7]. Sementara itu, Raikhan (2024) mengonfirmasi bahwa papan dari serbuk karet ban dalam tanpa serat memiliki tingkat pemulihan yang sangat baik, memenuhi standar ASTM D-1751 [8]. Aspek yang paling krusial dalam pembentukan komposit hibrida ini adalah sistem perekatannya. Penggunaan campuran antara *thinner polyurethane* (PU) dan limbah plastik mika (seperti *Polypropylene* atau Monomer Vinil Klorida) menawarkan solusi adhesi yang unik dan ekonomis. *Thinner* PU, yang tersusun dari campuran hidrokarbon aromatik seperti *Xylene* dan ester seperti *Butyl Acetate*, berfungsi sebagai pelarut organik yang melunakkan permukaan plastik mika sehingga menciptakan ikatan antar partikel yang lebih kuat saat proses pengepresan [4]. Karakteristik *Polypropylene* (SC_3H_6) yang secara alami tahan terhadap kelembapan dan zat kimia memberikan perlindungan tambahan bagi serat kardus yang bersifat hidrofilik (mudah menyerap air) [5]. Dengan menyatukan komponen-komponen ini, dihasilkan matriks yang mampu mengikat partikel karet dan kertas secara kohesif.

Meskipun penelitian mengenai limbah tunggal (kardus saja atau karet saja) telah banyak dilakukan, terdapat kesenjangan yang nyata dalam literatur mengenai penggabungan kedua limbah tersebut dalam satu struktur panel *sandwich* simetris. Sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada kekuatan mekanik murni (tarik/tekan) tanpa mengevaluasi karakteristik fisik-akustik secara menyeluruh dan simultan. Belum banyak studi yang meninjau bagaimana variasi ukuran partikel yang sangat spesifik (mesh 100 untuk kardus sebagai *skin* dan mesh 30/50 untuk karet sebagai *core*) serta penggunaan matriks limbah mika-thinner PU dapat memengaruhi koefisien serap suara (α) dan kemampuan reduksi vibrasi pada frekuensi tertentu. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengombinasikan material dengan modulus elastisitas yang berbeda dalam satu sistem komposit untuk mendapatkan material peredam multifungsi yang memenuhi standar teknis industri.

Berlandaskan pada tinjauan pustaka dan analisis kesenjangan yang telah dipaparkan, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi secara komprehensif karakteristik fisik, mekanik, dan akustik dari panel komposit *sandwich* yang mengombinasikan matriks limbah mika dengan pengisi limbah kertas kardus serta serbuk karet ban dalam. Penelitian ini secara spesifik diarahkan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi rasio berat antara kertas

kardus dan karet ban (60:40 hingga 90:10) terhadap densitas, daya serap air, dan pengembangan tebal sesuai standar SNI 03-2105-2006. Selain itu, dilakukan evaluasi terhadap aspek elastisitas melalui pengukuran kemampuan pemulihan (*recovery*) pasca-kompresi serta pengujian efektivitas redaman vibrasi pada kondisi massa seimbang dan tak seimbang untuk menjamin keamanan komponen elektronik sensitif.

2. Metodologi

Metodologi penelitian pada proses ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi fisik Intitut Teknologi Nasional Bandung, Laboratorium Material Perkerasan Jalan Intitut Teknologi Nasional Bandung, Laboratorium Kontruksi Intitut Teknologi Nasional Bandung, Laboratorium Fisika Akustik Institut Teknologi Bandung. Pada proses pembuatan panel terdiri dari 7 tahapan proses yaitu pengumpulan bahan baku utama, pengumpulan bahan baku pembuatan lem, penghalusan bahan baku utama, pembuatan lem, pencampuran bahan baku dengan lem, pencetakan, dan pengeringan. Metode persiapan bahan baku kertas kardus yang parut menggunakan mesin parutan kelapa sehingga mendapatkan hasil yang halus mesh 100. Metode persiapan bahan baku karet ban dalam dilakukan pamarutan dengan mesin parutan kelapa dan untuk menghasilkan hasil yang sedikit kasar mesh 30 dilakukan pengayakan dengan ayakan mesh 30 seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Bahan Baku Panel Komposit

Metode pembuatan lem dengan bahan utama mika *polyethylene* (PE) dan direndam dengan cairan thinner *polyurethane* (PU), mika *polyethylene* dihaluskan dengan cara di tumbuk untuk memudahkan proses pencairan dan menyatu dengan cairan thinner *polyurethane* dilakukan peremdalam selama 24 jam seperti pada gambar 2



Gambar 2. Bahan Baku Panel Komposit

Metode untuk membuat panel adalah menggunakan cara dicetak menggunakan cetakan stainless dengan bentuk bulat berdiameter 10cm dan 3 cm untuk mendapatkan target akhir dilakukan metode press paksa dengan tebal akhir 1cm dari tebal awal 2cm dilakukan perlayer dan penyatuan semua layer di akhir dengan posisi layer 1 kertas kardus, layer 2 karet ban dalam layer 3 kertas kardus dengan tebal awal tiap layer 0,68 cm dan di press menjadi 0,34 cm. sebelum dilakukan pencetakan bahan. Dilakukan pengukuran berat dengan 4 variasi yaitu

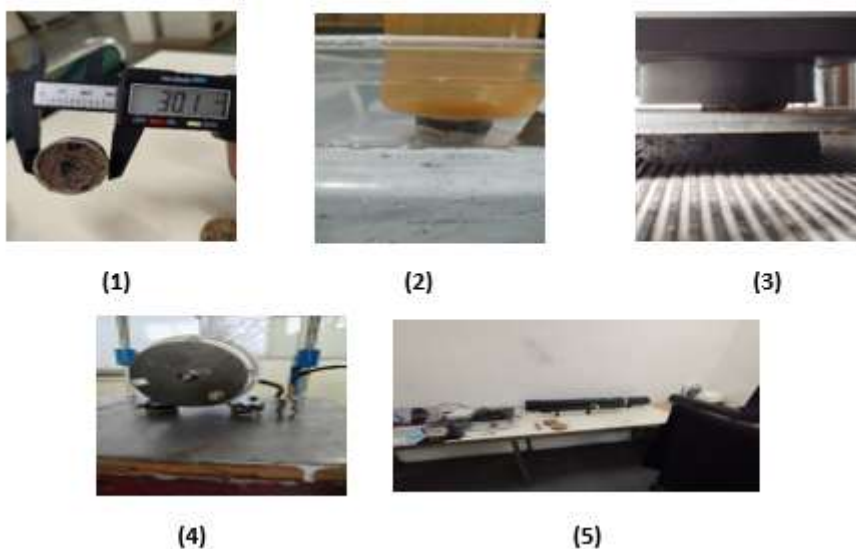
variasi pertama 60% kertas kardus dan 40% karet ban dalam, kedua 70% kertas kardus 30% karet ban dalam, ketiga 80% kertas kardus 20% karet ban dalam, dan keempat 90% kertas kardus 10% karet ban dalam

sehingga di dapat untuk diameter 3 seberat 5 gr dan diameter 10 50 gr, pada tahapan pengeringan dilakukan pada lemari ber udara panas dengan temperature 75°C selama 2 jam untuk tiap layer dan 2 jam untuk penyatuan semua layer sehingga didapat hasil akhir seperti pada gambar 3 dengan berat akhir untuk diameter 3 5gr dan diameter 10 40gr



Gambar 3. Hasil Akhir Spesimen

Pengujian yang dilakukan pada spesimen untuk mengetahui karakteristiknya meliputi 5 proses pengujian dengan parameter yang berbeda yaitu (1) pengujian densitas untuk mengetahui volume, dan massa pada panel komposit, (2) Pengujian serapan air untuk mengetahui spesimen dapat menyerap air seberapa banyak dengan cara spesimen di rendam di beri beban di atasnya proses berlangsung 24 jam pengecekan dilakukan tiap 4 jam dari mulai untuk mendapatkan nilai pengembangannya dan di ambil nilai rata rata, (3) pengujian recovery untuk mengetahui besarnya pengembangan panel pada saat di beri beban sebesar 50 % dari tebalnya proses dilakukan 10 menit dan di lepas dari beban 10 menit lalu di ukur untuk mendapatkan nilai akhir pengembangannya, (4) Pengujian Vibrasi untuk mengetahui kemampuan panel menyerap getaran pada saat terjadi getaran pengujian ini dibagi 2 yaitu dengan massa balans dan massa tak balans, (5) Pengujian akustik dengan tabung impedansi untuk mengetahui besarnya serapan gelombang suara yang dapat di serap oleh panel setiap proses terlihat seperti pada gambar 4



Hasil dan Pembahasan

Pada variasi 60% kertas kardus dan 40% karet ban dalam, nilai densitas sebesar 0,42 g/cm³ menunjukkan bahwa panel memiliki struktur yang cukup ringan namun tetap padat, sesuai

standar SNI 03-2105-2006. Densitas ini mencerminkan kombinasi serat kardus yang ringan dengan karet yang elastis. Serapan air sebesar 10,83% masih jauh di bawah batas maksimum 20%, menandakan bahwa material ini cukup tahan terhadap kelembaban dan tidak mudah menyerap air secara berlebihan. Nilai recovery sebesar 55,56% mengindikasikan panel memiliki kemampuan sedang dalam kembali ke bentuk awal setelah menerima tekanan, namun belum memenuhi standar minimum $\geq 70\%$, sehingga elastisitas panel masih perlu ditingkatkan. Pengujian vibrasi menunjukkan nilai $4,26 \text{ m/s}^2$, yang berarti panel mampu meredam sebagian getaran namun belum sepenuhnya optimal untuk getaran tinggi. Nilai koefisien akustik mencapai 0,87 pada frekuensi 2500 Hz, sesuai standar ISO 11654, yang menandakan bahwa panel sangat efektif dalam meredam suara frekuensi menengah hingga tinggi. Pada variasi 60% kertas kardus dan 40% karet ban dalam, nilai densitas sebesar $0,42 \text{ g/cm}^3$ menunjukkan bahwa panel memiliki struktur yang cukup ringan namun tetap padat, sesuai standar SNI 03-2105-2006. Densitas ini mencerminkan kombinasi serat kardus yang ringan dengan karet yang elastis. Serapan air sebesar 10,83% masih jauh di bawah batas maksimum 20%, menandakan bahwa material ini cukup tahan terhadap kelembaban dan tidak mudah menyerap air secara berlebihan. Nilai recovery sebesar 55,56% mengindikasikan panel memiliki kemampuan sedang dalam kembali ke bentuk awal setelah menerima tekanan, namun belum memenuhi standar minimum $\geq 70\%$, sehingga elastisitas panel masih perlu ditingkatkan. Pengujian vibrasi menunjukkan nilai $4,26 \text{ m/s}^2$, yang berarti panel mampu meredam sebagian getaran namun belum sepenuhnya optimal untuk getaran tinggi. Nilai koefisien akustik mencapai 0,87 pada frekuensi 2500 Hz, sesuai standar ISO 11654, yang menandakan bahwa panel sangat efektif dalam meredam suara frekuensi menengah hingga tinggi.

Pada variasi 70% kertas kardus dan 30% karet ban dalam, densitas panel meningkat menjadi $0,44 \text{ g/cm}^3$, mencerminkan struktur yang sedikit lebih padat namun tetap ringan, masih sesuai standar SNI. Kenaikan kadar serat kardus turut meningkatkan daya serap air menjadi 11,50%, namun nilai ini tetap dalam ambang aman ($< 20\%$), menunjukkan panel cukup stabil terhadap kelembaban. Nilai recovery sebesar 48% menunjukkan kemampuan pemulihan bentuk yang lebih rendah dibandingkan variasi sebelumnya, akibat berkurangnya proporsi karet elastis, dan belum memenuhi standar $\geq 70\%$. Nilai vibrasi sebesar $4,80 \text{ m/s}^2$ menunjukkan efektivitas peredaman mulai menurun, mengindikasikan kemampuan panel menahan energi getaran semakin lemah. Dari sisi akustik, nilai absorpsi sebesar 0,76 pada frekuensi menengah mengindikasikan panel masih cukup baik menyerap suara, namun performanya mulai menurun dibanding variasi dengan kandungan karet lebih tinggi.

Pada variasi 80% kertas kardus dan 20% karet ban dalam, panel memiliki densitas sebesar $0,47 \text{ g/cm}^3$, menandakan struktur semakin padat namun tetap berada dalam batas standar SNI. Nilai serapan air meningkat menjadi 12,20%, menunjukkan porositas panel meningkat, meskipun masih dalam batas toleransi. Namun, kemampuan recovery semakin menurun menjadi 41%, jauh dari standar $\geq 70\%$, yang mengindikasikan bahwa panel kehilangan sebagian besar sifat elastis dan tidak mampu kembali ke bentuk awal secara optimal. Vibrasi yang tercatat sebesar $5,35 \text{ m/s}^2$ menunjukkan bahwa efisiensi redaman getaran mulai melemah secara signifikan. Sementara itu, performa akustik menurun menjadi 0,64, yang berarti panel hanya mampu menyerap sekitar 64% suara pada frekuensi menengah, menjadikannya kurang ideal untuk aplikasi dengan kebutuhan redaman suara tinggi.

Pada variasi 90% kertas kardus dan 10% karet ban dalam, densitas panel mencapai $0,50 \text{ g/cm}^3$, tertinggi dari semua variasi, menandakan struktur yang paling padat namun tetap berada dalam standar SNI. Nilai serapan air meningkat menjadi 13%, menandakan bahwa dominasi serat kardus menyebabkan panel semakin mudah menyerap air meski masih dalam batas wajar. Nilai recovery hanya mencapai 35%, jauh dari standar $\geq 70\%$, menunjukkan panel sangat minim elastisitas dan mudah mengalami deformasi permanen setelah diberi tekanan. Nilai vibrasi sebesar $5,90 \text{ m/s}^2$ menunjukkan bahwa panel memiliki performa redaman getaran paling

rendah, sehingga kurang efektif untuk meredam getaran tinggi. Dari sisi akustik, nilai koefisien serap sebesar 0,52 mengindikasikan bahwa panel kurang optimal dalam menyerap suara, terutama di frekuensi menengah hingga tinggi, dan tidak ideal sebagai bahan peredam akustik.

Tabel 1.1 Hasil Pengujian Tiap Variasi

No	Variasi (Kertas kardus – karet ban dalam)	Densitas (g/cm ³)	Serapan air (%)	Recovery (%)	Vibrasi (m/s ²)	Akustik (α)
1	60% - 40%	0,42	10,83	55,56	4,26	0,87
2	70% - 30%	0,44	11,50	48,00	4,80	0,76
3	80% - 20%	0,47	12,20	41,00	5,35	0,64
4	90% - 10%	0,50	13,00	35,00	5,90	0,52

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa panel komposit berbasis limbah kertas kardus dan serbuk karet ban dalam dengan struktur sandwich panel tiga lapis memiliki potensi yang baik sebagai material ramah lingkungan untuk aplikasi peredam suara dan getaran. Kombinasi kedua material limbah tersebut mampu menghasilkan panel dengan karakteristik fisik dan akustik yang stabil dan memiliki kemampuan peredaman yang efektif, terutama pada frekuensi menengah hingga tinggi. Temuan ini menegaskan bahwa pemanfaatan limbah industri sebagai bahan komposit tidak hanya memberikan manfaat ekologis melalui pengurangan volume limbah, tetapi juga menghasilkan produk alternatif yang fungsional dan bernilai guna.

4.2 Rekomendasi

Penelitian lanjutan disarankan untuk mengoptimalkan komposisi bahan penyusun panel komposit, khususnya pada aspek kemampuan pemulihan bentuk setelah pembebanan yang masih menunjukkan nilai relatif rendah. Perbaikan dapat dilakukan melalui penambahan material elastomerik, penggunaan jenis perekat yang memiliki fleksibilitas lebih tinggi, atau modifikasi rasio campuran antar komponen sehingga mampu meningkatkan sifat mekanis panel. Selain itu, perlu dilakukan variasi ketebalan panel, variasi jenis partikel, dan pengujian pada kondisi lingkungan berbeda seperti temperatur dan kelembapan untuk mengetahui konsistensi performa material pada aplikasi nyata. Pengujian akustik dengan metode dan konfigurasi ruang yang lebih luas juga direkomendasikan agar diperoleh karakteristik penyerapan suara yang lebih komprehensif. Pengembangan penelitian berbasis analisis keekonomian serta studi kelayakan produksi skala industri juga penting dilakukan guna menilai potensi komposit sebagai produk komersial yang kompetitif dan ramah lingkungan.

4.3 Ucapan Terimakasih

Penulis sampaikan kepada dosen Pembimbing, Laboratorium Metalurgi Fisik Institut Teknologi Nasional Bandung, Laboratorium Material Perkerasan Jalan Institut Teknologi Nasional Bandung, Laboratorium Akustik Institut Teknologi Bandung dan semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi selama proses penelitian ini berlangsung. Apresiasi setinggi-tingginya disampaikan kepada keluarga dan rekan-rekan yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan moral selama proses penelitian hingga jurnal ini dapat diselesaikan dengan baik.

5. Daftar Pustaka

- [1] Nabilah M.,” Indonesia konsumen mi instan terbesar ke 2 di dunia. Di akses dari <https://databoks.katadata.co.id/produk-konsumen/statistik/93ac2451db5b87c/in-donesia-konsumen-mi-instan-terbesar-ke-2-di-dunia>

- [2] Raikhan AY NIM 122019011, Yusril Irwan., “Pemanfaatan Karet ban dalam motor sebagai Fibreboard untuk peredam beton sambungan jembatan pada jalan tol,” Tugas Akhir Genap 2024 Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung 2024.
- [3] Yusril I, Eka TF, Fery H.” Empowering unemployed people to process corn cob waste into briquettes as an alternative fuel in Ciherang village.” REKA ELKOMIKA, Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat., Vol.5 No.2 Page117-124 May 2024 ISSN(p): 2723-3235 | ISSN(e): 2723-3243
- [4] Tan, L. I., & Pahlevi, W. R. “Studi Penggunaan Plastik Polypropylene Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course Cantilever.” Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil, Vol 8 No.2 Hal 65-71 2019.
- [5] Mukesh Kathalewar, Anagha Sabnis,” Poliuretan bebas isosianat dari bis-siklik karbonat berbasis CNSL baru dan aplikasinya dalam pelapis” Jurnal Polimer Eropa Volume 57, Agustus 2014,
- [6] Yusrizha S NIM 178130074 “ Analisis Karakteristik mekanik pada komposit kertas kardus yang di perkuat dengan serat batang pisang.” Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area 2022
- [7] Yasyaf H NIM 122020087, Yusril Irwan, ” Pemanfaatan limbah kardus bekas menjadi papan komposit” Tugas Akhir ganjil 2024/2025 Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung 2025.
- [8] Raikhan AY NIM 122019011, Yusril Irwan., “Pemanfaatan Karet ban dalam motor sebagai Fibreboard untuk peredam beton sambungan jembatan pada jalan tol,” Tugas Akhir Genap 2024 Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung 2024.
- [9] Ciftci, R., Yildirim, M., & Ozturk, M. (2020). Sound absorption properties of natural fiber-based composites. *Journal of Natural Fibers*, 17(10), 1456–1468.
- [10] Sari, M., Prasetyo, H., & Widodo, A. (2019). Pengaruh struktur lapisan terhadap performa akustik panel komposit peredam suara. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(2), 105–11