

Panel Komposit Berbasis Limbah Bulu Ayam sebagai Material Insulasi Termal dan Akustik Pada Bangunan

Ansarullah

Program Studi Teknik Arsitektur, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Sulawesi Selatan Indonesia

Email: ansarullah.ansarullah@umi.ac.id

Info Artikel	Abstrak
<p>Kata Kunci: Komposit bulu ayam Konduktivitas termal Insulasi akustik Material bangunan berkelanjutan Panel komposit PVAc</p>	<p>Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya limbah bulu ayam dari industri peternakan unggas yang belum dimanfaatkan secara optimal serta kebutuhan material bangunan ramah lingkungan dengan kemampuan insulasi yang baik. Penelitian bertujuan menganalisis karakteristik fisik, mekanis, dan termal panel komposit berbasis limbah bulu ayam menggunakan perekat Polyvinyl Acetate (PVAc) sebagai material alternatif untuk aplikasi arsitektur. Metode penelitian menggunakan eksperimen laboratorium melalui tahapan pencucian, sterilisasi, pengeringan, pencacahan serat, pencampuran material, proses compression moulding, dan pengujian karakteristik material. Variasi komposisi panel terdiri atas 80:20, 70:30, dan 60:40 antara bulu ayam dan PVAc. Pengujian meliputi densitas, daya serap air, kuat tekan, kuat lentur, dan konduktivitas termal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel memiliki densitas rendah sebesar 0,31–0,38 g/cm³ dan konduktivitas termal sebesar 0,035–0,042 W/mK yang menunjukkan kemampuan insulasi panas yang baik. Peningkatan kadar PVAc meningkatkan kuat tekan dari 0,42 MPa menjadi 0,74 MPa serta meningkatkan kuat lentur dari 0,89 MPa menjadi 1,48 MPa. Struktur mikro serat bulu ayam yang berongga berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan insulasi termal dan akustik material. Penelitian ini menunjukkan bahwa panel berbasis limbah bulu ayam berpotensi dikembangkan sebagai material bangunan ringan, ramah lingkungan, dan berkelanjutan untuk aplikasi panel insulasi dan akustik bangunan.</p>
<p>Keywords: Chicken feather composite Thermal conductivity Acoustic insulation Sustainable building material PVAc composite panel</p>	<p>Abstract</p> <p>This study was motivated by the increasing amount of chicken feather waste from the poultry industry and the growing need for environmentally friendly building materials with good insulation performance. The research aimed to analyze the physical, mechanical, and thermal characteristics of chicken feather waste-based composite panels using Polyvinyl Acetate (PVAc) adhesive as an alternative material for architectural applications. The study employed laboratory experiments involving washing, sterilization, drying, fiber chopping, material mixing, compression moulding, and material testing. Panel compositions were varied at ratios of 80:20, 70:30, and 60:40 between chicken feathers and PVAc. The tests included density, water absorption, compressive strength, flexural strength, and thermal conductivity. The results showed that the panels had low densities of 0.31–0.38 g/cm³ and thermal conductivity values of 0.035–0.042 W/mK, indicating good thermal insulation capability. Higher PVAc content improved compressive strength from 0.42 MPa to 0.74 MPa and flexural strength from 0.89 MPa to 1.48 MPa. In addition, the hollow microstructure of chicken feather fibers enhanced the thermal and acoustic insulation properties of the material. Overall, the study demonstrates that chicken feather waste-based panels have strong potential as lightweight, environmentally friendly, and sustainable building materials for insulation and acoustic applications.</p>

JuKSIT is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License



1. PENDAHULUAN

Limbah biomassa merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang terus meningkat seiring dengan berkembangnya sektor industri dan peternakan. Peningkatan aktivitas industri peternakan menghasilkan

berbagai jenis limbah organik seperti kotoran ternak, limbah rumah potong hewan, serta limbah hasil samping unggas yang apabila tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan meningkatkan emisi gas rumah kaca [1]. Industri peternakan unggas menghasilkan limbah dalam jumlah besar, salah satunya berupa limbah bulu ayam yang hingga saat ini sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal. limbah bulu ayam merupakan produk samping utama industri unggas yang dapat mencapai sekitar 5–7% dari berat tubuh ayam, dan jutaan ton limbah ini dihasilkan setiap tahun di seluruh dunia, sementara sebagian besar masih dibuang atau dimanfaatkan secara terbatas [2],[3]. Produksi ayam global yang terus meningkat menyebabkan jumlah limbah bulu ayam juga meningkat secara signifikan setiap tahunnya. Produksi ayam global yang terus meningkat menyebabkan jumlah limbah bulu ayam juga meningkat secara signifikan setiap tahunnya. Peningkatan produksi industri unggas secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan limbah hasil samping, termasuk bulu ayam, yang dihasilkan dalam jumlah jutaan ton setiap tahun di seluruh dunia. Sebagian besar limbah tersebut dibuang ke lingkungan melalui penimbunan, pembakaran, atau dijadikan produk bernilai ekonomi rendah sehingga dapat menimbulkan dampak pencemaran lingkungan dan masalah kesehatan masyarakat [4]. Menurut penelitian terkait pemanfaatan limbah bulu ayam, jutaan ton limbah bulu ayam dihasilkan setiap tahun dan sebagian besar masih belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai bahan baku industri bernilai tambah dan umumnya hanya dibuang, dibakar, atau diolah menjadi produk bernilai ekonomi rendah.

Bulu ayam secara kimiawi tersusun sekitar 90% protein keratin yang memiliki struktur kompleks dengan ikatan disulfida

yang tinggi yang membentuk ikatan silang disulfida (disulfide bonds), sehingga memberikan stabilitas, kekuatan mekanis, dan ketahanan terhadap degradasi [5],[6]. Keratin merupakan protein struktural yang memiliki karakteristik ringan, elastis, tahan terhadap degradasi biologis tertentu, serta memiliki struktur serat berongga yang unik. Struktur berongga tersebut memberikan kemampuan untuk menahan udara di dalam serat sehingga menghasilkan karakteristik isolasi termal dan akustik yang baik [7]. Penelitian mengenai karakterisasi keratin menunjukkan bahwa struktur mikro bulu ayam memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan dasar polimer, biokomposit, dan material bangunan berkelanjutan.

Dalam bidang arsitektur, penggunaan material ramah lingkungan semakin mendapat perhatian seiring berkembangnya konsep pembangunan berkelanjutan (sustainable development) dan arsitektur hijau (green architecture). Material bangunan konvensional seperti beton, papan semen, gypsum, dan material sintesis lainnya umumnya membutuhkan energi produksi tinggi dan menghasilkan emisi karbon yang cukup besar selama proses produksinya. Oleh karena itu, pengembangan material alternatif berbasis biomassa menjadi salah satu strategi yang dapat mengurangi dampak lingkungan sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya [8],[9].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa berbagai limbah biomassa seperti serat kelapa, sekam padi, serat bambu, ampas tebu, dan limbah pertanian lainnya telah berhasil dimanfaatkan sebagai material komposit bangunan ramah lingkungan [10]. Material berbasis biomassa umumnya memiliki beberapa keunggulan seperti berat jenis rendah, ketersediaan bahan melimpah, biaya produksi relatif murah, serta kemampuan insulasi yang baik. Namun demikian, pemanfaatan limbah bulu ayam sebagai material panel bangunan masih relatif terbatas, khususnya pada pengembangan panel komposit untuk aplikasi arsitektur berkelanjutan.

Penelitian yang dilakukan oleh Dieckmann dkk. menunjukkan bahwa material berbasis limbah bulu ayam memiliki kemampuan insulasi termal dengan kemampuan hambatan panas yang baik [11]. Penelitian lain menunjukkan bahwa serat bulu ayam yang dicampurkan pada material komposit dapat meningkatkan kemampuan hambatan panas serta mengurangi perpindahan panas melalui material [12]. Selain itu, Ouakarrouch dkk. menyatakan bahwa campuran bulu ayam dan gypsum dapat meningkatkan performa termal material bangunan serta mendukung pengurangan emisi karbon pada sektor konstruksi [13]. Meskipun

demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada pengujian termal sederhana dan belum mengintegrasikan evaluasi karakteristik fisik, mekanis, dan termal secara simultan pada panel komposit berbasis limbah bulu ayam. Selain itu, hubungan antara struktur mikro serat bulu ayam dengan performa insulasi termal dan akustik material juga masih belum banyak dibahas secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan melalui pengembangan panel komposit berbasis limbah bulu ayam menggunakan perekat Polyvinyl Acetate (PVAc) dengan pendekatan karakterisasi fisik, mekanis, dan termal secara terpadu sebagai material alternatif ramah lingkungan untuk aplikasi insulasi termal dan akustik pada bangunan. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi panel komposit bulu ayam–PVAc sebagai material bangunan berkelanjutan pada bidang arsitektur.

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Ansarullah dkk. mengenai Characteristics of Chicken Feather Panels as an Alternative Insulation Material menunjukkan bahwa panel berbasis limbah bulu ayam memiliki karakteristik densitas rendah, kemampuan insulasi termal yang baik, serta berpotensi digunakan sebagai material alternatif pada bangunan [14],[15],[16]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa struktur mikro serat bulu ayam yang berongga memberikan kontribusi terhadap penurunan konduktivitas termal sehingga material mampu mengurangi laju perpindahan panas [17].

Panel berbasis limbah bulu ayam memiliki beberapa keunggulan dalam aplikasi arsitektur. Material dengan berat yang ringan dapat mengurangi beban struktur bangunan dan mempermudah proses pemasangan, ini dibuktikan dengan paten yang telah granted dari penulis [18],[19],[20], serta buku referensin hasil riset terkait potensi dan pemanfaatan bulu ayam sebagai material alternatif untuk aplikasi material bangunan ramah lingkungan [21],[22],[23], serta satu buku ajar terkait material inovasi dan teknologi bahan pada aplikasi panel bulu ayam [24]. Selain itu, kemampuan insulasi termal yang baik berpotensi menurunkan penggunaan energi pendinginan ruangan sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi bangunan. Pemanfaatan limbah bulu ayam juga dapat memberikan nilai tambah pada limbah peternakan serta mendukung konsep ekonomi sirkular (circular economy) dalam industri konstruksi.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi fisik, mekanis, dan termal panel berbasis limbah bulu ayam sehingga dapat diketahui potensi penggunaannya sebagai material alternatif pada bidang arsitektur.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium (experimental research) untuk menganalisis karakteristik fisik, mekanis, dan termal panel berbasis limbah bulu ayam sebagai material alternatif pada bidang arsitektur. Metode eksperimen dipilih karena memungkinkan pengujian secara langsung terhadap karakteristik material melalui tahapan persiapan bahan, pembuatan panel, pengujian material, dan analisis hasil pengujian

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan utama yang digunakan berupa limbah bulu ayam yang diperoleh dari rumah pemotongan ayam lokal. Bulu ayam dipilih karena memiliki kandungan keratin yang tinggi dengan struktur serat berongga yang mampu meningkatkan kemampuan insulasi termal dan akustik material [25],[26]. Bulu ayam yang diperoleh kemudian dicuci menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran dan sisa material organik. Selanjutnya dilakukan proses sterilisasi menggunakan larutan desinfektan untuk mengurangi kandungan mikroorganisme yang dapat memengaruhi kualitas material. Tahapan pre-treatment tersebut mengacu pada penelitian Ansarullah dkk. yang menunjukkan bahwa proses pembersihan dan pengeringan dapat meningkatkan homogenitas serta kualitas panel yang dihasilkan [27],[28]. Setelah proses pencucian selesai, bulu ayam dikeringkan melalui dua tahap, yaitu penjemuran di bawah sinar matahari selama ± 24 jam

tergantung cuaca setempat Selanjutnya, bulu ayam dicacah menggunakan mesin pencacah hingga diperoleh ukuran serat berkisar 2–3 mm agar distribusi serat lebih homogen dan meningkatkan kualitas ikatan antar material komposit. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa struktur morfologi serat bulu ayam yang berongga memiliki kontribusi terhadap peningkatan kemampuan insulasi termal material komposit. Bahan perekat (binder) yang digunakan berupa resin Polyvinyl Acetate (PVAc) sebagai matriks komposit yang berfungsi mengikat serat bulu ayam sehingga membentuk panel yang lebih homogen serta meningkatkan stabilitas dan kekuatan mekanis material. Bahan perekat (binder) yang digunakan berupa resin Polyvinyl Acetate (PVAc) sebagai matriks komposit yang berfungsi mengikat serat bulu ayam sehingga membentuk panel yang lebih homogen serta meningkatkan stabilitas dan kekuatan mekanis material [29]. Variasi komposisi campuran antara bulu ayam dan PVAc pada penelitian ini terdiri atas 80:20, 70:30, dan 60:40. Seluruh bahan dicampurkan secara merata hingga homogen sebelum dimasukkan ke dalam cetakan panel berukuran 20 cm × 20 cm.

Proses pencetakan panel dilakukan menggunakan metode compression moulding dengan bantuan hydraulic press bertekanan ± 1 ton selama 45 menit untuk meningkatkan kepadatan dan homogenitas panel. Setelah proses pengepresan selesai, panel dikeringkan kembali menggunakan oven pada suhu 100°C selama 60 menit dan dilanjutkan pengeringan pada suhu ruang selama 24 jam dan terik sinar matahari sebelum dilakukan pengujian karakteristik material. Setiap variasi sampel dibuat sebanyak tiga kali pengulangan untuk meningkatkan validitas data penelitian. Data hasil pengujian kemudian dianalisis menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan membandingkan karakteristik fisik, mekanis, dan termal pada masing-masing variasi panel.

Peralatan yang digunakan meliputi:

- Timbangan digital
- Oven pengering
- Mesin cacah bulu ayam
- Cetakan panel
- Alat pengepres (*hydraulic press*)
- Universal Testing Machine (UTM)
- Thermal conductivity meter
- Jangka sorong
- Alat pengukur kadar air

2.2 Proses Pembuatan Panel

Tahapan pembuatan panel dilakukan dengan mencampurkan limbah bulu ayam dengan perekat PVAc menggunakan variasi komposisi campuran. Variasi komposisi dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah perekat terhadap karakteristik material panel yang dihasilkan.

Metode pencetakan panel dilakukan menggunakan teknik compression moulding, yaitu proses pencampuran material yang kemudian dipadatkan menggunakan alat tekan (*hydraulic press*) untuk memperoleh distribusi material yang lebih seragam. Teknik ini banyak digunakan pada penelitian komposit berbasis serat alami karena mampu meningkatkan densitas dan kekuatan material. Komposisi campuran yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Komposisi Panel

Sampel	Bulu Ayam (%)	Perekat PVAc (%)
P1	80	20
P2	70	30
P3	60	40

Seluruh bahan dicampurkan hingga homogen, kemudian dimasukkan ke dalam cetakan panel dengan ukuran:

- a) Panjang : 20 cm
 b) Lebar : 20 cm
 c) Tebal : 0,9 cm; 1,6 cm dan 2 cm

Proses selanjutnya dilakukan pengepresan menggunakan alat *hydraulic press* untuk menghasilkan kepadatan material yang lebih baik. Pendekatan serupa telah digunakan dalam penelitian panel bulu ayam sebagai material alternatif dinding dan material insulasi yang menunjukkan peningkatan kualitas struktur panel akibat distribusi serat yang lebih homogen

[30]. Setelah proses pengepresan selesai, panel dikeringkan dalam oven listrik selama 60 menit dan selanjutnya dikeringkan pada suhu ruang dan terik sinar matahari sebelum dilakukan pengujian.

2.3 Pengujian Karakteristik Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik, mekanis, dan termal panel berbasis limbah bulu ayam.

a. Pengujian Fisik

Pengujian fisik meliputi pengukuran densitas dan daya serap air. Pengukuran daya serap air dilakukan untuk mengetahui kemampuan material menyerap kelembaban yang dapat memengaruhi kinerja panel. Densitas material dihitung menggunakan persamaan:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Keterangan:

ρ = densitas (g/cm^3) m = massa sampel (g)

V = volume sampel (cm^3)

Sedangkan daya serap air dihitung menggunakan persamaan:

$$WA = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

WA = daya serap air

(%) W_1 = berat awal

sampel (g)

W_2 = berat setelah perendaman (g)

b. Pengujian Mekanis

Pengujian mekanis dilakukan untuk mengetahui kemampuan panel dalam menahan beban melalui pengujian kuat tekan dan kuat lentur menggunakan *Universal Testing Machine (UTM)*. Pengujian ini bertujuan mengetahui kemampuan material menahan gaya eksternal serta mengevaluasi potensi penggunaannya sebagai panel bangunan [29].

Kuat tekan dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Keterangan:

σ = kuat tekan (MPa)

F = beban maksimum (N) A = luas penampang (mm^2)

Pengujian kuat lentur dilakukan untuk mengetahui ketahanan panel terhadap pembebanan lentur.

c. Pengujian Termal

Pengujian termal dilakukan menggunakan *thermal conductivity meter* untuk menentukan kemampuan material dalam menghambat perpindahan panas. Material dengan nilai konduktivitas termal rendah menunjukkan kemampuan insulasi yang lebih baik [32]. Peningkatan karakteristik termal pada material berbasis bulu ayam dipengaruhi oleh struktur serat berongga yang mampu menahan udara di dalam material sehingga mengurangi laju perpindahan panas [31].

Nilai konduktivitas termal dihitung menggunakan persamaan:

$$k = \frac{Q \times L}{A \times \Delta T} \quad (4)$$

Keterangan:

k = konduktivitas termal (W/mK) Q = laju perpindahan panas (W) L = ketebalan material (m)

A = luas permukaan (m²)

ΔT = perbedaan temperatur (°C)

2.4 Analisa Data

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai karakteristik fisik, mekanis, dan termal pada masing-masing variasi sampel. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan standar material bangunan dan penelitian terdahulu untuk mengetahui potensi penggunaan panel berbasis limbah bulu ayam sebagai material alternatif pada bidang arsitektur.

2.5 Diagram Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 menunjukkan tahapan penelitian pembuatan dan karakterisasi panel berbasis limbah bulu ayam sebagai material alternatif pada bidang arsitektur. Penelitian diawali dengan pengumpulan limbah bulu ayam sebagai bahan baku utama, kemudian dilakukan pencucian dan sterilisasi untuk menghilangkan kotoran dan mengurangi kontaminasi mikroorganisme. Selanjutnya bulu ayam dikeringkan untuk menurunkan kadar air dan dilakukan penghalusan serat agar diperoleh ukuran yang lebih seragam.

Tahapan berikutnya yaitu pencampuran serat bulu ayam dengan bahan perekat sesuai komposisi yang telah ditentukan, kemudian dilakukan proses pencetakan dan pengepresan untuk membentuk panel dengan tingkat kepadatan yang baik. Panel yang telah dicetak selanjutnya dikeringkan sebelum dilakukan pengujian karakteristik material. Pengujian meliputi karakteristik fisik, mekanis, dan termal untuk mengetahui sifat dasar material, kemampuan menahan beban, serta kemampuan insulasi panas. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk menentukan potensi panel limbah bulu ayam sebagai material alternatif yang ramah lingkungan pada bidang arsitektur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Fisik Panel Berbasis Limbah Bulu Ayam

Hasil pengujian fisik menunjukkan bahwa panel berbasis limbah bulu ayam memiliki densitas yang relatif rendah. Rendahnya densitas dipengaruhi oleh karakteristik alami serat bulu ayam yang tersusun oleh keratin dengan struktur serat berongga (hollow fiber structure) serta penggunaan perekat PVAc yang menghasilkan material berpori. Struktur berpori ini menghasilkan panel dengan massa jenis rendah yang sesuai untuk aplikasi panel akustik dan insulasi bangunan. Penelitian lain menunjukkan bahwa serat bulu ayam memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan beberapa serat alami lainnya sehingga memberikan keuntungan pada material ringan dan insulatif.

Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Fisik Panel

Sampel	Bulu Ayam (%)	PVAc (%)	Densitas (g/cm ³)	Daya Serap Air (%)
P1	80	20	0.31	28.7
P2	70	30	0.34	24.9
P3	60	40	0.38	20.8

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa peningkatan kadar perekat PVAc menyebabkan densitas meningkat dari **0,31 g/cm³** menjadi **0,38 g/cm³**. Peningkatan ini terjadi karena matriks perekat mengisi rongga di antara serat bulu ayam sehingga struktur material menjadi lebih padat. Sebaliknya, nilai daya serap air mengalami penurunan akibat berkurangnya pori terbuka pada material. Hasil ini sejalan dengan penelitian Ansarullah dkk. mengenai karakteristik panel bulu ayam yang menunjukkan bahwa peningkatan kerapatan material memengaruhi struktur mikro panel dan menurunkan porositas.

3.2 Karakteristik Mekanis Panel Berbasis Limbah Bulu Ayam

Karakteristik mekanis panel dievaluasi melalui pengujian kuat tekan dan kuat lentur.

Tabel 3. Hasil Pengujian Mekanis Panel

Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Lentur (MPa)
P1	0.42	0.89
P2	0.58	1.13
P3	0.74	1.48

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah perekat menyebabkan peningkatan kuat tekan dan kuat lentur panel. Penambahan perekat meningkatkan ikatan antara serat dan matriks sehingga distribusi beban menjadi lebih merata. Namun demikian, nilai mekanis panel masih lebih rendah dibandingkan panel struktural karena material ini dirancang untuk fungsi akustik dan insulasi, bukan sebagai elemen struktur utama.

Struktur material berpori menghasilkan banyak rongga udara yang menurunkan kekuatan mekanis namun meningkatkan kemampuan penyerapan suara. Fenomena serupa juga ditemukan pada material

komposit berbasis bulu ayam yang menunjukkan adanya hubungan antara peningkatan porositas dan penurunan kekuatan mekanis material.

3.3 Karakteristik Termal Panel Berbasis Limbah Bulu Ayam

Pengujian termal dilakukan untuk mengetahui kemampuan panel dalam menghambat perpindahan panas.

Tabel 4. Hasil Pengujian Termal Panel

Sampel	Konduktivitas Termal (W/mK)
P1	0.035
P2	0.038
P3	0.042

Hasil pengujian menunjukkan bahwa panel berbasis limbah bulu ayam memiliki konduktivitas termal yang rendah. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa material memiliki kemampuan insulasi panas yang baik. Nilai konduktivitas termal yang diperoleh berada pada rentang yang mendekati penelitian Babalola dkk., yang melaporkan konduktivitas termal material berbasis bulu ayam sekitar **0,031–0,054 W/mK**.

Kemampuan insulasi tersebut dipengaruhi oleh struktur mikro bulu ayam yang berongga. Rongga udara yang terperangkap pada serat keratin memperlambat proses perpindahan panas melalui mekanisme konduksi. Penelitian lain pada komposit berbasis bulu ayam juga menunjukkan bahwa peningkatan fraksi bulu ayam meningkatkan resistansi termal material. Hasil penelitian mengenai karakteristik mikrostruktur dan konduktivitas termal panel bulu ayam menunjukkan kecenderungan yang serupa, yaitu peningkatan kerapatan panel menyebabkan peningkatan nilai konduktivitas termal [32].

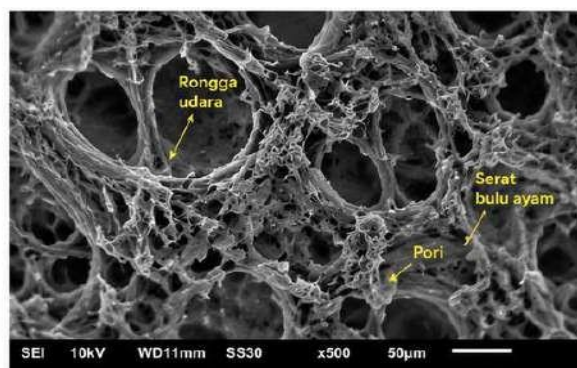
3.4 Implikasi terhadap Aplikasi Material Akustik pada Bidang Arsitektur

Karakteristik panel yang memiliki densitas rendah, struktur berpori, dan konduktivitas termal rendah menunjukkan bahwa material ini berpotensi diaplikasikan sebagai panel akustik pada bangunan. Material berpori memiliki kemampuan menyerap energi suara karena gelombang suara yang masuk ke dalam pori mengalami gesekan dengan udara di dalam rongga material sehingga energi suara berubah menjadi energi panas.

Karakteristik tersebut sesuai dengan penelitian mengenai panel akustik berbasis limbah bulu ayam yang menunjukkan bahwa peningkatan porositas material berpengaruh terhadap peningkatan kemampuan serap suara panel. Selain itu, penelitian terkait material insulasi berbasis bulu ayam menunjukkan bahwa material tersebut memiliki potensi tinggi untuk aplikasi dinding interior, *wall cladding*, partisi, dan panel insulasi bangunan.

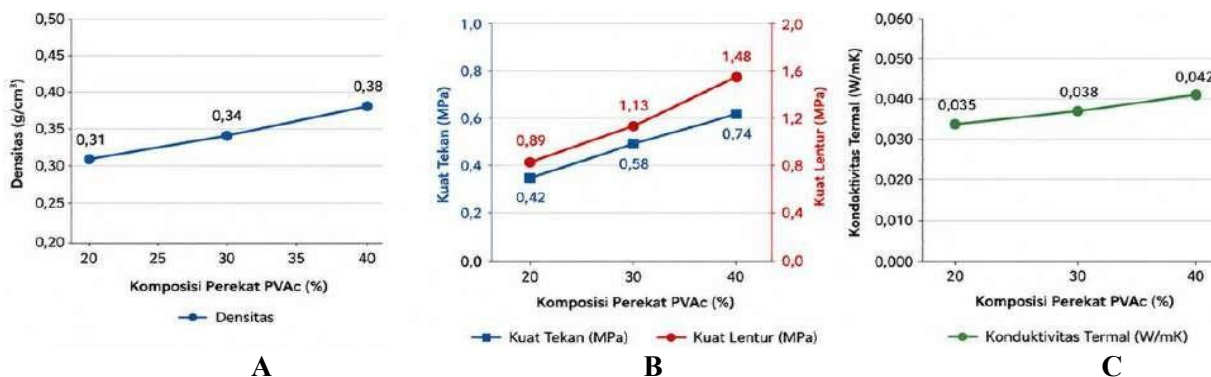


Foto panel setelah proses *compression moulding*



Menunjukkan rongga serat dan distribusi pori

Gambar 2. Hasil pembuatan panel dan struktur mikro panel bulu ayam (SEM)



Gambar 3. A. Grafik hubungan komposisi perekat terhadap densiti, B. Grafik kuat tekan dan kuat lentur, C. Konduktivitas terma panel Bulu Ayam

Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan hasil pembuatan serta karakterisasi panel komposit berbasis limbah bulu ayam yang meliputi bentuk fisik panel, struktur mikro material, dan hasil pengujian karakteristik fisik, mekanis, serta termal panel. Hasil proses compression moulding menghasilkan panel dengan struktur yang relatif homogen, ringan, dan memiliki distribusi serat yang cukup merata. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan perekat PVAc mampu meningkatkan ikatan antarserat sehingga membentuk material komposit yang lebih stabil.

Hasil pengamatan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) pada Gambar 2 menunjukkan adanya struktur rongga udara dan distribusi pori yang tersebar pada serat bulu ayam. Struktur berpori tersebut berperan penting dalam meningkatkan kemampuan insulasi termal dan akustik material karena rongga udara di dalam panel mampu menghambat perpindahan panas dan menyerap energi suara melalui mekanisme gesekan udara pada pori material. Hasil ini sejalan dengan penelitian Dieckmann dkk dan Ouakarrouch dkk menyatakan bahwa struktur hollow fiber pada serat keratin bulu ayam memberikan kontribusi terhadap rendahnya konduktivitas termal material komposit.

Pada Gambar 3A terlihat bahwa peningkatan kadar perekat PVAc menyebabkan densitas panel meningkat dari 0,31 g/cm³ menjadi 0,38 g/cm³. Kondisi ini menunjukkan bahwa matriks PVAc mampu mengurangi rongga terbuka dan meningkatkan kepadatan struktur panel. Pada Gambar 3B, peningkatan kadar PVAc juga meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur panel akibat terbentuknya ikatan antarserat yang lebih baik. Namun demikian, peningkatan densitas material pada Gambar 3C menyebabkan nilai konduktivitas termal sedikit meningkat karena berkurangnya rongga udara internal yang berfungsi sebagai penghambat perpindahan panas [32].

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa struktur mikro serat bulu ayam memiliki hubungan langsung terhadap karakteristik fisik, mekanis, dan termal panel. Semakin besar porositas material, maka kemampuan insulasi termal dan akustik cenderung meningkat, meskipun kekuatan mekanis material menjadi lebih rendah. Oleh karena itu, optimasi komposisi bulu ayam dan PVAc menjadi faktor penting untuk memperoleh keseimbangan antara kemampuan insulasi dan kekuatan mekanis panel sebagai material alternatif ramah lingkungan pada bidang arsitektur.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, panel komposit berbasis limbah bulu ayam menunjukkan potensi yang baik sebagai material alternatif ramah lingkungan untuk aplikasi insulasi termal dan akustik pada bangunan.

Panel memiliki densitas rendah (sekitar 0,31–0,38 g/cm³) sehingga menghasilkan material yang ringan, berpori, dan mampu meningkatkan kenyamanan termal serta akustik ruang. Struktur mikro serat bulu ayam yang berongga berperan penting dalam menghambat perpindahan panas dan menyerap energi suara melalui rongga udara di dalam material. Peningkatan kadar perekat PVAc terbukti mampu memperbaiki ikatan antarserat sehingga meningkatkan kestabilan dan kekuatan mekanis panel. Selain itu, nilai konduktivitas termal yang rendah menunjukkan bahwa panel memiliki kemampuan insulasi panas yang baik dan berpotensi digunakan sebagai material bangunan berkelanjutan. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah bulu ayam dapat menjadi solusi alternatif dalam mengurangi limbah biomassa dari industri peternakan unggas serta mendukung penerapan konsep green building dan circular economy pada sektor konstruksi. Material ini juga berpotensi dikembangkan sebagai panel interior dan material insulasi alternatif pada bangunan hemat energi. Namun demikian, penelitian ini masih terbatas pada pengujian skala laboratorium dan belum mengevaluasi ketahanan material terhadap api, kelembaban ekstrem, biodegradasi jangka panjang, serta pengujian akustik pada skala ruang bangunan secara langsung.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia (UMI), serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, fasilitas, dan bantuan selama proses penelitian hingga penyusunan artikel ini. Dukungan yang diberikan sangat membantu dalam penyelesaian penelitian mengenai pengembangan panel berbasis limbah bulu ayam sebagai material alternatif pada bidang arsitektur.

REFERENCES

- [1] P. Ranjan *et al.*, *Sustainable Valorisation of Animal Manures via Thermochemical Conversion Technologies : An Inclusive Review on Recent Trends*, vol. 14, no. 2. Springer Netherlands, 2023. doi: 10.1007/s12649-022-01916-5.
- [2] Q. Li, "Progress in Microbial Degradation of Feather Waste," *Front. Microbiol.*, vol. 10, no. December, pp. 1–15, 2019, doi: 10.3389/fmicb.2019.02717.
- [3] S. P. Cardoso, Alexander Machado, Lokeshwari B, "Keratinolytic Fungi for Poultry Feather Waste Valorization : Mechanisms , Biotechnological Applications , Economic Feasibility , and Future Perspectives," *resources*, vol. 15, no. 46, pp. 1–41, 2026, doi: Resources 2026, 15, 46 <https://doi.org/10.3390/resources15030046>.
- [4] V. Mehra, S. Chatterjee, A. Pai, K. S. Chandrashekar, A. Naha, and V. K. B, "BIOCONVERSION OF RECALCITRANT KERATIN RICH WASTES : A PRAGMATIC APPROACH TOWARDS SUSTAINABLE DEVELOPMENT," *Rasayan Journal*, vol. 42, no. 12, pp. 36–42, 2022, doi: <http://doi.org/10.31788/RJC.2022.1558070> This.
- [5] S. Mattiello *et al.*, "Physico-Chemical Characterization of Keratin from Wool and Chicken Feathers Extracted Using Refined Chemical Methods," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 181, pp. 1–15, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/polym15010181> Academic.
- [6] T. McGauran, N. Dunne, B. M. Smyth, E. Cunningham, and M. Harris, "Poultry feather disulphide bond breakdown to enable bio-based polymer production," *Polym. From Renew. Resour.*, vol. 12, no. 3–4, pp. 92–110, 2021, doi: 10.1177/20412479211008746.
- [7] A. P. Coutinho, M. G. Freire, C. Polesca, H. Passos, and J. P. Hallett, "Sustainable Recovery of Keratin from Chicken Feather Waste and Its Processing for Biomedical Applications," *Accounts Mater. Res.*, vol. 7, pp. 499–509, 2026, doi: 10.1021/accountsmr.5c00368.
- [8] I. Ryłko-polak, W. Komala, and A. Białowiec, "The Reuse of Biomass and Industrial Waste in Biocomposite Construction Materials for Decreasing Natural Resource Use and Mitigating the Environmental Impact of the Construction Industry : A Review," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 4078, pp. 1–26, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/ma15124078>.

- [9] P. Lisowski and M. A. Glinicki, "Promising biomass waste – derived insulation materials for application in construction and buildings," *Biomass Convers. Biorefinery*, vol. 15, pp. 57–74, 2025, doi: 10.1007/s13399-023-05192-8.
- [10] M. D. Acevedo, I. Lancellotti, F. Andreola, L. Barbieri, L. J. B. Ureña, and F. C. Ferre, "Management of agricultural waste biomass as raw material for the construction sector : an analysis of sustainable and circular alternatives," *Environ. Sci. Eur.*, vol. 34, no. 70, pp. 1–23, 2022, doi: 10.1186/s12302-022-00655-7.
- [11] E. Dieckmann, R. Onsiang, B. Nagy, L. Sheldrick, and C. Cheeseman, "Valorization of Waste Feathers in the Production of New Thermal Insulation Materials," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 12, no. 2, pp. 1119–1131, 2021, doi: 10.1007/s12649-020-01007-3.
- [12] samin P. Abdulmunem A, "Insulation Material Based On Recycled.pdf," *TJES*, vol. 30, no. 1, pp. 103–111, 2023, doi: <http://doi.org/10.25130/tjes.30.1.10>.
- [13] M. Ouakarrouch, N. Laaroussi, and M. Garoum, "Thermal characterization of a new bio-composite building material based on plaster and waste chicken feathers," *Renew. Energy Environ. Sustain.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–7, 2020, doi: 10.1051/rees/2019011.
- [14] M. A. H. Ansarullah Ansarullah, Juhana Said, Muhammad Zainal Altim, Gusti Hardyanti Musda, Kusno Kamil, Dolly Inra, Asniawaty Kusno, "Characteristics of Chicken Feather Panels as an Alternative Insulation Material," *J. Civ. Eng. Archit.*, vol. 13, no. 3, pp. 1–9, 2025, doi: 10.13189/.
- [15] A. Faharuddin, M. Mukhtar, and T. Mustamin, "Panel Bulu Ayam sebagai Material Dinding Ramah Lingkungan," *J. Linears*, vol. 5, no. 2, pp. 52–60, 2022, doi: 10.26618/j-linears.v5i2.7176.
- [16] N. J. Ansarullah, Ramli Rahim, Asniawaty Kusno, Baharuddin Hamzah, "Utilization of waste of chicken feathers and waste of cardboard as the material of acoustic panel maker," *Friendly City 4 'From Res. to Implement. Better Sustain. IOP Publ.*, vol. 11, no. 02, pp. 12–22, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/126/1/012036 Utilization.
- [17] A. Faharuddin, M. T. Syarkawi, J. Said, M. Z. Altim, Z. Hamson, and S. Aisah, "Microstructure Characteristics of Chicken Feather Panels As An Alternative Wall Material," *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 9, no. 12, pp. 12063–12072, 2023, doi: 10.29303/jppipa.v9i12.6317.
- [18] A. Ansarullah, "Panel Bulu Ayam sebagai Material Dinding Ramah Lingkungan," Indonesian Simple Patent IDS000007678, 2022 [Online]. Available: <https://pdki-indonesia.dgip.go.id/detail/e3b0c44298fc1c149afb4c8996fb92427ae41e4649b934ca495991b7852b855>
- [19] N. Ansarullah, Juhana said, Kusno kamil, "Panel Termal Berbahan dasar Bulu Ayam," Indonesian Simple Patent IDS000008156, 2024 [Online]. Available: <https://pdki-indonesia.dgip.go.id/detail/e3b0c44298fc1c149afb4c8996fb92427ae41e4649b934ca495991b7852b855>
- [20] Ansarullah, "Panel Akustik Ramah Lingkungan dari Limbah Bulu Ayam," Indonesian Patent IDP000102851, 2025 [Online]. Available: <https://pdki-indonesia.dgip.go.id/detail/e3b0c44298fc1c149afb4c8996fb92427ae41e4649b934ca495991b7852b855>
- [21] Ansarullah, *Panel Akustik dari Limbah Bulu Ayam*. Yogyakarta, Indonesia: Deepublish, 2022. [Online]. Available: https://drive.google.com/file/d/1DL3DSNNB_NWU8DsJCe8jySWGrnhXs93Y/view?usp=drive_link
- [22] Ansarullah, *Potensi dan Karakteristik Limbah Bulu Ayam sebagai Material Bangunan*. Yogyakarta, Indonesia: Deepublish, 2022. [Online]. Available: https://drive.google.com/file/d/1XWYrYm_TW-d4bm8enoo5BDVOZn0q4OX97/view?usp=drive_link
- [23] G. H. M. Ansarullah, Aris Alimuddin, Andas Budi, Abdullah Basalamah, *Pemanfaatan Limbah Bulu Ayam Sebagai Bahan Alternatif (Potensi dan Aplikasi)*. Makassar, Indonesia: PT. Nasmedia Indonesia, 2024.
- [24] A. E. Dr. Ir. H. Ansarullah, ST., MT., IPM., *Material Inovatif dan Teknologi bahan*. Jakarta, Indonesia: PT BUKULOKA LITERASI BANGSA, 2026.
- [25] J. Bessa, J. Souza, J. B. Lopes, J. Sampaio, and C. Mota, "Characterization of thermal and acoustic

- insulation of chicken feather reinforced composites,” *Procedia Eng.*, vol. 200, pp. 472–479, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.07.066.
- [26] A. Ansarullah, R. Rahim, B. Baharuddin, and A. Asniawaty, “Identifikasi Karakteristik Limbah Bulu Ayam sebagai Material Panel Akustik,” pp. E017–E024, 2019, doi: 10.32315/ti.8.e017.
- [27] M. tayeb Ansarullah, BaharudinHamzah, Asniawaty Kusno, “Acoustic Panel Chicken Feather,” *IJCIET*, vol. 11, no. 02, pp. 12–22, 2020, [Online]. Available: <http://www.iaeme.com/ijciyet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=11&IType=02>
- [28] R. Ansarullah, Rahim, B. Hamzah, and A. Kusno, “ACOUSTICAL CHARACTERISTIC OF CHICKEN FEATHER PANEL,” *IJARET*, vol. 11, no. 8, pp. 687–696, 2020, doi: 10.34218/IJARET.11.8.2020.067.
- [29] I. Aranberri, S. Montes, E. Wesołowska, A. Rekondo, and K. Wrze, “Improved Thermal Insulating Properties of Renewable Polyol Based Polyurethane Foams Reinforced with Chicken Feathers,” *Polymers (Basel)*, vol. 11, no. 2002, pp. 1–16, 2019, doi: doi:10.3390/polym11122002.
- [30] A. Faharuddin, M. T. Syarkawi, K. Kamil, A. Basalamah, and G. Hardyanti, “CHICKEN FEATHER PANEL AS A NEW ALTERNATIVE MATERIAL,” in *Geomate*, Japan: Geomate, 2023, pp. 14–16.
- [31] R. Babalola *et al.*, “Synthesis of thermal insulator using chicken feather fibre in starch-clay nanocomposites,” *Heliyon*, vol. 6, no. 11, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05384.
- [32] G. H. M. Ansarullah Faharuddin, Ahmad Nadhil Edar, Abdullah Basalamah, “Konduktivitas thermal panel bulu ayam,” *TEKNOSAINS*, vol. 18, no. (2) 2024, pp. 197–205, 2024, [Online]. Available: <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/teknosains/>