

## Pembuatan Biokomposit Menggunakan Jamur Pelapuk Putih *Auricularia auricula* dan *Lentinus squarrosulus* serta Bahan Lignoselulosik Serbuk Gergaji Kayu dan Tatal Kayu

Tiara Hadi Nugraha, Aris Mumpuni\*, Ratna Stia Dewi

Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. dr. Suparno 63 Purwokerto 53122

\*Correspondent email : aris.mumpuni@unsoed.ac.id

### Rekam Jejak Artikel:

Diterima : 18/08/2022

Disetujui : 02/09/2023

### Abstract

Biocomposite is a composite material that uses natural materials that contain lignocellulose. The manufacture of composite boards by utilizing agricultural waste will get added value, namely reducing the impact on the environment. Biocomposites are made by utilizing the mycelium of white rot fungi such as *Auricularia auricula* and *Lentinus squarrosulus* as binders for lignocellulose-containing materials such as wood sawdust and wood chips which have the main components cellulose, hemicellulose, and lignin. These materials can be well utilized for the growth of white rot fungi in the manufacture of biocomposites. The purpose of this study was to determine the optimal type of fungus and lignocellulosic material on the manufacture of biocomposites. This study used an experimental method of 10 treatments. The treatment was carried out on lignocellulosic materials in the form of sawdust and wood chips with a composition (25%, 50%, 75%, and 100%). The parameters measured in this study were fungal mycelium growth, composite density, composite air content, composite thickness expansion, modulus of elasticity, modulus of fracture of the composite and composite biodegradability. The results showed that the types of fungi and lignocellulosic materials had an effect on the manufacture of composite boards. The best fungus used in the manufacture of biocomposites is *L. squarrosulus* and the best lignocellulosic material used is a mixture of the two lignocellulosic materials that is 25% sawdust + 75% wood chips.

**Key Words:** *biocomposite, lignocellulosic material, white rot fungus*

### Abstrak

Biokomposit merupakan bahan komposit yang menggunakan material alami yang mengandung lignoselulosa. Pembuatan papan komposit dengan memanfaatkan limbah pertanian akan mendapatkan nilai tambah yaitu mengurangi dampak buruk bagi lingkungan. Biokomposit dibuat dengan memanfaatkan miselium jamur pelapuk putih seperti *Auricularia auricula* dan *Lentinus squarrosulus* sebagai pengikat bahan yang mengandung lignoselulosa seperti serbuk gergaji kayu dan tatal kayu yang memiliki komponen utama selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Bahan-bahan tersebut dapat dengan baik dimanfaatkan untuk pertumbuhan jamur pelapuk putih dalam pembuatan biokomposit. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui jenis jamur dan bahan lignoselulosik yang optimal terhadap pembuatan biokomposit. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan 10 perlakuan. Perlakuan dilakukan pada bahan lignoselulosa berupa serbuk kayu dan tatal kayu dengan komposisi (25%, 50%, 75%, dan 100%). Parameter yang diukur dalam penelitian ini ialah pertumbuhan miselium jamur, kerapatan komposit, kadar air komposit, pengembangan tebal komposit, modulus elastisitas, modulus patah komposit serta biodegradabilitas komposit. Hasil penelitian didapatkan jenis jamur dan bahan lignoselulosik berpengaruh terhadap kualitas biokomposit yang dihasilkan. Jamur yang paling baik digunakan dalam pembuatan biokomposit yaitu jamur *L. squarrosulus* dan bahan lignoselulosik yang paling baik digunakan yaitu 25% Serbuk kayu + 75% tatal kayu.

**Kata kunci :** *bahan lignoselulosa, biokomposit, jamur pelapuk putih*

## PENDAHULUAN

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material yang mempunyai sifat mekanik lebih kuat dari material pembentuknya. Bahan komposit terdiri dari dua senyawa atau lebih yang berbeda karakteristik fisik atau kimianya yang berinteraksi sedemikian rupa sehingga menghasilkan bahan tunggal dengan sifat yang diharapkan lebih baik daripada komponennya secara terpisah (Shekar & Ramachandra, 2018). Biokomposit adalah bahan komposit yang berbasis *bio* atau berasal dari alam yang dapat diuraikan oleh dekomposer dan dapat diperbarui. Penggunaan bahan

lignoselulosik yaitu kayu memiliki struktur selulosa, hemiselulosa dan lignin yang dapat digunakan sebagai pembuatan biokomposit (Kusumastuti, 2009).

Jamur pelapuk putih merupakan mikroorganisme dari kelas Basidiomycetes yang mampu mendegradasi lignin dan selulosa pada proses delignifikasi. Miselium jamur dan bahan lignoselulosa merupakan material yang dapat digunakan sebagai pembuatan biokomposit alami. Miselium jamur pelapuk putih dapat mengikat substrat yang digunakan untuk pembuatan biomaterial dengan baik dan dapat berubah-ubah sifat

fisiknya tergantung substrat yang digunakan. Thakur *et al.*, (2014), menyatakan apabila substrat tersebut kaya akan lignin, selulosa, dan hemiselulosa maka miselium jamur dapat tumbuh dengan baik.

Jamur pelapuk putih yang dapat digunakan sebagai pembuatan biokomposit antara lain *L. squarrosulus* dan *A. auricula*. Jamur *L. squarrosulus* memiliki miselium yang sangat kuat dan cepat tumbuh sehingga dapat digunakan sebagai biokomposit. Miselium jamur *L. squarrosulus* pada fase vegetatif memiliki miselium berwarna putih pekat dan di akhir fase vegetatif, miselium berubah warna menjadi kehitaman. Jamur *A. auricula* merupakan spesies jamur kayu dari kelas Basidiomycetes. Jamur tersebut secara alami tumbuh pada kayu sehingga dikenal sebagai jamur kayu (jamur pelapuk kayu) dan sering disebut kuping kayu (Hadiyanti *et al.*, 2020).

Media serbuk kayu dan tatal kayu lebih banyak mengandung lignoselulosa, karena lignoselulosa merupakan biomassa yang berasal dari tanaman dengan komponen utama lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang merupakan bahan utama penyusun dinding sel. Menurut Murdaningsih & Lue (2020), menyebutkan bahwa serbuk gergaji kayu mengandung selulosa 40-45%, lignin 18-33%, zat ekstraktif 1-12% dan abu 0.22-6% yang penting untuk pertumbuhan jamur. Penggunaan miselium jamur sebagai pengikat bahan lignoselulosa dalam pembuatan biokomposit alami merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas biokomposit yang dihasilkan. Ciri-ciri pertumbuhan miselium jamur dapat terlihat dari warna substrat yang berwarna putih dan memiliki struktur yang berserat dan padat.

Papan biokomposit yang dihasilkan dikatakan baik secara fisik dan mekanis apabila telah diuji menggunakan beberapa persyaratan untuk biokomposit yaitu kerapatan yang tinggi, kadar air dan pengembangan tebal komposit yang rendah, serta Modulus elastisitas dan Modulus patah yang tinggi. Komposit berbasis miselium cenderung memiliki kekurangan yaitu rawan terhadap kontaminasi, oleh karena itu pengerjaan dilakukan secara aseptis dan hati-hati, selain itu memiliki kelebihan yaitu harga yang murah, mudah didapat, dan ramah lingkungan (Thakur *et al.*, 2014). Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui jenis jamur dan bahan lignoselulosik yang optimal terhadap kualitas biokomposit.

## MATERI DAN METODE

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah biakan murni jamur *L. squarrosulus* koleksi pembimbing yang berasal dari hasil isolasi dari Baturraden dan jamur *A. auricula* yang berasal dari Agro Jamur Pabuaran, bahan lignoselulosik yang berupa serbuk gergaji kayu dan tatal kayu, kentang, dekstroza, agar, air destilasi, jagung giling, gergaji kayu, kapur, dedak, kapas, aluminium foil, dan alkohol 70%

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini

adalah autoklaf, *laminar air flow*, boks cetakan kayu ukuran p 30 cm x l 30 cm x t 5 cm, boks plastik, kontener plastik, cawan Petri, tabung reaksi, pinset, gelas ukur, gelas beaker, pipet tetes, pipet ukur, cawan porslen, botol kaca ukuran 300 ml, plastik *wrapper*, jarum ose, bunsen, timbangan neraca, timbangan analitik, oven, labu Erlenmeyer, gelas ukur, gelas piala, corong, batang pengaduk, kertas saring, kamera, eksikator, dan *furnace*.

### Pembuatan media Potato Dextrose Agar (PDA)

Kentang dipotong sebanyak 200 g lalu ditambahkan dengan 1000 mL aquades, kemudian dipanaskan hingga mendidih dan homogen. Setelah mendidih, ekstrak kentang disaring dan ditambahkan dekstroza 20 g, agar 15 g, dan aquades hingga mencapai 1000 mL, kemudian dipanaskan hingga mendidih kembali. Setelah mendidih, media dituang secara aseptis ke dalam tabung reaksi dan ditutup dengan kapas dan plastik wrap, kemudian media disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit dengan tekanan 2 atm. (Achmad & Mulyaningsih, 2015).

### Penyiapan inokulum jamur

Inokulum jamur *L. squarrosulus* dan *A. auricula* diremajakan pada medium PDA dalam tabung reaksi dan cawan Petri, diinkubasi pada suhu ruang selama 5-7 hari. Inokulum jamur tersebut kemudian diinokulasikan ke medium sorgum, medium sorgum terdiri dari bahan sorgum dengan tambahan kapur 1% dan air, kemudian dimasukkan ke dalam botol kaca ukuran 300 ml hingga  $\frac{3}{4}$  dari botol kaca, dan disterilisasi menggunakan autoklaf dengan suhu 121°C, tekanan 2 atm selama 30 menit, kemudian media sorgum yang telah diinokulasi inokulum jamur, lalu diinkubasi pada suhu ruang selama 10-15 hari.

### Penyiapan bahan lignoselulosik

Bahan lignoselulosik yang berupa serbuk gergaji kayu dan tatal kayu, dimana serbuk gergaji kayu diayak menggunakan ayakan, agar didapatkan serbuk gergaji yang halus dan seragam dengan ukuran rata-rata 2 mm, kemudian tatal kayu dipilih dan diayak menjadi potongan rata-rata 1 cm<sup>3</sup> lalu dikering-anginkan hingga kering sempurna. Bahan tersebut dicampur sesuai komposisi pada perlakuan, kemudian dikemas ke dalam kantong plastik Polypropylene (PP) ukuran 25 x 40 x 0,06 cm dan dibentuk membentuk baglog pada budidaya jamur, berat baglog ditimbang hingga mencapai berat 600-700 gr dan disterilkan menggunakan autoklaf dengan tekanan 2 atm selama 30 menit.

### Inokulasi jamur dan inkubasi

Inokulum jamur yang sudah diinkubasi pada botol kaca 300 ml kemudian diinokulasikan sebanyak 10 g/baglog yang berisi bahan lignoselulosik yang telah disterilkan (Widiastuti & Pani, 2008). Semua baglog diinkubasi selama 14 hari pada suhu ruang hingga kolonisasi jamur mencapai 75%. Hasil dari

inkubasi bahan lignoselulosik didalam baglog tersebut, kemudian dipindah kulturkan kedalam cetakan dengan cara menghancurkan baglog dan dihomogenkan menggunakan tangan secara aseptis, 2 baglog untuk mengisi 1 boks cetakan, kemudian ditutup dengan plastik wrap dan diinkubasi pada suhu ruang selama jangka waktu tertentu sampai koloni jamur telah menutup seluruh permukaan bahan, sesudah kondisi tersebut tercapai, semua sampel dikeluarkan dari cetakan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 70° C selama 5 sampai 10 jam, sampai beratnya stabil dan semua air diuapkan (Elsacker *et al.*, 2019).

### Uji kualitas biokomposit

- 1) Pertumbuhan miselium jamur pada bahan komposit.

Pengamatan pertumbuhan miselium jamur dilakukan di empat sisi baglog. Kecepatan pertumbuhan miselium diukur dengan menarik garis lurus dari bagian atas baglog hingga batas pertumbuhan miselium pada baglog. Pengukuran panjang miselium dilakukan dengan menandai, mendokumentasikan dan mengukur pertambahan panjang miselium pada masing-masing baglog perlakuan setiap 7 hari sekali, hingga pertumbuhan mencapai 75% dari baglog.

- 2) Kerapatan komposit

Pengujian kerapatan komposit dilakukan dengan cara menyipkansampel uji berukuran panjang (p) 10 cm, lebar (l) 10 cm dan tebal (t) 1 cm.. Papan komposit yang telah dibuat dalam keadaan kering udara ditimbang. Panjang, lebar dan tebal papan komposit diukur. Besarnya kerapatan papan komposit dihitung menggunakan persamaan berikut (Ruhendi & Putra, 2011)

$$\rho = m/V$$

Keterangan :

$\rho$  : Kerapatan papan komposit (g/cm<sup>3</sup>)

m : Massa papan komposit (g)

V : Volume papan partikel (panjang (p) × lebar (l) × tebal (t)) (cm<sup>3</sup>)

- 3) Kadar air komposit

Pengujian kadar air komposit dilakukan dengan cara, disiapkan sampel uji berukuran (p) 10 cm, lebar (l) 10 cm dan tebal (t) 1 cm. Dilakukan penimbangan terhadap papan komposit yang telah dibuat dan melalui proses penyimpanan selama 14 hari yang bertujuan agar papan komposit sudah dalam keadaan stabil, setelah menimbang dan diperoleh nilai massa kering, maka papan komposit tersebut dikeringkan dalam oven selama 6 jam pada suhu ±100° C sehingga air yang terkandung dalam papan komposit mengalami penguapan dan mencapai massa konstan. Papan komposit yang telah kering ditimbang kembali untuk memperoleh nilai massa kering papan setelah di oven. Besarnya kadar air dihitung menggunakan persamaan berikut (Ruhendi & Putra, 2011):

$$KA = \frac{ma-mk}{mk} \times 100\%$$

Keterangan:

KA : Kadar air papan komposit (%)

ma : massa awal papan komposit (g)

mk : massa kering mutlak papan komposit (gr)

- 4) Pengembangan tebal komposit

Prosedur pengujian pengembangan tebal komposit dilakukan dengan cara menyiapkan sampel uji berukuran (p) 5 cm, lebar (l) 5 cm dan tebal (t) 1 cm. Mengukur tebal papan komposit dalam keadaan kering yang telah dibuat dan melalui proses penyimpanan selama 14 hari yang bertujuan agar papan komposit sudah dalam keadaan stabil, setelah mengukur tebal dan diperoleh nilai tebal papan dalam keadaan kering, maka papan komposit tersebut direndam dalam air dingin selama 24 jam hingga mencapai massa konstan papan komposit, kemudian papan komposit diukur kembali untuk memperoleh nilai ketebalan papan komposit setelah direndam, data yang diperoleh kemudian dicatat. Penentuan nilai pengembangan tebal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Ruhendi & Putra, 2011) :

$$PT = \frac{t2-t1}{t1} \times 100\%$$

Keterangan:

PT : Besar pengembangan tebal papan komposit (%)

t1 : Tebal papan komposit sebelum direndam (cm)

t2 : Tebal papan komposit setelah direndam (cm)

- 5) Modulus Elastisitas komposit

Prosedur kerja pengujian ini adalah sebagai berikut:

Sampel uji dengan ukuran panjang 15 cm, lebar 10 cm, dan tebal 1 cm disiapkan. Sampel uji dimensi lebar dan tebal diukur kemudian hasilnya di input ke komputer mesin pengontrol. Sampel uji diletakkan pada mesin induk UTM dengan jarak tumpuan 15 cm, kemudian di tengah jarak tumpuan diberikan beban dan pembebanan dilakukan sampai batas titik elastis. Hasil pengujian direkam oleh komputer mesin pengontrol. MoE dan MoR memiliki satuan Mpa (MegaPascal), dimana 1 Mpa = 1 N/mm<sup>2</sup>. Modulus Elastisitas dihitung menggunakan rumus :

$$MoE = \frac{\Delta PL^3}{4X \Delta Y \times b \times d^3}$$

Keterangan :

MoE : Modulus Elastisitas (MPa)

$\Delta P$  : Perubahan beban (kg)

L : Jarak sangga (cm)

$\Delta Y$  : Perubahan defleksi pada setiap perubahan beban (cm)

b : lebar uji papan (cm)

d : tebal uji papan (cm)

- 6) Modulus Patah komposit

Sampel uji dengan ukuran panjang 15 cm, lebar 10 cm, dan tebal 1 cm dalam kondisi kering udara

disiapkan. Sampel uji diletakkan pada mesin induk UTM dengan jarak tumpuan 15 cm, kemudian di tengah jarak tumpuan diberikan beban dan pembebanan dilakukan sampai batas titik patah. Hasil pengujian direkam oleh komputer mesin pengontrol. MoE dan MoR memiliki satuan Mpa (MegaPascal), dimana 1 Mpa = 1 N/mm<sup>2</sup>. Secara umum, modulus patah dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Maloney, 1993).

$$\text{MoR} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2}$$

Keterangan:

MoR : Modulus patah (MPa)  
P : Perubahan beban (kg)  
L : jarak penyangga (cm)  
d : lebar uji papan (cm)  
b : tebal uji papan (cm)

#### 7) Pengukuran biodegradabilitas komposit

Disiapkan komposit dengan ukuran 5 × 5 cm dikomposkan pada tumpukan serbuk gergaji kayu yang dicampur kompos. Ditambahkan starter pengomposan *Effective Microorganism 4* (EM4). Pengomposan dilakukan di udara terbuka dan setiap interval 10 hari selama 1 bulan. Biodegradabilitas komposit diamati dengan mengukur kadar abunya. Sampel bahan komposit yang telah dilakukan pengomposan ditimbang sebanyak 5 gr kemudian dibungkus menggunakan aluminium foil. Sampel dimasukkan dalam *furnace* dan dipanaskan sampai temperatur 575°C selama 4 jam. Selanjutnya sampel di dinginkan di dalam eksikator dan ditimbang sampai bobotnya tetap (Saleh *et al.*, 2009). Kadar abu dihitung dengan persamaan:

$$\text{Kadar abu} = \frac{\text{berat abu}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

#### Penilaian Papan Biokomposit

Penilaian papan biokomposit dilakukan untuk menentukan jenis jamur dan bahan lignoselulosa yang paling baik dalam pembuatan biokomposit. Teknik penilaian mengacu pada Inggrit (2017), dimana penilaian papan biokomposit melibatkan uji parameter utama serta pemenuhan parameter tersebut berdasarkan standar yang digunakan yaitu JIS A5908-2003. Kriteria penilaian meliputi:

1. Penilaian dibagi menjadi 5 kategori yaitu 1 : Sangat buruk; 2 : Buruk; 3 : Sedang; 4 : Baik; dan 5 : Sangat baik.
2. Penilaian untuk parameter pertumbuhan miselium, kerapatan komposit, MoE dan MoR memiliki rincian yaitu skor 1 untuk parameter yang memiliki nilai rata-rata paling rendah dan skor 5 untuk parameter yang memiliki nilai rata-rata paling tinggi.
3. Penilaian untuk parameter kadar air komposit dan pengembangan tebal komposit memiliki rincian yaitu skor 1 untuk parameter yang memiliki nilai

rata-rata paling tinggi dan skor 5 untuk parameter yang memiliki nilai rata-rata paling rendah.

4. Penilaian parameter untuk pemenuhan standar JIS A5908-2003 dibagi menjadi 2 kategori yaitu skor 1 untuk semua parameter yang memenuhi standar dan skor 0 untuk semua parameter yang tidak memenuhi standar.
5. Total skor yang paling tinggi menunjukkan papan biokomposit yang paling baik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Pertumbuhan miselium

Hasil pengamatan terhadap pertumbuhan miselia menunjukkan bahwa miselium jamur *L. squarrosulus* dan jamur *A. auricula* dapat tumbuh di semua komposisi bahan lignoselulosik dengan variasi kecepatan pertumbuhan miselium yang berbeda. Hasil analisis variansi menyatakan bahwa perlakuan jenis jamur dan bahan lignoselulosik berpengaruh sangat nyata terhadap pertumbuhan miselium. Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan perlakuan L1 tidak berbeda nyata dengan perlakuan L2, namun berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Pertumbuhan miselium pada jamur *L. squarrosulus* lebih cepat yaitu membutuhkan waktu 18 hari masa inkubasi dan memiliki rata-rata nilai yang lebih tinggi yaitu 149,4 mm sedangkan pertumbuhan miselium jamur *A. auricula* membutuhkan waktu 24 hari masa inkubasi dan memiliki nilai rata-rata yaitu 97,9 mm. Menurut Rosa *et al* (2013), *L. squarrosulus* dapat tumbuh baik pada pohon-pohon dengan kondisi hangat dan lembab, sehingga suhu dan cuaca tidak terlalu berpengaruh terhadap pertumbuhan miselium, akan tetapi masa pertumbuhan miselium jamur *A. auricula* tumbuh optimal pada suhu 28° C.

Penggunaan 100% serbuk kayu memiliki nilai rata-rata pertumbuhan miselium lebih tinggi dibandingkan penggunaan 100% tatal kayu. Hal tersebut dikarenakan ukuran partikel serbuk kayu lebih kecil dibandingkan tatal kayu, sehingga miselium dapat merambat dan tumbuh dengan cepat pada serbuk kayu dibandingkan tatal kayu, selain itu kandungan senyawa pada serbuk kayu memiliki kandungan yang lebih besar dibandingkan tatal kayu. Serbuk gergaji kayu memiliki kandungan selulosa 45,42%, hemiselulosa 21% dan lignin 26,50% sehingga jamur pelapuk putih dapat dengan mudah mendegradasi lignin (Hartati *et al.*, 2010), sedangkan tatal kayu yang berupa serutan kayu mengandung selulosa 39-45%, hemiselulosa 15-25%, lignin 18% (Adipratama *et al.*, 2021). Jamur pelapuk putih dapat dengan mudah mendegradasi lignin dengan menghasilkan enzim lignase yang meliputi lakase (Lac), mangan peroksidase (MnP) dan lignin peroksidase (LiP) pada media serbuk gergaji kayu (Hadravi, 2014).

#### a. Kerapatan komposit

Hasil pengamatan kerapatan komposit pada setiap perlakuan jamur dan bahan lignoselulosa menunjukkan adanya perbedaan kerapatan komposit yang dihasilkan. Hasil keseluruhan nilai kerapatan komposit sekitar 0,14 – 0,19 g/cm<sup>3</sup>. Hal ini tidak sesuai dengan standar JIS A5908-2003 yang mensyaratkan 0,40-0,90 g/cm<sup>3</sup>. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata kerapatan papan biokomposit yang dihasilkan tidak memenuhi standar JIS A5908-2003. Hasil uji Analisis variansi menunjukkan bahwa perlakuan jamur dan bahan lignoselulosa berpengaruh sangat nyata terhadap kerapatan komposit. Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan perlakuan L1 tidak berbeda nyata dengan perlakuan A2 namun berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Uji lanjut Duncan menunjukkan perlakuan L2 memiliki rata-rata nilai kerapatan yang paling tinggi dan perlakuan L5 serta A5 memiliki rata-rata nilai kerapatan paling rendah.

Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan komposisi media bahan lignoselulosa serbuk kayu lebih dari 50% memiliki nilai kerapatan yang tinggi, sedangkan penggunaan komposisi tatal kayu yang lebih dari 50% mengakibatkan papan komposit yang dihasilkan memiliki nilai kerapatan yang rendah. Menurut Fuadi *et al* (2022) perbedaan komposisi bahan saat pembuatan papan dapat berpengaruh pada massa dan volume papan yang dihasilkan sehingga nilai massa yang besar dan volume yang besar akan menghasilkan nilai kerapatan yang besar pula, oleh karena itu komposit dikatakan baik secara fisik jika memiliki nilai rata-rata kerapatan komposit yang tinggi.

#### b. Kadar air komposit

Hasil pengamatan kadar air komposit didapatkan penggunaan jamur *L. squarrosulus* dan *A. auricula* pada setiap perlakuan menghasilkan nilai kadar air yang berbeda-beda. Hasil pengujian ini menunjukkan rata-rata nilai kadar air yang dihasilkan yaitu berkisar 9,65-17,37%. Standar JIS A5908-2003, mensyaratkan bahwa papan partikel mempunyai kadar air antara 5-13%. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata kadar air papan partikel yang dihasilkan memenuhi standar JIS A5908-2003. Hasil analisis variansi menunjukkan perlakuan jenis jamur dan bahan lignoselulosa berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air komposit yang dihasilkan. Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan perlakuan L1 tidak berbeda nyata dengan perlakuan L2, L3, dan L5, namun berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Gambar 3. menunjukkan perlakuan yang menggunakan jamur *A. auricula* memiliki rata-rata nilai kadar air yang tinggi dibandingkan perlakuan yang menggunakan jamur *L. squarrosulus*. Kondisi ini dapat disebabkan karena ikatan antara miselium *A. auricula* dengan material komposit tidak mengikat dengan optimal sehingga air dapat masuk melalui rongga-rongga yang terdapat pada papan komposit.

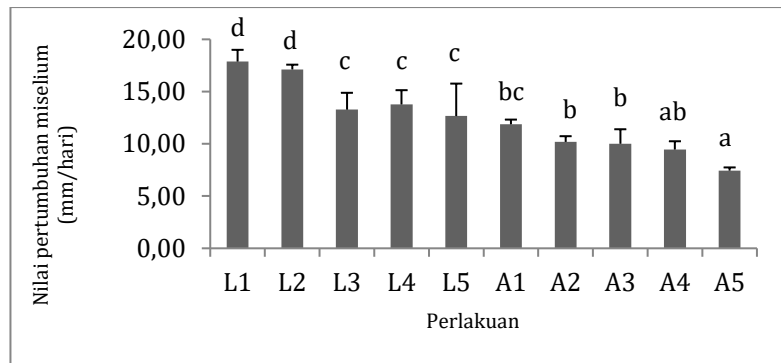
Menurut Meliana & Asri (2021) nilai kadar air juga dipengaruhi oleh ikatan antar serat (bahan lignoselulosa) dan perekat (miselium jamur) untuk terbentuknya papan komposit yang kuat saat pengujian agar air sulit mengisi rongga-rongga papan komposit tersebut.

Komposisi media bahan lignoselulosa menunjukkan perbedaan terhadap nilai kadar air. Penggunaan media serbuk gergaji kayu yang lebih dari 50% memiliki nilai kadar air yang lebih rendah, sedangkan penggunaan media tatal kayu yang lebih dari 50% memiliki nilai kadar air yang lebih tinggi. Tingginya nilai kadar air disebabkan sifat papan partikel komposit yang bersifat higroskopis karena mengandung lignin dan selulosa, dimana semua bahan yang mengandung lignin dan selulosa sangat mudah menyerap dan melepaskan air (higroskopis), tatal kayu yang berbentuk serutan kayu memiliki tekstur tipis dan lebar sehingga air mudah menyerap (Haygreen & Bowyer., 2003). Secara fisik komposit yang memiliki kadar air yang rendah lebih baik dibandingkan komposit yang memiliki kadar air yang lebih tinggi.

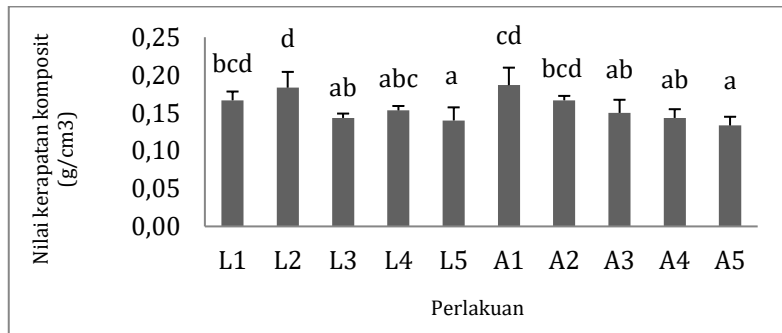
#### c. Pengembangan tebal komposit

Hasil pengujian pada kedua jenis jamur dan komposisi bahan lignoselulosik adanya perbedaan nilai pengembangan tebal komposit. Hasil perhitungan pengembangan tebal komposit dengan cara perendaman selama 24 jam menghasilkan nilai berkisar antara 2,61 – 15,27%. Standar JIS A 5908-2003 mensyaratkan nilai maksimal pengembangan tebal komposit yaitu sebesar 12%. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa semua perlakuan memenuhi standar kecuali pada perlakuan A4 yaitu *A. auricula* dengan 25% serbuk kayu + 75% tatal kayu. Hasil analisis variansi menunjukkan bahwa perlakuan jamur dan bahan lignoselulosa berpengaruh sangat nyata terhadap pengembangan tebal komposit. Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan perlakuan A4 berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

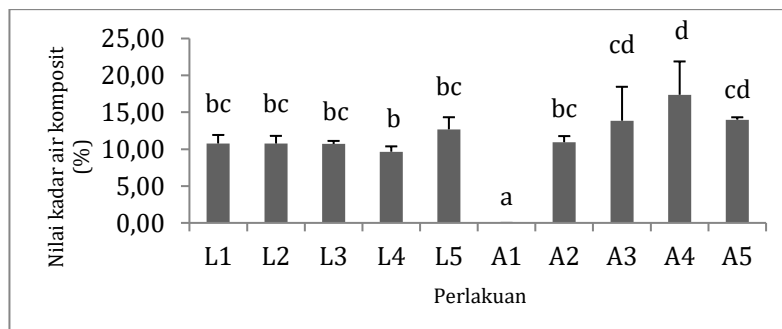
Gambar 4. menunjukkan perlakuan A4 memiliki nilai pengembangan tebal komposit yang paling tinggi, sedangkan untuk perlakuan L1 memiliki nilai pengembangan yang paling rendah. Perlakuan jamur *L. squarrosulus* dengan komposisi serbuk kayu lebih dari 50% menghasilkan nilai rata-rata pengembangan tebal komposit yang rendah, sedangkan perlakuan jamur *A. auricula* dengan komposisi tatal kayu lebih dari 50% memiliki nilai rata-rata pengembangan tebal komposit paling tinggi. Tatal kayu merupakan bahan lignoselulosa yang mudah menyerap air karena berbentuk serutan kayu memiliki tekstur yang tipis dan ukuran yang lebih besar dibandingkan serbuk kayu. Menurut Fuadi *et al* (2022), pengembangan tebal berkaitan dengan penyerapan air oleh papan partikel komposit. Semakin tingginya serapan air, maka partikel-partikel bahan dapat menyerap air sehingga melemahkan ikatan antar partikel dan akhirnya membuat papan komposit mengembang.



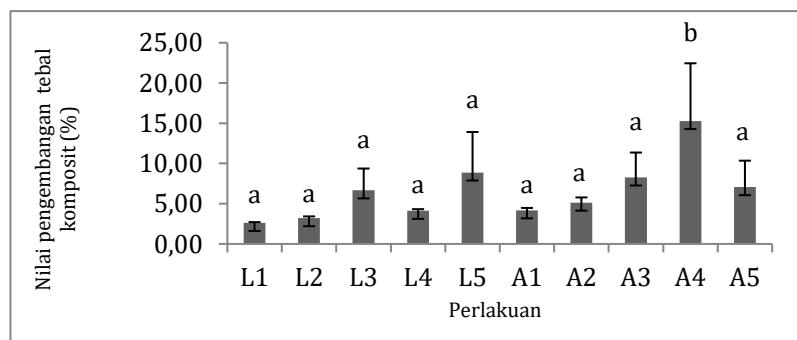
**Gambar 1.** Histogram pertumbuhan miselium jamur *L. squarrosulus* dan *A. auricula* pada komposisi bahan lignoselulosa yang berbeda.



**Gambar 2.** Histogram kerapatan papan biokomposit yang dibuat menggunakan jamur *L. squarrosulus* dan *A. auricula* serta komposisi bahan lignoselulosik.

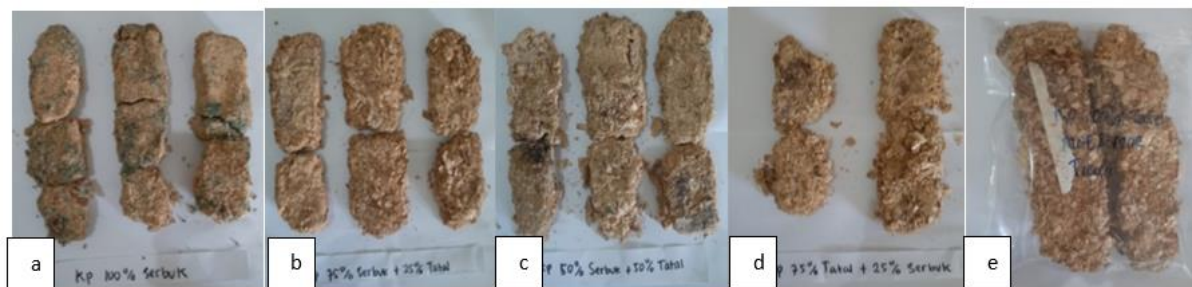


**Gambar 3.** Histogram kadar air papan biokomposit yang dibuat menggunakan jamur *L. squarrosulus* dan *A. auricula* serta komposisi bahan lignoselulosik.



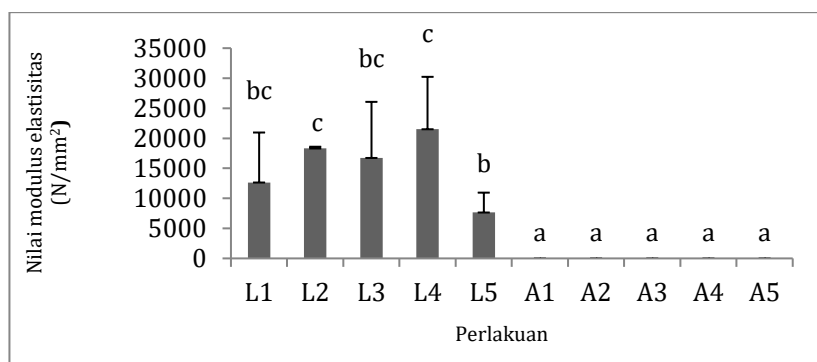
**Gambar 4.** Histogram pengembangan tebal papan biokomposit yang dibuat menggunakan jamur *L. squarrosulus* dan *A. auricula* serta komposisi bahan lignoselulosik.

Ket : L1 : *L. squarrosulus* 100% Serbuk kayu; L2 : *L. squarrosulus* 75% Serbuk kayu + 25% Tatal kayu; L3 : *L. squarrosulus* 50% Serbuk kayu + 50% Tatal kayu; L4 : *L. squarrosulus* 25% Serbuk kayu + 75% Tatal kayu; L5 : *L. squarrosulus* 100% Tatal kayu; A1 : *A. auricula* 100% Serbuk kayu; A2 : *A. auricula* 75% Serbuk kayu + 25% Tatal kayu; A3 : *A. auricula* 50% Serbuk kayu + 50% Tatal kayu; A4 : *A. auricula* 25% Serbuk kayu + 75% Tatal kayu; A5 : *A. auricula* 100% Tatal kayu.

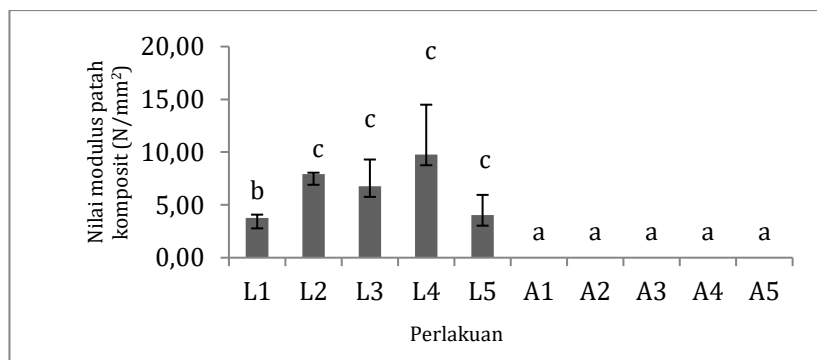


**Gambar 5.** Sampel *A. auricula* tidak lolos uji MoE dan MoR (a) sampel A1, (b) sampel A2, (c) sampel A3, (d) sampel A4, (e) sampel A5.

Ket : A1 : *A. auricula* 100% Serbuk kayu; A2 : *A. auricula* 75% Serbuk kayu + 25% Tatal kayu; A3 : *A. auricula* 50% Serbuk kayu+ 50% Tatal kayu; A4 : *A. auricula* 25% Serbuk kayu + 75% Tatal kayu; A5 : *A. auricula* 100% Tatal kayu.



**Gambar 6.** Histogram modulus elastisitas papan biokomposit yang dibuat menggunakan jamur *L. squarrosulus* dan *A. auricula* serta komposisi bahan lignoselulosik



**Gambar 7.** Histogram modulus patah papan biokomposit yang dibuat menggunakan jamur *L. squarrosulus* dan *A. auricula* serta komposisi bahan lignoselulosik.

Ket : L1 : *L. squarrosulus* 100% Serbuk kayu; L2 : *L. squarrosulus* 75% Serbuk kayu + 25% Tatal kayu; L3 : *L. squarrosulus* 50% Serbuk kayu + 50% Tatal kayu; L4 : *L. squarrosulus* 25% Serbuk kayu + 75% Tatal kayu; L5 : *L. squarrosulus* 100% Tatal kayu; A1 : *A. auricula* 100% Serbuk kayu; A2 : *A. auricula* 75% Serbuk kayu + 25% Tatal kayu; A3 : *A. auricula* 50% Serbuk kayu+ 50% Tatal kayu; A4 : *A. auricula* 25% Serbuk kayu + 75% Tatal kayu; A5 : *A. auricula* 100% Tatal kayu.

Suridding & Erwinsyah (2011), mengemukakan bahwa partikel serbuk kayu yang memiliki ukuran lebih kecil dapat mengisi celah – celah antar partikel sehingga ikatan kedua partikel dengan perekat semakin solid dan daya serap air semakin berkurang, sehingga nilai pengembangan tebal papan komposit semakin rendah. Pengembangan tebal komposit baik secara fisik jika memiliki nilai pengembangan tebal komposit yang rendah.

#### d. Modulus elastisitas komposit

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel uji komposit yang menggunakan jamur *A. auricula* tidak memenuhi standar untuk dilanjutkan uji MoE dan

MoR. Bentuk sampel tersebut patah dan tidak berukuran 10 x 20 cm. Hal ini dapat disebabkan karena perekat berupa miselium jamur *A. auricula* tidak merekat dengan sempurna sehingga tidak terjadi interaksi antara miselium jamur dengan media bahan lignoselulosa.

Hasil pengujian MoE menggunakan jamur *L. squarrosulus* pada masing-masing komposisi media bahan lignoselulosa terjadi perbedaan nilai Modulus elastisitas yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengujian MoE, semua perlakuan memenuhi standar JIS A5908-2003 yang mensyaratkan nilai minimal MoE sebesar 2.000 N/mm<sup>2</sup>. Hasil analisis variansi

menunjukkan bahwa perlakuan miselium jamur dengan bahan lignoselulosik berpengaruh sangat nyata terhadap Modulus elastisitas komposit. Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan perlakuan L1 tidak berbeda nyata dengan perlakuan L3, namun berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Perlakuan L4 memiliki nilai MoE yang paling tinggi, oleh karena itu perlakuan jamur *L. squarrosulus* menggunakan komposisi campuran memiliki nilai MoE yang paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan jamur *L. squarrosulus* yang menggunakan satu jenis komposisi bahan lignoselulosa. Hal ini disebabkan karena penyebaran perekat berupa miselium yang merata pada bahan lignoselulosa menyebabkan kekuatan antar perekat dan bahan lignoselulosa semakin bertambah sehingga didapatkan kekuatan elastisitas yang tinggi.

Menurut Meliana & Asri (2021) partikel yang memiliki ukuran sedang memiliki sifat mekanis yang lebih baik dibandingkan partikel berukuran kecil atau halus, selain itu rendahnya nilai rata-rata MoE diindikasikan karena kondisi sampel yang kurang baik yaitu matriks yang tidak merata di dalam papan komposit, sehingga kurangnya pendistribusian serat yang tidak merata yang mengakibatkan terjadinya void (ruang kosong) dalam struktur komposit dan terjadi penurunan kualitas komposit.

#### e. Modulus patah komposit

Hasil pengujian MoR didapatkan nilai MoR papan biokomposit yang menggunakan jamur *L. squarrosulus* dengan komposisi bahan lignoselulosa berkisar antara 3,8 – 9,76 N/mm<sup>2</sup>. Perlakuan L4 yaitu *L. squarrosulus* dengan 25% serbuk kayu + 75% tatal kayu memenuhi standar JIS A5908-2003 yang mensyaratkan nilai MoR minimal 8 N/mm<sup>2</sup>. Hasil analisis variansi menunjukkan perlakuan jamur dan bahan lignoselulosa berpengaruh sangat nyata terhadap MoR.

Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan Perlakuan L4 memiliki nilai MoR yang paling tinggi. Hal tersebut sesuai dengan nilai MoE yang didapat, nilai MoE berbanding lurus dengan nilai MoR, artinya jika nilai MoE yang didapat tinggi maka nilai MoR yang didapat tinggi. Penggunaan komposisi bahan lignoselulosa yang menggunakan dua campuran memiliki nilai MoR paling tinggi, dibandingkan hanya menggunakan satu jenis bahan lignoselulosa yakni serbuk kayu dan tatal kayu yang memiliki nilai MoR paling kecil.

Penggunaan komposisi bahan lignoselulosa yang menggunakan dua campuran memiliki nilai MoR paling tinggi, dibandingkan hanya menggunakan satu jenis bahan lignoselulosa yakni serbuk kayu dan tatal kayu yang memiliki nilai MoR paling kecil.

Pengujian kualitas papan komposit menggunakan perekat non miselia jamur yang

dilakukan oleh Nuryaman *et al.* (2009), menyatakan bahwa keteguhan patah papan komposit cenderung berkurang seiring dengan mengecilnya ukuran penyusun kayu atau ukuran kayu yang digunakan. Semakin tinggi tingkat kekuatan lentur pada papan yang dibuat maka semakin kuat papan tersebut dalam menahan bobot sesuatu benda (Mirza *et al.*, 2020). Rahmadi *et al* (2005) menyatakan bahwa kadar air, kerapatan, jumlah, dan komposisi bahan serta kesolidan antara bahan yang direkat dan perekat sangat erat kaitannya dengan keteguhan patah.

#### f. Biodegradabilitas komposit

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kadar abu yang menggunakan jamur *L. squarrosulus* dan *A. auricula* pada masing-masing komposisi bahan lignoselulosa terjadinya penurunan kadar abu dalam interval waktu 10, 20, dan 30 hari. Semakin rendahnya kadar abu, maka semakin meningkatnya biodegradasi pada papan komposit. Papan komposit yang mengalami degradasi oleh mikroorganisme menunjukkan bahwa papan komposit masih mengandung unsur hara organik dan merupakan papan komposit yang ramah terhadap lingkungan.

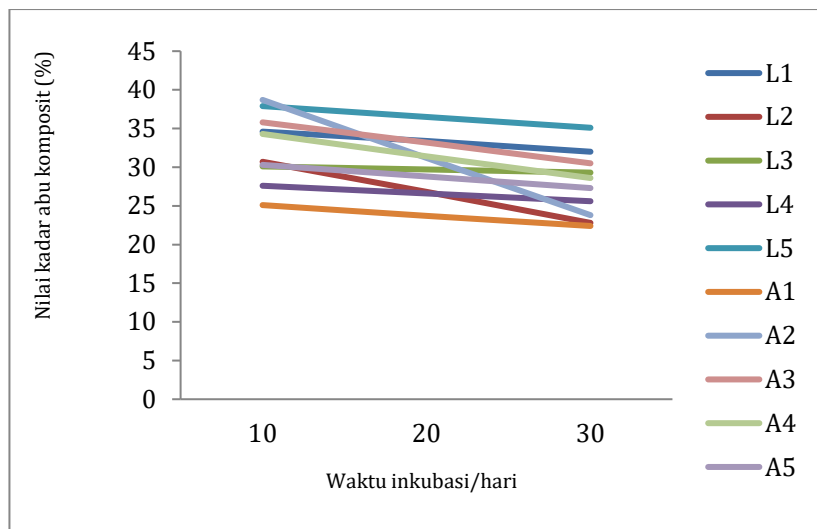
Kadar abu didapatkan dengan memanaskan komposit pada suhu 575° C. Menurut deman (1997), pembakaran yang dilakukan pada suhu 600° C akan merusak senyawa organik dan meninggalkan mineral pada sampel yang diuji kadar abunya. Degradasi (pengomposan) bahan organik merupakan suatu proses fisik maupun kimia bahan organik menjadi senyawa kimia lainnya oleh aktivitas mikroorganisme (Sarief, 1986). Utami, (2013) menyatakan penentuan kadar abu bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral pada komposit yang dihasilkan

Pengujian biodegradabilitas dengan cara pengomposan yang ditambahkan stimulator pupuk EM4 pada serbuk kayu menghasilkan tekstur papan komposit yang direndam pada interval waktu 10, 20, dan 30 hari semakin lunak. Penggunaan EM4 dapat mempercepat proses pengomposan sehingga biodegradabilitas semakin meningkat. Penggunaan EM4 pada saat proses pengomposan terjadi degradasi bahan organik oleh mikroorganisme yaitu *Lactobacillus* sp., khamir, *Actinomycetes* dan *Streptomicetes* sp.

Gambar 8 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai kadar abu dengan semakin lamanya papan biokomposit dilakukan pengomposan. Hal tersebut terjadi karena adanya penguraian oleh mikroorganisme di masing-masing jamur pada komposisi bahan lignoselulosa.

Hasil keseluruhan data yang telah didapatkan kemudian dilakukan skoring sesuai parameter yang digunakan sebagai syarat uji komposit untuk mengetahui perlakuan yang baik agar didapatkan biokomposit yang berkualitas.





**Gambar 8.** Grafik kadar abu papan biokomposit yang menggunakan jamur *L. squarrosulus* dan *A. auricula* serta komposisi bahan lignoselulosik.

Ket : L1 : *L. squarrosulus* 100% Serbuk kayu; L2 : *L. squarrosulus* 75% Serbuk kayu + 25% Tatal kayu; L3 : *L. squarrosulus* 50% Serbuk kayu + 50% Tatal kayu; L4 : *L. squarrosulus* 25% Serbuk kayu + 75% Tatal kayu; L5 : *L. squarrosulus* 100% Tatal kayu; A1 : *A. auricula* 100% Serbuk kayu; A2 : *A. auricula* 75% Serbuk kayu + 25% Tatal kayu; A3 : *A. auricula* 50% Serbuk kayu + 50% Tatal kayu; A4 : *A. auricula* 25% Serbuk kayu + 75% Tatal kayu; A5 : *A. auricula* 100% Tatal kayu.

**Tabel 1.** Penilaian Papan Biokomposit

Sifat Fisis dan Mekanis	L1	L2	L3	L4	L5	A1	A2	A3	A4	A5
Rata-rata Pertumbuhan miselium (mm)	178,7	171,2	132,7	137,7	126,6	118,7	101,8	100,1	94,6	74,4
• Nilai Skoring	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1
• Jis A5908(2003)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rata-rata Kerapatan komposit (g/cm <sup>3</sup> )	0,17	0,18	0,14	0,15	0,14	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13
• Nilai Skoring	4	5	2	3	3	5	4	3	2	1
• Jis A5908(2003)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rata-rata Kadar Air komposit (%)	10,77	10,76	10,70	9,65	12,69	0	10,94	13,38	17,37	13,99
• Nilai Skoring	4	4	5	5	3	1	3	2	1	2
• Jis A5908(2003)	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
Rata-rata Pengembangan Tebal Komposit (%)	2,61	3,20	6,65	4,12	8,88	4,18	5,13	8,26	15,27	7,06
• Nilai Skoring	5	5	3	4	1	4	3	2	1	2
• Jis A5908(2003)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Rata-rata <i>Modulus of Elasticity</i> (MoE) (N/mm <sup>2</sup> )	12.63	18.30	16.72	21.50	7.641,	0	0	0	0	0
	0,3	4,0	4,0	0,0	0					
• Nilai Skoring						1	1	1	1	1
• Jis A5908(2003)	2	4	3	5	1	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	1					
Rata-rata <i>Modulus of Rupture</i> (MoR) (N/mm <sup>2</sup> )	3,78	7,91	6,76	9,76	4,03	0	0	0	0	0
• Nilai Skoring	1	4	3	5	2	1	1	1	1	1
• Jis A5908(2003)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>Total Skor</b>	<b>24</b>	<b>30</b>	<b>23</b>	<b>31</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>7</b>

Keterangan :

Nilai standar JIS A5908 (2003) :

1 : Memenuhi standar; 0 : Tidak memenuhi standar

Nilai skoring :

1 : Sangat Buruk; 2 : Buruk; 3: Sedang; 4 : Baik; 5 : Sangat baik

## SIMPULAN

Jenis jamur dan bahan lignoselulosik yang optimal dalam pembuatan biokomposit berbasis miselium adalah *L. squarrosulus* pada 25% Serbuk kayu + 75% Tatal kayu.

## Ucapan Terimakasih

Penulis ucapkan terima kasih kepada Badan Layanan Umum (BLU) Unsoed 2021 Skim Riset Unggulan Dasar.

## DAFTAR REFERENSI

- Achmad & Mulyaningsih., 2015. Pengaruh pH, Penggoyangan Media, dan Ekstrak Daun Sirih Merah (*Piper crocatum* Linn.) terhadap Pertumbuhan Cendawan *Rhizoctonia* sp. *Jurnal Hortikultura*. 25(2), pp. 150- 159.
- Elsackher, E., Vandellook, S., Brancart, J., Peeters, E., & De Laet, L., 2019. Mechanical, Physical, and Chemical Characterisation of Mycelium-based Composites with Different Types of Lignoselulosic Substrates. *PLoS One*, 14(7), pp. 1-20.
- Fuadi, N., M. Said L., M. Aswad, A., 2022. Uji Sifat Fisis Komposit Limbah Serbuk Kayu Dan Tempurung Kelapa. *Media Informasi Sains dan Teknologi*, 16(1), pp. 121-129.
- Hadiyanti, N., Aji, S. B., & Saptorini., 2020. Kajian Produksi Jamur Kuping (*Auricularia auriculajudae*) Pada Berbagai Komposisi Media Tanam. *Jurnal AGRINIKA*, 4(1), pp. 1-14.
- Haygreen, J. G., R. Shmulsky., & J. L. Bowyer., 1993. *Forest Products and Wood Science, An Introduction*. USA: The Iowa State University Press.
- Inggrit, G., 2017. Sifat Fisis Dan Mekanis Papan Partikel Dari Batang Jagung Dan Bagase. *Skripsi*. Sumatera: Universitas Sumatera.
- Kusumastuti, A., 2009, Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer, *Jurnal Kompetensi Teknik*, 1(1), pp. 1-5.
- Maloney, T. M. 1993. *Modern Particleboard and Dry Process Fiberboard Manufacturing*. Miller Freeman Inc. San Francisco. USA.
- Melianaa & Asifa, A., 2021. Analisis Pengaruh Ukuran Serat Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Papan Komposit Berbahan Serat Batang Pisang Kepok. *Prisma Fisika*, 9(3), pp. 221 – 227.
- Mirza, H., M. Faisal, M., & G. A. Rahmat, T., 2020. Sifat Fisik Dan Mekanik Papan Partikel Dari Serbuk Gergajian Kayu Sengon Laut (*Paraserianthes falcataria*) Menggunakan Perekat PVAC. *Jurnal Sylva Scientiae*, 3(5), pp. 855-867.
- Murdaningsih, M., & Lue, M., 2020. Pengaruh Media Tanam Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jamur Tiram Putih (*Pleurotus florida*). *AGRICA*, 7(2), pp. 122-131.
- Nuryaman, A., Iwan, R., & Pamona, S. N., 2009. Sifat Fisik Mekanik Papan Partikel dari Limbah Pemanenan Kayu. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*. 2(2), pp. 57 – 63
- Rahmadi, A. Mahdie, F., & Mansyah, A., 2005. Pemanfaatan Limbah Industri Hasil Hutan Menjadi Papan Semen dengan Menggunakan Semen Pozolan. *Jurnal Ilmiah Hutan Tropis Borneo*. Fakultas Kehutanan UNLAM, Banjarbaru.
- Rosa, Y., L.A. Manaf., I. Sudirman., & F. Hazra., 2013. Telaah fisiologi *lentinus* sp. dengan reaksi oksidasi pada medium agar asam galat, agar asam tanin dan agartirosin. *Jurnal Penelitian Sains*. 16(1), pp 1– 6.
- Ruhendi, S., & Putra, E., 2011. Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel dari Batang dan Cabang Kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*, 4(1), pp. 14-21.
- Saleh, A., Pakpahan, M. M. D., & Angelina, N., 2009. Pengaruh Konsentrasi Pelarut, Temperatur, dan Waktu Pemasakan Pada Pembuatan Pulp dari Sabut Kelapa Muda. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(3), pp. 35-44.
- Sarief, S. 1986. *Kesuburan dan Pemupukan Tanah Pertanian*. Bandung: Pustaka Buana.
- Shekar, H. S. S., & Ramachandra, M., 2018. Green Composites: A Review, *Mater. Today Proc.*, 5(1), pp. 2518–2526.
- Surdiding, R., & Erwinsyah, P., 2011. Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel dari Batang dan Cabang Kayu Jabon. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*, 4(1), pp. 14-21.
- Thakur, V. K., Thakur, M. K., & Gupta, R. K., 2014. Review: Raw Natural Fiber-Based Polymer Composites. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 19(3), pp. 256–271.
- Utami, A. 2013. Karakteristik Organoleptik dan Gisi Pie Substitusi Terigu Dengan Tepung Pati Jagung Nusa penida (*Zea mays*). *Arc.Com.Health*, 2(2), pp. 117-126.
- Widiastuti, H., & Pani, T., 2008. Pola Aktivitas Enzim Lignoselulosik *Pleurotus ostreatus* pada Limbah Sludge Pabrik Kertas. *Menara Perkebunan*, 76(1), pp. 47-60