

**Variasi Konsentrasi Hidrolisat Selulosa Untuk Pertumbuhan Fungi
Kontaminan Dari Limbah Alga *Gracilaria* sp.
*Cellulose Hydrolysate Concentration Variation for Contaminant Fungal
Growth from Gracilaria sp. Algal Waste***

Angelina Jayanti Rosarini Putri¹, Ahmad Syaumi^{1*}, Ari Hayati¹

¹Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Malang,
Malang 65144, Indonesia

ABSTRAK

Media pertumbuhan merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan pertumbuhan fungi, karena ketersediaan sumber karbon sangat mempengaruhi laju pertumbuhan koloni. Limbah *Gracilaria* sp. pasca-ekstraksi agar-agar masih mengandung selulosa sekitar 30–42% bobot kering yang berpotensi sebagai sumber karbon alternatif melalui hidrolisis. Penelitian ini bertujuan menganalisis pertumbuhan fungi kontaminan dari limbah *Gracilaria* sp. pada media padat yang diperkaya hidrolisat selulosa dengan variasi konsentrasi. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga perlakuan: P0 (media PDA sebagai kontrol), P1 (hidrolisat 5% v/v), dan P2 (hidrolisat 10% v/v), masing-masing tiga ulangan dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 4 hari. Fungi kontaminan yang diisolasi diidentifikasi sebagai *Aspergillus* sp. berdasarkan morfologi makroskopis. Pertumbuhan diamati setiap 24 jam dengan mengukur luas koloni. Hasil menunjukkan kontrol (0%) memiliki rata-rata luas koloni tertinggi (159,20 mm²), diikuti konsentrasi 5% (74,27 mm²) dan 10% (56,40 mm²). Uji One-Way ANOVA menunjukkan perbedaan nyata antarperlakuan ($p = 0,001$). Analisis regresi linier menunjukkan hubungan positif signifikan antara waktu inkubasi dan luas koloni pada seluruh perlakuan ($R^2 = 0,665–0,924$), dan tertinggi pada konsentrasi hidrolisat 10%. *Aspergillus* sp. mampu tumbuh pada seluruh perlakuan, namun kemampuan media hidrolisat masih lebih rendah dibandingkan media PDA standar. Media hidrolisat 10% mengalami fase lag sebelum pertumbuhan meningkat pada hari keempat.

Kata kunci: *Aspergillus* sp., hidrolisat selulosa, limbah *Gracilaria* sp., media alternatif, pertumbuhan koloni

ABSTRACT

Growth media are a primary factor determining fungal colony development, since carbon source availability strongly influences colony growth rate. *Gracilaria* sp. waste after agar extraction contains approximately 30–42% dry-weight cellulose, a potential alternative carbon source via hydrolysis. This study analysed contaminant fungal growth from *Gracilaria* sp. waste on solid media enriched with cellulose hydrolysate at varying concentrations. A Completely Randomised Design (CRD) was applied with three treatments: P0 (PDA as control), P1 (5% v/v hydrolysate), and P2 (10% v/v hydrolysate), each with three replications, incubated at 37°C for 4 days. The isolated contaminant fungus was identified as *Aspergillus* sp. based on macroscopic morphology. Colony growth was measured every 24 hours by calculating colony area. Results showed the control (0%) had the highest mean colony area (159.20 mm²), followed by 5% (74.27 mm²) and 10% (56.40 mm²). The 10% hydrolysate treatment showed an initial lag phase of 1–2 days before growth increased on day four. One-Way ANOVA revealed significant differences among treatments ($p = 0.001$). Linear regression analysis showed a significant positive relationship between incubation time and colony area across all treatments ($R^2 = 0.665–0.924$). *Aspergillus* sp. grew under all treatments, although hydrolysate-based media showed lower growth support than standard PDA.

Keywords: alternative media, *Aspergillus* sp., cellulose hydrolysate, colony growth, *Gracilaria* sp. waste

^{1*} Ir. Ahmad Syaumi, M.Si. Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Malang, Jl. Mayjend Haryono No. 193, Malang, Jawa Timur 65144, Indonesia, Telp: 08986307836 E-mail: syaumi.fmipa@unisma.ac.id

Pendahuluan

Media pertumbuhan merupakan komponen utama yang menentukan keberhasilan pertumbuhan fungi, karena media berfungsi sebagai penyedia nutrisi, sumber energi, serta lingkungan fisik yang mendukung aktivitas metabolisme mikroorganisme. Media standar seperti Potato Dextrose Agar (PDA) banyak digunakan karena kandungan nutrisinya relatif lengkap dan mendukung pertumbuhan berbagai jenis mikroorganisme [1]. Namun, penggunaan media komersial memerlukan biaya yang tidak sedikit, terutama pada penelitian berskala besar, sehingga komposisi media, khususnya ketersediaan sumber karbon, menjadi faktor yang sangat memengaruhi laju pertumbuhan koloni, pembentukan hifa dan miselium, serta kemampuan fungi beradaptasi pada suatu substrat [2].

Seiring berkembangnya konsep bioteknologi berkelanjutan, pemanfaatan bahan baku alternatif sebagai media pertumbuhan mikroba mulai banyak dikembangkan, salah satunya limbah hasil pengolahan rumput laut. Limbah alga *Gracilaria* sp. yang dihasilkan dari proses ekstraksi agar-agar selama ini lebih sering dianggap sebagai limbah tanpa nilai guna, padahal biomassa tersebut masih mengandung selulosa dalam jumlah signifikan, berkisar 30–42% dari bobot kering, sehingga berpotensi sebagai sumber karbon alternatif bagi mikroorganisme, termasuk fungi [3]. Keunggulan selulosa dari alga adalah strukturnya yang hampir murni dan tidak mengandung lignin sebagaimana biomassa darat, sehingga proses hidrolisis enzimatis maupun kimiawi menjadi lebih efisien [4].

Proses hidrolisis menghasilkan hidrolisat selulosa yang mengandung gula terlarut dan berpotensi dimanfaatkan sebagai media kaya karbon bagi mikroorganisme [5]. Meskipun demikian, penggunaan media berbasis hidrolisat tidak terlepas dari permasalahan biologis berupa munculnya fungi kontaminan, yang mampu memanfaatkan gula sederhana maupun sisa selulosa yang belum terdegradasi sempurna serta menghasilkan enzim ekstraseluler seperti selulase dan hemiselulase untuk memperluas area kolonisasi [6]. Pertumbuhan fungi kontaminan pada media tersebut sangat dipengaruhi oleh konsentrasi substrat karbon; konsentrasi yang terlalu rendah membatasi ketersediaan nutrisi, sedangkan konsentrasi yang terlalu tinggi berpotensi meningkatkan tekanan osmotik dan mengubah pH media sehingga menghambat pertumbuhan koloni [7].

Pemanfaatan limbah *Gracilaria* sp. sebagai media oleh Badria *et al.* [5] untuk pertumbuhan *Colletotrichum* sp, didapatkan konsentrasi 0%, 5%, dan 10%, belum signifikan. Penelitian ini menghadirkan kebaruan berupa formulasi media semi-sintetik yang dirancang lebih terkontrol, meliputi penambahan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) 0,5% untuk sumber karbon tambahan, serta suplementasi mineral spesifik MgSO_4 0,175%, FeSO_4 0,25%, CuSO_4 0,1%, dan Na_2HPO_4 0,1% yang disesuaikan dengan kebutuhan fisiologis fungi. Selain itu, penelitian ini secara khusus mengkaji fungi kontaminan alami yang muncul dari limbah *Gracilaria* sp., bukan mikroorganisme target, sehingga memberikan informasi biologis mengenai identitas dan respons pertumbuhan fungi kontaminan terhadap gradien konsentrasi hidrolisat. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari

dan menganalisis pertumbuhan satu fungi kontaminan dari limbah *Gracilaria* sp. dengan konsentrasi hidrolisat selulosa, sehingga dapat diperoleh untuk pemanfaatan hidrolisat selulosa limbah *Gracilaria* sp.

Material dan Metode

Waktu, Tempat, Bahan dan Alat

kegiatan penelitian berlangsung pada 17 Agustus 2025 hingga 29 Juni 2026 di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Malang. Bahan penelitian terdiri atas limbah padat rumput laut *Gracilaria* sp. sebagai sumber isolat fungi dan bahan hidrolisat, media dasar *Potato Dextrose Agar* (PDA), larutan asam (H_2SO_4) untuk proses hidrolisis, NaOH untuk netralisasi, antibiotik Chloramphenicol, serta bahan pendukung mineral berupa CMC 0,5%, MgSO_4 0,175%, FeSO_4 0,25%, CuSO_4 0,1%, dan Na_2HPO_4 0,1%. Alat yang digunakan antara lain cawan petri, autoklaf, *Laminar Air Flow* (LAF), inkubator, jangka sorong, pH meter, dan perlengkapan gelas standar mikrobiologi.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental murni dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yaitu jenis media dengan tiga taraf perlakuan: P0 (media PDA sebagai kontrol), P1 (media berbasis hidrolisat selulosa 5% v/v), dan P2 (media berbasis hidrolisat selulosa 10% v/v), masing-masing dengan tiga ulangan waktu sehingga diperoleh 12 satuan percobaan. Isolat fungi kontaminan diperoleh dengan menempatkan limbah *Gracilaria* sp. pada wadah steril dalam kondisi lembap selama 3–7 hari hingga muncul pertumbuhan jamur alami, kemudian koloni yang tumbuh diisolasi secara aseptik dan diremajakan pada media PDA selama 4 hari sebelum digunakan sebagai inokulum.

Prosedur Penelitian

Formulasi media perlakuan dibuat dengan basis volume 100 mL, mencampurkan media agar dasar dengan larutan hidrolisat sesuai konsentrasi menggunakan teknik pengenceran volume per volume (v/v). Media disterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit, kemudian setelah suhu turun ($\pm 45^\circ\text{C}$) ditambahkan antibiotik Chloramphenicol 0,3% secara aseptis untuk menekan pertumbuhan bakteri kontaminan, sebelum dituangkan ke cawan petri di dalam LAF. Inokulasi dilakukan dengan teknik single dot menggunakan potongan isolat murni berdiameter 0,5 cm (cork borer) yang diletakkan tepat di titik tengah cawan, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 4 hari.

Analisis Data

Pengamatan dilakukan secara makroskopis setiap 24 jam dengan mencatat warna, tekstur, dan pola pertumbuhan koloni, serta mengukur diameter koloni pada dua sumbu tegak lurus (vertikal dan horizontal) menggunakan jangka sorong, mengikuti pendekatan yang digunakan oleh Hendricks *et al.*

[8] dan Meletiadis *et al.* [9]. Rata-rata diameter (D) dihitung dengan rumus $D = (d1 + d2)/2$, kemudian dikonversi menjadi luas koloni menggunakan rumus luas lingkaran. Data luas koloni dianalisis menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk dan uji homogenitas ragam Levene's Test [10] sebagai prasyarat, dilanjutkan dengan uji One-Way ANOVA ($\alpha = 0,05$) untuk menguji pengaruh konsentrasi hidrolisat, serta analisis regresi linier untuk menganalisis hubungan antara waktu inkubasi dan pertumbuhan koloni pada masing-masing perlakuan.

Hasil dan Diskusi

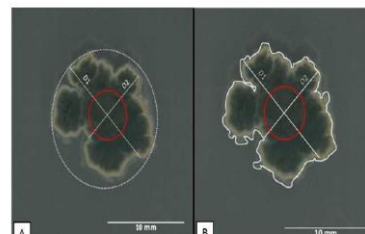
Hasil Isolasi dan Identifikasi Morfologi Fungi Kontaminan dari Limbah *Gracilaria* sp.

Isolasi fungi kontaminan dari limbah *Gracilaria* sp. menghasilkan satu jenis kapang dominan yang setelah diremajakan pada media PDA dan diamati secara makroskopis diidentifikasi sebagai *Aspergillus* sp. Koloni menunjukkan warna permukaan hijau dengan tekstur menyerupai kapas (beludru), tepi koloni relatif rata, serta warna cawan terbalik hijau hingga kuning kecoklatan akibat sekresi metabolit sekunder ke dalam media.

Gambar



(A)



(B)

Morfologi Fungi Kontaminan (A) Pengukuran D1 dan D2 sebagai dua garis tegak lurus untuk menghitung luas koloni, lingkaran merah menunjukkan posisi dan ukuran plug inokulum; (B) Luas koloni ditunjukkan oleh garis putih yang mengikuti tepi koloni (Sumber Gambar: [8])

Hasil Analisis Pertumbuhan Fungi Kontaminan pada Media dengan Variasi Konsentrasi Hidrolisat Selulosa

Luas koloni diukur setiap 24 jam selama 4 hari inkubasi berdasarkan dua diameter tegak lurus (Gambar 1). Hasil pengukuran menunjukkan media kontrol (P0) tumbuh paling cepat dan konsisten sejak awal pengamatan, sedangkan media hidrolisat 5% (P1) dan 10% (P2) mengalami fase adaptasi awal yang lebih panjang, terutama pada konsentrasi 10%, sebelum pertumbuhan meningkat pada hari keempat.

Tabel 1. Rata-rata luas koloni fungi kontaminan pada tiap perlakuan

Perlakuan	Rata-rata Luas Koloni (mm ²)	Std. Deviasi
P0	159,20	83,71
P1	74,27	58,43
P2	56,40	69,51

Data luas koloni pada seluruh perlakuan dinyatakan berdistribusi normal berdasarkan uji Shapiro-Wilk ($p > 0,05$ pada ketiga kelompok), sehingga analisis dilanjutkan dengan uji One-Way ANOVA. Hasil uji menunjukkan bahwa konsentrasi hidrolisat selulosa limbah *Gracilaria* sp. berpengaruh nyata terhadap luas koloni fungi kontaminan ($p = 0,001$; Tabel 1), yang menegaskan adanya perbedaan respons pertumbuhan antarperlakuan.

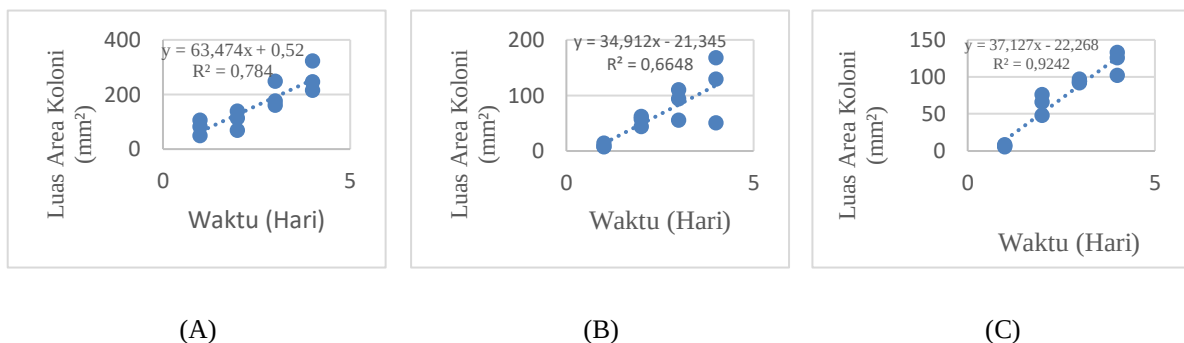
Tabel 2. Hasil uji One-Way ANOVA luas koloni fungi kontaminan

Sumber Keragaman	db	JK	KT	F	Sig.
Perlakuan	2	66321,20	33160,60	8,620	0,001
Galat	33	126953,53	3847,08	-	-
Total	35	193274,73	-	-	-

Analisis regresi linier antara waktu inkubasi dan luas koloni menunjukkan hubungan positif yang signifikan pada seluruh perlakuan ($p < 0,05$), dengan koefisien determinasi (R^2) berkisar antara 0,665 hingga 0,924 (Tabel 3). Nilai konstanta negatif pada persamaan regresi P1 dan P2 secara biologis mencerminkan adanya fase lag sebelum pertumbuhan koloni terdeteksi secara nyata, sedangkan pada P0 pertumbuhan berlangsung tanpa fase adaptasi yang berarti.

Tabel 3. Persamaan regresi linier luas koloni terhadap waktu inkubasi

Perlakuan	Persamaan Regresi	R^2	Sig. F
P0	$Y = 63,47X + 0,52$	0,784	0,000128
P1	$Y = 34,91X - 21,35$	0,665	0,001228
P2	$Y = 37,13X - 22,27$	0,924	0,00000064



Gambar 2. Kurva pertumbuhan koloni fungi berdasarkan regresi linier pada media dengan variasi konsentrasi hidrolisat selulosa limbah *Gracilaria* sp. (A) 0%; (B) 5%; (C) 10%.

Pembahasan

Hasil Isolasi dan Identifikasi Morfologi Fungi Kontaminan dari Limbah *Gracilaria* sp.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungi kontaminan yang diisolasi dari limbah *Gracilaria* sp. memiliki karakteristik morfologi mengarah pada genus *Aspergillus* sp. dengan ciri konidia berwarna hijau, mampu tumbuh pada seluruh perlakuan media baik pada media PDA standar maupun media yang diperkaya hidrolisat selulosa. Genus *Aspergillus* dikenal sebagai fungi yang memiliki kemampuan

adaptasi tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan serta mampu memanfaatkan beragam sumber nutrisi sebagai substrat pertumbuhan [5].

Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa media PDA merupakan media yang optimal untuk pertumbuhan berbagai jenis fungi, termasuk *Aspergillus niger*, karena kandungan nutrisinya yang mudah dimanfaatkan oleh mikroorganisme [11]. Selain itu, dinamika pertumbuhan fungi juga sangat dipengaruhi oleh komposisi media, di mana media yang kaya nutrisi dapat meningkatkan kecepatan pertumbuhan dan jumlah koloni yang terbentuk [12].

Pada media yang diperkaya hidrolisat limbah *Gracilaria* sp., fungi tetap mampu tumbuh meskipun substrat yang tersedia lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena proses hidrolisis mengubah senyawa kompleks seperti selulosa menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga lebih mudah dimanfaatkan oleh mikroorganisme. Selain itu, kemampuan fungi dalam memanfaatkan substrat kompleks juga dipengaruhi oleh aktivitas enzimatis yang dimiliki, sehingga senyawa tersebut dapat diuraikan menjadi sumber nutrisi yang mendukung pertumbuhan koloni [13]. Limbah *Gracilaria* sp. diketahui mengandung karbohidrat, protein, dan mineral yang cukup tinggi sehingga berpotensi sebagai sumber nutrisi alternatif bagi pertumbuhan fungi.

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa penambahan hidrolisat limbah *Gracilaria* sp. pada media pertumbuhan dapat mendukung pertumbuhan koloni jamur, meskipun secara statistik tidak selalu menunjukkan perbedaan yang signifikan antar perlakuan, namun terdapat kecenderungan peningkatan pertumbuhan pada konsentrasi tertentu [5]. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana fungi tetap tumbuh pada semua variasi konsentrasi hidrolisat, meskipun terdapat perbedaan pola pertumbuhan antar perlakuan. Dengan demikian, keberadaan fungi kontaminan pada limbah *Gracilaria* sp. tidak terlepas dari kemampuan adaptasi fisiologis fungi dalam memanfaatkan sumber nutrisi yang tersedia di lingkungan. Kombinasi antara media PDA sebagai kontrol dan media hidrolisat sebagai perlakuan menunjukkan bahwa jenis substrat berperan penting dalam menentukan pola pertumbuhan dan karakteristik koloni fungi yang dihasilkan.

Hasil Analisis Pertumbuhan Fungi Kontaminan pada Media dengan Variasi Konsentrasi Hidrolisat Selulosa

Penurunan luas koloni pada media hidrolisat 5% dan semakin nyata pada 10% mengindikasikan adanya faktor penghambat yang muncul seiring peningkatan konsentrasi substrat. Beberapa kemungkinan mekanisme yang mendasari fenomena ini adalah pembentukan senyawa inhibitor hasil hidrolisis, seperti furfural dan hidroksimetilfurfural (HMF), yang dapat mengganggu aktivitas enzimatis dan menurunkan efisiensi respirasi sel [14], serta peningkatan tekanan osmotik media akibat kadar gula terlarut yang lebih tinggi, yang dapat mengganggu keseimbangan air dalam sel dan memperlambat transportasi nutrisi [15]. Kedua faktor tersebut secara bersama-sama diduga menjadi

penyebab fase lag yang lebih panjang pada perlakuan 10% sebelum pertumbuhan koloni meningkat pada hari keempat.

Nilai koefisien determinasi (R^2) yang tinggi pada seluruh perlakuan, khususnya pada konsentrasi 10% ($R^2 = 0,924$), menunjukkan bahwa waktu inkubasi merupakan faktor penjas utama pertumbuhan koloni setelah fase adaptasi terlampaui, sehingga begitu fungi berhasil menyesuaikan diri dengan kondisi media, laju pertumbuhannya menjadi relatif teratur dan dapat diprediksi. Pola ini konsisten pada *Colletotrichum* sp. yang juga menunjukkan bahwa variasi konsentrasi hidrolisat limbah *Gracilaria* sp. memengaruhi laju pertumbuhan koloni tanpa mengubah kemampuan dasar fungi untuk memanfaatkan substrat tersebut sebagai sumber karbon.

Dominasi *Aspergillus* sp. sebagai kontaminan pada seluruh media sejalan dengan karakteristik genus ini yang dikenal memiliki toleransi tinggi terhadap variasi kondisi lingkungan serta kemampuan menghasilkan konidia dalam jumlah besar, sehingga mampu mengkolonisasi media secara cepat meskipun kondisi nutrien maupun tekanan osmotik kurang optimal. Kemampuan adaptif tersebut menjadikan *Aspergillus* sp. sebagai kandidat kontaminan yang perlu diwaspadai apabila hidrolisat limbah *Gracilaria* sp. hendak dikembangkan sebagai media alternatif untuk kultur mikroorganisme target, karena keberadaannya berpotensi menurunkan efisiensi pemanfaatan gula hasil hidrolisis oleh mikroorganisme yang dituju [16].

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hidrolisat selulosa limbah *Gracilaria* sp. berpotensi dimanfaatkan sebagai komponen media alternatif berbasis limbah biomassa, namun kemampuannya dalam mendukung pertumbuhan fungi masih berada di bawah media PDA standar, terutama pada konsentrasi yang lebih tinggi. Temuan ini memberikan implikasi penting bagi pengembangan strategi pengendalian kontaminasi fungi pada pemanfaatan hidrolisat limbah alga untuk keperluan bioproses, misalnya melalui optimasi konsentrasi substrat atau langkah detoksifikasi sebelum inokulasi mikroorganisme target.

Kesimpulan

Fungi kontaminan yang diisolasi dan dipilih dari limbah *Gracilaria* sp. adalah *Aspergillus* sp. mampu tumbuh pada media PDA dengan seluruh konsentrasi hidrolisat selulosa yang diujikan (0%, 5%, dan 10%). Luas koloni yang terus meningkat menurut waktu inkubasi pada semua perlakuan dan luas pertumbuhan tertinggi tetap diperoleh pada media kontrol tanpa hidrolisat. Penambahan hidrolisat selulosa 5% dan 10% keduanya menghasilkan regresi pertumbuhan yang sangat nyata dan tertinggi perlakuan 10% dengan $R^2 = 0,924$. Fungi tetap mampu beradaptasi dan tumbuh pada media berbasis hidrolisat meskipun mengalami fase lag di awal inkubasi. Dengan demikian, hidrolisat selulosa limbah *Gracilaria* sp. berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan media alternatif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Malang atas fasilitas laboratorium yang disediakan, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Novita, D. & Ardi, M. (2025). Isolasi dan pertumbuhan mikroba dari tanah menggunakan media berbasis ekstrak singkong. *Jurnal Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, Kebumihan dan Angkasa*, 5(3):59-70. <https://journal.arimsi.or.id/index.php/Algoritma>
- [2] Umma, F.F., Syauqi, A. & Laili, S. (2025). Tingkat konsentrasi desinfektan sodium hipoklorit untuk coliform dan E. coli pada air Sungai Sumberawan Singosari Kabupaten Malang. *Jurnal Ilmiah Biosaintropis (Bioscience-Tropic)*, 11(1):1-8. <https://doi.org/10.33474/ejbst.v11i1.376>
- [3] Alamsyah, R.K., Mudiarta, I.W. & Budiyanto, S.A. (2024). Pemanfaatan ampas rumput laut *Gracilaria verrucosa* sebagai sumber selulosa. *Jurnal Rekayasa Proses*, 18(1):1-8. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/rekayasaproses/article/view/58362>
- [4] Syafrizal, R., Putri, Y.M.S.S. & Setiyawan, D.P.M.F.A.D. (2021). Isolation and characterization of microcrystalline cellulose (MCC) from *Gracilaria* sp. waste. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1087(1):012019. <https://iopscience.iop.org/article/full/10.1088/1757-899X/1087/1/012019>
- [5] Badria, F., Syauqi, A. & Lisminingsih, R.D. (2025). Pertumbuhan *Colletotrichum* sp. pada media agar yang diperkaya hidrolisat limbah *Gracilaria* sp. *Jurnal Biologi Tropis Indonesia*, 7(1):45-54. <https://journal.unisma.ac.id/index.php/jbti>
- [6] Hidayat, R.A. & Isnawati. (2021). Isolasi dan karakterisasi mikroorganisme selulolitik pada substrat limbah lignoselulosa. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 10(2):176-187. https://ejurnal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/60631
- [7] Anwar, Z., Setiawan, I. & Wulandari, R. (2024). Pengaruh variasi konsentrasi substrat karbon terhadap laju pertumbuhan mikroorganisme pada media alternatif. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 5(2):19-38. <https://jurnal.unpad.ac.id/jthp/article/view/41267>
- [8] Hendricks, K.E., Christman, M.C. & Roberts, P.D. (2017). A statistical evaluation of methods of in-vitro growth assessment for *Phyllosticta citricarpa*: Average colony diameter vs. area. *PLOS ONE*, 12(1):e0170755. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170755>
- [9] Meletiadiis, J., Meis, J.F.G.M., Mouton, J.W. & Verweij, P.E. (2001). Analysis of growth characteristics of filamentous fungi in different nutrient media. *Journal of Clinical Microbiology*, 39(2):478-484. <https://doi.org/10.1128/JCM.39.2.478-484.2001>
- [10] Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. In: Olkin, I. (ed) *Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling*. Stanford: Stanford University Press, pp. 278-292.
- [11] Saputri, R., Syauqi, A., & Santoso, H. (2017). Penambahan nutrisi Potato Dextrose Agar pada pembuatan starter mikroorganisme jamur dengan bahan baku tepung beras. *Jurnal Ilmiah Biosaintropis*, 4(2). <https://jurnal.ulb.ac.id/index.php/agro/article/download/7374/4796>

- [12] Adawiyah, A. R., Syauqi, A., & Zayadi, H. (2017). Dinamika populasi jamur pada media starter tepung beras diperkaya nutrisi Potato Dextrose Agar. *Jurnal Ilmiah Biosaintropis*, 5(1). <https://journal.uii.ac.id/REAKTOR/article/view/1000>
- [13] Rahmawati, D., Syauqi, A., & Hayati, A. (2018). Potensi jamur selulolitik dalam mendegradasi bahan organik sebagai sumber nutrisi alternatif. *Jurnal Ilmiah Biosaintropis*, 3(2). <https://journal.arimsi.or.id/index.php/Polygon/article/view/674>
- [14] Palmqvist, E. & Hahn-Hägerdal, B. (2000). Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. II: Inhibitors and mechanisms of inhibition. *Bioresource Technology*, 74(1):25-33. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00161-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00161-3)
- [15] Wijaya, A.R., Prasetyo, L.B. & Nurkholis, N. (2019). Osmotic stress response in filamentous fungi subjected to high substrate concentrations. *Indonesian Journal of Applied Microbiology*, 8(1):45-54. <https://journal.polije.ac.id/index.php/jtt/article/view/4921>
- [16] Supriyanto, A. & Susilowati, E. (2023). Fungi kontaminan pada media berbasis hidrolisat biomassa dan implikasinya terhadap proses bioteknologi. *Jurnal Mikrobiologi Terapan Indonesia*, 5(1):21-30. <https://journal.itera.ac.id/jmti>