

Optimasi Proses *Biodrying*: Penggunaan Formulasi Konsorsium Mikroorganisme dalam Bahan Pembawa

Sukarya Zaenal Arifin¹, Nisa Rachmania Mubarik^{1,*}, Iman Rusmana¹

¹Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga Bogor, Indonesia 16680

*Corresponding author: nrachmania@apps.ipb.ac.id

Submitted:
24 Des 2024

Revised:
29 Mar 2025

Accepted:
2 Mei 2025

Published:
27 Mei 2025

ABSTRAK

Sampah organik rumah tangga yang dihasilkan setiap hari berpotensi untuk diolah menjadi bioenergi melalui teknologi *biodrying*. *Biodrying* merupakan proses pengeringan biologis yang mengandalkan aktivitas mikroorganisme untuk mengurangi kadar air dalam sampah organik sehingga menghasilkan bahan bakar padat. Penelitian ini bertujuan untuk memformulasi konsorsium mikroorganisme dalam aplikasi *biodrying*, serta membandingkan efektivitas bahan pembawa padat (talk) dan cair (molase) terhadap hasil *biodrying* dan stabilitas inokulan. Konsorsium terdiri dari *Lysinibacillus halotolerans*, *Bacillus soronensis*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Pichia manshurica*, dan bakteri pelarut fosfat. Peremajaan isolat dilakukan melalui kultur selektif dan konfirmasi karakteristik. Formulasi mikroorganisme dikembangkan dalam bentuk padat (dengan talk) dan cair (dengan molase), lalu diuji pada sampah organik dengan mengamati perubahan kadar air, suhu, pH, serta viabilitas inokulan hingga tiga bulan penyimpanan. Hasil menunjukkan bahan pembawa talk dan molase lebih efektif dibandingkan dengan komersil, ditandai oleh suhu yang lebih tinggi (44,1°C ; 43,66°C), kadar air lebih rendah (44,5% ; 45,25%), dan pH (5,8 ; 6,35), yang mendukung aktivitas mikroorganisme mesofilik dan termofilik selama proses *biodrying*. Aktivitas tertinggi terjadi pada hari ke-4, terutama oleh genus *Bacillus* dalam fase termofilik. Stabilitas inokulan juga lebih baik pada formulasi talk, diduga karena kandungan magnesium dan silikon yang membantu mempertahankan viabilitas mikroorganisme selama penyimpanan.

Kata Kunci: *Biodrying*, Formulasi, Konsorsium mikroorganisme, Molase, Talk

ABSTRACT

Household organic waste generated daily holds potential for conversion into bioenergy through *biodrying* technology. *Biodrying* is a biological drying process that relies on microbial activity to reduce the moisture content in organic waste, producing solid fuel. This study aimed to formulate a microbial consortium for *biodrying* applications and to compare the effectiveness of solid (talc-based) and liquid (molasses-based) carriers on *biodrying* performance and inoculant stability. The consortium comprised *Lysinibacillus halotolerans*, *Bacillus soronensis*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Pichia manshurica*, and phosphate-solubilizing bacteria. Isolate rejuvenation was performed using selective culturing followed by characterization. Microbial formulations were developed in both solid and liquid forms and applied to organic waste. Key parameters observed included moisture content, temperature, pH, and inoculant viability over a three-month storage period. The results showed that both talc and molasses carriers were more effective than commercial controls, as indicated by higher temperatures (44.1°C and 43.66°C), lower moisture content (44.5% and 45.25%), and favorable pH values (5.8 and 6.35), which supported mesophilic and thermophilic

microbial activity during the biodrying process. Peak microbial activity occurred on day four, predominantly driven by Bacillus species during the thermophilic phase. Inoculant stability was also higher in the talc-based formulation, potentially due to its magnesium and silicon content, which contributed to maintaining microbial viability during storage.

Keywords: *biodrying, formulation, microbial consortia, talc, molasses*

How to cite (APA Style 6th ed):

Arifin, S.Z., Mubarik, N.R., & Rusmana, I. (2025). Optimasi proses *biodrying*: penggunaan formulasi konsorsium mikroorganisme dalam bahan pembawa. *Konservasi Hayati*, 21(1), 50-70

DOI: <https://doi.org/10.33369/hayati.v21i1.37665>

PENDAHULUAN

Akumulasi jumlah sampah padat yang sangat besar hari demi hari dapat meningkatkan efek buruk pada lingkungan, yang berakibat pada keanekaragaman hayati dan menyebabkan perubahan ekosistem. Menurut Sistem Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2023, akumulasi sampah di Indonesia mengalami peningkatan, hingga mencapai 19,4 juta ton pada 101 kabupaten dengan sampah yang tidak terkelola sebanyak 6,6 juta ton. Sampah rumah tangga menyumbang sekitar 39% dari seluruh total jenis sampah. Banyak sampah rumah tangga berasal dari bahan organik, yang dapat direduksi jumlahnya melalui proses *biodrying* (Yuan *et al.*, 2019).

Biodrying adalah teknik untuk menghilangkan air dari limbah *biodegradable* melalui fermentasi aerobik, dengan jamur dan bakteri sangat berperan penting (Hao *et al.*, 2018). Dibandingkan dengan pengomposan, *biodrying* memiliki waktu proses yang lebih singkat, pengurangan kadar air yang lebih efisien, serta produksi panas yang lebih tinggi (Adani, 2002). Selain itu tujuan utamanya adalah pengeringan dan mempertahankan sebagian besar kandungan biomassa daripada biostabilisasi (Velis *et al.*, 2009). *Biodrying* berpotensi digunakan sebagai bahan bakar karena sumber energi yang tinggi (Sugni *et al.*, 2005; Velis *et al.*, 2009), dan konversi energi listrik (Brunner *et al.*, 2021). Tambone *et al.* (2011) menyatakan bahwa *biodrying* mengurangi sekitar 28% total biogas yang dapat diproduksi.

Penelitian telah menunjukkan bahwa mikroorganisme memainkan peran penting dalam proses pengeringan hayati limbah padat organik, terutama termofilik (Cai *et al.*, 2018). Tetapi penggunaan konsorsium mikroorganisme dalam proses *biodrying* masih sedikit diaplikasikan. Karena konsorsium mikroorganisme dapat meningkatkan aktivitas metabolik individunya dibandingkan dengan satu mikroorganisme (Ghosh *et al.*, 2016). Proteobakteri, Bakteroidetes, Firmikutes, dan Aktinobakteri adalah empat filum dominan yang diidentifikasi selama proses *biodrying* secara alami (dos Reis *et al.*, 2020). Dalam Abramczyk *et al.* (2014) dinyatakan bahwa dengan bantuan mikroorganisme, proses *biodrying* menurunkan kadar air sampai 51,7% dan meningkatkan suhu yang tinggi. Penelitian lain, *biodrying* dengan inokulasi bakteri EM (*Exogenous Microorganism*) dapat meningkatkan suhu yang cepat serta penurunan kadar air dari 68,35% menjadi 48,52% (Cao *et al.*, 2025). Penggunaan mikroorganisme tersebut dapat ditambahkan dengan media bahan pembawa atau disebut dengan formulasi. Prinsip formulasi ialah mencampur organisme dalam bahan pembawa, yaitu: dilengkapi dengan aditif untuk memaksimalkan kemampuan bertahan dalam penyimpanan (Jones & Burges, 1998). Berbagai variasi bahan pembawa

digunakan dalam formulasi mikroorganisme, salah satunya adalah talk. Pemanfaatan mikroorganisme lokal (MOL) dengan bahan pembawa dapat meningkatkan proses *biodrying* dalam produksi RDF (Goembira *et al.*, 2024). Swandi *et al.*, (2019) melaporkan bahwa bahan pembawa talk sebagai bahan padat efektif untuk penyimpanan bakteri dan sebagai biofertilizer. Namun formulasi bahan pembawa padat dan cair dengan mikroorganisme yang dijadikan sebagai agen *biodrying* sampah organik masih sedikit digunakan.

Penelitian ini menggunakan konsorsium mikroorganisme dengan formulasi bahan pembawa padat dan cair yang dapat meningkatkan proses *biodrying* dan stabilitas mikroorganisme dalam penggunaannya terhadap inokulasi sampah organik. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh perlakuan bahan pembawa mikroorganisme terhadap *biodrying*, serta perbandingan bahan pembawa padat dan cair terhadap efektivitas *biodrying*. Luaran penelitian ini ialah produk formulasi bakteri dalam bentuk serbuk ataupun cair yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan briket yang memiliki nilai kalor yang tinggi. Sehingga dapat dimanfaatkan menjadi *biofuel* untuk pembangkit listrik tenaga biomassa dalam rangka mengurangi ketergantungan pada batu bara atau bahan bakar fosil lainnya, serta mengurangi emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan batu bara. Selain itu, hasil *biodrying* menghasilkan pupuk yang stabil dari degradasi mikroorganisme patogen. Sehingga menjadi solusi pengelolaan atas permasalahan sampah organik di Indonesia dan dunia yang semakin meningkat.

METODE

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2022, bertempat di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, FMIPA, Institut Pertanian Bogor (IPB) dan lingkungan Institut Pertanian Bogor (IPB), serta TPA Bagendung Banten.

B. Isolasi Mikroorganisme

Isolasi bertujuan untuk mendapatkan isolat bakteri termofilik, *Bacillus* dan *Lactobacillus* dan khamir sebagai isolat kandidat inokulan *biodrying*. Sebanyak 100 gram sampah organik dipotong kecil, lalu dihaluskan dengan mortar. Sampah organik diencerkan lalu dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 80 °C untuk mendapatkan bakteri termofilik, pada *Bacillus* mesofilik, *Lactobacillus* dan khamir sampah organik tidak diberikan perlakuan suhu. Sampel sampah organik dimasukkan ke dalam beaker glass dan ditambahkan akuades (1:9 perbandingan sampah dengan aquades), kemudian dihomogenkan menggunakan magnetic stirer lalu didiamkan sampai terbentuk endapan. Sampel pada pengenceran 10^{-6} sampai 10^{-8} masing-masing diambil sebanyak 0,1 mL lalu diinokulasikan pada media selektif (*Bacillus* dan termofilik menggunakan media TSA (*Tryptic Soy Agar*), *Lactobacillus* menggunakan media MRSA (*Man Rogosa Sharpe Agar*) dan khamir menggunakan media PDA (*Potato Dextrose Agar*), lalu diinkubasi pada suhu ± 25 °C (*Lactobacillus* dan khamir), 37°C (*Bacillus*), dan 45-50 °C (termofilik).

C. Pemilihan Mikroorganisme

Pichia manshurica DIYKS3, *Lysinibacillus halotolerans* B-Pink 7, dan *Bacillus sonorensis* T-45.2, *Lactobacillus rhamnosus* diisolasi dari sampah organik di TPA

Bagendung Banten. Isolat tersebut diaplikasikan kembali menjadi inokulan *biodrying*, hal ini bertujuan untuk adaptasi lingkungan yang lebih baik pada saat proses *biodrying*. Kelompok *Bacillus* (*Lysinibacillus halotolerans* dan *Bacillus sonorensis*) secara dominan memerankan penting dalam proses *biodrying* dalam meningkatkan suhu dan degradasi sampah organik (Cai *et al.*, 2016). Pemilihan *Lactobacillus rhamnosus* berguna untuk menghasilkan anti mikroorganisme asam laktat yang memiliki potensi menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur patogen (Al-Dhabi *et al.*, 2020). Sementara *Pichia manshurica* mewakili dari khamir berguna untuk menghasilkan enzim selulosa yang berfungsi pada degradasi bahan organik (Sukmawati *et al.*, 2023). Penggunaan bakteri pelarut fosfat sebagai inokulan tambahan bertujuan membantu mobilisasi nutrisi untuk mendukung pertumbuhan lain (Rawat *et al.*, 2021).

D. Peremajaan Mikroorganisme

Pichia manshurica DIYKS3, *Lysinibacillus halotolerans* B-Pink 7, *Bacillus sonorensis* T-45.2, *Lactobacillus rhamnosus* dan Bakteri pelarut fosfat masing-masing diremajakan sebagai kandidat inokulan *biodrying*. Peremajaan melalui media selektif (TSA, MRSA, Pikovs, dan PDA) dengan teknik gores kuadran. Lalu diinkubasi pada suhu $\pm 25^{\circ}\text{C}$ selama 48-72 jam, kecuali *Bacillus sonorensis* dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $\pm 45^{\circ}\text{C}$. Isolat dikonfirmasi kembali karakteristik morfologi koloni dan mikroskopis sel bakteri. Isolat kemudian digoreskan pada medium agar-agar miring sebagai biakan stok.

E. Karakterisasi Mikroorganisme

Karakterisasi isolat mikroorganisme dilakukan melalui analisis morfologi dan mikroskopis, termasuk pewarnaan Gram dan endospora untuk menentukan sifat Gram serta keberadaan endospora pada *Pichia manshurica* DIYKS3, *Lysinibacillus halotolerans* B-Pink 7, *Bacillus sonorensis* T-45.2, *Lactobacillus rhamnosus* dan Bakteri pelarut fosfat. Selain itu, uji hemolisis dilakukan untuk mengamati kemampuan isolat dalam melisis sel darah merah, yang dapat menunjukkan potensi patogenesisnya. Proses ini melibatkan pencampuran 1,5 mL darah segar steril dengan 100 mL media agar darah, yang kemudian dituangkan ke dalam cawan petri steril dan dibiarkan memadat sebelum diinokulasikan dengan metode gores dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24-48 jam. Hasil pengamatan difokuskan pada keberadaan zona hemolisis dan perubahan warna yang menandakan aktivitas bakteri. Selain itu, uji sinergitas dilakukan untuk menilai kompatibilitas antar isolat sebelum diformulasikan dalam konsorsium, di mana isolat *Pichia manshurica* DIYKS3, *Lysinibacillus halotolerans* B-Pink 7, *Bacillus sonorensis* T-45.2, *Lactobacillus rhamnosus* dan Bakteri pelarut fosfat digoreskan secara bersinggungan pada media dan diinkubasi pada suhu $\pm 25^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Jika tidak terdapat zona penghambatan pada area pertemuan isolat, maka isolat tersebut dianggap kompatibel, sedangkan keberadaan zona penghambatan menunjukkan ketidakcocokan antar isolat (Asri & Zulaika, 2016).

F. Formulasi mikroorganisme

Konsorsium mikroorganisme diperoleh dari isolat *Pichia manshurica* DIYKS3, *Lysinibacillus halotolerans* B-Pink 7, dan *Bacillus sonorensis* T-45.2, *Lactobacillus*

rhamnosus dan Bakteri pelarut fosfat yang sudah dipurifikasi untuk tahap inokulasi pada proses *biodrying*. Untuk membuat inokulum, masing-masing isolat dimasukkan ke dalam medium *Nutrient Broth* (NB) untuk *Lysinibacillus halotolerans* B-Pink 7, dan *Bacillus sonorensis* T-45.2, *Lactobacillus rhamnosus* dan Bakteri pelarut fosfat, dan medium *Potato Dextrose Broth* (PDB) untuk *Pichia manshurica* DIYKS3. Masing-masing sebanyak 50 mL inokulum tersebut diinkubasi selama 24-72 jam pada suhu $\pm 25^{\circ}\text{C}$. Jumlah sel masing-masing sampai 10^9 CFU/mL dihitung untuk melihat kurva pertumbuhannya. Untuk mengetahui fase pertumbuhannya, jumlah sel masing-masing bakteri pada setiap waktu pengamatan dicatat dalam grafik. Waktu generasi terpendek dari masing-masing bakteri digunakan untuk membuat starter yang baik untuk kultur campuran (Hardestyari *et al.*, 2020). Selanjutnya dilakukan pencampuran inokulum menjadi konsorsium, lalu diinokulasikan pada setiap bahan pembawa padat (talk) dan cair (molase).

Formulasi padat memakai bahan utama talk, yang mengacu pada penelitian Swandi *et al* (2019). Menurut Swandi *et al.* (2019) formula padat dibuat dengan komposisi talk sebanyak 50 g, lalu bahan tambahan lain seperti 1,5 g CMC, 1 g ekstrak khamir 1 g pepton, dan 0,5 g sukrosa. Nilai pH bahan formula diatur mendekati pH 7,0 dengan penambahan CaCO_3 . Setiap bahan formula dicampur hingga rata, lalu dikemas dalam plastik tahan panas ukuran 250 gram dan disterilkan dua kali pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm (Swandi *et al.*, 2019). Inokulum dari masing-masing bahan pembawa dicampur talk yaitu sebanyak 5 mL untuk dosis 50 g talk, kemudian dicampur hingga merata dalam plastik tahan panas dan diinkubasi pada suhu ruang $\pm 25^{\circ}\text{C}$ (Rajendran & Samiyappan, 2008). Sementara Formulasi bahan pembawa dalam bentuk cair dibuat dengan bahan utama molase. Penambahan air kelapa sebagai media tambahan molase mengacu pada (Darmawan *et al.*, 2020) untuk nutrisi konsorsium. Sebanyak 1 L formula cair mengandung 10 g molase, 3 g yeast, 200 ml air kelapa, dan 1 g MSG (Monosodium glutamat). Nilai pH bahan formula diatur mendekati pH 7.0. Konsorsium cair dicampurkan formula cair pada keadaan aseptis di Erlenmeyer.

G. Inokulasi Formulasi mikroorganisme pada Sampah Organik

Sampah organik diperoleh dari sampah yang ada di Bagendung: sampah dedaunan, ranting, buah-buahan dan bahan organik lain yang masih segar dicampur rata. Sampah organik ditimbang sebanyak 100 kg untuk masing-masing bahan pembawa (talk; molase; formula komersial IP. Preparasi inokulum formulasi konsorsium dengan bahan pembawa talk dibuat dengan perbandingan inokulum mikroorganisme: talk : aquades adalah 50 ml : 500 gram : 5 liter. Begitu pula pada formulasi bahan pembawa molase dengan perbandingan inokulum mikroorganisme : molase : aquades adalah 50 ml bakteri : 5 ml molase : 5 liter aquades, juga dengan formula komersil IP. Perbandingan inokulum formulasi dengan sampah organik adalah 5% (v/v) dengan kultur konsorsium selama 24 jam (Sarkar & Chourasia, 2017). Uji *Biodrying* dimulai dengan menginokulasikan konsorsium mikroorganisme dengan masing-masing bahan pembawa (talk; molase; formula komersil IP) yang sudah dalam keadaan cair pada sampah organik. Masing-masing inokulan dengan bahan pembawa disebar merata ke setiap wadah sampah (penyebaran dilakukan secara bertahap dimulai dari bawah-tengah-atas permukaan sampah, lalu di 5 titik penyebaran sebagai ulangan).

H. Uji *Biodrying*

Uji *biodrying* dilakukan dengan memperhatikan parameter *biodrying* seperti suhu, kadar air dan pH diamati selama proses *biodrying* dari hari 1 sampai hari ke-7. Alat pengukur berupa soil tester yang ditanamkan pada sampah organik pada lima titik pengukuran, sehingga masing-masing bak sampah perlakuan (talk, molase, formula komersil IP) memiliki 5 ulangan (Gambar 1). Setiap hari dilakukan pencatatan dengan waktu pencatatan harus sama, yaitu pada pukul 16.00 WIB. Waktu tersebut menunjukkan waktu yang stabil dalam pengukuran proses *biodrying* serta melihat hasil akumulasi proses *biodrying* dalam sehari. Masing-masing kotak uji ditutup oleh karung mulai hari ke-1 sampai hari ke-4 (Gambar 2). Setelah itu, kotak dibiarkan terbuka sampai hari ke-7, ditempatkan pada ruangan yang semi-tertutup agar aman dari jangkauan luar.



Gambar 1. Kotak uji *biodrying* dengan 5 titik pengukuran: (A) Talk; (B) Molase; (C) Formula Komersil IP



Gambar 2. (A) Pengukuran parameter *biodrying*; (B) Kotak uji *biodrying* dengan penutup karung

I. Uji Viabilitas dan Stabilitas formulasi

Uji viabilitas dan stabilitas dilakukan untuk mengamati daya tahan bakteri tersebut di dalam bahan pembawa (talk dan molase) selama masa penyimpanan. Stabilitas inokulum bahan pembawa (talk dan molase) ditentukan dengan melihat jumlah sel hidup setelah masa penyimpanan melalui perhitungan *Total plate count* (TPC), pada penelitian ini penyimpanan dilakukan dari bulan ke-0, ke-1, ke-2 sampai ke-3.

J. Analisis Data

Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan menggunakan teknik analisis data kuantitatif. Data kuantitatif yang dianalisis adalah kadar air, suhu, nilai pH, jumlah mikroorganisme hasil isolasi sampah perlakuan *biodrying*, dan masa penyimpanan bahan pembawa. Data kuantitatif tersebut dianalisis secara statistik melalui aplikasi SPSS dengan metode *Analysis*

of Varian (ANOVA), yang bertujuan untuk menentukan pengaruh perlakuan bahan pembawa terhadap parameter *biodrying* yang diukur. Kemudian, uji lanjut *Duncan's multiple range test* (DMRT), yang memiliki taraf kepercayaan 95%, digunakan untuk membandingkan perlakuan yang dipilih.

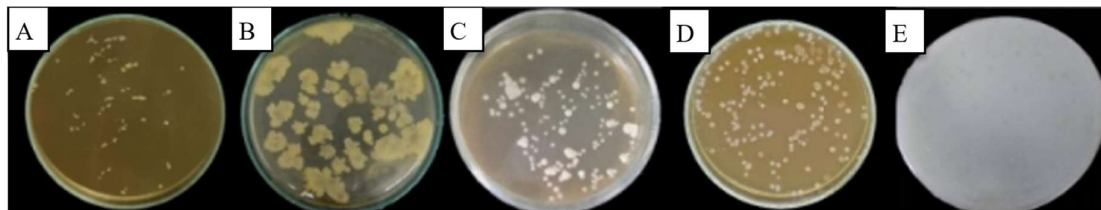
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Mikroorganisme Inokulan *Biodrying*

Hasil isolasi sampah organik dari Bagendung, setelah dikarakterisasi berbagai uji sebagai prasyarat aplikasi inokulan *biodrying* disajikan pada Tabel 1. Pemilihan isolat-isolat tersebut bertujuan untuk membuat konsorsium mikroorganisme yang efektif pada aplikasi *biodrying*, setelah melalui beberapa uji yang mendukung pembuatan konsorsium (Tabel 1). Secara umum pH optimum pada ke lima jenis mikroorganisme tersebut berada pada pH yang sama yaitu 6, dengan kisaran yang bervariasi antara 4,5 sampai 10. Kelima isolat tersebut adalah kelompok bakteri, cendawan, khamir, dan ammonifiers yang merupakan mikroorganisme yang dapat dimanfaatkan sebagai agen *biodrying* yang lebih efektif dibandingkan dengan jenis mikroorganisme lain, terutama bakteri dalam bentuk sel vegetatif (Malinowski & Wolny-Koladka, 2017).

Tabel 1. Hasil Karakterisasi mikroorganisme inokulan *biodrying*

Isolat	Jenis mikroorganisme	Uji sinergis	Uji hemolisin	Uji Selulosa
<i>Pichia manshurica</i> DIYKS3	Khamir	Positif	Negatif	Positif
<i>Lysinibacillus halotolerans</i> B- PINK7	<i>Bacillus</i>	Positif	Negatif	Positif
<i>Bacillus sonorensis</i> T- 45.2	Termofilik	Positif	Negatif	Positif
<i>Lactobacillus rhamnosus</i> BAL N4	Bakteri asam laktat	-	-	-
PP 1.2	Pelarat Posfat	-	-	-



Gambar 3. dari kiri ke kanan: Isolat Mikroorganisme Inokulan *Biodrying*, (A) *Lysinibacillus halotolerans*; (B) *Bacillus sonorensis*; (C) *Lactobacillus rhamnosus*; (D) *Pichia manshurica*; (E) Bakteri Pelarat fosfat

Tabel 2. Hasil karakterisasi makroskopis dan mikroskopis mikroorganisme inokulan *biodrying*

Isolat	Karakteristik Makroskopis			Karakteristik Mikroskopis	
	Warna	Bentuk	Elevasi	Gram	Endospora
<i>Pichia manshurica</i> DIYKS3	Putih	Bulat	Datar	-	-
<i>Lysinibacillus halotolerans</i> B- PINK7	Putih-merah muda	Bulat	Datar	Positif	-
<i>Bacillus sonorensis</i> T- 45.2	Krem	Bulat	Sedikit terangkat	Positif	Ada
<i>Lactobacillus rhamnosus</i> BAL N4	Putih	Bulat	Datar	Positif	-
PP 1.2	Transparan	Bulat	Datar	Positif	-

Bacillus sonorensis T- 45.2 merupakan kelompok mikroorganisme genus *Bacillus termofilik* yang dapat menghasilkan enzim ekstraseluler hidrolitik termostabil, keberadaannya termasuk yang paling melimpah (Hao *et al.*, 2018). Dari hasil karakteristik mikroskopis, isolat tersebut memiliki endospora yang dapat menghasilkan spora yang tahan terhadap banyak kondisi, termasuk panas (Berendsen *et al.*, 2016). Menurut Teng *et al.* (2023) dan Yang *et al.* (2024), inokulasi bakteri termofilik mengubah suksesi mikroorganisme (terutama bakteri) dan meningkatkan efisiensi *biodrying*. *Bacillus sonorensis* T- 45.2 dan *Lysinibacillus halotolerans* B- PINK7 merupakan kelompok *Bacillus* yang dominan lebih awal pada proses *biodrying* (Zhang *et al.*, 2019). Khamir *Pichia manshurica* DIYKS3 berkontribusi pada penguraian bahan organik, dan dapat mendorong pertumbuhan bakteri (da Silva Gaspar *et al.*, 2023). Pemberian *Lactobacillus rhamnosus* BAL N4 bertujuan untuk menghilangkan bau, pada fermentasi *Lactobacillus* menghilangkan bau tak sedap (Nedele *et al.*, 2021). Selain itu pada Septiariva *et al.* (2022), khamir digunakan sebagai bioaktivator dalam proses *biodrying* dalam mempengaruhi kadar air dan degradasi. Sementara bakteri Pelarut fosfat PP 1.2 yang memiliki enzim fosfatase yang memainkan peranan penting pada penguraian bahan organik secara efisien dan transformasi fosfor untuk sumber nutrisi bakteri (Xie *et al.*, 2023). Bakteri-bakteri tersebut setelah diuji mikroskopis termasuk ke dalam bakteri gram positif dengan karakteristik dinding sel tebal yang berfungsi dalam metabolisme dan berkontribusi pada pemeliharaan kelangsungan hidup sel dan integritas sel, terutama selama paparan stres (Romby & Charpentier, 2010).

Profil Suhu

Suhu merupakan parameter utama yang berpengaruh pada proses *biodrying*, karena penyusutan kadar air dapat dicapai dengan menggunakan panas (suhu) metabolik yang dihasilkan dari degradasi mikroorganisme organik dan aliran udara untuk meningkatkan perpindahan panas dan massa (Yang *et al.*, 2017). Pada penelitian ini, terdapat perbedaan suhu dari ketiga perlakuan bahan pembawa (talk, molase dan formula komersil IP) yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Profil Suhu *Biodrying* Sampah organik pada 3 perlakuan selama 7 hari di Bagendung

Perlakuan	Hari ke-							Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	
Molase	36,80 ab	47,00 de	49,40 e	48,80 e	45,00 cde	41,80 bcd	36,80 ab	43,66 a
Talk	36,00 a	47,40 de	48,80 e	45,40 cde	45,60 cde	43,60 cde	41,60 abcd	44,06
Formula Komersil IP	36,60 ab	46,00 cde	47,20 de	45,20 cde	45,20 cde	44,00 cde	40,20 abc	43,49 a
Rata-rata	36,47 a	46,80 de	48,47 e	46,47 de	45,27 cd	43,13 c	39,53 b	43,74
P-value	0,000 Signifikan pada taraf 5%							

Analisis suhu pada *biodrying* di Bagendung dengan 3 perlakuan dapat dilihat pada Tabel 3. Untuk suhu dengan perlakuan molase berbeda nyata antara hari pengamatan, dengan suhu yang paling tinggi terjadi di hari ke-3 (49,40) dan suhu terendah terjadi di hari ke-1 dan ke-7 (36,80). Untuk suhu dengan perlakuan talk terdapat perbedaan suhu antara hari pengamatan, dengan suhu paling tinggi terjadi di hari ke-3 (48,80) dan suhu terendah

terjadi di hari ke-1 (36,00). Untuk suhu dengan perlakuan formula komersil terdapat perbedaan suhu antara hari pengamatan, dengan suhu yang paling tinggi terjadi di hari ke-3 (47,20) dan suhu terendah terjadi di hari ke-1 (36,60).

Berdasarkan rerata suhu dari perlakuan di Bagendung, maka kisaran suhu pada proses *biodrying* ini adalah 43⁰C - 44⁰C, dengan suhu terendah dari mulai 36⁰C hingga suhu tertinggi pada 49,40⁰C. Kisaran suhu tersebut berada di antara suhu mesofilik dan termofilik yang dapat menunjang aktivitas mikroorganisme mesofilik (35 - 40⁰C) dan mikroorganisme termofilik dalam proses *biodrying* (40 - 45⁰C) (Adani *et al.*, 2002). Aktivitas yang terjadi dari mikroorganisme mesofilik maupun termofilik adalah adanya proses eksotermik dan metabolisme respirasi (Purwono *et al.*, 2016). Aktivitas tersebut berlangsung kurang lebih 7-8 hari pada proses *biodrying*, karena setelah delapan hari suhu akan menurun dan tidak lebih tinggi dari 30⁰C (Bilgin & Tulun, 2015). Rentang suhu optimal dalam proses *biodrying* yaitu 55 - 70⁰C (Wolny-Koladka *et al.*, 2021). Hal tersebut menunjukkan bahwa jenis mikroorganisme yang digunakan sebagai inokulan dalam penelitian ini berperan penting pada perubahan suhu dalam *biodrying*. Sementara talk menjadi bahan pembawa terbaik untuk peningkatan suhu dibandingkan dengan molase dan formula komersil IP dengan rata-rata 44,06⁰C (Bagendung). Sebagaimana dalam Andriani *et al.* (2017) menyebutkan talk merupakan bahan pembawa terbaik untuk mempertahankan jumlah bakteri dalam kondisi suhu tinggi. Talk dapat menyediakan lingkungan mikroorganisme yang sesuai untuk kelangsungan hidup mikroorganisme dalam waktu lama (Safari *et al.*, 2020).

Profil Kadar Air

Secara umum, Tabel 4 menunjukkan adanya penurunan kadar air dari hari ke-1 hingga hari ke-7. Penurunan kadar air tersebut menunjukkan adanya aktivitas mikroorganisme dalam menghasilkan panas metabolisme dalam bentuk suhu. Suhu dalam proses *biodrying* dapat menurunkan kadar air secara efisien (Zaman *et al.*, 2020). Hasil data Tabel 4 menunjukkan tidak terdapat perbedaan kadar air *biodrying* pada 3 perlakuan (molase, talk, formula komersil) namun berdasarkan hari pengamatan (1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7) ditemukan perbedaan kadar air *biodrying*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai p-value (0,000) kurang dari 5%, artinya ada pengaruh dari perlakuan dan lama hari pengamatan terhadap kadar air *biodrying* pada tingkat signifikansi 5%. Berdasarkan Uji Lanjut *Duncan* diketahui bahwa pengamatan hari ke-1 dan ke-2 berbeda nyata dengan hari pengamatan ke-3 sampai ke-7. Namun kadar air *biodrying* lebih tinggi pada pengamatan hari ke-1 dan ke-7.

Tabel 4. Kadar air *biodrying* dengan 3 perlakuan yang diamati selama 7 hari

Perlakuan	Hari ke-							Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	
Molase	57,00 d	42,78 ab	42,44 ab	42,68 ab	41,48 a	42,14 ab	48,20 c	45,25 a
Talk	59,80 e	43,30 ab	42,18 ab	41,76 ab	41,12 a	42,04 ab	41,46 a	44,52 a
Formula Komersil IP	59,20 e	44,12 b	41,72 a	41,41 a	40,96 a	42,00 ab	48,60 c	45,43 a
Rata-rata	58,67 d	43,40 b	42,11 ab	41,95 ab	41,19 a	42,06 ab	46,09 c	45,07
P-value	0,0 Signifikan pada taraf 5%							

Perlakuan talk memiliki kadar air paling rendah dengan rata-rata 44,52% dan penurunan paling tinggi sebesar 18,34%, diikuti dengan Molase (8,8%) dan Formula komersil (10,6%). Perubahan tersebut lebih besar dari *biodrying* konvensional (alami) yang berada sekitar 5,95% dari penurunan 40,85 - 34,90 % (Ma *et al.*, 2019). Tetapi penurunannya tidak banyak menyangkut durasi *biodrying* yang diamati pada penelitian ini hanya 7 hari. Pada Tom *et al.* (2016), diperlukan waktu 20 hari untuk mereduksi kadar air sebanyak >30%. Perubahan kadar air berbanding terbalik dengan kondisi suhu yang dipengaruhi talk ataupun perlakuan lainnya. Karena peningkatan suhu akan mengakibatkan penguapan yang lebih tinggi, menyebabkan penurunan laju dekomposisi bahan organik (Rastogi *et al.*, 2020) sehingga air akan menyusut dari massa sampah organik.

Secara umum, kadar air berada di kisaran 44% sampai 45%, dengan rata-rata kadar air awal pada 58,67%. Kondisi awal tersebut sangat optimal untuk pertumbuhan mikroorganisme di awal, yaitu sekitar 50 - 70% (Fiki *et al.*, 2022). Pada hari ke-6 terjadi peningkatan kadar air di semua perlakuan, hal ini disebabkan oleh uap air yang tertahan pada bagian bawah yang dapat meningkatkan kelembaban udara (Adani, dalam Fiki *et al.*, 2022). Selain itu, air yang merembes ke bagian bawah tumpukan sebagai lindi tidak dapat mengalir sempurna sehingga terjebak di tumpukan sampah (Santosa & Soemano, dalam Fiki *et al.*, 2022). Sehingga perlu metode yang dapat menghilangkan lindi dan uap air secara sempurna (seperti memodifikasi kotak uji *biodrying*).

Profil pH

Analisis pH pada *biodrying* dengan 3 perlakuan dapat dilihat pada Tabel 5. Untuk pH dengan perlakuan molase, hasil analisis statistik menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata antar hari pengamatan, namun pH yang paling tinggi terjadi pada hari ke-7 (6,66) dan pH terendah terjadi di hari ke-1 (6,00). Untuk pH dengan perlakuan talk, terdapat perbedaan pH antara hari ke-1 dengan pH di hari ke-3 sampai hari ke-7, namun pH yang paling tinggi terjadi di hari ke-7 (6,72) dan pH terendah terjadi di hari ke-1 (4,58). Untuk pH dengan perlakuan formula komersil terdapat perbedaan pH antara hari ke-1 dengan pH di hari ke-3 sampai hari ke-7, namun pH yang paling tinggi terjadi di hari ke-7 (6,86) dan pH terendah terjadi di hari ke-1 (5,06). Terdapat perbedaan yang nyata di ketiga perlakuan tersebut, hal ini ditunjukkan dengan nilai p-value dari uji ANOVA sebesar 0,000 kurang dari 5%, artinya ada pengaruh dari perlakuan dan lama hari pengamatan terhadap pH *biodrying* pada tingkat signifikansi 5%.

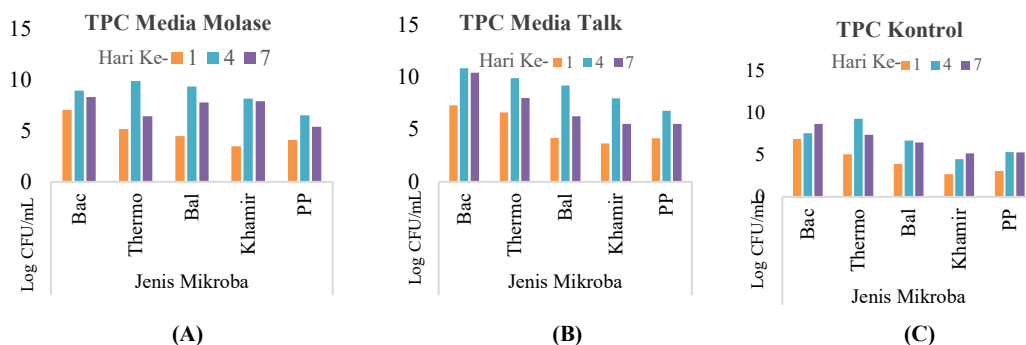
Secara umum, pH mengalami peningkatan dari hari ke-1 sampai ke-7 dengan rata-rata pH berada di kisaran 6,03. Peningkatan tersebut dapat dikaitkan dengan peningkatan alkalinitas akibat amonifikasi nitrogen dari sampah organik yang diperankan oleh mikroorganisme (Huang *et al.*, dalam Sadaka & Ahn, 2012). Mikroorganisme mesofilik dapat tumbuh pada pH berkisar 5,5 - 8,0, sehingga menunjukkan keragaman mikroorganisme mesofilik lebih tinggi pada proses *biodrying* ini dibandingkan dengan mikroorganisme asidofilik atau alkalin. pH tertinggi di Bagendung ada pada perlakuan bahan pembawa molase.

Tabel 5. pH *biodrying* dengan 3 perlakuan yang diamati selama 7 hari di Bagendung

Perlakuan	Hari ke-							Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	
Molase	6,00 cdef	6,28 efg	6,26 defg	6,30 efg	6,48 efg	6,50 efg	6,66 fg	6,35 b
Talk	4,58 a	5,30 abc	5,82 cde	5,48 bcd	5,96 cdef	6,52 efg	6,72 fg	5,77 a
Formula Komersil IP	5,06 ab	5,30 abc	5,92 cdef	5,82 cde	6,30 efg	6,58 efg	6,86 g	5,98 a
Rata-rata	5,21 a	5,63 ab	6,00 bc	5,87 bc	6,25 cd	6,53 de	6,75 e	6,03
P-value	0,000 Signifikan pada taraf 5%							

Profil Jumlah Mikroorganisme Hasil Isolasi Sampah Organik

Mikroorganisme pada penelitian ini sangat mempengaruhi dalam proses *biodrying*, kinerja pengeringan sangat bergantung pada aktivitas mikroorganisme. Aktivitas mikroorganisme yang tinggi dapat mempercepat dekomposisi bahan organik dan mendorong pembentukan biotermal (Ma *et al.*, 2019). Mikroorganisme yang digunakan sebagai perlakuan adalah hasil isolasi dari sampah organik di Bagendung. Umur sampah ditentukan selama 7 hari saat pengambilan, agar memenuhi standar kinerja *biodrying* sekitar seminggu lebih; 7 hari (Mohammed *et al.*, 2017); 8 hari (Hao & Jahng, 2019); 6-9 hari (Zhang *et al.*, 2019).

**Gambar 4.** Grafik Nilai TPC (Total Plate Count): (A) Media Molase; (B) Media Talk; (C) Kontrol

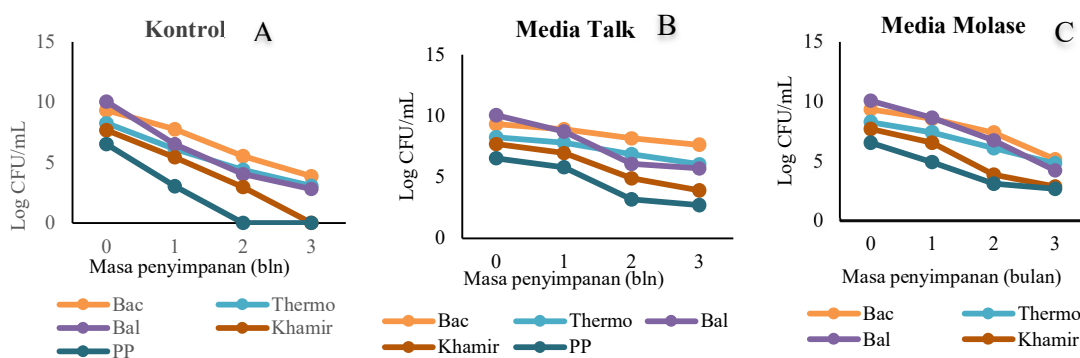
Secara umum, hari ke-4 menunjukkan hasil TPC tertinggi untuk semua jenis mikroorganisme dan semua perlakuan bahan pembawa (talk, molase dan kontrol), diikuti hari ke-7 dan hari ke-1 menunjukkan TPC terendah. Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme meningkat pada hari ke-4 dibandingkan dengan 2 hari lainnya. Menurut dos Reis *et al.* (2020), pada fase hari ke-3 hingga ke-9 (termasuk hari ke-4) adalah fase termofilik yang diperankan oleh mikroorganisme termofilik. Pada penelitian ini, mikroorganisme yang berperan pada fase termofilik adalah genus *Bacillus*. *Lysinibacillus halotolerans* B- PINK7 merupakan mikroorganisme dengan hasil TPC tertinggi dimulai hari ke-1, 4, dan 7 dibandingkan dengan mikroorganisme lainnya. Kemudian diikuti oleh *Bacillus sonorensis* T- 45.2, BAL dan yang terendah adalah bakteri pelarut fosfat (PP1.2). Hal tersebut menunjukkan bahwa *Bacillus* merupakan kelompok mikroorganisme yang mendominasi pada *biodrying*. Hal ini sesuai dengan temuan Yang *et al.* (2017), bahwa komunitas bakteri *Bacillus* adalah genera dominan pada *biodrying* terutama fase termofilik,

yang menyumbang sekitar 43 - 83% dari total populasi. Selain itu, BAL memiliki pertumbuhan yang tinggi sebagai kelompok ke dua, karena pertumbuhan BAL sangat dipengaruhi oleh komposisi media pertumbuhan dan faktor lingkungan (Aýun *et al.*, 2024), BAL dapat mempertahankan pertumbuhannya dengan bantuan bahan pembawa. Sementara bakteri pelarut fosfat menunjukkan viabilitasnya yang rendah pada sampah organik di Bagendung. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh lingkungan, penyimpanan (bahan pembawa) dan zat tertentu yang dapat menghambat kelangsungan hidup mikroorganisme tersebut (Xie *et al.*, 2023). Bakteri pelarut fosfat tidak diisolasi dari Bagendung (atau bukan habitat aslinya). Perbedaan lingkungan baru diperkirakan memberi dampak yang signifikan terhadap pertumbuhan, kelangsungan hidup, dan distribusi mikroorganisme (Qiu *et al.*, 2022). Lingkungan baru juga dapat menurunkan jumlah genera bakteri yang mampu hidup di tempat tersebut.

Profil Stabilitas Mikroorganisme Dalam Formulasi Padat dan Cair

Stabilitas menunjukkan ketahanan mikroorganisme pada rentang waktu tertentu, pada penelitian ini stabilitas diukur selama waktu 3 bulan. Stabilitas dalam formulasi bahan pembawa bertujuan untuk melihat pengaruh formulasi bahan pembawa pada ketahanan mikroorganisme dalam waktu tertentu. Isolat mikroorganisme yang telah dibuat konsorsium, selanjutnya dibuat formulasi dalam bentuk padat (talk) dan cair (molase) yang dapat dilihat pada gambar 6. Formulasi tersebut mengandung inokulan konsorsium yang terdiri atas isolat BAC Pink7, TERM 45.2, KS3DY, BAL N4, dan PP 1.2. dengan kepadatan masing-masing sel sebanyak $2,12 \times 10^9$, $1,82 \times 10^8$, $1,135 \times 10^{10}$, $4,88 \times 10^7$, $3,4 \times 10^6$ CFU/mL.

Stabilitas dan viabilitas mikroorganisme dapat sangat bervariasi tergantung pada kondisi penyimpanan dan mikroorganisme spesifik yang bersangkutan. Secara umum, viabilitas mikroorganisme menurun seiring berjalannya waktu, dan laju penurunan ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu, kelembapan, dan keberadaan nutrisi (Visciglia *et al.*, 2022). Swandi *et al.* (2019) menyatakan penurunan jumlah koloni disebabkan penurunan zat gizi yang terkandung dalam formulasi. Penurunan tersebut tersaji pada grafik gambar 5 berikut selama 3 bulan.



Gambar 5. Viabilitas sel mikroorganisme BAC Pink7 (*Bac*), TERM 45.2 (*Thermo*), KS3DY (*Khamir*), BAL N4 (*Bal*), PP 1.2 (*PP*) pada bahan pembawa: (A) Kontrol; (B) Talk; (C) Molase

Secara umum, Gambar 5 menunjukkan talk sebagai bahan pembawa yang lebih memberikan efek stabil pada viabilitas mikroorganisme dibandingkan dengan bahan molase (maupun kontrol). Pada masa 3 bulan, talk mampu mempertahankan viabilitas *Lysinibacillus halotolerans* B- PINK7 dalam jumlah $4,3 \times 10^7$, dibandingkan pada media molase dan kontrol yang masing-masing mempertahankan viabilitas dalam jumlah $1,34 \times 10^5$ dan $7,2 \times 10^3$, begitu pula dengan mikroorganisme lainnya pada ketiga media tersebut. Hasil ini diperkuat oleh Andriani *et al.* (2017), bahan pembawa yang dapat mempertahankan viabilitas mikroorganisme pada waktu penyimpanan terbaik adalah talk. Komposisi kimia talk yang meliputi magnesium dan silikon memberikan nutrisi penting bagi kelangsungan hidup mikroorganisme, khususnya pemenuhan nutrisi oksigen dan magnesium (Rakian *et al.*, 2018).

Profil Hasil Uji *Biodrying*

Optimasi proses *biodrying* dalam penelitian ini dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, termasuk profil suhu, kadar air, pH, jumlah serta keragaman mikroorganisme, dan stabilitas mikroorganisme dalam bahan pembawa, baik dalam bentuk padat maupun cair. Profil suhu yang diamati berada pada rata-rata: 43,49 - 44,06°C untuk semua bahan pembawa (talk, molase, dan formula komersial IP), suhu tersebut berada pada kisaran suhu ideal proses *biodrying* (30 - 45°C) (Chaerul & Wardhani, 2020). Selanjutnya profil suhu yang diamati menunjukkan pola perubahan yang serupa pada semua perlakuan bahan pembawa dengan puncak suhu terjadi pada hari ke-3 atau ke-4 sebelum mengalami penurunan pada hari-hari berikutnya. Fase ini menandai puncak fase termofilik, di mana bakteri termofilik (pada penelitian ini: *Bacillus sonorensis*) memainkan peran krusial dalam mendegradasi sampah organik, menonaktifkan patogen, yang berpotensi meningkatkan metabolisme nutrisi mikroorganisme (Cao, 2021). Peningkatan suhu yang signifikan selama fase ini berkontribusi pada percepatan penguapan air, sehingga mempercepat penurunan kadar air secara optimal.

Secara umum, kadar air cenderung menurun hingga hari ke-5 dengan nilai terendah berkisar antara 40,96% hingga 41,48%. Hal ini menunjukkan adanya hubungan erat antara suhu dan kadar air dalam proses *biodrying*, di mana peningkatan suhu berbanding lurus dengan penurunan kadar air. Penurunan kadar air ini selanjutnya berdampak pada penyusutan massa sampah organik akibat hilangnya massa air yang tersimpan dalam bahan organik (Zhang., 2009). Dengan demikian, kontrol suhu selama proses *biodrying* menjadi faktor kunci dalam mengoptimalkan efisiensi pengeringan dan degradasi sampah organik.

Parameter pH dalam proses *biodrying* memiliki peran penting dalam mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Berdasarkan profil pH yang diamati, nilai pH dalam rentang 5,7 - 6,35 menunjukkan bahwa mikroorganisme cenderung tumbuh optimal dalam kondisi mendekati netral dengan kisaran optimal 6,5 - 7,5 (Fajar., 2022). Pada fase termofilik penelitian ini, pH cenderung menurun untuk semua bahan pembawa, hal tersebut berhubungan dengan peningkatan suhu dan penurunan kadar air yang signifikan selama hari-hari tersebut (Hastuti *et al.*, 2017).

Jumlah mikroorganisme (Gambar 4) dalam uji *biodrying* menunjukkan penurunan sejak hari pertama inokulasi, dengan kelompok *Bacillus* tetap mendominasi sebagai populasi mikroorganisme terbanyak. Tetapi bahan pembawa (talk dan molase) tetap memberikan pengaruh pada jumlah konsorsium mikroorganisme setelah dilakukan perhitungan TPC (terdapat perbedaan dengan formula komersil IP). Fenomena ini sejalan dengan stabilitas mikroorganisme (Gambar 5) pada bahan pembawa, di mana bahan pembawa berperan dalam menjaga keseimbangan mikroorganisme dalam viabilitas dan efektivitas mikroorganisme (Suryantini, 2016). Dalam skala komersial, stabilitas mikroorganisme pada bahan pembawa telah diuji untuk memastikan ketahanan formulasi terhadap perubahan lingkungan (Uji viabilitas: gambar 5). Oleh karena itu, formulasi ini dapat diaplikasikan secara luas ke berbagai tempat dan bentuk seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Formulasi konsorsium mikrob dalam bahan pembawa: (A) Talk; (B) Molase

Penggunaan bahan pembawa seperti talk dan molase (Gambar 6) berperan penting dalam meningkatkan stabilitas mikroorganisme serta efektivitas proses *biodrying*, khususnya dalam mempengaruhi parameter suhu, kadar air, dan populasi mikroorganisme. Dibandingkan dengan formula komersial IP yang digunakan sebagai kontrol dan mengandung konsorsium mikroorganisme tertentu, formulasi talk dan molase telah melalui beberapa tahap pengujian dan terbukti mampu mempertahankan sinergitas serta kelangsungan hidup mikroorganisme saat diaplikasikan di lapangan. Faktor eksternal seperti suhu, pH, dan kadar air memang memengaruhi pertumbuhan mikroorganisme, namun peran bahan pembawa juga tidak kalah penting dalam menjaga viabilitas mikroorganisme selama proses berlangsung.

Secara khusus, talk memberikan manfaat sebagai bahan pembawa dengan stabilitas fisik yang baik, mampu menjaga kelembaban yang seimbang, serta menyediakan permukaan yang kondusif bagi mikroorganisme untuk beradaptasi dan berkembang. Sifatnya yang inert, tidak reaktif dan stabil dalam sebagian besar reagen kimia (Newman *et al.*, 1994) menjadikannya ideal untuk melindungi mikroorganisme dari perubahan lingkungan yang ekstrem selama proses *biodrying*. Sementara itu, molase berfungsi sebagai sumber karbon dan energi yang potensial untuk mendukung metabolisme mikroorganisme (Suryatmana *et al.*, 2023). Namun, efektivitasnya dalam formula ini masih kurang dibandingkan dengan talk, kemungkinan disebabkan oleh komposisi formula yang belum mampu memaksimalkan pemanfaatan molase oleh konsorsium mikroorganisme yang ada. Penyesuaian formula yang

tepat berpeluang meningkatkan efisiensi *biodrying* melalui pemanfaatan molase sebagai nutrisi utama bagi pertumbuhan mikroorganisme.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa konsorsium mikroorganisme dapat mempengaruhi proses *biodrying* sampah organik, jenis bahan pembawa berpengaruh terhadap hasil *biodrying* serta stabilitas mikroorganisme. Bahan pembawa padat (talk) lebih efektif dibandingkan bahan pembawa cair (molase) dan komersial dalam meningkatkan efisiensi *biodrying* dan menjaga stabilitas parameter proses (suhu, pH, dan kadar air), serta memperpanjang umur simpan inokulan *biodrying*. Dengan demikian, kombinasi talk dan konsorsium (*Pichia manshurica*, *Lysinibacillus halotolerans*, *Bacillus sonorensis*, *Lactobacillus rhamnosus* dan Bakteri pelarut fosfat) yang digunakan pada penelitian ini dapat menjadi bioformulasi untuk aplikasi *biodrying* sampah organik.

SARAN

Penelitian ini membutuhkan hal-hal yang diperbaiki terutama pada parameter *biodrying*. Penambahan parameter *biodrying* seperti debit aerasi, nilai kalor dan beberapa parameter lainnya dapat menunjukkan hasil *biodrying* yang lebih kompleks. Selain itu, penggunaan bahan pembawa padat selain talk dapat menjadi alternatif lain untuk meningkatkan ketahanan mikroorganisme saat aplikasi *biodrying* ataupun saat didistribusikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh proyek kerja sama antara IPBCC dan PT Indonesia Power pada tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramczyk, Ł., Domińczyk, A., Ślęzak, R., & Cichowicz, R.A. (2014). The impact of micro-organism activity on the biodrying process. *Acta Innovations*, 13(13), 5–11.
- Adani, F., Baido, D., Calcaterra, E., & Genevini, P. (2002). The influence of biomass temperature on biostabilization-biodrying of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 83(3), 173–179. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00231-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00231-0)
- Al-Dhabi, N. A., Esmail, G. A., & Arasu, M. V. (2020). Co-fermentation of food waste and municipal sludge from the Saudi Arabian environment to improve lactic acid production by *Lactobacillus rhamnosus* AW3 isolated from date processing waste. *Sustainability (Switzerland)*, 12(17), 1–17. DOI: <https://doi.org/10.3390/SU12176899>
- Andriani, Y., Aufa, K., Mia, R., & Ratu, S. (2017). Karakterisasi *Bacillus* dan *Lactobacillus* yang dienkapsulasi dalam berbagai bahan pembawa untuk probiotik *Vannamei* (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931). *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 7(2), 142–154.
- Asri, A.C., & Zulaika, E. (2016). Sinergisme antar isolat *Azotobacter* yang dikonsorsiumkan. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 5(2), E57–E59.

- Aýun, Q., Muthiáh, S.N., & Perdana, A.T. (2024). Characterization of Lactic Acid Bacteria (LAB) from Tempeh Probiotic. *Konservasi Hayati*, 20(1), 11–21.
- Berendsen, E.M., Koning, R.A., Boekhorst, J., Jong, A. de, Kuipers, O.P., & Wells-Bennik, M.H.J. (2016). High-level heat resistance of spores of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus licheniformis* results from the presence of a spoVA Operon in a Tn1546 transposon. *Frontiers in Microbiology*, 7(DEC), 1–10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01912>
- Bilgin, M., & Tulun, Ş. (2015). Biodrying for municipal solid waste: Volume and weight reduction. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 36(13), 1691–1697. DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1006262>
- Brunner, I. M. I.M., Norhidayat, A., & Brunner, S.M. (2021). Pengolahan sampah organik dan limbah biomassa dengan teknologi olah sampah di sumbernya. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(3), 2085–2095. DOI: <https://doi.org/10.32672/jse.v6i3.3120>
- Cai, L., Chen, T.B., Gao, D., & Yu, J. (2016). Bacterial communities and their association with the bio-drying of sewage sludge. *Water Research*, 90, 44–51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.12.026>
- Cai, L., Chen, T.B., Zheng, S.W., Liu, H.T., & Zheng, G.D. (2018). Decomposition of lignocellulose and readily degradable carbohydrates during sewage sludge biodrying, insights of the potential role of microorganisms from a metagenomic analysis. *Chemosphere*, 201, 127–136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.177>
- Cao, M.K., Guo, H.T., Zheng, G.D., Chen, T.B., & Cai, L. (2021). Microbial succession and degradation during kitchen waste biodrying, highlighting the thermophilic phase. *Bioresource Technology*, 326(January), 124762. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124762>
- Cao, X., Sun, D., Luo, H., Wang, Z., Liu, S., & Ding, H. (2025). Effects of inoculating exogenous microorganisms (EM) on dewatered sludge biodrying performance and its mechanism of action. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(2), 115537. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.115537>
- Chaerul, M., & Wardhani, A.K. (2020). Refuse Derived Fuel (RDF) dari sampah perkotaan dengan proses biodrying: Review. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 17(1), 62–74. Retrieved from <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/presipitasi/article/view/28551>
- da Silva G.S., Assis, L.L.R. de Prado, M.P.R., do Pedroso M.M.G., dos Reis Ferreira, G.M., Schwan, R.F., Pasqual, M., Rigobelo, E.C., Castro, R.P., Buttrós, V.H., Dória, J. (2023). Diversity and enzymatic activity of the microbiota isolated from compost based on restaurant waste and yard trimmings. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7:101336. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1013361>
- Darmawan, R., Dewi, V. .P., Rizaldi, M.A., Juliastuti, S.R., Gunawan, S., Apamarta, H.W., & Wiguno, A. (2020). Production of liquid bio-fertilizer from old coconut water and molasses using consortium microbes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 845, 012007. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/845/1/012007>

- dos Reis, R.F., Cordeiro, J.S., Font, X., & Achon, C.L. (2020a). The biodrying process of sewage sludge—a review. *Drying Technology*, 38(10), 1247–1260. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1629689>
- dos Reis, R.F., Cordeiro, J.S., Font, X., & Achon, C.L. (2020b). The biodrying process of sewage sludge—a review. *Drying Technology*, 38(10), 1247–1260. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1629689>
- Fajar, I., Perwira, I.Y., & Ernawati, N.M. (2022). Pengaruh Derajat Keasaman (pH) terhadap pertumbuhan bakteri toleran kromium heksavalen dari sedimen mangrove di Muara Tukad Mati, Bali. *Current Trends in Aquatic Science V*, 6(1), 1–6.
- Fiki, A.C., Hadiwododo, M., Zaman, B., & Zaman, B. (2022). Teknologi biodrying untuk meningkatkan nilai kalor sampah dan proyeksinya sebagai bahan bakar alternatif pada tahun 2028. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(1), 139–146. DOI: <https://doi.org/10.14710/jil.20.1.139-146>
- Ghosh, S., Chowdhury, R., & Bhattacharya, P. (2016). Mixed consortia in bioprocesses: role of microbial interactions. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(10), 4283–4295. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7448-1>
- Goembira, F., Putri, R., Dewilda, Y., Noerhidayat, A., & Mardatillah, R. (2024). Utilization of pineapple peels, rice-washed water, and local microorganisms derived from golden snails in biodrying process of yard waste. *E3S Web of Conferences*, 485. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448505004>
- Hao, Z., & Jahng, D. (2019). Variations of organic matters and extracellular enzyme activities during biodrying of dewatered sludge with different bulking agents. *Biochemical Engineering Journal*, 147, 126–135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2019.04.001>
- Hao, Z., Yang, B., & Jahng, D. (2018). Spent coffee ground as a new bulking agent for accelerated biodrying of dewatered sludge. *Water Research*, 138, 250–263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.049>
- Hardestyariki, D., Yudono, B., & Munawar, D. (2020). *Sribios: Sriwijaya Bioscientia Uji Kemampuan Konsorsium Bakteri Hidrokarbonoklas-Tik Sebagai Agen Bioremediasi*. 1(1), 8.
- Hastuti, S.M., Samudro, G., & Sumiyati, S. (2017). Pengaruh kadar air terhadap proses pengomposan sampah organik dengan Metode Takakura. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 63. DOI: <https://doi.org/10.22441/jtm.v6i2.1192>
- Huang, G.F., Wong, J.W.C., Wu, Q.T., & Nagar, B.B. (2004). Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management*, 24(8), 805–813. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.011>
- Jones, K.A., & Burges, H.D. (1998). *Formulation of Microbial Biopesticides: Beneficial microorganisms, nematodes and seed treatments* (H.D. Burges, ed.). Springer Netherlands. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-011-4926-6_2
- Ma, J., Zhang, L., Mu, L., Zhu, K., & Li, A. (2019). Multivariate insights of bulking agents influence on co-biodrying of sewage sludge and food waste: Process performance,

- organics degradation and microbial community. *Science of the Total Environment*, 681, 18–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.101>
- Malinowski, M., & Wolny-Koładka, K. (2017). Microbiological and energetic assessment of the effects of the biodrying of fuel produced from waste. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 24(4), 551–564. DOI: <https://doi.org/10.1515/eces-2017-0036>
- Mohammed, M., Ozbay, I., & Durmusoglu, E. (2017). Bio-drying of green waste with high moisture content. *Process Safety and Environmental Protection*, 111, 420–427. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.002>
- Nedele, A.K., Gross, S., Rigling, M., & Zhang, Y. (2021). Reduction of green off-flavor compounds: Comparison of key odorants during fermentation of soy drink with *Lycoperdon pyriforme*. *Food Chemistry*, 334, 127591. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127591>
- Newman, A.W., Vitez, I.M., Patel, P.C. DeVincentis, G.Y., Bugay, J., & Tarun, D.E. (1994). *Talc* (Harry G. Brittain, ed.). Academic Press. DOI: [https://doi.org/doi.org/10.1016/S0099-5428\(08\)60611-5](https://doi.org/doi.org/10.1016/S0099-5428(08)60611-5)
- Purwono, P., Hadiwidodo, M., & Rezagama, A. (2016). Penerapan teknologi biodrying dalam pengolahan sampah high water content menuju zero leachate. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 13(2), 75-80. DOI: <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v13i2.75-80>
- Qiu, Y., Zhou, Y., Chang, Y., Liang, X., Zhang, H., Lin, X., ... Luo, Z. (2022). The effects of ventilation, humidity, and temperature on bacterial growth and bacterial genera distribution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 15345, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192215345>
- Rajendran, L., & Samiyappan, R. (2008). Endophytic *Bacillus* species confer increased resistance in cotton against damping off disease caused by *Rhizoctonia solani*. *Plant Pathology Journal*, 7(1), 1–12.
- Rakian, T. C., Karimuna, L., Taufik, M., Sutariati, G.A.K., Muhidin, & Fermin, U. (2018). The effectiveness of various Rhizobacteria carriers to improve the shelf life and the stability of Rhizobacteria as Bioherbicide. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 122(1), 012032, 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/122/1/012032>
- Rastogi, M., Nandal, M., & Khosla, B. (2020). Microbes as vital additives for solid waste composting. *Heliyon*, 6(2), e03343. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03343>
- Rawat, P., Das, S., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S.C. (2021). Phosphate-Solubilizing Microorganisms: Mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 49–68. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7>
- Romby, P., & Charpentier, E. (2010). An overview of RNAs with regulatory functions in gram-positive bacteria. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 67(2), 217–237. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00018-009-0162-8>

- Sadaka, S., & Ahn, H. (2012). Evaluation of a biodrying process for beef, swine, and poultry manures mixed separately with corn stover. *Applied Engineering in Agriculture*, 28(3), 457–463.
- Safari, M., Motamedi, E., Kari Dolatabad, H., & Modarres Sanavy, S.A.M. (2020). Nano-carriers effects on the viability and efficiency of *Pseudomonas* strains as phosphate solubilizing bacteria. *Heliyon*, 6(10), e05076. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05076>
- Santosa, S., & Soemano. (2014). Peningkatan nilai kalor produk pada produk proses bio-drying sampah organik improved calor value on biodrying production of organic waste. *Indonesian Green Technology Journal*, 3(1), 29–38.
- Sarkar, P., & Chourasia, R. (2017). Bioconversion of organic solid wastes into biofortified compost using a microbial consortium. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6(4), 321–334. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0180-8>
- Septiariva, I.Y., Suryawan, I.W.K., & Sari, M.M. (2022). Vegetable waste biodrying treatment for energy recovery as refuse derived fuel potential. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 6(2), 138–146. DOI: <https://doi.org/10.33795/jtkl.v6i2.316>
- Sugni, M., Calcaterra, E., & Adani, F. (2005). Biostabilization-biodrying of municipal solid waste by inverting air-flow. *Bioresource Technology*, 96(12), 1331–1337. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.11.016>
- Sukmawati, D., Balqis, M., Adisyahputra, A., Nurjayadi, M., Annisyah, S., Ichsanty, F., Supiyani, A., Widowati, R., El Enshasy, H.A., Sulistiani, Yusuf, D., Dewi, F.R., Anshory, L., & Setiarto, R.H.B. (2023). The potential of cellulolytic yeast *Pichia manshurica* UNJCC Y-123, *Saccharomyces cerevisiae* UNCC Y-84, and *Saccharomyces cerevisiae* UNJCC Y-83 to produce cellulase enzyme by using substrate skin delignification of cocoa (*Theobroma cocoa*). *Trends in Sciences*, 20(10), 6950, 1–15. DOI: <https://doi.org/10.48048/tis.2023.6950>
- Suryantini. (2016). Formulasi bahan pembawa pupuk hayati pelarut fosfat. *Buletin Palawija*, 14(1), 28–35.
- Suryatmana, P., Elmirasari, A.H.M., Hindersah, R., Fitriatin, B.N., & Setiawati, M.R. (2023). Pengaruh bahan pembawa terhadap efektifitas bakteri pelarut fosfat pada pertumbuhan dan hasil kedelai (*Glycine max* L.) pada inceptisol. *Jurnal AGRO*, 10(1), 123–136. DOI: <https://doi.org/10.15575/25039>
- Swandi, M.K., Mubarik, N.R., & Tjahjoleksono, A. (2019). Rhizobacterial inoculants: The formulation as biofertilizer and its application on chili plants (*Capsicum annum* L.). *Malaysian Journal of Microbiology*, 15(1), 44–51. DOI: <https://doi.org/10.21161/mjm.112517>
- Tambone, F., Scaglia, B., Scotti, S., & Adani, F. (2011). Effects of biodrying process on municipal solid waste properties. *Bioresource Technology*, 102(16), 7443–7450. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.05.010>
- Teng, F., Tan, G., Liu, T., Zhang, T., Liu, Y., Li, S., Lei, C., Peng, X., Yin, H., & Meng D. (2023). Inoculation with thermophiles enhanced the food waste bio-drying and

- complicated interdomain ecological networks between bacterial and fungal communities. *Environmental Research*, 231(3), 116299. DOI: <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.envres.2023.116299>
- Tom, A.P., Pawels, R., & Haridas, A. (2016). Biodrying process: A sustainable technology for treatment of municipal solid waste with high moisture content. *Waste Management*, 49, 64–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.004>
- Velis, C.A., Longhurst, P.J., Drew, G.H., Smith, R., & Pollard, S.J.T. (2009). Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. *Bioresource Technology*, 100(11), 2747–2761. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.026>
- Visciglia, A., Allesina, S., Amoroso, A., De Prisco, A., Dhir, R., Bron, P.A., & Pane, M. (2022). Assessment of shelf-life and metabolic viability of a multi-strain synbiotic using standard and innovative enumeration technologies. *Frontiers in Microbiology*, 13, 989563, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.989563>
- Wolny-Koładka, K., Malinowski, M., & Zdaniewicz, M. (2021). Energy-related and microbiological evaluation of the effects of bulking agents on the brewery hot trub biodrying. *Food and Bioprocess Processing*, 127, 398–407. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.04.001>
- Xie, J., Acosta, E.M., & Gitai, Z. (2023). Bacterial viability in the built environment of the home. *PLoS ONE*, 18(11): e0288092, 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288092>
- Yang, B., Hao, Z., & Jahng, D. (2017). Advances in biodrying technologies for converting organic wastes into solid fuel. *Drying Technology*, 35(16), 1950–1969. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1322100>
- Yang, N., Ji, Y., Shao, Y., Shi, J., Tang, T., & Liu, L. (2024). Thermophilic bacterial agent inoculation enhances biodrying of kitchen waste: Insights into process properties. *Science of the Total Environment*, 951(3), 175671. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175671>
- Yuan, J., Li, Y., Wang, G., Zhang, D., Shen, Y., Ma, R., ... Li, G. Biodrying performance and combustion characteristics related to bulking agent amendments during kitchen waste biodrying. *Bioresource Technology*, 284(January), 56–64.
- Yuan, J., Li, Y., Wang, G., Zhang, D., Shen, Y., Ma, R., Li, D., Li, S., & Li, G. (2019). Biodrying performance and combustion characteristics related to bulking agent amendments during kitchen waste biodrying. *Bioresour Technol.* 284, 56-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.115>
- Zaman, B., Budihardjo, M.A., Yasmin, S.M.M., & Purwono. (2020). Performance of biodrying process based on temperature profile and cumulation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1625, 012040. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1625/1/012040>
- Zhang, D., Luo, W., Liu, Y., Yuan, J., & Li, G. (2019). Co-biodrying of sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste: A thermogravimetric assessment of the

blends. *Waste Management*, 95, 652–660. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.017>

Zhang, D.Q., He, P.J., Yu, L.Z., & Shao, L.M. (2009). Effect of inoculation time on the bio-drying performance of combined hydrolytic-aerobic process. *Bioresource Technology*, 100(3), 1087–1093. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.07.059>