STUDY OF STABILITY ALGINATE-IS258 (Nakasoemyces glabrata) MATRICES REINFORCED WITH POLYVINYL ALCOHOL FOR THE PRODUCTION OF BIOETHANOL FROM COCONUT SAP ANALOG MEDIA

STUDI KETAHANAN MATRIKS ALGINAT-IS258 *(Nakasoemyces glabrata)* DIPERKUAT *POLYVINYL ALCOHOL* DALAM MEMPRODUKSI BIOETANOL DARI MEDIA ANALOG NIRA KELAPA

Facetarian I. Dakhi, I M. Mahaputra Wijaya*, I B W. Gunam, A A M. Dewi Anggreni, Amna Hartiati, Wildan Khalid, Hidayat Taufik, Ainun Rofiq
PS Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Indonesia

Diterima 19 Agustus 2026 / Disetujui 19 Oktober 2026

ABSTRACT

The growing demand for energy is driving the development of environmentally friendly alternative energy sources, one of which is bioethanol. Bioethanol can be produced through the fermentation of sugar using yeast to produce alcohol; immobilized IS258 can be used for this process. This study aims to determine the stability of the polyvinyl alcohol-reinforced alginate-IS258 matrix (Alg-PVA-IS258), assess its service life, and determine the amount of bioethanol produced using Alg-PVA-IS258. This study is a descriptive experimental study with four PVA concentrations (0.5%, 1%, 1.5%, and 2% (w/v)), each with three replicates per treatment, using a fed-batch system over eight fermentation cycles. The parameters observed included total ethanol, fermentation efficiency, physical stability of the beads, pH, residual sugar, and total microbial count. The results of the study showed that the alginate matrix without PVA produced the highest ethanol yield of 34.8 mL, with an efficiency of 83.8%, and remained stable through the eighth cycle. Meanwhile, the addition of 0.5%, 1%, 1.5%, and 2% PVA, respectively, yielded a maximum ethanol yield of 34.0 mL with an efficiency of 81.8%, lasting until the seventh cycle; a maximum ethanol yield of 33.5 mL with an efficiency of 62.6%, lasting until the sixth cycle; a maximum ethanol yield of 33.0 mL, an efficiency of 61.7%, lasting until the sixth cycle; and a maximum ethanol yield of 32.0 mL, an efficiency of 56.7%, lasting until the fifth cycle. With the addition of PVA, the durability of the alginate-IS258 matrix did not improve over the fermentation cycles. These results indicate that the alginate matrix without PVA addition exhibits the best durability because it can be used for a longer period during the fermentation cycles.
Keywords: *Bioethanol, immobilization, IS258 yeast, alginate matrix, polyvinyl alcohol*

ABSTRAK

Kebutuhan energi yang semakin meningkat mendorong pengembangan energi alternatif ramah lingkungan salah satunya bioetanol. Bioetanol dapat diproduksi melalui fermentasi gula menggunakan khamir untuk menghasilkan alkohol, bisa memakai IS258 yang diimobilisasi. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui ketahanan matriks alginat-IS258 diperkuat *polyvinyl alcohol* (Alg-PVA-IS258), mengetahui lama penggunaan, dan jumlah bioetanol yang dihasilkan dengan penggunaan Alg-PVA-IS258. Penelitian ini bersifat eksperimental deskriptif dengan empat konsentrasi PVA (0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% (*b/v*)), masing-masing tiga kali pengulangan pada setiap perlakuan, menggunakan sistem *fed-batch* selama delapan siklus fermentasi. Parameter yang diamati meliputi total etanol, efisiensi fermentasi, ketahanan fisik *beads*, derajat keasaman, sisa gula dan total mikroba. Hasil penelitian menunjukkan bahwa matriks alginat tanpa PVA menghasilkan etanol tertinggi 34,8 mL, efisiensi 83,8%, bertahan hingga siklus kedelapan. Sedangkan melalui penambahan PVA 0,5%; 1%; 1,5%, 2% berturut-turut menghasilkan etanol tertinggi 34,0 mL, efisiensi 81,8%, bertahan hingga siklus ketujuh; etanol tertinggi 33,5 mL, efisiensi 62,6% bertahan hingga siklus keenam; etanol tertinggi

* Korespondensi Penulis :
Email : mahaputrawijaya@unud.ac.id

33,0 mL, efisiensi 61,7% bertahan hingga siklus keenam; etanol tertinggi 32,0 mL, efisiensi 56,7% bertahan hingga siklus kelima. Dengan penambahan PVA, ketahanan matriks alginat-IS258 belum meningkat selama siklus fermentasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa matriks alginat tanpa penambahan PVA memiliki ketahanan terbaik karena dapat digunakan lebih lama dalam siklus fermentasi.
Kata kunci : Bioetanol, imobilisasi, khamir IS258, matriks alginat, *polyvinyl alcohol*

PENDAHULUAN

Pesatnya pertumbuhan populasi manusia dan industri menyebabkan cadangan energi fosil menurun drastis (Nur'azizah, 2023; Mauliza *et al.,* 2023). Hal tersebut mendorong pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan, terbarukan dan berkelanjutan (Al-Yasiri, A., 2021). Salah satu solusi yang dikembangkan adalah bioetanol (Arlianti, L., 2018). Bioetanol merupakan salah satu bioenergi yang dihasilkan dari bahan baku yang mengandung gula melalui proses fermentasi biomassa (Kahar *et al.,* 2025). Khamir IS258 salah satu isolat unggul lokal yang diisolasi dari industri arak di Karangasem, Bali, dan dikenal memiliki kemampuan tinggi dalam menghasilkan etanol menggunakan bahan dasar nira kelapa (Simbolon *et al.,* 2018), diidentifikasi sebagai *Nakaseomyces glabrata* (Wijaya *et al.,* 2026).

Produksi bioetanol umumnya dilakukan secara tradisional menggunakan metode *fed-batch process.* Namun, penggunaan metode *fed-batch* masih menghadapi beberapa kendala, seperti biaya starter yang tinggi, kultur mati, produktivitas yang relatif rendah, dan waktu fermentasi yang lama. Salah satu solusi yang dikembangkan adalah teknik imobilisasi sel, yaitu menjerat (*entrapment*) mikroba ke dalam suatu matriks agar dapat digunakan berulang kali tanpa kehilangan aktivitasnya. Teknik imobilisasi terbukti mampu meningkatkan efisiensi produksi etanol dan stabilitas sel selama proses fermentasi (Wulandari & Naibaho, 2024).

Matriks yang umum digunakan dalam imobilisasi adalah alginat, karena bersifat biokompatibel, tidak beracun dan mudah membentuk gel yang stabil melalui proses gelasi ionik dengan ion kalsium (Andriani & Irdawati., 2025). Namun, kelemahan alginat murni adalah ketahanannya rendah terhadap degradasi mekanik dan kimia selama fermentasi (Nataraj & Reddy, 2020). Untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitasnya, salah satu bahan penguat yang dapat digunakan adalah *polyvinyl alcohol* (PVA), yang berfungsi sebagai *gelling agent* dan memperkuat ikatan dalam struktur matriks. Pada penelitian ini, PVA digunakan sebagai bahan penguat matriks alginat, bukan sebagai matriks utama, sehingga diaplikasikan pada konsentrasi lebih rendah, yaitu 0%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% (*b/v*) untuk mengetahui pengaruh penambahannya terhadap ketahanan matriks alginat-IS258 dan produksi etanol yang dihasilkan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini ditujukan untuk menguji ketahanan dan produksi etanol dari matriks alginat yang diperkuat PVA menggunakan media analog nira kelapa. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan informasi tentang proses fermentasi etanol menggunakan sistem *fed-batch* dengan mengimobilisasi sel khamir IS258 diperkuat PVA agar dapat memproduksi etanol dengan optimal dan *beads* bisa dipakai lebih lama sehingga mengurangi biaya fermentasi.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi stok isolat khamir IS258 (*Nakaseomyces glabrata*), peptone (Merck), *yeast extract* (Himedia), glukosa (Merck), akuades (Brataco), NaCl (Merck), gliserol 85% (Supelco), natrium alginat 3% (Himedia), $CaCl_2$ 1,5% (Merck), *Polyvynil Alcohol* (Merck KgaA), serta natrium metabisulfit 4% (Merck).

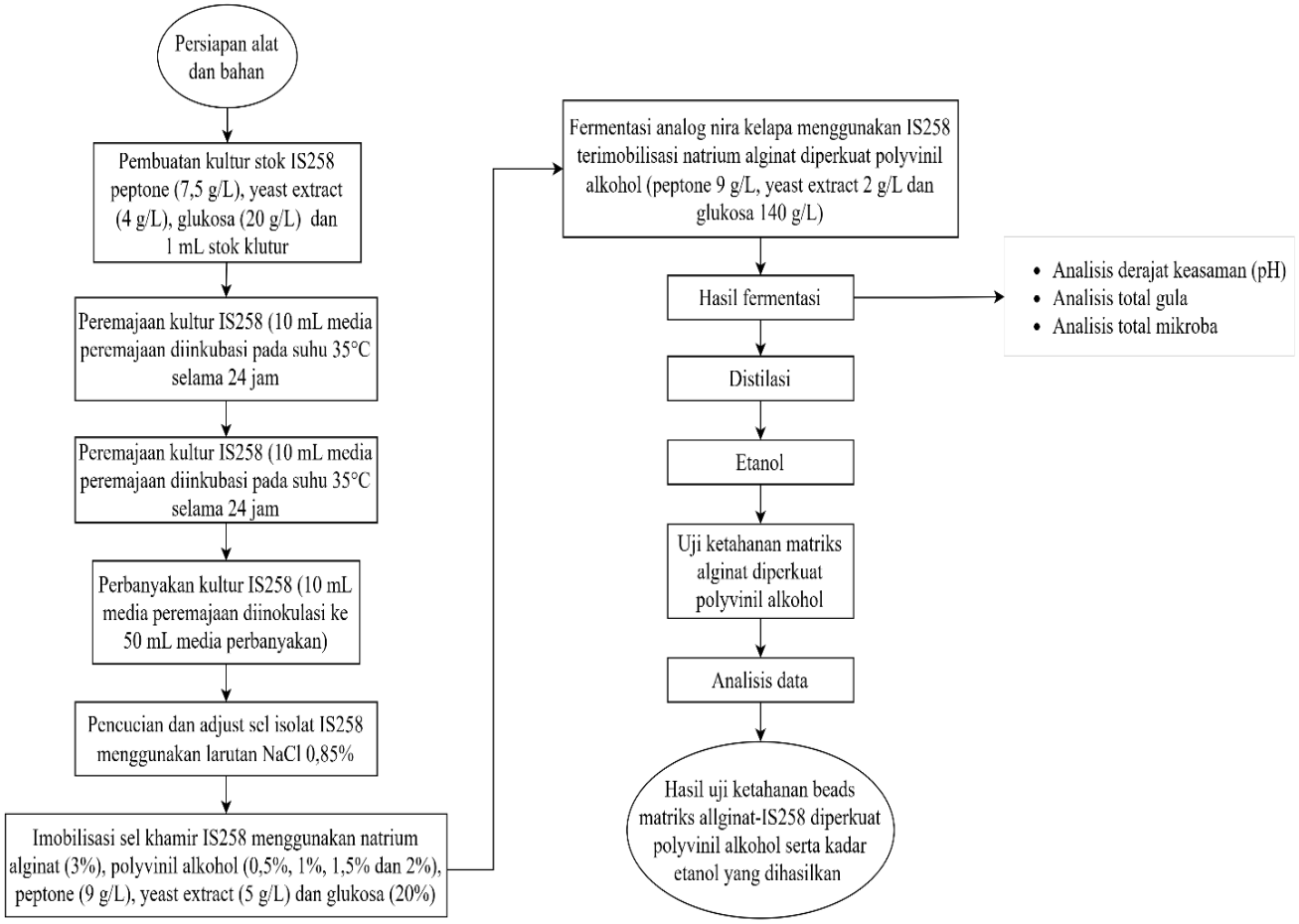
Peralatan yang dipakai dalam penelitian ini mencakup spektrofotometer (Libra), *laminar air flow* (WINA), *incubator* (Memmert), autoklaf (All American Model 1925X), *magnetic stirrer* (Iwaki Stirrer BS 38), *shaker* (Health), *centrifuge* (Oregon), fermentor kustom, destilator dua tingkat, tabung reaksi, erlenmeyer, *vortex* (Joanlab Multi Plate), spatula, serta alkohol meter yang telah dikalibrasi menggunakan etanol (Merck).

Rancangan Percobaan

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental deskriptif yang menggunakan empat perlakuan penambahan *polyvinyl alcohol* (Alg-PVA-IS258), yaitu 0,5%, 1%, 1,5% 2% (*b/v*) dan satu kontrol (0%), dengan konsentrasi natrium alginat 3% (*b/v*) pada seluruh perlakuan. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga diperoleh 15 unit percobaan. Setiap perlakuan diamati ketahanan matriks Alg-PVA-IS258 selama fermentasi berulang, total etanol (Naibaho *et al.,* 2025), efisiensi fermentasi (Wulandari *et al.,* 2024), total mikroba (Wulandari *et al.,* 2024), derajat keasaman (pH), dan analisis total gula sisa (Al kayyis dan Susanti, 2016). Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan Microsoft Excel untuk menghitung nilai rata-rata (*mean*) dan standar deviasi (SD). Data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi hasil.

Pelaksanaan Penelitian

Berikut adalah diagram alir penelitian (Naibaho, 2025 modifikasi).



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Persiapan Kultur IS258

Pelaksanaan penelitian diawali dengan peremajaan dan perbanyakan kultur stok khamir IS258 menggunakan media peptone, *yeast extract*, dan glukosa (PYG) (Naibaho *et al.,* 2025). Pelet hasil pencucian kemudian disesuaikan tingkat kekeruhannya (*adjust*) hingga mencapai OD_{660} = 5 menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 660 nm (Simbolon *et al.,* 2018).

Uji Fermentasi Analog Nira Kelapa Menggunakan IS258 Terimobilisasi Matriks Alginat yang Diperkuat *Polyvinyl Alcohol* (Naibaho *et al.,* 2025)

Pembuatan matriks Alg-PVA-IS258 dilakukan dengan melarutkan natrium alginat 3% *(b/v)* dan PVA sesuai perlakuan dalam media PY (9 g peptone dan 5 g *yeast extract*), kemudian disterilisasi pada suhu 121°C selama 15 menit. Larutan glukosa 20% ditindalisasi sebanyak tiga kali menggunakan *water bath* pada suhu 80°C selama 15 menit. Setelah media peptone, *yeast extract* (PY), natrium alginat dan PVA steril, didiamkan semalaman pada suhu 4°C untuk menghilangkan gas yang larut di dalamnya (deaerasi). Setelah itu, larutan glukosa dan suspensi IS258 (2% (*v/v*), OD660 = 5) dicampurkan secara aseptik pada laminar dan dihomogenkan secara perlahan pada suhu 4°C. Kemudian campuran PYG, natrium alginat dan PVA diteteskan ke dalam $CaCl_2$ 1,5% (*b/v*) menggunakan metode *gravity-drop* dan digelasi selama 1 jam (*ionic gelation*) menjadi butiran (*beads*). Butiran (*beads*) yang terbentuk dicuci dengan akuades sebanyak tiga kali selama 10 menit. Selanjutnya *beads* disimpan pada suhu 4°C selama ±12 jam untuk proses pembekuan dan pencairan (*freeze-thaw*) diulang tiga kali sampai proses penguatan struktur selesai (Juliana *et al.,* 2024).

Matriks Alg-PVA-IS258 dimasukkan sebanyak 200 mL (20%) ke dalam botol fermentasi kaca kedap udara berkapasitas 900 mL. Kemudian ditambahkan analog nira hingga seluruh *beads* terendam dengan *headspace* seminimal mungkin, dengan perbandingan antara matriks dan analog nira sebesar 1:5. Botol kemudian ditutup menggunakan tutup yang dilengkapi selang untuk menyalurkan CO_2 hasil fermentasi, dengan ujung selang dicelupkan ke dalam larutan metabisulfit 4% sebagai penghalang kontaminasi (Naibaho *et al.,* 2025). Fermentasi dilakukan selama 7 hari atau hingga CO_2 tidak lagi dihasilkan. Cairan fermentasi disaring untuk memisahkan *beads* dan cairan hasil fermentasi. *Beads* digunakan kembali pada media analog nira segar sedangkan cairan hasil fermentasi didistilasi menggunakan alat distilat dua tingkat untuk menghasilkan etanol.

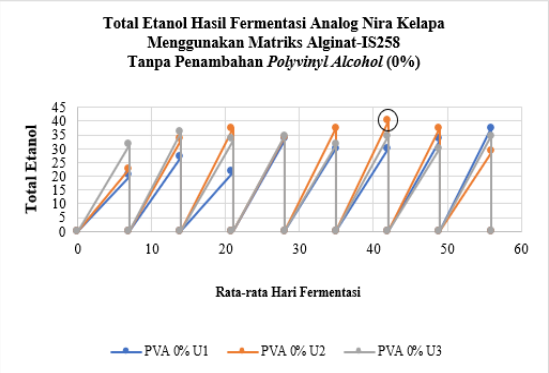
Variabel yang Diamati

Variabel yang diamati pada penelitian ini meliputi total etanol yang dihasilkan (Naibaho *et al.,* 2025), efisiensi fermentasi (Wulandari *et al.,* 2024), total mikroba (Wulandari *et al.,* 2024), analisis derajat keasaman (pH) analisis total gula (Al kayyis dan Susanti, 2016) dan analisis fisik beads secara kualitatif (Wulandari *et al.,* 2024).

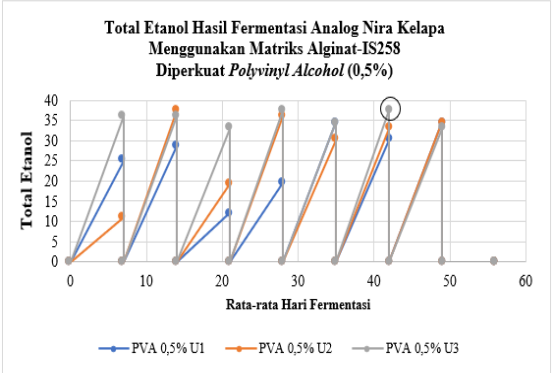
HASIL DAN PEMBAHASAN

Total Etanol yang Dihasilkan

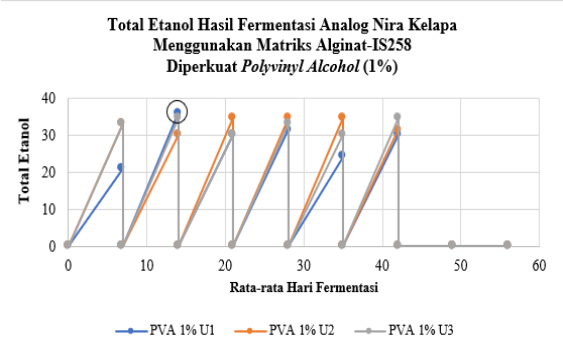
Total etanol diperoleh dari proses distilasi dengan media fermentasi analog nira kelapa menggunakan matriks alginat-IS258 diperkuat *polyvinyl alcohol* (Alg-PVA-IS258). Penerapan sistem *fed-batch* dalam pergantian media pada berbagai konsentrasi PVA dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan selama ±56 hari, dengan rata-rata waktu fermentasi 7 hari karena proses fermentasi berhenti pada hari ketujuh. Data total etanol setiap siklus fermentasi dengan rata-rata produksi etanol dari seluruh perlakuan dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



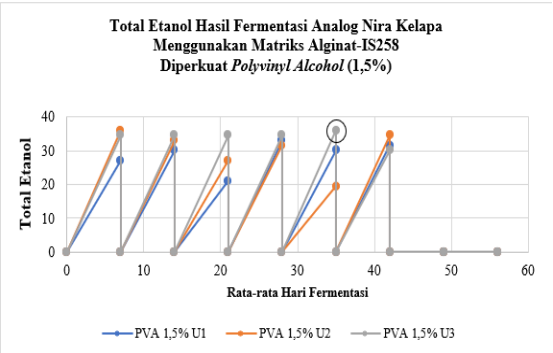
Gambar 1. Grafik nilai rata-rata total etanol hasil fermentasi analog nira kelapa tanpa penambahan PVA (0%)



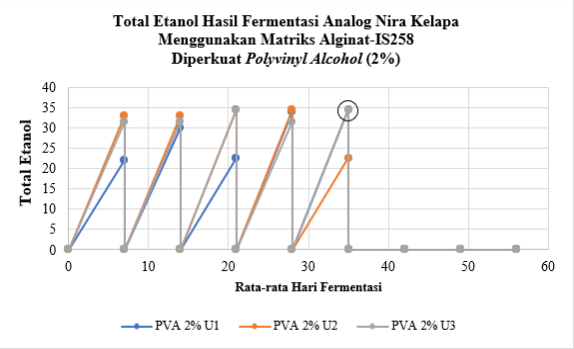
Gambar 2. Grafik nilai rata-rata total etanol hasil fermentasi analog nira kelapa diperkuat Alg-PVA-IS258 pada konsentrasi 0,5%.



Gambar 3. Grafik nilai rata-rata total etanol hasil fermentasi analog nira kelapa diperkuat Alg-PVA-IS258 pada konsentrasi 1%.



Gambar 4. Grafik nilai rata-rata total etanol hasil fermentasi analog nira kelapa diperkuat Alg-PVA-IS258 pada konsentrasi 1,5%.



Gambar 5. Grafik nilai rata-rata total etanol hasil fermentasi analog nira kelapa diperkuat Alg-PVA-IS258 pada konsentrasi 2%.

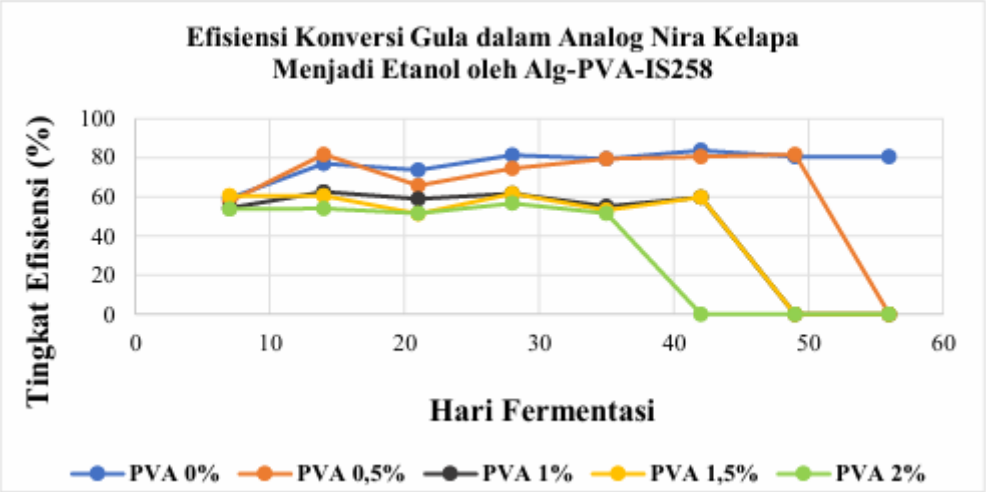
Keterangan : Lingkaran artinya rata-rata etanol tertinggi

Gambar 2. Grafik nilai rata-rata total etanol hasil fermentasi analog nira kelapa menggunakan Alg-PVA-IS258

Gambar 1 menunjukkan plot data total etanol hasil fermentasi analog nira kelapa tanpa penambahan *Polivinyl Alcohol* (PVA). Gambar 2 hingga Gambar 5 menunjukkan plot data total etanol hasil fermentasi menggunakan Alg-PVA-IS258. Perlakuan tanpa penambahan PVA, diperoleh total etanol tertinggi 34,8 mL dengan kadar etanol 7,6% (*v/v*), bertahan hingga siklus kedelapan. Sedangkan melalui penambahan PVA 0,5%; 1%; 1,5%, 2% berturut-turut menghasilkan etanol tertinggi 34,0 mL, kadar etanol 7,4% (*v/v*), bertahan hingga siklus ketujuh; etanol tertinggi 33,5 mL, kadar etanol sebesar 7,3% (*v/v*) bertahan hingga siklus keenam; etanol tertinggi 33,0 mL, kadar etanol sebesar 7,2% (*v/v*) bertahan hingga siklus keenam; etanol tertinggi 32,0 mL, kadar etanol sebesar 6,6% (*v/v*) bertahan hingga siklus kelima. Perlakuan tanpa penambahan PVA menghasilkan etanol lebih besar, hal ini kemungkinan karena struktur *beads* yang tidak rapat sehingga lebih mendukung aktivitas metabolisme dan reproduksi khamir selama fermentasi. Sedangkan dengan penambahan PVA, jumlah etanol mengalami penurunan, diduga akibat struktur matriks yang semakin rapat membuat pori-porinya semakin mengecil sehingga metabolisme dan reproduksi khamir terganggu.

Efisiensi Fermentasi

Efisiensi fermentasi diperoleh dengan membandingkan jumlah etanol aktual terhadap nilai konversi teoritis glukosa menjadi etanol dan CO_2 dengan faktor konversi sebesar 0,51. Pada perhitungan efisiensi fermentasi, volume etanol dikonversi menjadi massa etanol menggunakan nilai densitas sebesar 0,789 g/mL. Plot data efisiensi etanol setiap siklus fermentasi dari seluruh perlakuan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 6. Grafik efisiensi fermentasi Alg-PVA-IS258

Gambar 6 menunjukkan bahwa efisiensi fermentasi tanpa penambahan PVA lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan PVA. Perlakuan tanpa penambahan PVA 8 menghasilkan kadar etanol tertinggi sebesar 7,6% (*v/v*) dengan efisiensi 83,8%, sedangkan penambahan PVA menghasilkan kadar etanol tertinggi sebesar 7,4% (*v/v*) dengan efisiensi 81,8% pada perlakuan 0,5%. Penurunan efisiensi pada penambahan PVA 1%, 1,5% dan 2%, kemungkinan disebabkan oleh struktur matriks yang semakin rapat sehingga membatasi difusi substrat ke dalam butiran (*beads*) dan membuat konversi gula menjadi etanol kurang optimal.

Total Mikroba

Hasil Perhitungan total mikroba menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) dilakukan untuk mengetahui jumlah populasi sel mikroba selama fermentasi. Jumlah mikroba dinyatakan dalam satuan CFU/mL (*Colony Forming Unit per mililiter*). Hasil pengukuran total mikroba pada masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Rata-rata total mikroba setiap akhir siklus fermentasi

Perlakuan (PVA)	Total Mikroba Khamir IS258 (CFU/mL)			
	***Beads* Awal**	***Beads* setelah fermentasi (Siklus ke-4)**	**Endapan Fermentasi (Siklus ke-4)**	**Cairan Fermentasi (Siklus 4)**
Kontrol (0%)	$13,7±7,8×10^5$	$17,8±8,9×10^5$	$15,7±5,0×10^5$	$8,2±2,6×10^5$
0,5%	$16,4±5,2×10^5$	$19,2±2,0×10^5$	$15,0±6,7×10^5$	$7,3±3,6×10^5$
1%	$17,1±6,5×10^5$	$20,8±2,6×10^5$	$11,5±7,6×10^5$	$6,5±3,6×10^5$
1,5%	$17,8±2,6×10^5$	$21,9±2,6×10^5$	$10,2±7,8×10^5$	$5,6±2,6×10^5$
2%	$18,4±2,0×10^5$	$22,7±2,0×10^5$	$8,5±1,5×10^5$	$4,8±2,6×10^5$

Tabel 1 menunjukkan bahwa jumlah mikroba pada butiran (*beads*) meningkat setelah proses fermentasi pada semua perlakuan tanpa penambahan. Jumlah mikroba pada *beads* awal dengan penambahan PVA tertinggi (2%) sebesar $18,4×10^5$ CFU/mL meningkat menjadi $22,7×10^5$ CFU/mL setelah fermentasi. Selain itu, jumlah mikroba pada endapan fermentasi sebanyak $15,7×10^5$ CFU/mL dan cairan fermentasi sebanyak $4,8×10^5$ CFU/mL. Sedangkan, tanpa penambahan PVA pada *beads* awal menghasilkan jumlah mikroba sebanyak $13,7×10^5$ CFU/mL dan meningkat menjadi $17,8×10^5$ CFU/mL setelah fermentasi. Sementara itu, jumlah mikroba pada endapan fermentasi lebih rendah,

diduga kemungkinan disebabkan oleh mikroba yang tidak banyak melepas sel tunas (*budding*) ke media fermentasi sehingga jumlah mikroba jadi sedikit. karena pori-pori matriks semakin rapat sehingga sel tunas khamir tetap terperangkap di dalam matriks dan tidak bisa keluar. Hasil ini sejalan dengan penelitian Wulandari *et al.* (2024).

Hasil Uji pH Awal dan Akhir Fermentasi

Derajat keasaman (pH) diukur pada awal dan akhir setiap siklus fermentasi sebagai parameter untuk memantau perubahan kondisi media selama proses fermentasi berlangsung.

Tabel 2. Nilai uji pH media di berbagai perlakuan dan siklus fermentasi

Perlakuan	Rata-rata nilai pH selama 8 siklus fermentasi		
	Siklus Fermentasi	Rata-rata pH awal	Rata-rata pH akhir
PVA 0% (Control)	1-8	6,00±0,00	3,58±0,15
PVA 0,5%	1-7	6,00±0,00	3,31±1,30
PVA 1%	1-6	6,00±0,00	2,84±1,68
PVA 1,5%	1-6	6,00±0,00	2,84±1,68
PVA 2%	1-5	6,00±0,00	2,40±1,90

Berdasarkan Tabel 2, pH awal seluruh perlakuan seragam, yaitu 6,00±0,00 (Prameshwari *et al*., 2024). Setelah fermentasi pH menurun pada semua perlakuan. Perlakuan tanpa penambahan PVA menghasilkan pH akhir yang lebih besar (3,58±0,15) dan menghasilkan total etanol tertinggi sebesar 34,8 mL. Sedangkan perlakuan dengan penambahan PVA 0,5%; 1%; 1,5%, 2% berturut-turut menghasilkan rata-rata pH akhir sebesar 3,31±1,30, total etanol 34,0 mL; pH akhir 2,84±1,68, total etanol 33,5 mL; pH akhir 2,84±1,68 dan total etanol sebesar 33,0 mL; pH akhir 2,40±1,90, total etanol 32,8 mL. Penurunan pH pada seluruh perlakuan menunjukkan bahwa proses fermentasi berlangsung dan digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi aktivitas fermentasi. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Narendranath dan Power (2005).

Total Gula

Total gula digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi tingkat pemanfaatan substrat oleh khamir IS258 selama proses fermentasi. Total gula dihitung dengan metode Nelson-Somogy untuk mengetahui perbandingan jumlah gula awal dan gula akhir dalam proses fermentasi analog nira kelapa menggunakan Alg-PVA-IS258. Hasil pengukuran total gula awal dan gula akhir fermentasi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Pengukuran total gula awal dan gula akhir fermentasi.

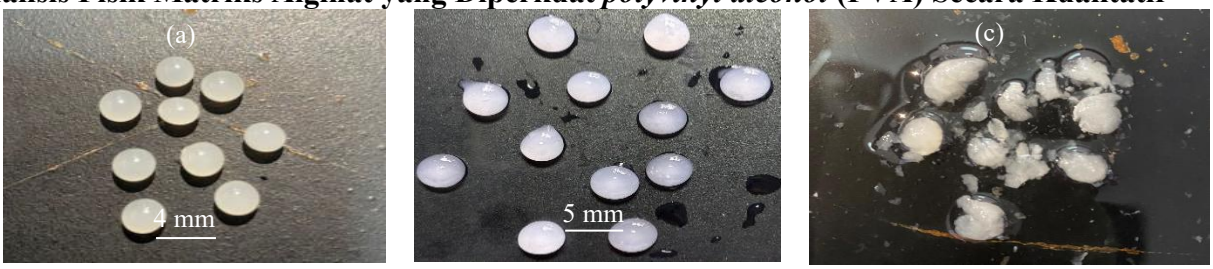
Siklus Fermentasi	Gula Awal g/L	Total Gula g/L				
		Gula Akhir g/L				
		Kontrol (PVA 0%)	PVA 0,5%	PVA 1%	PVA 1,5%	PVA 2%
1	140.00±00,00	20,26±8,10	14,42±7,10	13,77±8,56	6,16±5,01	11,50±8,25
2	140.00±00,00	6,48±2,25	3,95±0,88	4,42±0,63	6,28±0,22	6,72±1,97
3	140.00±00,00	9,46±7,12	20,94±8,73	7,49±0,65	13,89±7,79	7,63±6,63
4	140.00±00,00	4,04±0,38	9,64±8,75	4,30±0,47	4,12±1,04	4,65±2,57
5	140.00±00,00	3,83±0,93	4,39±1,13	12,91±5,28	12,27±5,22	6,90±0,51
6	140.00±00,00	2,27±0,33	3,74±1,20	6,07±3,14	6,60±2,76	-
7	140.00±00,00	3,95±0,71	2,68±0,37	-	-	-
8	140.00±00,00	3,89±1,30	-	-	-	-

Keterangan: Tanda (-) menunjukkan bahwa butiran (*beads)* sudah pecah, sehingga tidak dapat diambil dan tidak adanya konsumsi gula yang terjadi.

Berdasarkan Tabel 3, total gula awal seluruh perlakuan mengalami penurunan. Perlakuan tanpa

penambahan PVA mengalami penurunan gula dengan nilai terendah sebesar 2,27 g/L pada siklus ke-6 dan nilai tertinggi sebesar 20,26 g/L pada siklus ke-1. Sedangkan perlakuan dengan penambahan PVA 0,5%; 1%; 1,5%, 2% berturut-turut mengalami penurunan gula dengan nilai terendah sebesar 2,68 g/L pada siklus ke-7 dan nilai tertinggi sebesar 20,94 g/L pada siklus ke-3; nilai terendah sebesar 4,30 g/L pada siklus ke-4 dan nilai tertinggi sebesar 13,77 g/L pada siklus ke-1; nilai terendah sebesar 4,12 g/L pada siklus ke-4 dan nilai tertinggi sebesar 13,89 g/L pada siklus ke-3; nilai terendah sebesar 4,65 g/L pada siklus ke-4 dan nilai tertinggi sebesar 11,50 g/L pada siklus ke-1. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan gula tanpa penambahan PVA lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan PVA. Kondisi tersebut kemungkinan mengindikasikan bahwa sel khamir IS258 pada matriks masih berada pada fase adaptasi (*lag phase*), sehingga aktivitas glikolisis dan kemampuan konsumsi gula belum mencapai kondisi optimal. Hal ini sejalan dengan penelitian Setiawati (2017).

Analisis Fisik Matriks Alginat yang Diperkuat *polyvinyl alcohol* (PVA) Secara Kualitatif



Gambar 7. *Beads* baru (a), *Beads* setelah fermentasi siklus ke-4 (b), *Beads* pecah (c)

Gambar 7 menunjukkan bahwa penggunaan *beads* secara berulang, menyebabkan *beads* mengalami pembengkakan (*swelling*) dengan diameter awal penggunaan 4 mm menjadi 5 mm selama 56 hari fermentasi. Setelah digunakan selama 56 hari, seluruh *beads* tanpa penambahan PVA mengalami kerusakan dan pecah sehingga tidak berfungsi secara optimal sebagai media imobilisasi khamir IS258. Kondisi tersebut kemungkinan disebabkan oleh proses fermentasi yang berlangsung secara terus-menerus dan peningkatan jumlah sel khamir IS258 yang terperangkap di dalam matriks yang dapat menurunkan stabilitas dan kekuatan mekanik matriks alginat.

Ketidaktahanan butiran (*beads*) selama fermentasi berulang kemungkinan disebabkan oleh metode penguatan yang belum optimal. Penambahan PVA dengan metode pembekuan dan pencairan (*freeze-thaw)* sebanyak tiga siklus belum mampu meningkatkan ketahanan matriks, yang ditunjukkan oleh penggunaan *beads* yang lebih singkat dibandingkan dengan kontrol (tanpa penambahan PVA). Untuk meningkatkan ketahanan matriks alginat selama fermentasi, dapat dicoba metode pengikatan silang (*crosslinking*) secara kimia menggunakan asam borat dan natrium sulfat. Penelitian Takei *et.al.,* (2011) menunjukkan bahwa penggunaan natrium sulfat meningkatkan stabilitas *beads* dalam air dan memungkinkan penggunaan secara berulang hingga sepuluh siklus fermentasi. Penggunaan asam borat atau natrium sulfat sebagai bahan pengikat silang berpotensi untuk meningkatkan ketahanan Alg-PVA-IS258 dengan tetap mempertahankan viabilitas khamir dan produksi etanol selama fermentasi.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa fermentasi analog nira kelapa menggunakan khamir IS258 (*Nakaseomyces glabrata*) terimobilisasi dalam natrium alginat diperkuat *polyvinyl alcohol* (PVA) pada konsentrasi 0,5% - 2% belum mampu meningkatkan ketahanan matriks alginat-IS258 selama siklus fermentasi. Matriks alginat tanpa penambahan PVA (kontrol) memiliki ketahanan terbaik karena masih dapat digunakan hingga delapan siklus fermentasi.

Sedangkan, matriks dengan penambahan PVA 0,5%-2% hanya mampu bertahan maksimal hingga siklus ke-7. Perlakuan tanpa PVA menghasilkan etanol tertinggi 34,8 mL dengan efisiensi 83,8%. Sedangkan, perlakuan melalui penambahan PVA menghasilkan etanol tertinggi 34,0 mL dengan efisiensi 81,8% pada konsentrasi 0,5%. Penambahan PVA 1% diperoleh etanol sebanyak 33,5 mL, penambahan PVA 1,5% diperoleh etanol sebanyak 33,0 mL, dan penambahan PVA 2% diperoleh etanol sebanyak 32,0 mL.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disarankan untuk melakukan uji optimalisasi konsentrasi *polyvinyl alcohol* (PVA) yang lebih rendah dari 0,5% untuk memperoleh komposisi penambahan PVA yang mampu meningkatkan ketahanan matriks tanpa menurunkan produksi bioetanol dan penggunaan bahan penguat lainnya seperti glutaraldehid untuk meningkatkan ketahanan matriks alginat selama fermentasi berulang.

DAFTAR PUSTAKA

Arlianti, L. 2018. Bioetanol Sebagai Sumber Green Energy Alternatif yang Potensial Di Indonesia. *Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik UNISTEK*, Edisi 5, (1), 16-22.

Andriani, P., dan Irdawati. 2025. Characterization of alginate beads from biolectric producing thermophilic bacterial cells. *Jurnal Biologi Tropis,* 25(2), 1502–1507. https://doi.org/10.29303/jbt.v25i2.8828

Al-kayyis, H. K., dan Susanti, H. 2016. Perbandingan metode Somogyi-Nelson dan Anthrone-Sulfat pada penetapan kadar gula pereduksi dalam umbi cilembu (Ipomea batatas L.). *Jurnal Farmasi Sains dan Komunitas*, 13(2), 81–89.

Juliana, I., Fatmawati, A., Munir, M. A., Elmeda, and Rahmawati, F. 2024. The effect of concentration variation on the physical properties and stability tests of freeze-thaw cycling on gel formula for the combination of moringa leaf extract and lime leaf extract. *Journal of Pharmaceutical and Sciences, 7*(1), 26–34. https://doi.org/10.36490/journal-jps.com

Kahar, A., Fathoni, R., Ardiah, R., dan Mulyan, N. 2025. Proses Pembuatan Dan Uji Karakteristik Bioetanol Dari Kulit Nanas (Ananas Comosus) Manufacturing Process And Characterization Test Of Bioethanol From Pineapple Peel (Ananas Comosus). *Jurnal Chemurgy*, Vol. 9, (No.1), 58-64.

Mauliza, P., Yana, S., Susanti, Rahmi, S., Ikhbar, S., Maryam, dan Syamsuddin, N. 2023. Kendala pemenuhan suplai dan permintaan energi terbarukan biomassa Indonesia. *Jurnal Serambi Engineering,* 8(3), 6473–6478. https://doi.org/10.32672/jse.v8i3.6449

Nataraj, D., dan Reddy, N. 2020. Modifikasi Kimia Alginat dan Turunannya. *Jurnal Kimia Internasional Penelitian ry*, Vol 4, Edisi 1, 1-17. https://doi.org/10.22159/ijcr.2020v4i1.98

Naibaho, I. S. R., Wijaya, I. M. M., Arnata, I. W., dan Gunam, I. B. W. 2025. Optimasi Persentase Volume Total Matriks Alginat Dan Konsentrasi Dekstrosa Menggunakan Khamir IS258 Terimobilisasi Untuk Fermentasi Bioetanol Dari Analog Nira Kelapa. *Jurnal Agrointek*, Vol.19, (No.2), 455-464. https://doi.org/10.21107/agrointek.v19i2.24170

Nur'azizah. 2023. Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Trade Openness Dan Pengeluaran Pemerintah Terhadap Konsumsi *Fossil Fuel Energy* Di 5 Negara Asean. Skripsi. Universitas Sriwijaya.

Prameshwari, J., Wijaya, I. M. M., dan Gunam, I. B. W. 2024. Produksi Etanol Pada Media PYG Dengan Variasi Suhu dan Perbandingan Media Fermentasi Menggunakan Isolat IS258. *Jurnal Agrointek,* Vol. 18, (No.2), 352-359.

Susmiati, Y. 2018. Prospek produksi bioetanol dari limbah pertanian dan sampah organik (The prospect of bioethanol production from agricultural waste and organic waste). *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri,* 7(2), 67–80.

Simbolon, N. C., Wijaya, I. M. M., dan Gunam, I. B. W. 2018. Isolasi Dan Karakterisasi Khamir Potensial Penghasil Bioetanol dari Industri Arak Di Karangasem Bali. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri,* Vol. 6, (No.4), 316-326. https://doi.org/10.24843/JRMA.2018.v06.i04.p06

Takei, T. 2011. Fabrication of polyvinyl alcohol hydrogel beads crosslinked using sodium sulfate for microorganism immobilization. Process Biochemistry, 46(2), 566–571. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.10.011

Wulandari1, I. A. E. P., Naibaho, I. S. R., Desi N. I. Izzabilah, D. N. I., Wijaya, I. M. M., Arnata, I. W., Gunam, I. B. W., dan Antara, N. S. 2024. Fermentasi Etanol Jangka Panjang Khamir IS258 Terimobilisasi dalam *Beads* Matriks Alginat Metode *Fed-Batch* untuk Pengurangan Penggunaan Kultur Starter. *Journal of Biological Sciences*, Vol. 11(1), 92-101. http://ojs.unud.ac.id/index.php/metamorfosa

Wijaya I, M, M., Gunam I, B, W., Antara, N, S., Putri, I, A, E, W., Sujana, I, G, A., Suwariani, N, P., dan Puspawati, G, A, K, D., 2026. Potensi Ragi Dari Lau Sebagai Starter Fermentasi Etanol Dari Industri Arak Di Bali, Indonesia. *Jurnal Internasional Pertanian dan Biosains* 2026, 15 (1): 11-19. https://doi.org/10.47278/jurnal.ijab/2025.154