

LAPORAN AKHIR PPHK TAHUN ANGGARAN 2025

**STIMULAN BIOGAS INOVATIF BERBASIS GLISEROL UNTUK
PENINGKATAN PRODUKSI ENERGI TERBARUKAN**



Skema : Dosen - Mahasiswa

TIM PENELITIAN

Muhammad Khoirul Muslimin, S.T., M. Eng.	(NUPTK: 9445773674130223)
Anugrah Perdana Rahmanta, S.T., M. Eng.	(NIDN. 0017037301)
Reza Noprianti	(NIM.23.01.039)
Yuni Kusuma Ayu	(NIM.23.01.045)
Faiza Sania	(NIM.23.01.023)

POLITEKNIK LPP

2026

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Stimulan Biogas Inovatif Berbasis Gliserol Untuk Peningkatan Produksi Energi Terbarukan

Bidang Penelitian : Teknologi Kimia

Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap : Muhammad Khoirul Muslimin, S.T., M. Eng.

b. NUPTK : 9445773674130223

c. Jabatan Fungsional : Tenaga Pengajar

d. Program Studi : Teknologi Rekayasa Kimia Industri

e. Nomor HP : 082329276326

f. Alamat surel (email) : khoirul@polteklpp.ac.id

Anggota Peneliti (1)

a. Nama Lengkap : Anugrah Perdana Rahmanta, S. T., M. Eng.

b. NIDN : 0017037301

c. Perguruan Tinggi : Politeknik LPP Yogyakarta

Anggota Peneliti (2)

a. Nama Lengkap : Reza Noprianti

b. NIM : 23.01.039

c. Perguruan Tinggi : Politeknik LPP Yogyakarta

Anggota Peneliti (3)

a. Nama Lengkap : Yuni Kusuma Ayu

b. NIM : 23.01.045

c. Perguruan Tinggi : Politeknik LPP Yogyakarta

Anggota Peneliti (4)

a. Nama Lengkap : Faiza Sania

b. NIM : 23.01.023

c. Perguruan Tinggi : Politeknik LPP Yogyakarta

Sumber dana Penelitian : PPHK Anggaran 2025

Biaya Penelitian : Rp 9.000.000

Serapan anggaran : 102%

Menyetujui
Kepala UPTM



(Dr. Anna Kusumawati, SP., M. Sc.)
NIDN: 0505048602

Yogyakarta, 18 Februari 2026
Dosen Pelaksana

(Muhammad Khoirul Muslimin, S.T., M. Eng.)
NUPTK: 9445773674130223

Mengetahui,
Direktur Politeknik LPP Yogyakarta

(Dr. Ir. M. Mustafan, S.T., M. Eng.)
NIDN: 0522117601

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
DAFTAR ISI.....	ii
LAPORAN AKHIR PENELITIAN PPHK 2025	1
SUBSTANSI HASIL PENELITIAN	4
RINGKASAN.....	4
A. LATAR BELAKANG.....	4
B. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
C. METODE PENELITIAN	7
D. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN	10
E. STATUS LUARAN	17
F. PERAN MITRA.....	17
G. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN	17
H. RENCANA TINDAK LANJUT	18
I. KONTRIBUSI / PERAN TIM	18
DAFTAR PUSTAKA	20
LAMPIRAN.....	22

LAPORAN AKHIR PENELITIAN PPHK 2025

1. IDENTITAS PENELITIAN

A. JUDUL PENELITIAN

Stimulan Biogas Inovatif Berbasis Gliserol Untuk Peningkatan Produksi Energi Terbarukan

B. BIDANG, TEMA, TOPIK, DAN RUMPUN BIDANG ILMU

Bidang Fokus RIRN/ Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Teknologi Kimia	Optimalisasi Produksi Biogas	Pemanfaatan Gliserol sebagai Stimulan Biogas	Teknologi Rekayasa Kimia Industri (TRKI)

C. KATEGORI, SKEMA, TARGET TKT DAN LAMA PENELITIAN

Kategori (Kompetitif Nasional/ Desentralisa si/ Penugasan	Skema Penelitian	Riset Dasar/ Terapan	TKT Awal Penelitian	Target Akhir TKT	Lama Penelitian (Tahun)
Kompetitif Internal	Kolaborasi Dosen dan Mahasiswa	Terapan	2	2	½ Tahun

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi	Bidang Ilmu	ID Sinta
------	--------------------------------	---------------	-------------	----------

Muhammad Khoirul Muslimin, S. T., M. Eng.	Politeknik LPP Yogyakarta	Teknologi Rekayasa Kimia Industri	Proses Pengolahan	6934752
Anugrah Perdana Rahmanta, S. T., M. Eng.	Politeknik LPP Yogyakarta	Teknologi Rekayasa Kimia Industri	Proses Pengolahan	6065449
Reza Noprianti	Politeknik LPP Yogyakarta	Teknologi Rekayasa Kimia Industri	Proses Pengolahan	-
Faiza Sania	Politeknik LPP Yogyakarta	Teknologi Rekayasa Kimia Industri	Proses Pengolahan	-
Yuni Kusuma Ayu	Politeknik LPP Yogyakarta	Teknologi Rekayasa Kimia Industri	Proses Pengolahan	-

3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (JIKA ADA)

Mitra	Nama Mitra
-	-

4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Luaran Wajib

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status Target Capaian (accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)	Keterangan (url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)
2026	Laporan Akhir	Selesai	Dokumen laporan akhir

2026	Artikel di Jurnal Nasional S2	Berlanjut	Chemica UAD
------	-------------------------------	-----------	-------------

Luaran Tambahan

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status Target Capaian (accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)	Keterangan (url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)
-	-	-	-

5. ANGGARAN

Rencana anggaran biaya penelitian mengacu pada PMK yang berlaku dengan besaran minimum dan maksimum sebagaimana diatur pada buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat.

Total RAB Tahun I = Rp. **9.186.746**

Total Pembelanjaan Tahun I = Rp. **9.186.746 (102%)**

No	Jenis pengeluaran	Biaya yang diusulkan (Rp)	Persentase
1	Honorarium	Rp 363.000	5%
2	Bahan habis pakai dan peralatan penunjang	Rp 7.910.482	86%
3	Perjalanan	Rp 823.000	9%
4	Lain-lain	Rp 90.264	2%
TOTAL		Rp 9.186.746	102%

SUBSTANSI HASIL PENELITIAN

RINGKASAN

RINGKASAN: Tuliskan secara ringkas **latar belakang penelitian, tujuan** dan tahapan metode penelitian, **hasil penelitian dan luaran yang ditargetkan**, serta uraian TKT penelitian.

Gliserol, yang dihasilkan sebagai produk sampingan dari pembuatan biodiesel, memiliki potensi besar untuk diaplikasikan dalam proses fermentasi tanpa oksigen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menciptakan stimulan biogas yang berbasis gliserol dengan harapan dapat meningkatkan efektivitas dan jumlah biogas yang dihasilkan. Metode penelitian dilakukan dalam beberapa langkah. Pertama, gliserol mentah menjalani proses pre-treatment untuk menghilangkan kontaminan, yang meliputi filtrasi untuk memisahkan padatan besar, asidifikasi dengan asam fosfat, serta adsorpsi menggunakan karbon aktif. Setelah proses pemurnian selesai, gliserol yang telah dibersihkan diformulasikan dengan variasi dosis 40%, 50%, dan 60% kemudian ditambahkan bahan tambahan seperti etanol dan molase, dan enzim untuk mendongkrak aktivitas fermentasi. Stimulan yang telah dibuat kemudian diterapkan dalam bioreaktor anaerob yang berisi kotoran sapi, di mana proses fermentasi berlangsung selama 14 hari. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh volume biogas minimal 500 mL per reaktor serta kualitas biogas yang memadai, ditunjukkan melalui uji pembakaran dengan hasil nyala api berwarna biru sebagai indikator kandungan metana yang tinggi. Dalam aspek Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT), penelitian ini diharapkan dapat memperoleh TKT yang lebih tinggi melalui pengembangan perlakuan optimal dari 27 variasi yang telah diuji. Adapun luaran yang ditargetkan meliputi terbentuknya produk inovatif berupa stimulan biogas berbasis gliserol yang berpotensi untuk dikomersialkan pada skala rumah tangga maupun industri kecil, diseminasi hasil penelitian melalui publikasi artikel ilmiah pada seminar atau jurnal bereputasi, serta pengajuan perlindungan Hak Kekayaan Intelektual (HKI) atas inovasi yang dihasilkan.

Kata Kunci: Anaerob; Biogas; Fermentasi; Gliserol

A. LATAR BELAKANG

Latar belakang penelitian tidak lebih dari 500 kata yang berisi latar belakang dan permasalahan, tujuan penelitian, dan urgensi penelitian.

Kebutuhan akan energi di seluruh dunia terus bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan kemajuan industri, sementara bahan bakar fosil yang merupakan sumber energi utama memiliki efek buruk bagi lingkungan, termasuk emisi gas rumah kaca yang memperparah perubahan iklim. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi yang dapat diperbaharui menjadi sangat krusial. Biogas, yang dihasilkan melalui proses fermentasi anaerobik dari bahan organik, adalah salah satu sumber energi terbarukan yang menjanjikan dan dapat digunakan untuk memasak, menghasilkan listrik, serta sebagai bahan bakar untuk transportasi [1]. Namun, kendala dalam pembuatan biogas terletak pada ketersediaan serta harga bahan baku. Substrat yang sering digunakan, seperti kotoran hewan dan sisa-sisa pertanian, biasanya tidak ideal karena kekurangan nutrisi atau ketidakseimbangan dalam komposisinya. Gliserol, yang dihasilkan sebagai produk sampingan dari pembuatan biodiesel, memiliki potensi yang signifikan sebagai bahan tambahan dalam proses pembuatan biogas karena memiliki kandungan karbon yang tinggi serta mudah untuk diuraikan oleh mikroorganisme anaerob. Penambahan gliserol dapat meningkatkan baik volume maupun kualitas biogas, terutama yang berkaitan dengan kandungan metana [2]. Meskipun peluang ini sudah terlihat, masih ada sejumlah masalah yang perlu diteliti, seperti dampak konsentrasi gliserol terhadap penghasilan biogas, kondisi operasional yang paling efisien, identifikasi mikroba yang berkontribusi dalam proses fermentasi, serta analisis ekonomi terkait pemanfaatan gliserol.

Pada pembuatan stimulan yang ditambahkan dalam sistem fermentasi biogas, beberapa bahan tambahan lain digunakan seperti molase dan etanol. Molase, yang mengandung banyak karbohidrat dan zat gizi, bisa meningkatkan jumlah karbon yang dapat digunakan oleh mikroorganisme anaerob, mempercepat proses fermentasi, dan memperbanyak hasil biogas [3]. Sementara itu, etanol berperan sebagai sumber karbon tambahan yang dapat mempercepat proses fermentasi dan meningkatkan kadar metana, walaupun harus diatur agar tidak mengganggu aktivitas mikroba [4]. Penambahan enzim, seperti amilase atau selulase, memiliki peranan yang signifikan dalam mempercepat pemecahan senyawa kompleks dalam gliserol menjadi bentuk yang lebih sederhana, sehingga lebih mudah dicerna oleh mikroorganisme. Di samping itu, larutan buffer juga digunakan untuk mempertahankan pH media fermentasi dalam rentang yang ideal, mencegah perubahan pH yang bisa menghambat proses fermentasi. Dengan mengintegrasikan semua aditif tersebut, proses fermentasi anaerob dapat ditingkatkan, yang pada akhirnya akan meningkatkan jumlah dan kualitas biogas secara keseluruhan. Dengan memberikan dukungan pada pengembangan energi yang dapat diperbaharui, pengelolaan limbah gliserol dari sektor biodiesel, serta peningkatan produksi biogas, studi ini menjadi

sangat penting dalam mendukung ekonomi sirkular dengan mengkonversi limbah menjadi sumber energi yang berharga.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka tidak lebih dari **1000 kata** dengan mengemukakan *state of the art* dalam bidang yang diteliti dan penelitian dapat dibuat dalam bentuk Bagan bentuk JPG/PNG yang kemudian disisipkan dalam isian ini. Sumber pustaka/referensi primer yang relevan dan dengan mengutamakan hasil penelitian pada jurnal ilmiah dan/atau paten yang terkini. Disarankan penggunaan sumber pustaka 10 tahun terakhir.

Biogas adalah jenis energi terbarukan yang bisa menjadi pilihan untuk memenuhi kebutuhan energi alternatif di masa depan. Pada umumnya, biogas terbentuk melalui proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan anaerobic atau tanpa adanya oksigen [2]. Untuk meningkatkan jumlah biogas yang dihasilkan, penggunaan limbah dari industri lain, seperti biodiesel, sangat berpotensi, salah satunya adalah gliserol mentah.

Gliserol mentah yang dihasilkan sebagai produk sampingan dari industri biodiesel selama ini dianggap limbah menurut Schedule S181 dari Peraturan Lingkungan, yang umumnya disimpan dalam drum dan dibuang [5]. Proses pembuangan gliserol ini sering kali mahal dan berpotensi memberikan dampak negatif bagi lingkungan, sehingga pemanfaatan melalui pemurnian menjadi solusi yang tidak hanya lebih ramah lingkungan tetapi juga memberikan nilai tambah bagi para produsen, serta mendukung produksi biodiesel ke arah konsep zero waste. Selain itu, gliserol diketahui berfungsi sebagai zat pelindung untuk sel atau jaringan dari kerusakan, sehingga sering digunakan untuk menjaga kelangsungan hidup mikroorganisme selama proses penyimpanan. Sebagai senyawa cryoprotectant, gliserol memiliki kemampuan untuk melindungi sel mikroorganisme, termasuk sel jamur, baik dari dalam maupun luar sel. Penggunaan gliserol dalam media cair seperti nitrogen cair telah terbukti efektif dalam menghindari kontaminasi dan memperpanjang masa simpan kultur mikroba [6]. Dengan demikian, pemanfaatannya dalam sistem fermentasi anaerob, seperti dalam proses pembuatan biogas, berpotensi untuk mendorong pertumbuhan mikroorganisme metanogenik serta meningkatkan efektivitas konversi substrat menjadi gas.

Etanol adalah hasil sampingan dari proses fermentasi bahan biomassa, seperti tumbuhan yang memiliki kandungan karbohidrat. Dalam pembuatan biogas, etanol dapat berperan sebagai sumber karbon yang cepat terurai, yang membantu aktivitas mikroorganisme

anaerob. Menurut penelitian Prasertsan 2021, penambahan etanol ke dalam campuran substrat dapat meningkatkan produksi metana. Selain gliserol dan etanol, salah satu bahan lain yang bisa digunakan untuk menghasilkan biogas adalah molase, yang merupakan limbah dari pengolahan tebu. Molase kaya akan karbon dan telah lama dimanfaatkan sebagai substrat dalam industri fermentasi untuk menghasilkan senyawa seperti etanol, aseton, dan butanol [7]. Meskipun sebagian besar penggunaannya lebih banyak pada pembuatan etanol, molase juga memiliki potensi yang besar secara global sebagai bahan fermentasi untuk memproduksi asam organik, yang nantinya juga dapat berkontribusi pada proses pembentukan biogas.

Agar proses penguraian senyawa kompleks dalam substrat dapat berlangsung dengan lebih cepat dan efisien, penambahan enzim sebagai biokatalis menjadi langkah yang sangat penting. Enzim adalah protein yang memiliki peranan untuk mempercepat reaksi metabolik dalam sel makhluk hidup. Salah satu enzim yang banyak diterapkan dalam bidang industri adalah amilase, terutama alfa amilase, yang berfungsi dalam mengkatalisis pemecahan pati menjadi gula sederhana dengan cara memutus ikatan glikosida secara acak dari bagian dalam molekul pati [8]. Selain itu, enzim papain yang berasal dari getah pepaya muda juga memiliki peran penting karena aktivitas proteolitiknya. Papain dapat memutuskan ikatan peptida yang terdapat pada myosin, sehingga mampu mengubah struktur protein yang rumit seperti myofibril [9]. Dengan demikian, kombinasi penggunaan gliserol, molase, etanol dan enzim-enzim lain seperti amilase dan papain dapat dijadikan strategi yang efektif untuk meningkatkan proses fermentasi anaerob demi produksi biogas yang sederhana dan berkelanjutan.

C. METODE PENELITIAN

Metode atau cara untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan ditulis tidak melebihi **600** kata. Bagian ini dilengkapi dengan **diagram alir penelitian** yang menggambarkan apa yang sudah dilaksanakan dan yang akan dikerjakan selama waktu yang diusulkan. Format diagram alir dapat berupa file JPG/PNG.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Hasil Samping Politeknik LPP Yogyakarta dan mencakup beberapa tahapan, yaitu: persiapan bahan baku, pretreatment gliserol, proses pembuatan stimulan, aplikasi produk ke dalam reaktor biogas, serta pengujian hasil produksi biogas. Seluruh rangkaian kegiatan penelitian direncanakan berlangsung selama enam bulan, yaitu mulai Agustus 2025 hingga Januari 2026.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah gliserol mentah, yang merupakan produk samping dari proses produksi biodiesel dan diperoleh dari Progo Mulyo,

Yogyakarta. Selain itu, bahan-bahan pendukung yang digunakan meliputi aquadest, enzim papain, enzim amilase, molase, etanol 96%, kotoran sapi, buffer fosfat pH 7, asam fosfat, natrium hidroksida, dan karbon aktif. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup timbangan analitik, gelas ukur, gelas beaker, erlenmeyer, alat pengaduk, corong pemisah, magnetic stirrer, kain saring, cawan petri, termometer, manometer, pH meter, hotplate, oven, ember, corong plastik, galon, botol plastik, selang, kantong gas, gunting, serta pisau.

Cara Kerja

1. Pembuatan Stimulan

1.1 Formulasi Variasi Dosis Gliserol

Gliserol diformulasikan ke dalam tiga variasi dosis berdasarkan volume total produk, yaitu 40%, 50%, dan 60% (v/v). Masing masing dosis digunakan untuk membuat stimulan yang akan ditambahkan ke dalam sistem fermentasi biogas.

2.2 Penambahan Zat Aditif

Setiap variasi gliserol tersebut kemudian diberikan tambahan bahan aditif berupa:

- Etanol 5% (v/v)
- Molase 1% (v/v)
- Campuran etanol 5% + molase 1%

Dengan kombinasi ini, diperoleh 3 jenis perlakuan aditif pada setiap dosis gliserol, menghasilkan total 9 kombinasi awal.

2.3 Penambahan Enzim

Setelah proses aditif, tiap kombinasi stimulan kemudian ditambahkan enzim untuk meningkatkan aktivitas fermentasi. Enzim yang digunakan terdiri dari:

- Amilase 9% (b/b) dari berat kering substrat
- Papain 4% (b/b)
- Campuran Amilase + Papain (9% + 4%)

Penambahan dilakukan secara langsung ke dalam larutan stimulan, lalu dihomogenisasi selama 15 menit. Dengan adanya 3 variasi enzim pada 9 perlakuan sebelumnya, maka diperoleh total 27 variasi stimulan.

2. Aplikasi Stimulan ke dalam Reaktor Biogas

Setiap variasi stimulan kemudian diaplikasikan ke dalam reaktor biogas berukuran 5 liter yang telah diisi dengan kotoran sapi (substrat) dicampur dengan akuades dengan perbandingan 2:1 hingga terbentuk slurry atau campuran semi-cair yang homogen. Inokulum ditambahkan sebanyak 10% dari total akuades. Penambahan inokulum bertujuan untuk mempercepat laju pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme anaerob secara optimal tanpa harus melalui pembentukan populasi mikroba dari tahap awal. Setelah proses pengenceran, stimulan ditambahkan ke dalam campuran slurry dengan konsentrasi 8%. Campuran kemudian diaduk kembali hingga homogen dan siap dimasukkan ke dalam reaktor biogas. Reaktor biogas kemudian ditutup rapat dan dilengkapi dengan selang gas pada tutupnya yang terhubung ke alat penampung gas. Proses fermentasi berlangsung selama 14 hari pada suhu ruangan. Biogas yang dihasilkan selama proses inkubasi dialirkan melalui selang ke dalam alat penampung. Volume gas yang terbentuk diukur setiap hari. Hasil pengukuran volume biogas dicatat untuk dianalisis dan digunakan sebagai data utama dalam mengevaluasi pengaruh penambahan gliserol terhadap produksi biogas dari kotoran sapi.

3. Pengujian *Total Suspended Solids* (TSS) dan *Volatile Suspended Solids* (VSS)

Pengujian *Total Suspended Solids* (TSS) dan *Volatile Suspended Solids* (VSS) dilakukan untuk menganalisis jumlah padatan yang terlarut serta bagian padatan organik pada substrat biogas sebelum dan sesudah fermentasi. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan karakteristik substrat akibat aktivitas mikroorganisme selama proses anaerob.

4. Pengujian Biogas

4.1 Pengukuran volume biogas

Pengukuran volume biogas dilakukan dengan prinsip *water displacement* atau pemindahan air, yang berarti mengalirkan gas hasil fermentasi ke dalam sistem tertutup yang berisi air. Gas yang dihasilkan akan mendorong air dan volume gas tersebut bisa diketahui dari jumlah air yang berpindah. Teknik ini merupakan metode volumetrik yang berdasarkan pada pemindahan cairan dan telah diterapkan dalam alat pengukur biogas skala laboratorium.

4.2 Pengukuran suhu fermentasi

Suhu proses fermentasi diukur menggunakan thermo gun. Termometer dimasukkan ke dalam digester, lalu dibiarkan selama beberapa menit hingga suhu

stabil. Setelah itu, suhu dibaca berdasarkan skala yang ada pada termometer. Informasi suhu ini penting karena berpengaruh pada aktivitas mikroorganisme penghasil biogas.

4.3 Analisa komposisi biogas

Analisa komposisi biogas dilakukan menggunakan uji *Gas chromatography* (GC). Uji *Gas chromatography* (GC) yaitu dengan menginjeksi sampel biogas ke dalam alat GC untuk mengidentifikasi komponen gas seperti metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂).

D. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN

D. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian dapat berupa data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan

1. Pengukuran pH stimulant

Reaktor	Campuran	pH
1	Gliserol 40% + molase 1% + enzim amilase 0,9%	4
2	Gliserol 40% + molase 1% + enzim papain 0,4%	4
3	Gliserol 40% + molase 1% + enzim amilase 0,9% + enzim papain 0,4 %	4
4	Gliserol 40% + etanol 5% + enzim amilase 0,9%	4
5	Gliserol 40% + etanol 5% + enzim papain 0,4%	4
6	Gliserol 40% + etanol 5% + enzim amilase 0,9% + enzim papain 0,4%	4
7	Gliserol 40% + molase 1% + etanol 5% + enzim amilase 0,9%	4
8	Gliserol 40% + molase 1% + etanol 5% + enzim papain 0,4%	4
9	Gliserol 40% + molase 1% + etanol 5% + enzim amilase 0,9% + enzim papain 0,4%	4

Pengukuran pH terhadap berbagai formulasi stimulan berbasis gliserol, molase, etanol, serta penambahan enzim amilase dan papain menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran memiliki nilai pH yang sama, yaitu pH 4. Keseragaman nilai pH ini menandakan bahwa perbedaan jenis dan kombinasi bahan tambahan yang digunakan tidak memberikan pengaruh

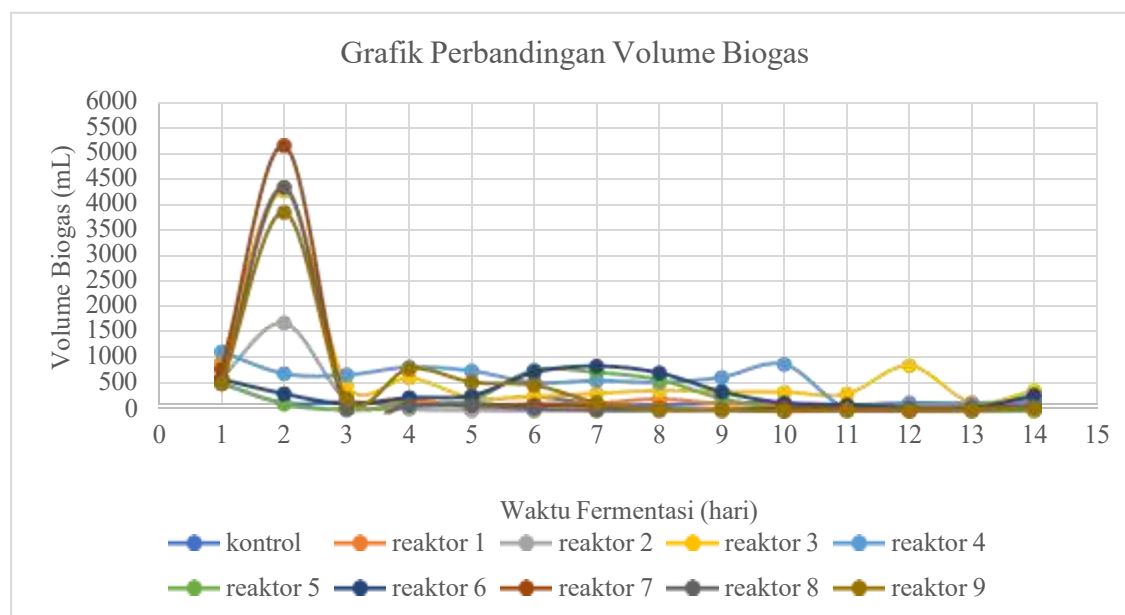
signifikan terhadap tingkat keasaman stimulan. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem campuran memiliki stabilitas pH yang relatif baik meskipun komposisinya bervariasi.

Nilai pH yang bersifat asam tersebut sejalan dengan teori yang menyatakan bahwa gliserol, sebagai produk samping biodiesel, memiliki kandungan karbon tinggi dan mudah terdegradasi oleh mikroorganisme anaerob. Penambahan molase dan etanol sebagai sumber karbon tambahan dapat mempercepat proses fermentasi awal dan mendorong pembentukan senyawa antara berupa asam organik. Akumulasi asam organik inilah yang menyebabkan pH larutan berada pada kisaran asam, sebagaimana terukur pada seluruh sampel stimulan.

Penambahan enzim amilase dan papain pada formulasi stimulan berperan dalam mempercepat pemecahan senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga lebih mudah dimanfaatkan oleh mikroorganisme anaerob. Meskipun demikian, keberadaan enzim tersebut tidak menyebabkan perubahan nilai pH yang terukur, yang menunjukkan bahwa fungsi utama enzim lebih berpengaruh pada laju degradasi substrat dibandingkan pada perubahan tingkat keasaman sistem. Kondisi pH 4 ini mendukung tahap awal proses pembentukan biogas, khususnya fase hidrolisis dan asidogenesis.

Namun, secara teoritis tahap metanogenesis membutuhkan kondisi pH yang lebih netral. Oleh karena itu, stimulan dengan pH asam ini berperan sebagai pemicu awal fermentasi dan perlu dikombinasikan dengan substrat utama atau sistem penyangga agar pH digester tetap berada pada kisaran optimum bagi mikroorganisme penghasil metana. Dengan demikian, hasil pengukuran pH menunjukkan bahwa stimulan yang dibuat sesuai dengan teori dan berpotensi mendukung peningkatan proses produksi biogas pada tahap awal fermentasi.

2. Pengukuran volume biogas



Gambar 1. Grafik Perbandingan Volume Biogas

Hasil pengukuran volume biogas selama 14 hari fermentasi menunjukkan bahwa seluruh reaktor mengalami pola produksi yang relatif serupa, yaitu produksi biogas yang tinggi pada fase awal fermentasi, khususnya pada hari ke-1 hingga hari ke-2, kemudian diikuti oleh penurunan volume biogas pada hari-hari selanjutnya. Pola ini mengindikasikan bahwa stimulan berbasis gliserol yang digunakan mampu mempercepat proses fermentasi awal dengan menyediakan sumber karbon yang mudah terdegradasi oleh mikroorganisme anaerob.

Peningkatan volume biogas yang paling signifikan terjadi pada hari ke-2 fermentasi, terutama pada reaktor yang menggunakan kombinasi gliserol, molase, etanol, dan enzim. Kondisi ini menunjukkan bahwa penambahan bahan kaya karbon sederhana, seperti gliserol dan molase, serta etanol sebagai sumber karbon tambahan, dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme pada tahap awal fermentasi. Selain itu, keberadaan enzim amilase dan papain berperan dalam mempercepat pemecahan senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga mempercepat pembentukan gas.

Penurunan volume biogas setelah hari kedua diduga berkaitan dengan kondisi mikroorganisme yang telah mencapai aktivitas maksimum pada hari kedua, sehingga aktivitas metaboliknya menurun pada hari-hari berikutnya. Kondisi tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh berkurangnya ketersediaan substrat serta perubahan kondisi lingkungan di dalam reaktor yang menyebabkan sebagian mikroorganisme mengalami stres atau kematian. Keadaan ini berdampak pada menurunnya kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi bahan

organik, yang selanjutnya berpengaruh terhadap rendahnya volume biogas yang dihasilkan setelah hari kedua.

Perbedaan volume biogas antar reaktor menunjukkan bahwa komposisi stimulan gliserol memberikan pengaruh yang nyata terhadap kinerja produksi biogas. Reaktor dengan penambahan satu jenis bahan tambahan umumnya menghasilkan volume biogas yang lebih rendah dibandingkan reaktor dengan kombinasi beberapa bahan tambahan. Hal ini mengindikasikan adanya efek sinergis antara gliserol, molase, etanol, dan enzim dalam meningkatkan ketersediaan substrat bagi mikroorganisme anaerob.

Penurunan volume biogas setelah hari ke-3 diduga disebabkan oleh berkurangnya substrat yang mudah terdegradasi serta kemungkinan terjadinya akumulasi asam organik yang dapat menghambat aktivitas mikroorganisme metanogen. Kondisi ini sejalan dengan hasil pengukuran pH stimulan yang berada pada kisaran asam, di mana pH rendah mendukung tahap hidrolisis dan asidogenesis, tetapi kurang optimal untuk tahap metanogenesis. Akibatnya, produksi biogas cenderung menurun seiring berjalannya waktu fermentasi.

Kondisi pH awal pada reaktor 6 berada pada kisaran sedikit asam dengan nilai pH sekitar 6, yang sudah mendekati kondisi netral sehingga masih cukup mendukung aktivitas mikroorganisme, khususnya pada tahap hidrolisis hingga awal metanogenesis. Sementara itu, kondisi pH akhir pada reaktor 4 menunjukkan nilai yang tetap berada pada kisaran asam, yang mengindikasikan bahwa proses metanogenesis belum berlangsung secara optimal hingga akhir fermentasi. Keadaan pH akhir yang relatif rendah tersebut berpotensi menghambat aktivitas mikroorganisme metanogen, sehingga konversi asam organik menjadi metana tidak berjalan maksimal dan berdampak pada penurunan produksi biogas pada tahap akhir fermentasi.

Berdasarkan volume biogas maksimum yang dihasilkan, Reaktor 7 menunjukkan kinerja terbaik dibandingkan reaktor lainnya. Reaktor ini menggunakan campuran gliserol 40%, molase 1%, etanol 5%, dan enzim amilase 0,9%, yang menghasilkan volume biogas tertinggi selama periode pengamatan. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi sumber karbon sederhana dan enzim hidrolitik mampu meningkatkan laju fermentasi anaerob secara signifikan pada tahap awal, sehingga menghasilkan biogas dalam jumlah lebih besar.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan stimulan gliserol dengan komposisi yang tepat dapat meningkatkan produksi volume biogas, terutama pada fase awal fermentasi. Namun, untuk mempertahankan produksi biogas dalam jangka

waktu yang lebih panjang, diperlukan pengendalian kondisi operasional lanjutan, khususnya pengaturan pH dan ketersediaan substrat yang sesuai bagi mikroorganisme metanogen.

Tabel 1. Perbandingan volume pada kontrol dan penambahan gliserol 40%

Reaktor	Campuran	Volume
kontrol	Kotoran sapi + inokulum	165 mL
1	Gliserol 40% + molase 1% + enzim amilase 0,9%	4381 mL

Perbandingan antara reaktor kontrol dan reaktor dengan penambahan gliserol 40% menunjukkan peningkatan volume biogas yang sangat signifikan. Keberadaan gliserol sebagai sumber karbon tambahan berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan substrat bagi mikroorganisme, sehingga proses degradasi bahan organik berlangsung lebih optimal. Kondisi ini menyebabkan produksi biogas pada reaktor dengan penambahan gliserol 40% jauh lebih tinggi dibandingkan reaktor kontrol yang hanya mengandalkan bahan organik dari kotoran sapi.

Tabel 2. Perbandingan volume pada kontrol dan penambahan zat aditif

Reaktor	Campuran	Volume
kontrol	Kotoran sapi + inokulum	165 mL
1	Gliserol 40% + molase 1% + enzim amilase 0,9%	4381 mL
4	Gliserol 40% + etanol 5% + enzim amilase 0,9%	740 mL
7	Gliserol 40% + molase 1% + etanol 5% + enzim amilase 0,9%	5210 mL

Perbandingan antara reaktor kontrol dan reaktor dengan penambahan zat aditif menunjukkan bahwa jenis zat aditif memberikan pengaruh yang berbeda terhadap volume biogas yang dihasilkan. Penambahan molase menghasilkan volume biogas yang jauh lebih tinggi dibandingkan etanol, yang mengindikasikan bahwa molase lebih efektif sebagai sumber nutrisi yang mudah dimanfaatkan oleh mikroorganisme. Kombinasi molase dan etanol menghasilkan volume biogas tertinggi, yang menunjukkan bahwa penggunaan dua jenis zat aditif secara bersamaan mampu meningkatkan aktivitas mikroorganisme secara lebih optimal dibandingkan penambahan zat aditif tunggal maupun tanpa penambahan zat aditif.

Tabel 3. Perbandingan volume pada kontrol dan penambahan enzim

Reaktor	Campuran	Volume
kontrol	Kotoran sapi + inokulum	165 mL
7	Gliserol 40% + molase 1% + etanol 5% + enzim amilase 0,9%	5210 mL
8	Gliserol 40% + molase 1% + etanol 5% + enzim papain 0,4%	4395 mL
9	Gliserol 40% + molase 1% + etanol 5% + enzim amilase 0,9% + enzim papain 0,4%	3905 mL

Perbandingan antara reaktor kontrol dan reaktor dengan penambahan enzim menunjukkan bahwa jenis enzim berpengaruh terhadap volume biogas yang dihasilkan. Penambahan enzim amilase menghasilkan volume biogas tertinggi karena kemampuannya dalam menghidrolisis senyawa karbohidrat yang dominan dalam substrat. Penambahan enzim papain menghasilkan volume biogas yang lebih rendah, sedangkan kombinasi enzim amilase dan papain menunjukkan penurunan volume biogas dibandingkan penggunaan enzim amilase tunggal, yang mengindikasikan bahwa kombinasi enzim tersebut belum bekerja secara optimal dalam sistem fermentasi.

3. Hasil Cromatography Gas

Sampel	Metana (%)
Reaktor Kontrol	13.236
Reaktor 1	2.404
Reaktor 2	3.425
Reaktor 3	2.521
Reakotr 4	3.740
Reaktor 5	0.000
Reaktor 6	0.000
Reaktor 7	0.000
Reaktor 8	0.000
Reaktor 9	0.000

Hasil analisis kandungan metana biogas menggunakan metode kromatografi gas (GC) pada reaktor perlakuan menunjukkan adanya variasi persentase metana yang dihasilkan. Reaktor 4 menghasilkan kandungan metana tertinggi sebesar 3,740%, diikuti oleh Reaktor 2

sebesar 3,425%, Reaktor 3 sebesar 2,521%, dan Reaktor 1 sebesar 2,404%. Sementara itu, Reaktor 5 hingga Reaktor 9 tidak menunjukkan adanya pembentukan metana (0,000%). Perbedaan ini mengindikasikan bahwa variasi konsentrasi stimulan gliserol memengaruhi efektivitas proses metanogenesis. Reaktor dengan persentase metana rendah atau nol kemungkinan masih berada pada tahap asidogenesis, di mana asam volatil (VFA) masih terakumulasi dan belum sepenuhnya dikonversi menjadi metana. Selain itu, konsentrasi gliserol yang terlalu tinggi berpotensi menurunkan pH sistem sehingga menghambat bahkan mematikan aktivitas bakteri metanogen.

Jika dikaitkan dengan hasil pengukuran volume biogas, terlihat bahwa reaktor dengan volume biogas yang lebih besar tidak selalu menghasilkan kandungan metana yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah biogas tidak selalu diikuti oleh peningkatan kualitas biogas. Reaktor 4, meskipun tidak menunjukkan volume biogas tertinggi, mampu menghasilkan kandungan metana yang lebih besar, yang menandakan bahwa proses metanogenesis pada reaktor ini berlangsung lebih efektif dibandingkan reaktor lainnya.

Reaktor Kontrol yang memiliki kandungan metana sebesar 13,236%, terlihat bahwa nilai tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan Reaktor 4 sebagai reaktor perlakuan terbaik. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa penambahan stimulan, sistem anaerob justru mampu menghasilkan metana lebih optimal. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan karena pada reaktor dengan penambahan gliserol, proses fermentasi belum sepenuhnya melewati tahap asam (asidogenesis) sehingga konversi ke tahap metanogenesis belum maksimal, atau dapat pula disebabkan oleh kondisi lingkungan reaktor yang terlalu asam sehingga menyebabkan aktivitas bakteri metanogen menurun bahkan mengalami kematian. Dengan demikian, penambahan stimulan perlu dikontrol agar tidak mengganggu keseimbangan tahapan fermentasi anaerob dan tetap mendukung pembentukan metana secara optimal.

Penurunan metana tersebut kemungkinan disebabkan oleh dua hal. Pertama, penambahan gliserol membuat substrat yang harus diuraikan menjadi lebih banyak sehingga proses fermentasi berlangsung lebih lama. Dengan waktu fermentasi hanya 16 hari, kemungkinan tahap asidogenesis belum sepenuhnya berlanjut ke tahap metanogenesis, sehingga pembentukan metana belum optimal. Kedua, akumulasi asam yang terjadi lebih cepat pada hari-hari awal (misalnya sejak hari kedua) dapat menyebabkan kondisi reaktor terlalu asam, sehingga aktivitas bakteri metanogen menurun atau bahkan mati. Akibatnya, meskipun substrat tersedia dalam jumlah besar, konversi menjadi metana tidak berlangsung secara maksimal.

Secara keseluruhan, hasil analisis kromatografi gas menunjukkan bahwa perbedaan komposisi stimulan gliserol memengaruhi kualitas biogas yang dihasilkan. Hasil ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa optimasi stimulan tidak hanya ditujukan untuk meningkatkan volume biogas, tetapi juga untuk meningkatkan kandungan metana melalui pengaturan komposisi bahan tambahan dan kondisi fermentasi yang sesuai

E. STATUS LUARAN

Status Luaran berisi status tercapainya luaran wajib yang dijanjikan dan luaran tambahan (jika ada). Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran dengan bukti tersebut di bagian Lampiran.

Luaran berupa artikel yang akan dipublikasikan di Jurnal Chemica, UAD (SINTA 2). Progres masih penulisan artikel.

F. PERAN MITRA

F. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (jika ada). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas mengikuti format sebagaimana terlihat pada bagian isian mitra

Tidak ada mitra pada penelitian ini.

G. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN

G. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Selama pelaksanaan penelitian “Stimulan Biogas Inovatif Berbasis Gliserol untuk Peningkatan Produksi Energi Terbarukan”, tim menghadapi kendala utama pada tahap pengujian di reaktor biogas. Sistem reaktor yang digunakan diduga mengalami kebocoran pada beberapa sambungan, sehingga gas hasil fermentasi dimungkinkan bocor dan terjadi kontaminasi dari udara luar. Akibat dari permasalahan tersebut, proses fermentasi dimungkinkan kurang optimal, sehingga proses pengukuran data kuantitatif sering mengalami kesulitan teknis. Selain faktor kebocoran, kondisi cuaca yang berubah-ubah selama periode

fermentasi juga memengaruhi kestabilan suhu di lingkungan reaktor, yang berpotensi menurunkan aktivitas mikroorganisme penghasil biogas.

Penggunaan sistem batch menyebabkan ketersediaan substrat bersifat terbatas, sehingga mikroorganisme berpotensi mengalami kekurangan nutrisi seiring berjalannya waktu fermentasi. Kondisi ini tercermin dari peningkatan volume biogas yang signifikan pada hari kedua, yang kemudian diikuti oleh penurunan tajam pada hari-hari berikutnya. Fenomena tersebut mengindikasikan bahwa mikroorganisme bekerja secara intensif pada fase awal untuk menghasilkan biogas, namun tidak didukung oleh ketersediaan substrat yang mencukupi. Akibatnya, aktivitas mikroorganisme menurun karena keterbatasan sumber makanan, sehingga produksi biogas tidak dapat dipertahankan dalam jangka waktu yang lebih lama.

H. RENCANA TINDAK LANJUT

H. RENCANA TINDAK LANJUT PENELITIAN: Tuliskan dan uraikan rencana tindak lanjut penelitian selanjutnya dengan melihat hasil penelitian yang telah diperoleh. Jika ada target yang belum diselesaikan pada akhir tahun pelaksanaan penelitian, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai tersebut.

1. Suhu proses perlu dikontrol secara optimal karena berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme dan volume biogas yang dihasilkan.
2. Pemberian substrat secara kontinyu perlu dipertimbangkan untuk menjaga kestabilan beban organik di dalam reaktor. Sistem pemberian secara bertahap dapat mencegah lonjakan pembentukan asam yang terlalu cepat, sehingga proses asidogenesis dan metanogenesis dapat berlangsung lebih seimbang dan stabil.
3. Perlu dilakukan pengendalian pH dan alkalinitas secara berkala untuk menjaga kestabilan proses fermentasi dan mencegah akumulasi asam lemak volatil (VFA).

I. KONTRIBUSI / PERAN TIM

No	Nama	NIDN/NIM	Peran (Ketua Penelitian/Anggota Penelitian)	Alokasi Waktu (jam/minggu)	Uraian Tugas Selama Penelitian
1	Muhammad Khoirul	9445773674130223	Ketua Penelitian	10	Pembuatan proposal, Analisis data, Pembuatan

	Muslimin, S. T., M. Eng.				laporan dan publikasi
2	Anugrah Perdana Rahmanta, S. T., M. Eng.	0017037301	Anggota Penelitian	10	Aplikasi stimulant dalam reaktor biogas, Analisis data
3	Reza Noprianti	23.01.039	Anggota Penelitian	10	Pembuatan proposal, Pengujian produk stimulan
4	Faiza Sania	23.01.023	Anggota Penelitian	10	Persiapan alat dan bahan, Pembuatan stimulan
5	Yuni Kusuma Ayu	23.01.045	Anggota Penelitian	10	Pembuatan stimulan, Aplikasi stimulant dalam reaktor biogas

DAFTAR PUSTAKA

I. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan akhir yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

- [1] DAFTAR PUSTAKA P. Vilino, H. Sinaga, D. Suanggana, and H. D. Haryono, “ANALISIS PRODUKSI BIOGAS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF PADA KOMPOR BIOGAS MENGGUNAKAN CAMPURAN KOTORAN SAPI DAN AMPAS TAHU,” *Jurnal Teknologi Terapan* |, vol. 8, no. 1, 2022.
- [2] N. M. Syahyuda, F. Goembira, and S. Silvia, “Pengaruh Penambahan Gliserol Mentah Limbah Industri Biodiesel Terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Sapi Menggunakan Anaerobic Digester Sistem Batch,” *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 20, no. 3, pp. 465–473, Jul. 2022, doi: 10.14710/jil.20.3.465-473.
- [3] K. R. N. Phuket, T. Srimachai, S. Luanunkarb, and S. O-Thong, “Enhanced Efficiency for Biogas Production from Distillery Wastewater as Mixed with Molasses and Glycerol Waste in the Anaerobic Co-Digestion,” *Science and Technology Indonesia*, vol. 9, no. 1, pp. 120–128, Jan. 2024, doi: 10.26554/sti.2024.9.1.120-128.
- [4] P. Prasertsan, C. Leamdum, S. Chantong, C. Mamimin, P. Kongjan, and S. O Thong, “Enhanced biogas production by co-digestion of crude glycerol and ethanol with palm oil mill effluent and microbial community analysis,” *Biomass Bioenergy*, vol. 10.1016/j.biombioe.2021.106037.
- [5] E. Kurniasih and M. Dani Supardan, “Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV (SENASTITAN IV) Surabaya,” 2024.
- [6] W. Amaria, Y. Ferry, and dan Rita Harni Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar Jalan Raya Pakuwon Km, “PENGARUH PENAMBAHAN GLISEROL PADA MEDIA PERBANYAKAN TERHADAP DAYA SIMPAN BIOFUNGISIDA *Trichoderma* THE EFFECT OF GLYCEROL ADDITION IN MULTIPLICATION MEDIUM ON STORAGE LONGEVITY OF *Trichoderma* BIOFUNGICIDE,” 2015.
- [7] A. Prasetyo, D. Rasmiyana, J. T. Pertanian, and N. Jember, “PENGARUH MEDIA MOLASE DAN MEDIA SUKROSA TERHADAP PERTUMBUHAN *ASPERGILLUS NIGER* DALAM MEMPRODUKSI ASAM SITRAT Effect of Molasses and Sucrose Media on Growth of *Aspergillus niger* for Citric Acid

Production,” *Journal of Food Industrial Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2025, doi: 10.25047/jofit.v2.i1.5800.

- [8] H. Muliasari and L. Permatasari, “Studi awal uji aktivitas enzim amilase dari tumbuhan secara kualitatif berdasarkan perbedaan suhu dan konsentrasi substrat Initial study of activity test of amylase enzyme from plants qualitatively based on differences in temperature and substrate concentration,” *Journal of Agritechnology and Food Processing*, vol. 2, no. 1, 2022.
- [9] R. Juwita, E. Tyas, D. Anggita, P. Sejati, A. Valerie, and S. Simanjuntak, “Inovasi Ekstrak Pepaya sebagai Enzim Papain,” vol. 2, no. 4, pp. 300–306, doi: 10.17977/um067v2i4p300-30

LAMPIRAN

Laporan Pertanggung Jawaban Anggaran

Judul Penelitian : Stimulan Biogas Inovatif Berbasis Gliserol Untuk Peningkatan Produksi Energi Terbarukan

Nama Ketua : Muhammad Khoirul Muslimin, S. T., M. Eng.

1. Honorarium				
Material	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)	Nomor bukti nota/Kwitansi
Jasa pengambilan kotoran sapi	2 box	Rp 11.000	Rp 22.000	1
Jasa pengambilan inokulum	1 box	Rp 41.000	Rp 41.000	2
Jasa Laboran	2 orang	Rp 150.000	Rp 300.000	3
Sub Total			Rp 363.000	
2. Pembelian bahan habis pakai, peralatan penunjang, analisis dan pengujian, serta sewa lab				
Material	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)	Nomor bukti nota/Kwitansi
Timbangan dapur	1 pcs	Rp 18.048	Rp 18.048	4
Lakban	1 paket	Rp 17.189	Rp 17.189	5
Enzim amilase	1 paket	Rp 447.818	Rp 447.818	6
Molase	1 paket	Rp 9.864	Rp 9.864	7
Kayu stik	1 paket	Rp 10.873	Rp 10.873	8
Tissue	1 paket	Rp 35.884	Rp 35.884	9
Pisau dapur	1 paket	Rp 14.021	Rp 14.021	10
Toples bulat	1 paket	Rp 40.289	Rp 40.289	11
Etanol	2 liter	Rp 41.000	Rp 82.000	12
Jerigen	1 pcs	Rp 10.000	Rp 10.000	12
Ember timba	3 pcs	Rp 6.000	Rp 18.000	13
Corong	1 pcs	Rp 3.500	Rp 3.500	13
Selang bensin	1 paket	Rp 25.000	Rp 25.000	14
Thermometer	1 pcs	Rp 30.000	Rp 30.000	15
Aquadest	5 liter	Rp 2.000	Rp 10.000	16
Jerigen	1 pcs	Rp 12.500	Rp 12.500	16
Manometer	1 pcs	Rp 79.750	Rp 79.750	17
Termometer	1 pcs	Rp 17.347	Rp 17.347	18
Galon 5 liter	1 pcs	Rp 16.500	Rp 16.500	19
Jarum suntik	10 pcs	Rp 1.000	Rp 10.000	20

Jarum suntik	15 pcs	Rp 1.000	Rp 15.000	21
Balon	3 pcs	Rp 9.500	Rp 28.500	22
Selang T	10 pcs	Rp 1.000	Rp 10.000	23
Kabel tis	60 pcs	Rp 350	Rp 21.000	24
Konektor uniring 8/10	15 pcs	Rp 2.000	Rp 30.000	25
Konektor uniring 1/2	15 pcs	Rp 3.000	Rp 45.000	25
Selang I	45 pcs	Rp 1.000	Rp 45.000	25
Selang T	2 pcs	Rp 1.000	Rp 2.000	25
Infus	10 pcs	Rp 1.000	Rp 10.000	25
aquadest	5 liter	Rp 2.000	Rp 10.000	26
Jerigen	1 pcs	Rp 12.500	Rp 12.500	26
Gelas ukur 100 mL	1 pcs	Rp 65.000	Rp 65.000	26
Kantong plastik hitam	1 pcs	Rp 22.000	Rp 22.000	27
Gelas ukur 1000 mL	1 pcs	Rp 174.000	Rp 174.000	28
lakban coklat	1 pcs	Rp 15.000	Rp 15.000	29
T selang	10 pcs	Rp 1.000	Rp 10.000	30
vaculab plain glass	13 pcs	Rp 2.077	Rp 26.999	31
Selang	10 meter	Rp 1.000	Rp 10.000	32
Lem dextune menit	1 pcs	Rp 20.000	Rp 20.000	33
lem glue	1 pcs	Rp 15.000	Rp 15.000	33
Galon 5 liter	1 pcs	Rp 14.900	Rp 14.900	34
Pengujian GC	1 paket	Rp 3.200.000	Rp 3.200.000	35
Pengujian GC	1 paket	Rp 1.600.000	Rp 1.600.000	36
Pengujian GC	1 paket	Rp 1.600.000	Rp 1.600.000	37
Sub total (Rp)			Rp 7.910.482	
3. Perjalanan				
Material	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)	Nomor bukti nota/Kwitansi
Perjalanan Pengambilan sampel gliserol	1 paket	Rp 376.000	Rp 376.000	38
Perjalanan bawa sampel	1 paket	Rp 21.000	Rp 21.000	39
Perjalanan pulang membawa sampel gliserol	1 paket	Rp 426.000	Rp 426.000	40
Sub total (Rp)			Rp 823.000	
4. Lain-lain				

Material	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)	Nomor bukti nota/Kwitansi
Masker	1 box	Rp 13.764	Rp 13.764	41
Sarung tangan	1 box	Rp 35.515	Rp 35.515	42
My book	1 paket	Rp 25.985	Rp 25.985	43
sabun cuci tangan	1 pcs	Rp 7.900	Rp 7.900	44
Ekonomi nat	1 pcs	Rp 6.900	Rp 6.900	44
plastic shop	1 pcs	Rp 200	Rp 200	44
Sub total (Rp)			Rp 90.264	
Total Biaya Yang Dikeluarkan (Rp)			Rp 9.186.746	

Yogyakarta, 18 Februari 2026

Menyetujui
Kepala UPP



Dr. Anna Kusumawati, SP. M. Sc.
NIDN.0505048602

Ketua Peneliti,

Muhammad Khoirul Muslimin, S.T., M. Eng.
NUPTK: 9445773674130223