

**KARAKTERISTIK AIR LIMBAH TAHU DENGAN PENAMBAHAN
CAMPURAN AMPAS TAHU DAN ONGGOK SEBAGAI UPAYA
PENINGKATAN PRODUKSI BIOGAS**

(Skripsi)

Oleh

**Kukut Millyan Rizki
2114231001**



**JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

CHARACTERISTICS OF TOFU WASTEWATER WITH THE ADDITION OF TOFU DREGS AND CASSAVA DREGS MIXTURE TO INCREASE BIOGAS PRODUCTION

By

KUKUT MILLYAN RIZKI

Tofu wastewater still contained high levels of organic matter, thus it had to be treated to reduce pollution. The use of tofu wastewater to produce biogas was very potential, however to fulfill the energy requirement of tofu industry, additional organic matter was needed. This study aimed to determine the best characteristics of a mixture of tofu dregs and cassava dregs additional to tofu wastewater as raw material for biogas production, as well as to determine the potential of biogas production and biogas increasing percentage. The research method was a descriptive method. This research used the treatment concentrations of tofu dregs and cassava dregs mixtures by adding 0%, 1%, 3%, and 5%, as well as retention time treatments of 0, 1, 2, and 3 days. The results showed that the optimal characteristics included a pH value of 3.90, total volatile acid (TVA) of 3,576 mg/L, total solids (TS) of 1.73%, total suspended solids (TSS) of 31.65%, and soluble chemical oxygen demand (S-COD) of 31,464.8 mg/L, which were obtained from the addition of a 5% mixture of tofu dregs and cassava dregs with a retention time of 3 days. The biogas production potential obtained was 296.43 Nm³/ton of soybeans, with a 238.43% increase compared to the control treatment. The research results indicated that the addition of a 5% mixture of tofu dregs and cassava dregs was potential for increasing biogas production.

Keywords: tofu wastewater, tofu dregs, cassava dregs, biogas production

ABSTRAK

KARAKTERISTIK AIR LIMBAH TAHU DENGAN PENAMBAHAN CAMPURAN AMPAS TAHU DAN ONGGOK SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN PRODUKSI BIOGAS

Oleh

KUKUT MILLYAN RIZKI

Air limbah tahu masih mengandung bahan organik yang tinggi sehingga harus diolah untuk mengurangi dampak pencemaran. Pemanfaatan air limbah tahu menjadi biogas sangat potensial untuk dilakukan, namun untuk memenuhi kebutuhan energi di industri tahu diperlukan bahan organik tambahan dari luar industri tahu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik terbaik dari penambahan campuran ampas tahu dan onggok pada air limbah tahu sebagai bahan baku produksi biogas, serta mengetahui potensi produksi biogas dan persentase peningkatan biogas. Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif. Penelitian ini menggunakan perlakuan konsentrasi campuran ampas tahu dan onggok sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5% , serta perlakuan waktu tinggal 0, 1, 2, dan 3 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik terbaik meliputi nilai pH 3,90, *total volatile acid* (TVA) 3.576 mg/L, *total solid* (TS) 1,73% , *total suspended solid* (TSS) 31,65%, dan *soluble oxygen demand* (S-COD) sebesar 31.464,8 mg/L diperoleh dari penambahan campuran ampas tahu dan onggok 5% dengan waktu tinggal 3 hari. Potensi produksi biogas yang diperoleh sebesar 296,43 Nm³/ton kedelai dengan persentase peningkatan sebesar 238,43% dibandingkan perlakuan kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan campuran ampas tahu dan onggok 5% sangat berpotensi terhadap peningkatan produksi biogas.

Kata kunci: air limbah tahu, ampas tahu, onggok tapioka, produksi biogas

**KARAKTERISTIK AIR LIMBAH TAHU DENGAN PENAMBAHAN
CAMPURAN AMPAS TAHU DAN ONGGOK SEBAGAI UPAYA
PENINGKATAN PRODUKSI BIOGAS**

Oleh

Kukut Millyan Rizki

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

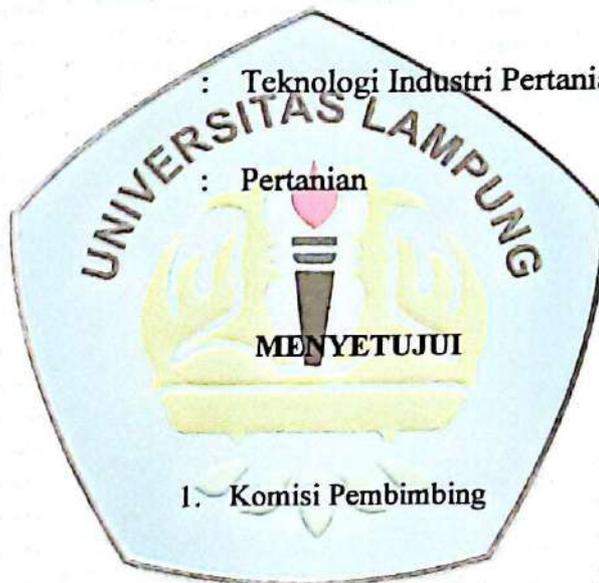
Judul Skripsi : **KARAKTERISTIK AIR LIMBAH TAHU DENGAN PENAMBAHAN CAMPURAN AMPAS TAHU DAN ONGGOK SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN PRODUKSI BIOGAS**

Nama Mahasiswi : **Kukut Millyan Rizki**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2114231001

Program Studi : Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Pertanian




Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T.
NIP. 19640106 198803 1 002


Lathifa Indraningtyas, S.T.P., M.Sc.
NIP. 19910918 201903 2 023

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian


Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C. EIA.
NIP. 19721006 199303 1 005

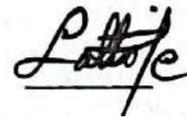
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T.



Sekretaris : Lathifa Indraningtyas, S.TP., M.Sc.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Juni 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kukut Millyan Rizki

NPM : 2114231001

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja sendiri yang berdasarkan pengetahuan dan data yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak memuat isi yang telah dipublikasikan sebelumnya dan bukan merupakan hasil plagiarism dari karya orang lain.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan sepenuhnya dapat saya pertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya tindakan kecurangan dalam penyusunan karya ini, saya bersedia untuk menerima segala konsekuensi yang berlaku.

Bandar Lampung, 10 Juni 2025

Yang membuat pernyataan



Kukut Millyan Rizki

NPM 2114231001

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sidoharjo pada tanggal 22 September 2003 sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Cun Cun Junaidi dan Ibu Sumarti. Penulis mengawali Pendidikan formal di Taman Kanak-Kanak di TK Aisyiyah Bustanul Athfal, Mataram yang diselesaikan pada tahun 2009, Sekolah Dasar di SD Negeri 3 Mataram yang diselesaikan pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Gadingrejo yang diselesaikan pada tahun 2018, Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Gadingrejo yang diselesaikan pada tahun 2021.

Penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada tahun 2021. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada Januari – Februari 2024 di Kelurahan Margo Rahayu, Kecamatan Simpang Pematang, Kabupaten Mesuji. Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT Great Gian Pineapple, Dept. Labelling and Packaging, dengan judul “Penerapan *Quality Control* Proses Produksi *Second Pack* di *Departement Labelling & Packaging* PT. Great Gian Pineapple”.

Selama masa studi, penulis juga aktif dengan menjadi Asisten Praktikum pada mata kuliah Teknologi Pengolahan Limbah Agroindustri di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Koperasi Mahasiswa sebagai anggota.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat, hidayah, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “**Karakteristik Air Limbah Tahu dengan Penambahan Campuran Ampas Tahu dan Onggok sebagai Upaya Peningkatan Produksi Biogas**”. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Sarjana (S1) dalam memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian di Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penulis ingin menyampaikan terimakasih atas segala dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak selama proses studi dan juga selama proses penyusunan skripsi ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P, M.T.A., C. EIA., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung sekaligus pembahas yang telah memberikan saran, arahan, dan perbaikan dalam penyusunan skripsi
3. Ibu Prof. Dr. Sri Hidayati, S. TP., M.P., selaku Ketua Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T., selaku dosen pembimbing utama sekaligus pembimbing akademik (PA) penulis yang telah memberikan bimbingan, saran, arahan, motivasi, dan nasihat serta ilmu yang diberikan awal masa studi dan penyusunan skripsi.
5. Ibu Lathifa Indraningtyas, S. TP., M.Sc., selaku Pembimbing Kedua yang selalu sabar memberikan bimbingan, arahan, saran, dan motivasi selama masa penyusunan skripsi.
6. Bapak dan Ibu dosen pengajar, staf dan karyawan di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Lampung, yang telah membimbing dan membantu penulis.

7. Keluarga terkasih untuk Ayahanda Cun Cun Junaidi, Ibunda Sumarti, dan adik Gesit Pinanggih Barokah yang selalu mendampingi, mendukung, memberi semangat, nasihat, dan menjadi tempat pulang serta pendengar ternyaman. Terima kasih atas kasih sayang dan doa yang selalu diberikan, sehingga penulis tetap kuat dan yakin dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.
8. Saudara tersayang Gilly Hanifah Iswari yang selalu mendengarkan keluh kesah kehidupan penulis, menemani, dan selalu memberikan dukungan selama ini.
9. Rekan penelitian terbaik Nabila Tara Adienta yang telah berjuang bersama dari awal, selalu membantu, memotivasi, mendengarkan segala keluh kesah selama menyelesaikan penelitian.
10. Keluarga besar Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri THP; Mba Siti Nurjanah, S.T.P., Bang Vico Regian H., S.T.P., serta teman – teman seperjuangan Aliefuddin Yusuf, M., M. Aqila Zhafran, dan M. Nurcholis Al Gani, yang telah membantu, menemani, memberi semangat, nasihat, dan memberikan arahan dalam menyelesaikan penelitian.
11. Sahabat – sahabat terbaik Nadia Eka Putri, Della Amelia, Shifa Aulia Wanda Azizah, Attika Nur A., M. Agung Saputra, Sahara, Ihda Zulfa A., Adelliu Julia A., Jenita Lusiana L., Sofi Aulia R., dan Hanum Regi N., atas dukungan, bantuan, menemani, dan menjadi tempat keluh kesah penulis.
12. Teman-teman TIP dan THP angkatan 2021. Terimakasih atas perhatian, kenangan, dukungan, bantuan, dan juga kebersamaannya.
13. Semua pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis sangat menyadari skripsi ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dan dapat memberikan manfaat bagi penulis serta pembaca.

Bandar Lampung, 22 Juni 2025

Penulis,

Kukut Millyan Rizki
2114231001

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Kerangka Pemikiran	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Industri Tahu.....	6
2.1.1 Air Limbah Tahu	6
2.1.2 Ampas Tahu.....	8
2.2 Limbah Padat Tapioka.....	8
2.3 Parameter Analisis Pengujian	9
2.3.1 Pengujian pH	9
2.3.2 Pengujian <i>Total Volatile Acid</i> (TVA).....	9
2.3.3 Pengujian <i>Total Solid</i> (TS)	10
2.3.4 Pengujian <i>Total Suspended Solid</i> (TSS).....	10
2.3.5 Pengujian <i>Soluble Chemical Oxygen Demand</i> (S-COD)	11
2.4 Pembentukan Biogas	11
2.4.1 Tahap Hidrolisis	12
2.4.2 Tahap Asidogenesis.....	13

2.4.3 Tahap Asetogenesis	13
2.4.4 Tahap Metanogenesis	13
III. METODOLOGI.....	14
3.1 Waktu dan Tempat.....	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Metode Penelitian	14
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	16
3.4.1 Perlakuan Awal Ampas Tahu dan Onggok	16
3.5 Pengamatan.....	17
3.5.1 Pengukuran pH Metode Potensiometri.....	17
3.5.2 <i>Total Volatile Acid</i> (TVA) Metode Titration	18
3.5.3 <i>Total Solid</i> (TS) Metode Gravimetri	18
3.5.4 <i>Total Suspended Solid</i> (TSS) Metode Gravimetri	18
3.5.5 <i>Soluble Chemical Oxygen Demand</i> (S-COD)	19
3.5.6 Perhitungan Potensi Biogas	20
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Karakterisasi Air Limbah Tahu dengan Penambahan Ampas Tahu dan Onggok.....	21
4.1.1 Analisis Parameter Derajat Keasaman (pH).....	21
4.1.2 Analisis Parameter <i>Total Volatile Acid</i> (TVA).....	23
4.1.3 Analisis Parameter <i>Total Solid</i> (TS).....	24
4.1.4 Analisis Parameter <i>Total Suspended Solid</i> (TSS).....	27
4.1.5 Analisis Parameter <i>Soluble Chemical Oxygen Demand</i> (S-COD)	29
4.1.6 Analisis Parameter Perhitungan Potensi Produksi Biogas	31
V. KESIMPULAN DAN SARAN	34
5.1 Kesimpulan	34
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu	7
2. Perlakuan Komposisi Air Limbah Tahu dengan Campuran Ampas Tahu dan Onggok serta Waktu Tinggal	15
3. Hasil pengukuran pH masing – masing perlakuan.....	44
4. Hasil pengukuran TVA masing – masing perlakuan	45
5. Hasil pengukuran TS masing – masing perlakuan.....	46
6. Hasil pengukuran TSS masing – masing perlakuan.....	47
7. Hasil pengukuran S-COD masing – masing perlakuan	48
8. Hasil potensi produksi biogas masing – masing perlakuan	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran penelitian.....	5
2. Skema proses pembentukan biogas	12
3. Diagram alir <i>pre-treatment</i> ampas tahu dan onggok	17
4. Grafik nilai pH air limbah tahu campuran ampas tahu dan onggok.....	22
5. Grafik nilai TVA air limbah tahu campuran ampas tahu dan onggok.....	23
6. Grafik nilai TS air limbah tahu campuran ampas tahu dan onggok	25
7. Grafik nilai TSS air limbah tahu campuran ampas tahu dan onggok.....	28
8. Grafik nilai S-COD air limbah tahu campuran ampas tahu dan onggok.....	30
9. Grafik potensi produksi biogas.....	32
10. Pengepresan ampas tahu dan onggok	53
11. Penimbangan ampas tahu dan onggok.....	53
12. Pencampuran air limbah tahu dengan campuran ampas tahu dan onggok	53
13. Pemasukan sampel ke dalam botol sampel.....	53
14. Penimbangan tabung <i>centrifuge</i>	53
15. Sentrifugasi sampel.....	53
16. Pengeceran sampel	54
17. Penambahan sampel ke dalam reagen COD.....	54
18. Proses <i>vortex</i> sampel selama 20 detik	54
19. Pemanasan sampel menggunakan COD <i>reactor</i>	54
20. Proses pengukuran COD menggunakan <i>multiparameter photometer</i>	54
21. Pengujian pH menggunakan pH meter.....	54
22. Pemanasan sampel menggunakan <i>hot plate magnetic stirrer</i>	55
23. Titrasi sampel	55
24. Penimbangan cawan kosong.....	55
25. Penimbangan cawan dengan isi.....	55
26. Pemasukkan sampel ke dalam oven selama 24 jam	55
27. Pemasukkan sampel ke dalam desikator selama 15 menit	55
28. Penimbangan cawan yang sudah dioven	56
29. Pengujian <i>total solid</i> (TS).....	56
30. Penimbangan cawan petri kosong	56
31. Penimbangan kertas saring	56
32. Penyaringan sampel pada kertas saring	56
33. Penimbangan sampel setelah dioven selama 2 jam	56

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Industri tahu menjadi salah satu industri pengolahan pangan yang banyak dijumpai di Lampung. Industri tahu pada proses produksinya mengolah bahan baku kedelai menjadi produk pangan tahu. Selain menghasilkan produk utama, industri tahu juga menghasilkan 2 jenis limbah yaitu limbah cair dan limbah padat. Limbah cair yang dihasilkan biasanya berupa air limbah tahu yang didapat dari proses pencucian, perebusan, pengepresan dan pencetakan. Limbah padat yang dihasilkan berupa ampas tahu yang didapat dari proses penyaringan bubur kedelai (Rajagukguk, 2020).

Menurut Sjafruddin dkk. (2022), industri tahu dapat menghasilkan air limbah tahu sebanyak 3065,4 liter perhari dari 150 kg kacang kedelai atau setara dengan 20,4 m³/ton. Jumlah air limbah tahu dapat mencapai 94,5% dari total bahan baku (kacang kedelai dan air) yang digunakan dan sisanya terdiri dari partikel-partikel padat terlarut (*dissolved solid*) dan tidak terlarut (*suspended solid*) (Sally dkk., 2019). Air limbah tahu mengandung bahan organik dengan karakteristik pH berkisar 4,5-5,7, nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) berkisar 1070 -2600 mg/Liter, *Chemical Oxygen Demand* (COD) berkisar 1940-4800 mg/Liter, *Total Suspended Solids* (TSS) berkisar 2100-3100 mg/Liter (Yulianto dkk., 2020). Menurut Maulani dkk. (2018), ampas tahu yang dihasilkan dari proses produksi cukup banyak sekitar 75% dari bahan mentahnya. Pemanfaatan ampas tahu biasanya digunakan untuk pakan ternak, bahan baku pembuatan tempe gembus, tempe oncom, dan *snack* seperti kerupuk (Ernawati dkk., 2022).

Menurut Sinaga dkk. (2022), air limbah tahu dapat dijadikan sebagai biogas karena 50% dari air limbah tahu mengandung metana (CH₄). Pembuatan biogas

dari air limbah tahu sering kali kurang efektif dan optimal karena bersifat fluktuatif sehingga tidak dapat memenuhi kebutuhan produksi disebuah industri. Hal ini dapat terjadi karena air limbah tahu memiliki kandungan zat organik yang kurang tinggi dan kadar air yang cukup banyak yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri penghasil metana, sehingga diperlukan adanya bahan tambahan yang berfungsi sebagai bahan organik untuk menunjang produksi biogas agar meningkat. Hal ini sesuai dengan penelitian Suryani dan Widyassari (2022), bahwa terdapat perbedaan yang nyata pada penambahan ampas tahu sebagai *co-substrat* terhadap konsentrasi VFA.

Ampas tahu merupakan salah satu bahan tambahan yang dapat dijadikan bahan organik karena mengandung zat organik seperti lemak 0,62% (Sinaga dkk., 2022), protein 34,9%, karbohidrat 34,8% (Yulianto dkk., 2020). Ampas tahu juga mengandung hemiselulosa sebesar 34,86% dan selulosa sebesar 38,60% (Oktaria, 2023). Zat organik yang terkandung nantinya akan diuraikan menjadi gula sederhana, yang akan mempercepat reaksi hidrolisis dan meningkatkan ketersediaan bahan organik untuk mikroorganisme yang mengurainya menjadi gas metan pada saat proses fermentasi berlangsung (Nurfaizin dan Hartati, 2023). Selain itu, onggok tapioka juga dapat dijadikan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan biogas.

Onggok merupakan hasil samping dari industri tapioka yang masih memiliki nilai ekonomis rendah dan pemanfaatannya yang masih kurang, biasanya hanya dijadikan campuran pakan ternak. Onggok memiliki kandungan zat organik yang cukup tinggi yaitu protein sebesar 8,11%, lemak sebesar 1,29% (Abdurachman dkk., 2022), dan karbohidrat sebesar 76,06% (Keryanti dkk., 2022). Onggok juga mengandung hemiselulosa dan selulosa yang tinggi yang masing-masing sebesar 80% dan 20-50% (Pambudi, 2023). Kandungan karbohidrat onggok yang masih tinggi dan mudah terfermentasi menyediakan kandungan bahan organik yang melimpah bagi mikroorganisme penghasil asam saat proses pembentukan biogas (Sanjaya dkk., 2023).

Perbandingan konsentrasi antara air limbah tahu dengan tambahan campuran ampas tahu dan onggok serta penggunaan waktu tinggal sangat diperlukan dalam produksi biogas. Variasi konsentrasi bahan padatan pada pembuatan biogas sangat signifikan dan dapat mempengaruhi efisiensi serta volume biogas yang dihasilkan. Sensih dan Prayitno (2020), menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi awal substrat maka semakin tinggi kualitas dan kuantitas biogas yang dihasilkan. Waktu tinggal juga dibutuhkan selama proses fermentasi agar mikroorganisme dapat beradaptasi, sehingga proses fermentasi berjalan secara maksimal. Berdasarkan Hasanudin dan Haryanto (2022), pemberian waktu tinggal pada campuran onggok dapat meningkatkan nilai S-COD pada limbah antara 1-1,1%. Hal ini dikarenakan selama waktu tinggal, bahan organik akan terurai menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana, sehingga akan memengaruhi pencernaan substrat dalam sistem biogas. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan karakteristik air limbah tahu yang ditambahkan berbagai konsentrasi campuran ampas tahu dan onggok dengan perbedaan waktu tinggal.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik terbaik dari penambahan campuran ampas tahu dan onggok pada air limbah tahu sebagai bahan baku produksi biogas yang meliputi nilai pH, *total volatile acid* (TVA), *total solid* (TS), *total suspended solid* (TSS), dan *soluble chemical oxygen demand* (S-COD).
2. Mengetahui potensi produksi dan persentase peningkatan biogas pada penambahan campuran ampas tahu dan onggok dalam air limbah tahu.

1.3 Kerangka Pemikiran

Industri tahu dapat menghasilkan air limbah tahu yang cukup banyak berkisar 3065,4 liter dan limbah padat berkisar 149,35 kg dari 150 kg kedelai (Sjafruddin dkk., 2022), sedangkan bahan pencemarnya berkisar untuk TSS sebesar 30 kg/kg bahan baku kedelai, BOD 65 g/kg bahan baku kedelai, dan COD 130 g/kg bahan baku kedelai (Ridhuan, 2016). Pemanfaatan air limbah tahu sebagai bahan

pembuatan biogas merupakan salah satu bentuk upaya pengolahan yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak pencemaran (Rajagukguk, 2020). Air limbah tahu memiliki komposisi karbon dioksida 42,7% (Adisasmito dkk., 2018) dan gas metana 60% (Shitophyta dkk., 2021). Selain itu, juga terdapat kandungan bahan organik lain seperti karbohidrat 25-50%, protein 40-60%, dan lemak 10% yang dapat dimanfaatkan untuk dikonversi sebagai bahan baku biogas (Amelia dkk., 2022).

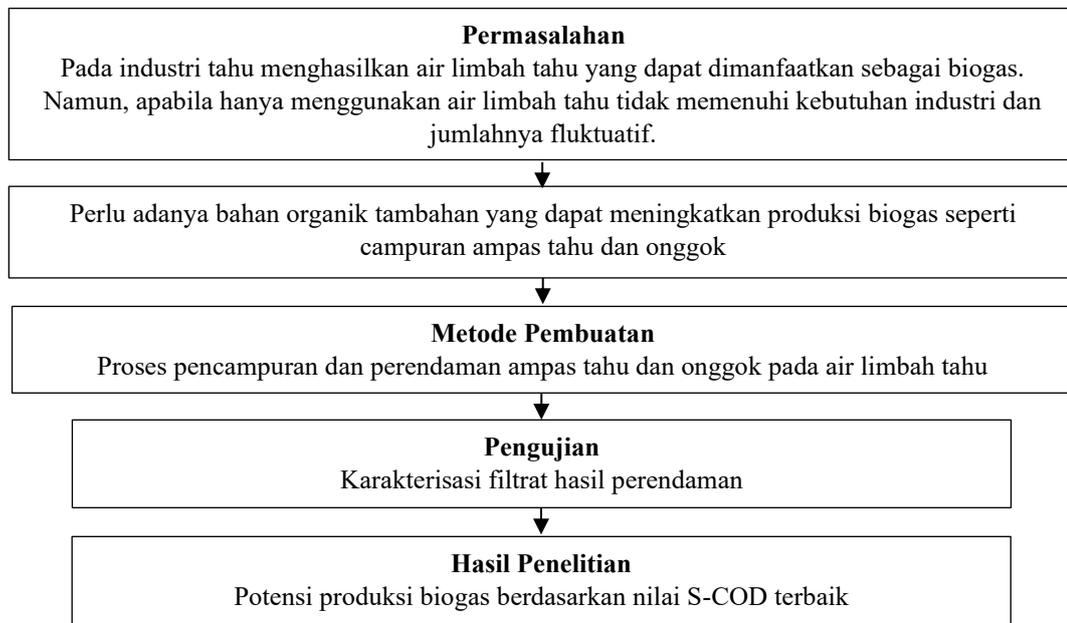
Produksi biogas sangat bergantung pada kandungan bahan organik dalam air limbah tahu. Menurut penelitian Sulistyو dan Yanti (2024), keberadaan bakteri pengurai dan jumlah substrat bahan organik berperan penting dalam produksi biogas. Keberadaan bakteri pengurai dan jumlah substrat yang tidak mencukupi dapat memengaruhi laju produksi biogas yang dapat menurun atau bersifat fluktuatif. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi biogas yaitu dengan penambahan bahan organik seperti ampas tahu dan onggok tapioka.

Ampas tahu merupakan hasil samping dari industri tahu yang memiliki nilai jual rendah dan pemanfaatannya yang masih kurang. Kandungan bahan organik yang ada pada ampas tahu seperti protein 34,9%, karbohidrat 34,8% (Yulianto dkk., 2020), lemak 0,62% (Sinaga dkk., 2022), hemiselulosa sebesar 34,86% dan selulosa sebesar 38,60% (Oktaria, 2023) dapat dijadikan tambahan bahan organik dalam produksi biogas. Menurut penelitian Suryani dan Widyassari (2022), ampas tahu sebagai *co-substrat* pada *slurry* kotoran sapi memberikan dampak baik yaitu menghasilkan pencernaan protein rendah, yang mengindikasikan kemampuan mikroorganisme dalam mencerna atau memanfaatkan nutrisi dalam senyawa organik.

Selain ampas tahu, onggok tapioka juga masih mengandung bahan organik yang cukup tinggi seperti protein sebesar 8,11%, lemak sebesar 1,29%, dan karbohidrat sebesar 76,06% (Keryanti dkk., 2022). Onggok juga mengandung hemiselulosa dan selulosa yang tinggi yang masing-masing sebesar 80% dan 20-50% (Pambudi, 2023). Berdasarkan penelitian Hasanudin dan Haryanto (2022), penambahan

onggok pada pengolahan air limbah tapioka berpengaruh terhadap perubahan nilai pH, *total volatile acid* (TVA), COD (*Chemical Oxygen Demand*), produksi biogas, dan kandungan CH₄ dalam biogas. Penambahan onggok dapat meningkatkan beban degradasi dalam limbah karena onggok merupakan bahan yang kompleks.

Proses pembuatan biogas juga dibutuhkan perbandingan antara konsentrasi bahan dan waktu tinggal fermentasi agar biogas yang dihasilkan lebih optimal. Menurut Sensih dan Prayitno (2020), pengaruh variasi konsentrasi bahan padatan pada pembuatan biogas sangat signifikan dan dapat mempengaruhi efisiensi serta volume biogas yang dihasilkan, semakin tinggi konsentrasi awal substrat maka semakin tinggi kualitas dan kuantitas biogas yang dihasilkan. Apriandi dkk. (2023), menyatakan bahwa pemberian waktu tinggal pada proses perendaman merupakan salah satu faktor yang menentukan lamanya proses dekomposisi untuk memastikan sudah terdegradasi secara sempurna. Namun, nilai optimal waktu tinggal yang dilakukan pada proses perendaman bervariasi tergantung pada jenis bahan organik dan kondisi fermentasi yang digunakan. Berdasarkan uraian di atas, maka kerangka pemikiran dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran penelitian
Sumber: Modifikasi dari Penelitian Nurjanah, 2022

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Tahu

Industri tahu merupakan salah satu subsektor industri pengolahan pangan yang memiliki peranan penting dalam memenuhi kebutuhan protein nabati di Indonesia (Pambudi dkk., 2021). Tahu didapat dari proses ekstraksi protein kedelai yang telah digumpalkan dengan asam cuka, asam laktat, garam organik (CaCl_2) atau bahan penggumpal lainnya (Haloho dan Kartiaty, 2020). Masyarakat biasanya mengonsumsi tahu sebagai lauk atau makanan ringan seperti tahu isi, tahu goreng, dan sebagainya (Pambudi dkk., 2021). Tahu memiliki kandungan protein yang tinggi, rendah kandungan lemak jenuh, bebas kolesterol, mineral, vitamin, dan bebas dari secawa beracun. Hal ini, menjadikan tahu banyak digunakan sebagai makanan diet (Haloho dan Kartiaty, 2020).

Secara umum, proses pembuatan tahu diawali dengan perendaman kacang kedelai yang bertujuan untuk melunakkan struktur selulernya, sehingga memudahkan saat proses penggilingan dan ekstraksi. Perendaman juga bertujuan agar mempermudah pengelupasan kulit kacang. Setelah itu, kacang kedelai dicuci bersih, dan digiling dengan air panas berkisar 80°C . Selanjutnya, bubur kedelai disaring dan filtratnya direbus pada suhu $100\text{-}110^\circ\text{C}$ selama 30 menit. Bubur kedelai yang sudah disaring kemudian diberi bahan penggumpal. Terakhir, cetak atau pres tahu yang sudah diberi bahan pengental agar tahu terbentuk dengan sempurna (Haloho dan Kartiaty, 2020).

2.1.1 Air Limbah Tahu

Air limbah tahu merupakan air sisa dari produksi tahu yang dihasilkan dari proses perendaman dan pencucian kedelai, pencucian alat produksi, penyaringan, dan

pengepresan. Produksi air limbah tahu oleh industri tahu berkisar 15-20 l/kg bahan baku kedelai yang digunakan (Pasaribu dan Setyono, 2020). Karakteristik air limbah tahu yang dihasilkan yaitu berwarna putih keruh hingga kekuningan dengan tekstur yang kental dan keruh, serta memiliki bau yang tidak sedap (Sally dkk., 2019). Warna air limbah tahu yang putih keruh hingga kekuningan berasal dari pembuangan air rendaman dan pengelupasan kulit kedelai yang masih banyak mengandung pati, dan dari air bekas pencucian peralatan proses produksi, penyaringan, dan lain-lain. Bau yang tidak sedap dapat berasal dari aktivitas mikroorganisme yang menguraikan zat organik atau dari reaksi kimia yang terjadi dan menghasilkan gas tertentu (Sayow dkk., 2020).

Air limbah tahu memiliki kandungan bahan organik karena berasal dari bahan baku kedelai dengan komposisi protein sebesar 34,9%, 34,8% karbohidrat, dan 18,1% bahan nutrisi lain (Yulianto dkk., 2020). Bahan organik tersebut dapat mencemari lingkungan karena memiliki pH yang cenderung asam, kandungan *total suspended solid* (TSS) sebesar 30 g/kg bahan baku kedelai, *chemical oxygen demand* (COD) 130 g/kg bahan baku kedelai, dan *biochemical oxygen demand* (BOD) 65 g/kg bahan baku kedelai (Pasaribu dan Setyono, 2020). Selain itu, air limbah tahu juga mengandung beberapa jenis gas yang berasal dari dekomposisi bahan organik seperti karbondioksida (CO₂), oksigen (O₂), hidrogen sulfida (H₂S), amonia (NH₃), dan metana (CH₄) (Sayow dkk., 2020). Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 16 Tahun 2019 bahwa baku mutu air pengolahan kedelai (tahu) memiliki karakteristik yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban (kg/ton)
BOD	150	1,5
COD	300	3
TSS	100	1
pH	6-9	-
Kualitas air limbah paling tinggi (m/ton)	10	-

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia (2019).

2.1.2 Ampas Tahu

Produk samping dari proses produksi tahu berupa limbah padat tahu yang berupa ampas. Ampas tahu merupakan sisa-sisa padatan protein kedelai yang sudah terakogulasi dan terpisah membentuk tahu. Ampas tahu yang dihasilkan oleh industri tahu umumnya sekitar 40% dari total kapasitas produksi (Sunartaty dan Nurman, 2021). Ampas tahu diperoleh dari proses penyaringan dan penggumpalan (Murrinie dkk., 2022). Selama proses pembuatan tahu, tidak semua kandungan dapat terekstrak. Hal ini yang menjadikan ampas tahu masih memiliki kandungan karbohidrat dan protein yang relatif tinggi (Broto dkk., 2021).

Karakteristik ampas tahu yaitu memiliki warna putih keabu-abuan atau kekuningan, berbentuk agak padat dan bau seperti kacang kedelai sedikit asam yang disebabkan oleh kandungan protein dan asam amino yang tinggi. Ampas tahu mempunyai kadar protein yang cukup tinggi yaitu sebesar 34,9% (Yulianto dkk., 2020). Terdapat juga kandungan kimia lain pada tiap 100 gramnya yaitu kalori sebesar 414 kal, lemak 18,3 gram, karbohidrat 41,3 gram, kalsium 19 mg, fosfor 29 mg, zat besi 4 mg, dan Vitamin B1 0,2 mg (Sina dkk., 2021). Selain itu, ampas tahu juga mengandung 34,86% hemiselulosa, 38,60 % selulosa, 5,64% lignin, dan 3,76% abu (basis kering) (Oktaria, 2023).

2.2 Limbah Padat Tapioka

Limbah padat yang dihasilkan dari industri tapioka berupa kulit singkong dan ongkok atau ampas (Indrianeu dan Singkawijaya, 2019). Limbah tersebut didapatkan dari sisa proses pengupasan, dan pemerasan singkong (ekstraksi) untuk mendapatkan pati singkong. Ekstraksi ubi kayu dapat menghasilkan 22% tapioka dan sekitar 54,5% berupa ongkok (Wicaksono dan Wijayanti, 2022). Ongkok memiliki karakteristik fisik yang beragam, mulai dari bentuk butiran kasar hingga serat-serat panjang, serta warna yang umumnya putih keabu-abuan atau kekuningan dengan kandungan air 80%, dan bau yang sedikit asam (Ni'mah, 2023).

Onggok yang dihasilkan dari proses pengolahan tepung tapioka yaitu sebesar 16% dengan kandungan energi metabolis 2.783 kkal/kg, protein kasar 2,90%, pati 40,80-45,50%, dan serat kasar 14,08-23,93% (Edi dan Sjoftan, 2021). Onggok mengandung karbohidrat dalam bentuk pati sebesar 76,06% dengan kadar amilosa berkisar 15,84% dan amilopektin berkisar 60,12% (Keryanti dkk., 2022), sedangkan seratnya masih mengandung selulosa dan hemiselulosa. Kadar air onggok basah berkisar antara 81-85% (Nurjanah, 2022). Pemanfaatan onggok yang biasanya dilakukan diantaranya digunakan sebagai pakan ternak, bahan campuran pembuatan saos, sirup glukosa, dan obat nyamuk bakar. Kandungan onggok akan bervariasi sesuai dengan jenis, mutu dan lokasi ubi kayu, serta teknologi penanganan yang digunakan.

2.3 Parameter Analisis Pengujian

2.3.1 Pengujian pH

Derajat keasaman atau pH adalah parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kadar keasaman atau kebasahan dengan mengukur konsentrasi ion hidrogen yang ada pada suatu bahan (Pramata dkk., 2022). Pengujian pH menjadi salah satu parameter penting dalam proses pembuatan biogas. Hal ini dikarenakan aktivitas enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme sangat dipengaruhi oleh nilai pH (Febriansyah dkk., 2023). Nilai pH yang diperlukan oleh bakteri fermentasi berkisar pada rentang 4,0-8,5, sedangkan untuk pertumbuhan bakteri metanogen berkisar pada rentang 6,5-7,2 (Mamanua dkk., 2023). Perubahan nilai pH dapat terjadi selama proses pembentukan karena dipengaruhi oleh proses fisik, kimia, dan biologi akibat adanya aktivitas mikroorganisme (Sulistyo dan Yanti, 2024).

2.3.2 Pengujian *Total Volatile Acid* (TVA)

Total Volatile Acid (TVA) merupakan salah satu parameter dari proses produksi biogas yang menggambarkan bahan organik terlarut yang mudah terurai (Warsito dan Miftahurrahmah, 2025). Parameter TVA menggambarkan asam – asam organik yang terbentuk selama proses pembentukan biogas. Tahapan proses pembentukan biogas terdiri dari 4 tahapan yaitu tahap hidrolisis, tahap

asidogenesis, tahap asetogenesis, dan tahap metanogenesis (Anggari dan Prayitno, 2020). Asam yang terbentuk pada reaksi asidogenesis, kemudian dikonversi menjadi asam butirat, asam asetat, asam propionat, karbon dioksida, hidrogen, asam laktat, dan alkohol. Tahap berikutnya asam butirat, propionat dan alkohol akan dikonversi menjadi asam asetat. Asam asetat yang diproduksi mikroorganisme pada tahap asetogenesis selanjutnya akan berinteraksi dengan bakteri metanogen untuk menghasilkan gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) (Rezeki dkk., 2021).

2.3.3 Pengujian *Total Solid* (TS)

Total Solid (TS) atau padatan total merupakan jumlah seluruh zat padat terlarut, koloid, dan tersuspensi yang bersifat organik atau anorganik baik larut maupun tidak larut. Nilai TS menggambarkan laju pembusukan atau penghancuran bahan padatan yang terdapat pada limbah. Nilai TS dipengaruhi oleh lamanya proses fermentasi bahan organik. Analisis TS dilakukan dengan memasukkan sampel ke dalam cawan porselen, kemudian dipanaskan di dalam oven selama 24 jam pada suhu $103\text{-}105^\circ\text{C}$, kemudian cawan tersebut ditimbang. Total padatan dapat ditentukan dengan menghitung perbedaan berat sampel sebelum dan sesudah dipanaskan. Pengukuran *total solid* (TS) didasarkan pada tahap pengeringan dengan suhu diatas titik uap air yaitu 100°C (Anwar dkk., 2021).

2.3.4 Pengujian *Total Suspended Solid* (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan jumlah total padatan yang tersuspensi atau mengambang dalam air limbah yang tertahan pada filter setelah sampel air limbah disaring. Zat padat tersuspensi merupakan tempat berlangsungnya reaksi – reaksi kimia yang heterogen dan berfungsi sebagai bahan pembentuk endapan yang dapat menghalangi kemampuan produksi zat organik di perairan. Hal ini dikarenakan zat padat tersuspensi menghalangi penetrasi cahaya matahari, sehingga proses fotosintesis tidak berlangsung secara optimal (Tarigan dan Edward, 2023). Nilai TSS dapat memberikan informasi terkait tingkat kekeruhan pada bahan organik. Tingkat kekeruhan pada limbah dipengaruhi oleh aktivitas mikroba (Mare dkk., 2022). Analisis TSS diawali dengan memasukkan sampel

sebanyak 50 ml ke dalam tabung *centrifuge* untuk di *centrifuge* selama 15 menit dengan kecepatan 3000 rpm. Endapan yang terbentuk dimasukkan ke dalam cawan porselen dan dioven selama 2 jam pada suhu 105°C.

2.3.5 Pengujian *Soluble Chemical Oxygen Demand* (S-COD)

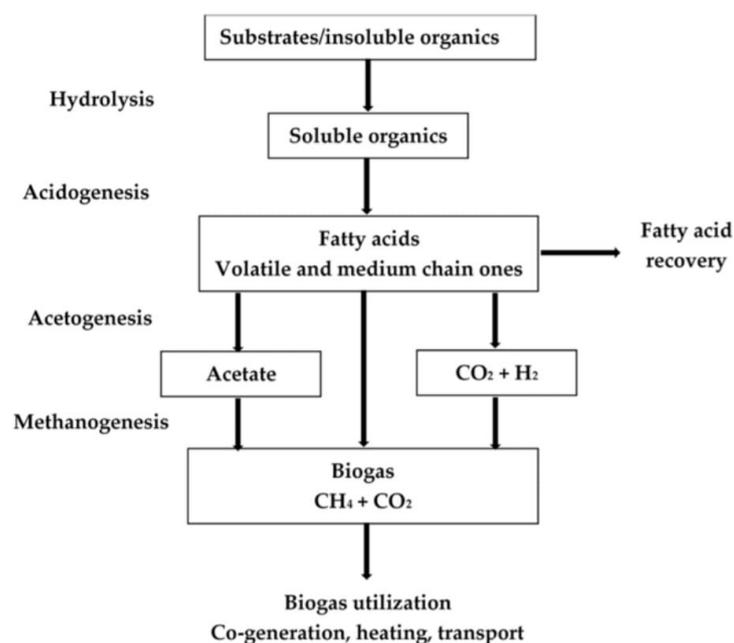
Soluble chemical oxygen demand (S-COD) merupakan jumlah kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi senyawa organik yang terlarut pada sampel secara kimiawi. Oksigen tersebut dibutuhkan untuk mengurai zat organik yang terlarut menjadi karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O) dengan menggunakan oksidator kuat dalam kondisi asam dan suhu tinggi (Zhuo *et al.*, 2020). Degradasi atau penguraian S-COD dipengaruhi oleh kecepatan pembentukan asam – asam organik atau nilai TVA, dimana laju nilai TVA sejalan dengan nilai S-COD (Mellyanawaty dkk., 2019). Peningkatan nilai S-COD sejalan dengan laju peningkatan penambahan konsentrasi bahan organik yang ada (Zhuo *et al.*, 2020).

2.4 Pembentukan Biogas

Biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif dan terbarukan, yang sedang dikembangkan. Biogas bersifat mudah terbakar (*flammable*) yang terbentuk dari proses degradasi bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam anaerobik (kedap udara) (Sally dkk., 2019). Produksi biogas dapat menggunakan semua bahan organik yang memiliki kandungan senyawa karbohidrat, protein, dan lemak. Bahan-bahan organik tersebut dapat berasal dari berbagai sumber seperti sampah, kotoran hewan, limbah rumah tangga, limbah pertanian, limbah cair tahu, dan lainnya. Penggunaan bahan organik yang berbeda akan menghasilkan produksi dan kandungan biogas yang berbeda (Kurniati dkk., 2021).

Biogas umumnya terdiri dari gas metana (CH₄) berkisar 55-75% (Shitophyta dkk., 2022) dan 27-45% karbondioksida (CO₂) sedangkan komponen lain dengan jumlah kecil yaitu 0,1% oksigen (O₂), 0,1% karbon monoksida (CO), 1% hidrogen, dan 3-5% nitrogen (N₂), dan sedikit hidrogen sulfida (H₂S). Gas metana sebagai komponen utama biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi berkisar 4800-6.700 Kkal/m³ (Rajagukguk, 2020). Nilai kalor yang cukup tinggi

memungkinkan biogas dapat dijadikan sebagai memasak, penerangan, dan sebagainya. Perbandingan biogas dengan sumber energi lain yaitu 1 m³ biogas setara dengan LPG 0,46 kg; 0,62 L minyak; 0,52 L minyak solar; 0,80 L minyak bensin; 1,50 m³ gas kota; dan 3,50 kg kayu bakar. Biogas memiliki karakteristik yaitu tidak memiliki bau dan warna (Kurniati dkk., 2021). Proses degradasi bahan organik oleh mikroorganisme terdiri dari empat tahap yaitu tahap hidrolisis, tahap asidogenesis, tahap asetogenesis, dan tahap metanogenesis (Anggari dan Prayitno, 2020). Skema pembentukan biogas dapat disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema proses pembentukan biogas
Sumber: Beschkov dan Angelov, 2025.

2.4.1 Tahap Hidrolisis

Menurut Anggari dan Prayitno (2020), tahap hidrolisis merupakan tahap awalan dari proses degradasi bahan organik, dimana pada tahap ini bahan organik kompleks akan dicerna menjadi bagian – bagian kecil yang mudah larut (*soluble monomers*). Protein yang terkandung nantinya akan dikonversi menjadi asam amino, lemak menjadi asam lemak, gliserol menjadi asam gliserol, lalu karbohidrat kompleks menjadi polisakarida, selulosa, lignin, glukosa, dan serat. Proses hidrolisis dilakukan oleh enzim yang dihasilkan mikroorganisme (bakteri) yang nantinya bekerja sebagai katalis untuk mempercepat reaksi hidrolisis.

2.4.2 Tahap Asidogenesis

Tahap selanjutnya yaitu tahap asidogenesis. Bakteri asidogenik (pembentuk asam) yang terbentuk akan memproses hasil dari tahap hidrolisis yaitu senyawa rantai pendek (*volatile acids*) menjadi asam asetat, asam propionat dan asam butirat. Tahap asidogenesis juga membentuk karbon dioksida, hidrogen, asam laktat, dan alkohol (Wardana dkk., 2021). Keberhasilan bakteri pada tahap asidogenesis sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, temperatur atau suhu, dan pH (Anggari dan Prayitno, 2020).

2.4.3 Tahap Asetogenesis

Menurut Anggari dan Prayitno (2020) tahap asetogenesis merupakan tahap dimana karbohidrat akan difermentasikan oleh bakteri asetogenik yang menghasilkan asetat dan hasil proses metabolis lainnya. Hasil metabolis yang didapatkan berupa kombinasi dari asetat, CO₂, dan H₂O. Asam lemak berantai panjang akan dihidrolisis dari lipids, kemudian dioksidasi menjadi asetat atau propionat dan hidrogen kedalam bentuk gas.

2.4.4 Tahap Metanogenesis

Tahap terakhir dari proses degradasi yaitu tahap metanogenesis. Tahap metanogenesis merupakan tahap dimana bakteri metanogen mengubah senyawa intermediat hasil degradasi bahan organik seperti asetat, hidrogen, dan karbon dioksida menjadi gas metana (CH₄) (Griapon, 2022). Tahap ini secara umum terjadi melalui dua jalur utama yaitu jalur asetoklastik yang mengkonversi asetat (CH₃COOH) menjadi gas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂), serta jalur hidrogenotrofik yang menggabungkan hidrogen (H₂) dengan karbon dioksida (CO₂) untuk membentuk gas metana (CH₄) dan air (H₂O).

III. METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari – April 2025 di Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan penyiapan sampel yang digunakan adalah toples, timbangan, gelas ukur, pengaduk, dan botol sampel. Peralatan analisa yang digunakan yaitu *beaker glass*, labu ukur, lemari asam, tabung COD, rak tabung reaksi, pipet volumetrik, *rubber bulb*, batang pengaduk, *pH Meter Hanna Instruments*, erlenmeyer, buret, statif dan klem, corong kaca, gelas ukur, tabung *centrifuge*, *centrifuge*, cawan porselen, cawan petri, timbangan digital, penjepit, desikator, *oven*, *furnace*, *hot plate magnetic stirrer*, *COD reactor DRB 200*, *HACH spektrofotometer DR4000*, *multiparameter photometer*, *vortex*, kulkas, kertas label, tisu, kertas saring dan peralatan keselamatan laboratorium.

Bahan-bahan yang digunakan adalah air limbah tahu segar, ampas tahu, dan onggok tapioka. Selain itu, dibutuhkan bahan-bahan kimia penunjang penelitian yaitu asam sulfat (H_2SO_4), aquades, NaOH 0,1 N, H_2SO_4 0,1 N, Hanna Hi 93754C-25 *Reagen COD*, dan indikator pp.

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif. Penelitian ini menggunakan 2 perlakuan yang digunakan yaitu konsentrasi campuran ampas

tahu dan onggok pada air limbah tahu dan waktu tinggal. Air limbah tahu yang digunakan yaitu sebanyak 1000 ml. Konsentrasi campuran ampas tahu dan onggok yang digunakan adalah 1:1, kemudian perlakuan perbedaan konsentrasi campuran ampas tahu dan onggok dihitung berdasarkan jumlah total volume air limbah tahu yang digunakan. Konsentrasi bahan campuran ampas tahu dan onggok yang digunakan sebesar 0% (K1), 1% (K2), 3% (K3), dan 5% (K4). Waktu tunda yang digunakan adalah 0 hari (T1), 1 hari (T2), 2 hari (T3), dan 3 hari (T4). Percobaan dilakukan dengan 2 kali pengulangan. Perlakuan terhadap masing-masing sampel limbah yang disajikan pada pada Tabel 2.

Tabel 2. Perlakuan Komposisi Air Limbah Tahu dengan Campuran Ampas Tahu dan Onggok serta Waktu Tinggal

Waktu Tinggal	Perlakuan Ampas Tahu dan Onggok (b/v)				Ulangan		
	0%	1%	3%	5%			
0 hari	0 gram ampas tahu + 0 gram onggok + 1000 ml air limbah tahu	5 gram ampas tahu + 5 gram onggok + 990 ml air limbah tahu	250 gram ampas tahu + 250 gram onggok + 4500 ml air limbah tahu	375 gram ampas tahu + 375 gram onggok + 4250 ml air limbah tahu	1		
	1 hari	0 gram ampas tahu + 0 gram onggok + 1000 ml air limbah tahu	5 gram ampas tahu + 5 gram onggok + 990 ml air limbah tahu	250 gram ampas tahu + 250 gram onggok + 4500 ml air limbah tahu		375 gram ampas tahu + 375 gram onggok + 4250 ml air limbah tahu	
		2 hari	0 gram ampas tahu + 0 gram onggok + 1000 ml air limbah tahu	5 gram ampas tahu + 5 gram onggok + 990 ml air limbah tahu		15 gram ampas tahu + 15 gram onggok + 970 ml air limbah tahu	25 gram ampas tahu + 25 gram onggok + 950 ml air limbah tahu
			3 hari	0 gram ampas tahu + 0 gram onggok + 1000 ml air limbah tahu		5 gram ampas tahu + 5 gram onggok + 990 ml air limbah tahu	250 gram ampas tahu + 250 gram onggok + 970 ml air limbah tahu
0 hari				0 gram ampas tahu + 0 gram onggok + 1000 ml air limbah tahu		5 gram ampas tahu + 5 gram onggok + 990 ml air limbah tahu	250 gram ampas tahu + 250 gram onggok + 970 ml air limbah tahu

Waktu Tinggal	Perlakuan Ampas Tahu dan Onggok (b/v)				Ulangan		
	0%	1%	3%	5%			
0 hari	limbah tahu	tahu	tahu	tahu			
1 hari	0 gram ampas tahu + 0 gram onggok + 1000 ml air limbah tahu	5 gram ampas tahu + 5 gram onggok + 990 ml air limbah tahu	250 gram ampas tahu + 250 gram onggok + 970 ml air limbah tahu	25 gram ampas tahu + 25 gram onggok + 90 ml air limbah tahu	2		
	2 hari	0 gram ampas tahu + 0 gram onggok + 1000 ml air limbah tahu	5 gram ampas tahu + 5 gram onggok + 990 ml air limbah tahu	250 gram ampas tahu + 250 gram onggok + 970 ml air limbah tahu		25 gram ampas tahu + 25 gram onggok + 90 ml air limbah tahu	
		3 hari	0 gram ampas tahu + 0 gram onggok + 1000 ml air limbah tahu	5 gram ampas tahu + 5 gram onggok + 990 ml air limbah tahu		250 gram ampas tahu + 250 gram onggok + 970 ml air limbah tahu	25 gram ampas tahu + 25 gram onggok + 950 ml air limbah tahu

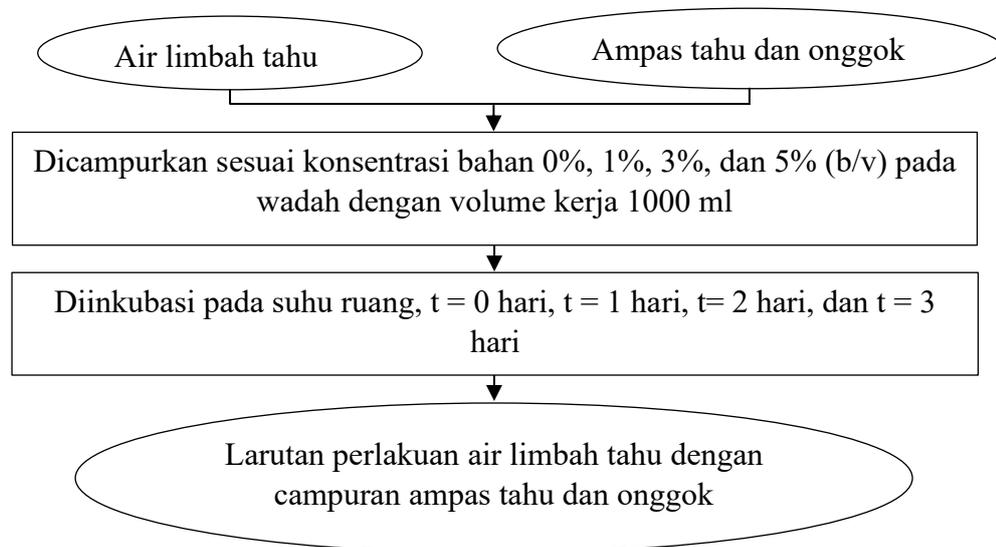
Variabel yang diamati berdasarkan karakterisasi yaitu pengamatan pH metode potensiometri, *total volatile acid* (TVA) metode titrasi, *total solid* (TS), dan *total suspended solid* (TSS) metode gravimetri, dan *soluble chemical oxygen demand* (S-COD) metode refluks tertutup.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Perlakuan Awal Ampas Tahu dan Onggok

Penelitian ini menggunakan sampel air limbah tahu yang kemudian dilakukan penambahan campuran ampas tahu dan onggok ke dalamnya. Konsentrasi campuran ampas tahu dan onggok pada air limbah tahu yang digunakan yaitu 0% (b/v) (K1), 1% (b/v) (K2), 3% (b/v) (K3), dan 5% (b/v) (K4) dengan volume total adalah 1000 ml. Sampel diaduk sebanyak 2 kali dalam sehari yaitu pagi dan sore hari dengan waktu tinggal 0 hari, 1 hari, 2 hari dan 3 hari. Setelah itu, dilakukan pengambilan sampel untuk dilakukan analisa terhadap berbagai perlakuan awal.

Perlakuan awal pada campuran ampas tahu dan onggok disajikan pada Gambar 3. berikut.



Gambar 3. Diagram alir *pre-treatment* ampas tahu dan onggok
Sumber: Modifikasi Penelitian Nurjanah, 2022

3.5 Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan adalah pengukuran nilai kandungan pH, *total volatile acid* (TVA), *total solid* (TS), *total suspended solid* (TSS), dan *soluble chemical oxygen demand* (S-COD) yang dihasilkan selama perendaman.

3.5.1 Pengukuran pH Metode Potensiometri

Pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan suatu sampel limbah. Analisa pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH *Meter Hanna Instruments*. Sampel air limbah segar dengan campuran ampas tahu dan onggok yang telah dihomogenkan dimasukkan ke dalam *beaker glass* 100 mL. Proses pengukuran pH dilakukan dengan mencelupkan elektroda pH kedalam sampel. Mencatat angka yang muncul pada layar hingga pH konstan (SNI 06-6989.11-2004).

3.5.2 *Total Volatile Acid (TVA) Metode Titrasi*

Analisis *total volatile acid* (TVA) dilakukan untuk mengetahui jumlah total padatan yang menguap pada bahan. Proses analisa diawali dengan memasukan 50 mL sampel ke dalam erlenmeyer 250 mL. Selanjutnya, menambahkan H₂SO₄ 0,1 N untuk mengatur pH sampel menjadi 4, dan sampel dipanaskan sampai mendidih selama ± 3 menit menggunakan *hot plate magnetic stirrer Fisher Scientific*. Setelah dipanaskan sampel didinginkan pada suhu ruang. Menambahkan 5 tetes indikator pp dan homogenkan. Selanjutnya, titrasi sampel menggunakan NaOH 0,1 N sampai berwarna merah muda seulas. Catat volume NaOH yang digunakan. Menghitung TVA dengan menggunakan rumus:

$$\text{TVA} = \frac{\text{Volume NaOH } 0,1 \text{ N} \times 0,1 \times 60}{50} \times 1000$$

3.5.3 *Total Solid (TS) Metode Gravimetri*

Analisis *total solid* (TS) adalah pengukuran jumlah padatan yang terdapat pada air limbah baik yang larut atau tidak larut. Analisis TS sampel dilakukan dengan memanaskan dan menimbang cawan kosong. Menuangkan sampel kedalam cawan dan timbang dan panaskan menggunakan *oven memmert* dengan suhu 103°C - 105°C selama 24 jam. Setelah proses pengeringan, cawan didinginkan di dalam desikator selama 15 menit, lalu menimbang cawan berisi sampel. Setelah didapatkan bobot tetap dilakukan perhitungan TS dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{TS} = \frac{\text{Berat cawan setelah di oven (g)} - \text{Berat cawan kosong (g)}}{\text{Berat sampel (mL)}} \times 100\%$$

(SNI 06-6989.26-2005).

3.5.4 *Total Suspended Solid (TSS) Metode Gravimetri*

Analisis *total suspended solid* (TSS) dilakukan untuk mengetahui jumlah total padatan yang tersuspensi atau mengambang dalam air limbah yang tertahan pada filter setelah sampel air limbah disaring. Analisis TSS diawali dengan

memasukkan cawan petri kosong dan kertas saring ke dalam oven selama 1 jam pada suhu 105°C, kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit yang telah diketahui berat keringnya. Selanjutnya, memasukkan sampel sebanyak 50 ml ke dalam tabung *centrifuge* untuk di *centrifuge* selama 15 menit dengan kecepatan 3000 rpm. Endapan yang terbentuk kemudian disaring dengan kertas saring dan dimasukkan ke dalam cawan petri. Cawan yang telah berisi endapan sampel tersebut dioven kembali selama 2 jam pada suhu 105°C. Setelah keluar dari oven, cawan yang berisi endapan sampel didinginkan dalam desikator selama 15 menit lalu ditimbang. Setelah didapatkan bobot tetap dilakukan perhitungan TSS dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{TSS} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume sampel (mL)}}$$

Keterangan:

A = Berat cawan + sampel setelah dioven (mg)

B = Berat cawan kering setelah dioven (mg)

(SNI 06-6989.3-2019).

3.5.5 Soluble Chemical Oxygen Demand (S-COD)

Pengukuran *soluble chemical oxygen demand* (S-COD) dilakukan untuk mengukur jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik padatan dalam larutan (*soluble*) secara kimiawi. Proses pengukuran diawali dengan memasukan 50 mL sampel ke dalam tabung *centrifuge*. Proses sentrifugasi dilakukan dengan kecepatan 3000 rpm selama 15 menit dengan tujuan untuk memisahkan padatan terlarut yang terdapat di dalam larutan sampel. Larutan yang telah terpisah selanjutnya diambil sebanyak 0,2 ml menggunakan pipet volumetrik dan dimasukkan ke dalam vial yang telah berisikan reagen COD, kemudian dipanaskan di reaktor *DRB 200* selama 120 menit pada temperature 150°C. Setelah dipanaskan sampel didinginkan pada suhu ruang dan dilakukan pengukuran COD menggunakan *multiparameter photometer* (SNI 06-6989.2-2004).

3.5.6 Perhitungan Potensi Biogas

Perhitungan potensi biogas merupakan proses untuk memperkirakan jumlah biogas yang dihasilkan dari suatu sumber bahan organik. Asumsi produksi air limbah tahu yang didapat dari 150 kg perhari yaitu sebesar 3065,4 L atau setara dengan 20,44 m³/ton. Asumsi 1 kg COD adalah 0,35 Nm³/kg COD dan COD removal sebesar 80%. Asumsi kadar metana dalam biogas sebesar 60%.

Perhitungan potensi biogas diawali dengan mengkonversi nilai T-COD ke nilai metana (CH₄), kemudian mengkonversi nilai gas metana (CH₄) ke biogas.

Perhitungan dapat dilakukan berdasarkan persamaan yang tercantum dalam metodologi AMS-III.H (UNFCCC, 2019).

$$\text{Gas Metana (CH}_4\text{)} = Q \times \text{COD} \times \eta \times \text{MCF} \times B_{O,ww} \times UF_{BL}$$

$$\text{Nilai Biogas} = \frac{\text{Gas Metana (CH}_4\text{)}}{\text{Kadar CH}_4 \text{ (60\%)}}$$

Keterangan:

Q = Jumlah air limbah (m³/ton)

COD = Nilai COD (kg COD/m³)

η = Efisiensi degradasi COD (*removal efficiency*)

MCF = *Methane correction factor* yaitu efesiensi pembentukan CH₄ dalam kondisi anaerob (0,8)

B_{O,ww} = Potensi maksimum produksi CH₄ dari COD (Nm³/kg COD)

UF_{BL} = Faktor ketidakpastian (0,89)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Karakteristik terbaik meliputi nilai pH 3,90, *total volatile acid* (TVA) 3.576 mg/L, *total solid* (TS) 1,73% , *total suspended solid* (TSS) 31,65%, dan *soluble oxygen demand* (S-COD) sebesar 31.464,8 mg/L yang diperoleh dari penambahan campuran ampas tahu dan onggok 5% pada waktu tinggal 3 hari.
2. Potensi produksi biogas pada industri tahu yang menghasilkan air limbah tahu 3065,4 L dari pengolahan bahan baku kedelai 150 kg/hari atau 20,44 m³/ton kedelai adalah sebesar 296,43 Nm³/ton kedelai dan persentase peningkatan biogas sebesar 238,43% berdasarkan perhitungan nilai S-COD terbaik pada penambahan campuran ampas tahu dan onggok 5% dengan waktu tinggal selama 3 hari.

5.2 Saran

Sebagai upaya dalam meningkatkan produksi biogas, penambahan campuran ampas tahu dan onggok sebanyak 5% perlu dipertimbangkan karena berdasarkan asumsi yang dilakukan memberikan karakteristik yang baik untuk menunjang produksi biogas. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang kelayakan apakah efisien dan ekonomis jika diterapkan di skala industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, A., Triwiyono, B., Marjono, A., dan Yulianto, A. 2022. Kajian Potensi, Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Onggok untuk Industri Pangan. *Jurnal Pendidikan dan Konseling (JPDK)*. 4(4) : 5807-5815.
- Adisasmito S., Rasrendra C. B., Chandra H., dan Gunartono M. A. 2018. *Anaerobic Reactor for Indonesian Tofu Wastewater Treatment. International Journal of Engineering dan Technology*. 7 (3) : 30-32.
- Aguzoen, A. A. 2024. Peningkatan Potensi Produksi Biogas Melalui Pre-Treatment Perendaman Tandan Kosong Sawit dalam Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit. *Skripsi*. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Universitas Lampung. Lampung. 1-47 p.
- Amalia, R.N., Devy, S.D., Kurniawan, A.S., Hasanah, N., Salsabila, E.D., Ratnawati, D.A.A., Fadil, F.M., Syarif, N.A., dan Aturdin, G.A. 2022. Potensi Limbah Cair Tahu sebagai Pupuk Organik Cair di RT. 31 Kelurahan Lempake Kota Samarinda. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Mulawarman*. 1 (1) : 37.
- Amanda, R.H., Indrawati, D., dan Ratnaningsih. 2020. Pengolahan Kotoran Sapi dan Limbah Sayuran Menjadi Energi Biogas Di Desa Cibodas, Kecamatan Pasir Jambu, Kabupaten Bandung. *Kocenin Serial Konferensi*. (1) : 3-12.
- Amrin, M. Z. Z., Rosalina, R., dan Supriadi, E. 2025. Pengaruh Sistem Sirkulasi terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dan Limbah Cair Tahu. *Student Research Journal*. 3(1) : 161-175.
- Anggari, V. S., dan Prayitno. 2020. Studi Literatur Limbah Tapioka untuk Produksi Biogas: Metode Pengolahan dan Peranan Starter Substrat. *DISTILAT : Jurnal Teknologi Separasi*. 6(2) : 176-187.
- Anwar, H., Widjaja, T., dan Prajitno, D. H. 2021. Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*. 4(1) : 1-10.

- Apriandi, N., Suwarti, Widyaningsih, W. P., dan Raharjanti, R. 2023. Hydraulic Retention Time dan Pengaruhnya terhadap Kualitas Biogas dari Kotoran Sapi Menggunakan Digester Anaerobik Tipe Batch Skala Kecil. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 12(1) : 166-176.
- Ardinata, I. H., Syafrudin, dan Nugraha, W. D. 2016. Pengaruh Konsentrasi Total Padatan pada Produksi Biogas dari Limbah Sekam Padi dengan Metode *Solid State Anaerobic Digestion* (Ss-Ad). *Jurnal Teknik Lingkungan*. 5(4) : 1-11.
- Beschkov, V. N., dan Angelov, I. K. 2025. *Volatile Fatty Acid Production vs. Methane and Hydrogen in Anaerobic Digestion. Fermentation*. 11(4) : 1-172.
- Broto, R. T. D. W., Arifan, F., Supriyo, E., Pudjihastuti, I., Aldi, V., dan Aldo, G. 2021. Pengolahan Limbah Ampas Tahu Menjadi Produk Olahan Pangan (Vegetarian Ampas Tahu) di Desa Sugihmanik. *Jurnal Pengabdian Vokasi*. 2(2) : 136-140.
- Cahyono, Y. H., dan Ratni, N. 2023. Efektifitas Kombinasi Limbah Sayur dan Kotoran Sapi Sebagai Bahan Utama Pembuatan Biogas dalam Digester Anaerob. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*. 2(4) : 719-729.
- Dewi, M. N., Visca, R., dan Mustopa, A. 2018. Pengaruh Penambahan EM (*Effective Microorganism*) Terhadap Produksi Biogas dari Air Limbah Industri Makanan. *Jurnal Teknologi*. 6(1) : 25-38.
- Edi, D. N., dan Sjoifjan, O. 2021. Pengaruh Kombinasi Inokulum dan Waktu Fermentasi Terhadap Kandungan Nutrien Campuran Bungkil Inti Sawit dan Onggok. *Journal of Livestock and Animal Health*. 4(2) : 39-46.
- Ernawati, S., Rimawan, M., Jaeanab, J., Huda, N., dan Kusumayadi, F. 2022. Pemanfaatan Ampas Tahu Menjadi Snack Kekinian Sebagai Usaha untuk Pemanfaatan Limbah Tahu di Desa Tonggorisa. *Zadama: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 1(1) : 92-96.
- Febriansyah, A., Alfarobi, J., Ridwan, K. A., Salamah, L., Putra, R. A., dan Sari, S. I. A. 2023. Pengaruh Penambahan Limbah Cair Tahu dan Kulit Pisang Terhadap Biogas dari Kotoran Ternak Sebagai Solusi Energi Alternatif Masa Depan. *JPS : Jurnal Penelitian Sains*. 25(2) : 103-108.
- Friatnanto, M. 2020. Peningkatan *Biodegradability* Campuran Onggok pada Limbah Cair *Effluent Anaerobik Land Digester* untuk Meningkatkan Potensi Biogas di Industri Tapioka. *Skripsi*. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Universitas Lampung. Lampung. 1-50 p.

- Griapon, N. C. 2022. Analisis Kegagalan Pembentukan Gas pada Produksi Biogas dengan Penambahan Zat Aditif dalam Proses Pembentukan Biogas Menggunakan Metode Fault. *Jurnal Analisis Keandalan dan Resiko*. 10(1) : 1-5.
- Haloho, J.D., dan Kartinaty, T. 2020. Perbandingan Bahan Baku Kedelai Lokal dengan Kedelai Impor Terhadap Mutu Tahu. *Jurnal TABARO*. 4(1) : 48-55.
- Handayani, L. 2020. Pemanfaatan Limbah Ubi Kayu sebagai Pakan Ternak Bergizi. *In Prosiding Seminar Nasional Hasil Pengabdian*. 3(1) : 185-192.
- Hasanudin, U., dan Haryanto, A. 2022. Peningkatan Produksi Biogas dari Air Limbah Industri Tapioka Menggunakan Onggok. *LPPM*. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung. Lampung. 1-20 p.
- Indrianeu, T., dan Singkawijaya, E. B. 2019. Pemanfaatan Limbah Industri Rumah Tangga Tepung Tapioka untuk Mengurangi Dampak Lingkungan. *Jurnal Geografi Geografi dan Pengajarannya*. 17(2) : 39-50.
- IPCC. 2019. *Guidelines for national greenhouse gas inventories: Volume 5 Waste - Chapter 6 Wastewater Treatment and Discharge*. *Ippc*. 6.1-6.28.
- Irvan, T.B., dan Azka, N. 2020. Pengaruh Laju Pengadukan Terhadap Stabilitas Digester Anaerobik Satu Tahap pada Pembentukan Biogas dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Lab Scale Reaktor Batch. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 9(1): 16–20.
- Keryanti, Permanasari, A. R., Hidayah, R. N., dan Hasanah, R. 2022. Penentuan pH dan Suhu Optimum Isomerisasi Pembuatan Sirup Fruktosa dari Hidrolisat Onggok Menggunakan Katalis Mg/Al. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*. 5(1) : 1-12.
- Khofifah, dan Utami, M. 2022. Analisis kadar *Total Dissolved Solid* (TDS) dan *Total Suspended Solid* (TSS) Pada Limbah Cair dari Industri Gula Tebu. *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research*. 7(1) : 43-49.
- Kurniati, Y., Rahmat, A., Malianto, B. I., Nandayani, D., dan Pratiwi, W. S. W. 2021. Review Analisa Kondisi Optimum dalam Proses Pembuatan Biogas. *Rekayasa*. 14(2) : 272-281.
- Lewar, Y. S., Herawati, dan Kahar, A. 2020. Pengaruh Temperatur Terhadap COD, BOD Dan VFA pada Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dalam Bioreaktor Anaerobik. *Jurnal Chemurgy*. 4(2) : 8-14.
- Mamanua, E., Soputan, J. E. M., dan Sondakh, E. H. B. 2023. Kombinasi Feses Ternak Babi dan Limbah Sayuran untuk Optimalisasi Produksi Biogas. *ZOOTEC*. 43(1) : 94-101.

- Mare, E. M. S., Sarah, M., dan Husin, A. 2022. Analisa Produksi Biogas Terhadap Penambahan Kulit Singkong pada Variasi Campuran Limbah Cair Domestik dan *Aquadest*. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 11(2) : 110-115.
- Maulani, L., Ramdhayani, W. S., Yulistiani, F., dan Permanasari, A. R. 2018. Pengaruh pH pada Pemanfaatan Limbah Padat Tepung Tapioka (Onggok) Menjadi Gula Cair Secara Hidrolisis Enzimatis. *In Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*. 9(1) : 155-158.
- Mellyanawaty, M., Chusna, M. F. M. A., dan Nofiyanti, E. 2019. Proses Peruraian Anaerobik *Palm Oil Mill Effluent* dengan Media Zeolit Termodifikasi. *Jurnal Rekayasa Proses*. 13(1) : 16-23.
- Murrinie, E. D., Sridjono, H. H. H., dan Arini, N. 2022. Pemanfaatan Limbah Ampas Tahu Menjadi Kompos pada Industri Tahu di Desa Ploso Kecamatan Jati Kabupaten Kudus. *Muria Jurnal Layanan Masyarakat*. 4(2) : 72-79.
- Ni'mah, S. 2023. Formulasi Bioplastik Berbahan Dasar Limbah Padat-Cair Industri Tapioka sebagai Proyek Berbasis Esd (*Education For Sustainable Development*) dalam Pembelajaran Ipa Kelas VII SMP/MTS. *Disertasi*. Fakultas Tarbiyah. Institut Agama Negeri Islam Kudus. Kudus. 1-93 p.
- Nuengjamnong, C., and Rachdawong, P. 2016. *Performance Analysis of The Combined Plug-Flow Anaerobic Digester (PFAD) and Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) for Treating Swine Wastewater in Thailand*. *Thai Journal of Veterinary Medicine*. 46(3) : 435-442.
- Nurfaizin, S., dan Hartati, I. 2023. Optimasi Selulosa Limbah Kulit Nanas untuk Produksi Biogas Melalui Metode Delignifikasi Mae (Microwave Assisted Extraction) dengan Pelarut Aquades. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*. 8(1) : 51-58.
- Nuritasari, Y. I. 2016. Perancangan Pabrik *High Fructose Syrup* (HFS) dari Tepung Tapioka. *Disertasi*. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Sukoharjo. 135. 1-130 p.
- Nurjanah, S. 2022. Peningkatan *Biodegradability* Campuran Onggok pada Air Limbah Segar Tapioka. *Skripsi*. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Universitas Lampung. Lampung. 1-42 p.
- Oktaria, W. 2023. *Pre-Treatment* Ampas Tahu Menggunakan Ragi Tempe untuk Meningkatkan *Biodegradability* Ampas Tahu. *Skripsi*. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Lampung. Lampung. 1-50 p.
- Pacitra, S., Karyanik, Abdullah, S. H., dan Dewi, E. S. 2024. Pengaruh Variasi Penambahan Volume Limbah Tahu pada Jerami Padi Terhadap Pembentukan Biogas. *Jurnal Protech Biosystems*. 4(1) : 18-27.

- Pambudi, P. 2023. Kombinasi Tepung Daun Singkong dan Onggok yang di Fermentasi dengan Microbacter Alfaafa-11 (Ma-11) Terhadap Kualitas Nutrisi. *Disertasi*. Jurusan Peternakan. Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo. Sukoharjo. 1-25 p.
- Pambudi, Y.S., Sudaryantiningsih, C., dan Geraldita, G. 2021. Analisis Karakteristik Air Limbah Industri Tahu dan Alternatif Proses Pengolahannya Berdasarkan Prinsip-Prinsip Teknologi Tepat Guna. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*. 6(8) : 4180-4192.
- Pangarso, S. S., dan Kusdiyantini, E. 2022. Review Potensi Pemanfaatan Biogas dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit PTPN 5. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*. 6(1) : 18-31.
- Pangestu, W. P., Sadida, H., dan Vitasari, D. 2021. Pengaruh Kadar BOD, COD, pH dan TSS pada Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Media Filter Adsorben Alam dan Elektrokoagulasi. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*. 6(2) : 74-80.
- Pasaribu, C., dan Setyono, Y. T. 2020. Pengaruh Penggunaan Limbah Cair Tahu dan Urea Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kailan (*Brassica oleraceae var. Nova*). *Jurnal Produksi Tanaman*. 8(10) : 899-909.
- Pratama, I. P. Y. P., Wibawa, K. S., dan Suarjaya, I. M. A. D. 2022. Perancangan pH Meter dengan Sensor pH Air Berbasis Arduino. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Komputer*. 3(2) : 1034-1042.
- Prayitno, Rulianah, S., dan Nurmahdi, H. 2020. Pembuatan Biogas dari Limbah Cair Tahu Menggunakan Bakteri Indigeneous. *JTKL: Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*. 4(2) : 90-95.
- Purnamawati, K. Y., Suyasa, I. B., dan Mahardika, I. G. 2015. Penurunan Kadar Rhodamin B dalam Air Limbah dengan Biofiltrasi Sistem Tanaman. *Ecotrophic*. 9(2) : 46-51.
- Putri, D. K. Y., Sudrajat, H., Susanti, A., and Batuthoh, M. W. I. 2022. Utilization of Tofu Dregs in The Making of High-Fiber and Low-Fat Flours as Alternative Functional Food Ingredients. *Jurnal Hasil Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Jember*. 1(1) : 27-35.
- Rajagukguk, K. 2020. Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas Menggunakan Reaktor Biogas Portabel. *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap*. 1(2) : 63-71.
- Rezeki, S., Ivontianti, W. D., dan Khairullah, A. 2021. Optimasi Temperatur pada Produksi Biogas dari Limbah Rumah Makan di Kota Pontianak. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*. 5(1) : 32-38.

- Rhofita, E. I. R. 2022. Optimalisasi Sumber Daya Pertanian Indonesia untuk Mendukung Program Ketahanan Pangan dan Energi Nasional. *Jurnal Ketahanan Nasional*. 28(1) : 82-100.
- Rosita, Hudoyo, A., dan Soelaiman, A. 2019. Analisis Usaha, Nilai Tambah, dan Kesempatan Kerja Agroindustri Tahu di Bandar Lampung. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*. 7(2) : 211-218.
- Sally, S., Budianto, Y. P., Hakim, M. W. K., dan Kiyat, W. E. 2019. Potensi Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas untuk Skala Industri Rumah Tangga di Provinsi Banten. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 13(1) : 43-53.
- Sanjaya A., Saputri, D. R., Damayanti, D., Yuniarti, R., dan Yusupandi, F., 2023. Studi Potensi Asam Lemak Volatil dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Fermentasi Anaerobik. *Jurnal Kelitbangan*. 11(1) : 45-61.
- Sarah, M., dan Husin, A. 2022. Analisis Produksi Biogas Terhadap Penambahan Kulit Singkong pada Variasi Campuran Limbah Cair Domestik dan Aquadest. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 11(2) : 110-115.
- Sari, R. H. 2019. Teknologi Pembuatan Bioetanol dari Onggok (Limbah Padat Industri Tepung Tapioka) dengan Distilasi Fraksinasi. *Disertasi*. Jurusan Teknik Kimia. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. 1-111 p.
- Sato, A. 2024. Pengaruh Perlakuan Hidrotermal dan Penambahan Hidrochar pada Produksi Biogas dari Ampas Tahu. *JER : Journal of Engineering Reaserch*. 4(3) : 41-49.
- Satriananda, Nasrizal, K., dan Salim, S. 2022. Pretreatment Limbah Pengolahan Kopi Untuk Menghasilkan Biogas Pada Proses Anaerobik. *Jurnal Sains dan Teknologi Reaksi*. 20(1) : 1-14.
- Sayow, F., Polii, B. V. J., Tilaar, W., dan Augustine, K. D. 2020. Analisis Kandungan Limbah Industri Tahu dan Tempe Rahayu di Kelurahan Uner Kecamatan Kawangkoan Kabupaten Minahasa. *Agrisosioekonomi*. 16(2) : 245 – 252.
- Sensih, D. G., dan Prayitno. 2020. Limbah Tapioka untuk Produksi Biogas: Alternatif Pengolahan dan Pengaruh Konsentrasi Substrat. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*. 6 (2) : 457-467
- Sheets, J.P., Ge, X, Li, and Y. 2015. *Effect of Limited Air Exposure and Comparative Performance between Thermophilic and Mesophilic Solid-State Anerobic Digestion of Switchgrass*. *Bioresource Technology*. 180 : 296-303.

- Shitophyta, L. M., Kaisupy, S., dan Sari, I. P. 2021. *Utilization of Tofu Liquid Waste Into Biogas : Review. Konversi*. 10(1) : 1-6.
- Shitophyta, L. M., Darmawan, M. H., dan Rusfidiantoni, Y. 2022. Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dengan Biodigester Kontinyu dan Batch. *Journal of Chemical Process Engineering*. 7(2) : 85-90.
- Sihombing, Y. A., Sinaga, M. Z. E., dan Hardiyanti, R. 2020. Peningkatan Kemampuan Peternak dalam Pemanfaatan Ampas Tahu sebagai Pakan Ternak Kambing Melalui Proses Fermentasi *Aspergillus Niger* dan *Rhizopus Oryzae* di Desa Deli Tua Kecamatan Namorambe Kabupaten Deli Serdang. *Engagement: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 4(2) : 438-455.
- Sina, I., Harwanto, U. N., dan Mubarak, Z. R. 2021. Analisis Pengolahan Limbah Padat Tahu Terhadap Alternatif Industri Pangan Sosis (Grade B). *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. 5(1) : 52-60.
- Sinaga, P. V. H., Suanggana, D., dan Haryono, H. D. 2022. Analisis Produksi Biogas sebagai Energi Alternatif pada Kompor Biogas Menggunakan Campuran Kotoran Sapi dan Ampas Tahu. *Jurnal Teknologi Terapan*. 8(1) : 61-69.
- Sjafruddin, R., Agustang, A., dan Pertiwi, N. 2022. Estimasi Limbah Industri Tahu dan Kajian Penerapan Sistem Produksi Bersih. *Jurnal Ilmiah Mandala Education (JIME)*. 8(2) : 1229-1237.
- Sulistyo, S., dan Yanti, Y. 2024. Perbandingan Penambahan Air pada Proses Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi pada Praktikum Pengolahan Limbah Peternakan. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*. 6 (1) : 34-41.
- Sunartaty, R., dan Nurman, S. 2021. Peningkatan Nilai Tambah Limbah Padat Menjadi Tepung Ampas Tahu pada Industri Tahu di Desa Lamteumen Kecamatan Jaya Baru Kota Banda Aceh. *Jurnal Abditani*. 4(1) : 47-50.
- Suryani, P. E., dan Widyassari, A. P. 2022. Jurnal Review: Analisis Modifikasi Komposisi Substrat Limbah Cair Tahu pada Pembuatan Biogas Menggunakan Metode Anaerob. *SIMETRIS*. 16(1) : 1-8.
- Susilowati, S., Puteri, S. A., Farwah, Z. A., Fachri, B. A., dan Mumtazah, Z. 2023. Pra Rancangan Pabrik Biogas dari *Palm Oil Mill Effluent* (Pome) dengan Kapasitas 12.000 Ton/Tahun. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Kimia*. 6(2) : 116-122.
- Tarigan, M. S., dan Edward. 2023. Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi (*Total Suspended Solid*) di Perairan Raha, Sulawesi Tenggara. *Makara Journal of Science*. 7(3) : 109-119.

- Wardana, L. A., Lukman, N., Mukmin., Sahbandi, M., Bakti, M. S., Amalia, D. W. Wulandari, N. P. A., Sarri, D. A., dan Nababan, C. S. 2021. Pemanfaatan Limbah Organik (Kotoran Sapi) Menjadi Biogas dan Pupuk Kompos. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*. 4(1) : 201-207.
- Wardhani, P. K., Amizera, S., dan Prima, F. H. 2021. Produksi Biogas dari Limbah *Black Water* dan Kotoran Ternak Menggunakan Reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB). *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*. 16(1) : 108-113.
- Warsito, D. D., dan Miftahurrahmah, M. 2025. Pemanfaatan Limbah Blotong sebagai Bahan Baku Alternatif Pengganti Spendwash dalam Pembuatan Biogas di PT Energi Agro Nusantara. *Jurnal Redoks: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*. 8(1) : 46-54.
- Wicaksono, R., dan Wijayanti, N. 2022. Pemanfaatan Serat Nanoselulosa dari Limbah Padat Industri Tapioka (Onggok) sebagai Bahan Pengisi Bioplastik. *Indonesian Journal of Food Technology*. 1(1) : 11-23.
- Yulianto, R., Prihanto, R. L., dan Redjeki, S. 2020. Penurunan Kandungan COD dan BOD Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Ozonasi. *ChemPro : Journal of Chemical and Process Engineering* . 1(1) : 9-15.
- Yuliastini, S., Hasanudin, U., dan Suroso, E. 2014. Kajian Seleksi Sumber Mikroorganisme Pembentuk Biogas dari Air Limbah Industri Sagu. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian*. 19(2) : 149-160.
- Zuo, X. Y., Yuan, H., Wachemo, A. C., Wang, X., Zhang, L., Li, J., Wen, H., Wang, J., and Li, X. 2020. *The Relationships among sCOD, VFAs, Microbial Community, and Biogas Production During Anaerobic Digestion of Rice Straw Pretreated with Ammonia*. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 28(1) : 286-292.