

***PRE-TREATMENT* AMPAS TAHU MENGGUNAKAN RAGI TEMPE  
UNTUK MENINGKATKAN *BIODEGRADABILITY* AMPAS TAHU**

**Skripsi**

**Oleh**

**Wanda Oktaria  
1914231028**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## **ABSTRACT**

### **PRE-TREATMENT OF TOFU DREGS USING TEMPE YEAST TO IMPROVE BIODEGRADABILITY OF TOFU DREGS**

**By**

**WANDA OKTARIA**

As an effort to fulfill energy needs in tofu factories, it can be done by adding tofu dregs in tofu liquid biogas as a substrate that will be decomposed into dissolved organic matter in the waste. The level of biodegradation of tofu dregs can be determined by the amount of dissolved organic matter. Increasing organic matter will increase the S-COD value so it is necessary to know the best treatment as a substrate for increasing biogas. The purpose of this study was to determine the increase in biodegradability of tofu dregs during pre-treatment and obtain the best treatment between the concentration of tempe yeast used and the residence time. This study used a descriptive method with two factors, the concentration of tempe yeast 0%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, and 0.5% with a residence time of 0, 24, 48, and 72 hours. The results showed that increasing the biodegradability of tofu dregs with the addition of tempe yeast resulted in an increased S-COD value and TVA value, with an acidic pH condition of 5.06, while there was a decrease in TS value of 9.04% until 48 hours of residence time. The best treatment was 0.5% tempe yeast concentration at 72 hours residence time which resulted in the highest S-COD value of 25,840 mg/L and the highest TVA value of 4,656 mg/L.

**Keywords:** Organic matter, pretreatment, tempeh yeast concentration, residence time, tofu dregs.

## ABSTRAK

### ***PRE-TREATMENT* AMPAS TAHU MENGGUNAKAN RAGI TEMPE UNTUK MENINGKATKAN *BIODEGRADABILITY* AMPAS TAHU**

Oleh

**WANDA OKTARIA**

Sebagai upaya pemenuhan kebutuhan energi pada pabrik tahu dapat dilakukan dengan penambahan ampas tahu dalam biogas limbah cair tahu sebagai substrat yang akan didekomposisi menjadi bahan organik terlarut dalam limbah. Tingkat biodegradasi ampas tahu dapat ditentukan oleh jumlah bahan organik terlarut. Peningkatan bahan organik akan meningkatkan nilai S-COD sehingga perlu diketahui perlakuan terbaik sebagai substrat peningkatan biogas. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui peningkatan biodegradability ampas tahu selama *pre-treatment* dan memperoleh perlakuan terbaik antara konsentrasi ragi tempe yang digunakan dan waktu tinggal. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan dua faktor yaitu konsentrasi ragi tempe 0%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5% dengan waktu tinggal 0, 24, 48, dan 72 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan *biodegradability* ampas tahu dengan penambahan ragi tempe menghasilkan nilai S-COD dan nilai TVA yang meningkat, dengan kondisi pH asam 5,06, sedangkan terjadi penurunan nilai TS yaitu 9,04% sampai waktu tinggal 48 jam. Perlakuan terbaik adalah konsentrasi ragi tempe 0,5% pada waktu tinggal 72 jam yang menghasilkan nilai S-COD tertinggi sebesar 25.840 mg/L dan nilai TVA tertinggi sebesar 4.656 mg/L.

**Kata Kunci:** Bahan organik, perlakuan awal, konsentrasi ragi tempe, waktu tinggal, ampas tahu.

***PRE-TREATMENT* AMPAS TAHU MENGGUNAKAN RAGI TEMPE  
UNTUK MENINGKATKAN *BIODEGRADABILITY* AMPAS TAHU**

Oleh

**WANDA OKTARIA**

**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  
2023**

Judul Skripsi : **PRE-TREATMENT AMPAS TAHU  
MENGUNAKAN RAGI TEMPE UNTUK  
MENINGKATKAN *BIODEGRADABILITY*  
AMPAS TAHU**

Nama Mahasiswa : **Wanda Oktaria**

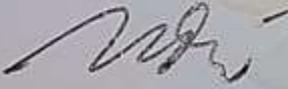
No. Pokok Mahasiswa : **1914231028**

Program Studi : **Teknologi Industri Pertanian**

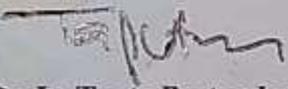
Fakultas : **Pertanian**

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

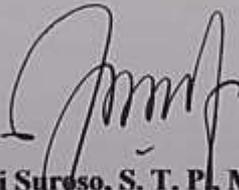


**Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M. T.**  
NIP 19640106 198803 1 002



**Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si.**  
NIP 19680807 199303 1 002

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

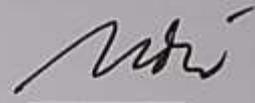


**Dr. Erdi Suroso, S. T. P., M. T. A.**  
NIP 19721006 199803 1 005

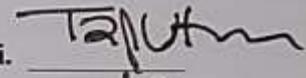
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

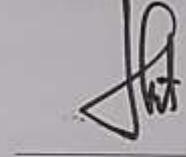
**Ketua** : **Prof. Dr. Ir. Udin hasanudin, M.T.**



**Sekretaris** : **Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si.**



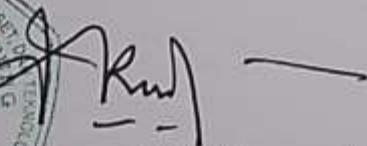
**Penguji  
Bukan Pembimbing** : **Dr. Sri Hidayati, S. T. P., M. P.**



**2. Dekan Fakultas Pertanian**



**Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M. Si.**  
NIP. 19611020 198603 1 002



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 31 Juli 2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wanda Oktaria

NPM : 1914231028

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan penelitian yang telah saya lakukan. Karya ilmiah ini tidak berisi materi yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ilmiah ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 31 Juli 2023

Pembuat Pernyataan,



**Wanda Oktaria**

1914231028

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 20 Oktober 2001. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Saniyo dan Ibu Suhartini. Penulis memiliki satu kakak perempuan bernama Mei Ida Wati dan dua kakak laki-laki bernama Mario Sandi dan Wendi Saputra. Penulis menyelesaikan Pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 01 Gunung Terang pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama Negeri 7 Bandar Lampung pada tahun 2016, dan Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 8 Bandar Lampung pada tahun 2019. Tahun 2019, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Garuntang, Kecamatan Bumi Waras, Bandar Lampung pada bulan Januari-Februari 2022. Penulis melaksanakan Praktek Umum (PU) di CV. Agrindo Suprafood, Desa Kretek Kidul RT 01 Padukuhan Kretek, Jambidan, Kapanewon Banguntapan, kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta dan menyelesaikan laporan PU yang berjudul “Mempelajari Penerapan *Good Manufacturing Practice* (GMP) Di CV. Agrindo Suprafood Yogyakarta” pada bulan Juli-Agustus 2022.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan diantaranya Staf Ahli Kementerian Luar Negeri Unit kegiatan mahasiswa Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas (BEM U) periode 2019/2020, Anggota Bidang Seminar dan Diskusi Unit kegiatan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian (HMJ THP) periode 2020/2021 dan 2021/2022. Selain itu, penulis

aktif menjadi Asisten Dosen mata kuliah Kewirausahaan Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2023, Asisten Dosen mata kuliah Teknologi Manajemen Pengemasan Jurusan Teknologi Hasil Pertanian pada tahun 2023.

## SANWACANA

Alhamdulillah rabbil'aalamiin, segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, taufiq, hidayah serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang berjudul "*Pre-treatment* Ampas Tahu Menggunakan Ragi Tempe Untuk Meningkatkan *Biodegradability* Ampas Tahu". Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada pihak-pihak terkait yang membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini diantaranya adalah:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., selaku ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Bapak Ir. Harun Al-Rasyid, M.T., selaku ketua Program Studi Teknologi Industri Pertanian;
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T., selaku pembimbing satu sekaligus pembimbing akademik (PA) atas bimbingan, arahan, saran, dan motivasi yang diberikan dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi penulis;
5. Bapak Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si., selaku pembimbing dua atas bimbingan, arahan, saran, dan motivasi yang diberikan dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi penulis;
6. Ibu Dr. Sri Hidayati, S. T. P., M. P., selaku pembahas yang telah memberikan evaluasi dan saran terhadap skripsi penulis;
7. Bapak dan Ibu dosen pengajar dan staf administrasi di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung atas bimbingan serta

keikhlasan dalam memberikan ilmunya dan juga arahan selama penulis menjadi mahasiswa;

8. Keluarga besar Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Bapak Joko, Bang Teguh, dan Bang Febri yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dengan memberikan dukungan, semangat, dan juga nasihat;
9. Kedua orang tua, Bapak Saniyo dan Ibu Suhartini serta kakak-kakakku tercinta yang selalu memberikan dukungan, doa, semangat, dan motivasi kepada penulis;
10. Sahabat-sahabatku tercinta Puan, Putri, Karina, Anty, Nadia, Firlya, dan Septi yang selalu memberikan penulis semangat, dukungan, motivasi dan hiburan dikala penat;
11. Rekan seperjuangan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Puspa, Putri, dan Chindy yang telah bekerja sama dari awal penelitian sampai dengan penyusunan skripsi selesai.
12. Seluruh anggota EXO, terutama Baekhyun dan Chanyeol yang selalu memberikan hiburan dan menjadi penyemangat selama proses penyusunan skripsi.
13. Keluarga besar Teknologi Industri Pertanian angkatan 2019 dan semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan semangat kepada penulis.

Penulis berharap semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan amal perbuatan semua pihak diatas. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Aamiin.

Bandar lampung, 31 Juli 2023  
Pembuat Pernyataan

**Wanda Oktaria**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xviii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan .....	4
1.3. Kerangka Pemikiran.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>8</b>
2.1. Tahu .....	8
2.2. <i>Pre-treatment</i> .....	10
2.3. Biogas .....	12
2.4. Ragi Tempe .....	16
2.5. Enzim .....	17
2.5.1. Enzim Selulase.....	18
2.5.2. Enzim Peotese .....	19
2.5.3. Enzim Amilase.....	19
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>21</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	21
3.2. Alat dan Bahan.....	21
3.3. Metode Penelitian .....	22

3.4. Pelaksanaan Penelitian .....	23
3.4.1. Perlakuan Awal Ampas Tahu .....	23
3.5. Pengamatan .....	24
3.5.1. Pengukuran Derajat Keasaman (pH) .....	24
3.5.2. Analisis <i>Total Volatile Acid</i> (TVA) .....	25
3.5.3. Analisis <i>Total Solid</i> (TS) .....	25
3.5.4. Analisis <i>Soluble Chemical Oxygen Demand</i> (S-COD).....	26
3.5.5. Analisis Lignoselulosa .....	26
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>28</b>
4.1. Analisis Parameter <i>Total Solid</i> (TS) .....	28
4.2. Analisis Parameter Lignoselulosa .....	30
4.3. Analisis <i>Soluble Chemical Oxygen Demand</i> (S-COD).....	34
4.4. Pengukuran Derajat Keasaman (pH).....	35
4.5. Analisis Parameter <i>Total Volatile Acid</i> (TVA) .....	37
4.6. Kenaikan Produksi Biogas .....	39
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>41</b>
5.1. Kesimpulan .....	41
5.2. Saran .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>50</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Kerangka Pemikiran Penelitian .....	7
Gambar 2. Proses produksi tahu. ....	9
Gambar 3. Skema tujuan <i>Pre-treatment</i> biomassa lignoselulosa .....	11
Gambar 4. Tahapan proses pembentukan biogas. ....	14
Gambar 5. Diagram Alir <i>Pre-treatment</i> Ampas tahu.....	24
Gambar 6. Konsentrasi TS pada berbagai konsentrasi ragi tempe dan waktu tinggal. ....	28
Gambar 7. Konsentrasi hemiselulosa pada berbagai konsentrasi ragi tempe dan waktu tinggal. ....	31
Gambar 8. Konsentrasi selulosa pada berbagai konsentrasi ragi tempe dan waktu tinggal. ....	31
Gambar 9. Konsentrasi lignin pada berbagai konsentrasi ragi tempe dan waktu tinggal. ....	32
Gambar 10. Konsentrasi S-COD pada berbagai konsentrasi ragi tempe dan waktu tinggal. ....	34
Gambar 11. Nilai pH pada berbagai konsentrasi ragi tempe dan waktu tinggal .....	36
Gambar 12. Nilai TVA pada berbagai konsentrasi ragi tempe dan waktu tinggal .....	38
Gambar 13. Kotak Penelitian Ampas Tahu + Ragi Tempe.....	58
Gambar 14. Penimbangan Ampas Tahu.....	58
Gambar 15. Pemerasan Ampas Tahu .....	58

Gambar 16. Pengukuran pH.....	58
Gambar 17. Pemanasan Sampel Untuk Pengukuran TVA.....	58
Gambar 18. Titrasi .....	58
Gambar 19. Penimbangan Air Perasan Ampas Tahu.....	59
Gambar 20. Sentrifus Air Perasan Ampas Tahu .....	59
Gambar 21. Pengenceran Sampel .....	59
Gambar 22. Proses Perefleksan.....	59
Gambar 23. Proses Pemanasan Sampel .....	59
Gambar 24. Pengukuran S-COD.....	59

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komposisi kimia tahu .....	10
Tabel 2. Komposisi dalam biogas .....	13
Tabel 3. Kombinasi Perlakuan Konsentrasi Ragi Tempe dan Waktu Tinggal .....	22
Tabel 4. Hasil pengukuran pH masing-masing perlakuan .....	51
Tabel 5. Hasil Pengukuran TVA masing-masing perlakuan.....	52
Tabel 6. Hasil pengukuran TS masing-masing sampel.....	53
Tabel 7. Hasil pengukuran S-COD masing-masing perlakuan .....	54
Tabel 8. Hasil pengukuran hemiselulosa masing-masing perlakuan .....	55
Tabel 9. Hasil pengukuran selulosa masing-masing perlakuan .....	56
Tabel 10. Hasil pengukuran hemiselulosa masing-masing perlakuan .....	57

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Tahu merupakan makanan tradisional Indonesia dan menjadi salah satu makanan paling disukai warga Indonesia dan sering menjadi lauk pendamping nasi maupun sebagai camilan, baik dengan modifikasi maupun tidak. Tahu sebagai hasil olahan kacang kedelai merupakan salah satu makanan yang dapat memperbaiki gizi karena tahu memiliki mutu protein nabati terbaik. Tahu mengandung asam amino paling lengkap dan diyakini memiliki daya cerna yang cukup tinggi yaitu sebesar 85%-98%. Walaupun kandungan gizi dalam tahu masih kurang dibandingkan dengan lauk hewani, namun dengan harga yang terjangkau masyarakat relatif memilih tahu sebagai bahan makanan pengganti protein hewani untuk memenuhi kebutuhan gizi (Widaningrum, 2015).

Usaha tahu di Indonesia sangat tersebar di seluruh wilayah Indonesia dan sebagian besar masih menggunakan teknologi sederhana sehingga efisiensi penggunaan bahan baku dan bahan bakar masih rendah (Samura *et al.*, 2022). Lebih dari 84.000 industri tahu yang beroperasi di Indonesia yang kebanyakan adalah industri kecil dan menengah (Budiyono and Syaichurrozi, 2020). Berdasarkan data Badan Pusat Statistika (BPS, 2022), selama 5 tahun terakhir terjadi peningkatan jumlah konsumsi rata-rata tahu per-kapita per-minggu, yaitu pada tahu 2018 sebanyak 0,158 kg, tahun 2019 turun menjadi 0,152 kg, tahun 2020 meningkat menjadi 0,153 kg, tahun 2021 meningkat menjadi 0,158 kg, dan pada tahun 2022 turun menjadi 0,148 kg.

Industri tahu dalam proses pengolahannya menghasilkan limbah, baik limbah cair maupun limbah padat. Limbah padat dihasilkan dari proses penyaringan dan penggumpalan, sedangkan limbah cair dihasilkan dari proses pencucian, perebusan, pengepresan, dan pencetakan tahu, oleh karena itu limbah cair yang dihasilkan oleh suatu pabrik tahu sangat banyak. Limbah cair yang dihasilkan mencapai 14,45 L/kg kedelai (Ningsih *et al.*, 2022). Menurut Rhozman *et al.*, (2022), ampas tahu dapat diolah menjadi makanan kembali karena masih mengandung protein 8,66%, lemak 3,79%, air 5,63% dan abu 1,21%. Sedangkan limbah cair yang banyak ini biasanya langsung dibuang dan akan menimbulkan bau, pemandangan yang kurang baik, dan tentu saja hal ini akan merusak lingkungan apabila limbah tersebut tidak diolah lebih dahulu sebelum dibuang (Widaningrum, 2015).

Produksi industri tahu di Indonesia umumnya berproduksi dalam skala kecil dan menengah, yang membutuhkan banyak input energi dalam proses produksi. Secara umum, bahan bakar yang digunakan tidak ramah lingkungan, seperti kayu bakar dan LPG. Dalam prakteknya, penggunaan energi pada pabrik pengolahan tahu membutuhkan energi yang besar. Konsumsi energi bervariasi sesuai dengan bahan bakar yang digunakan dalam memasak tahu yaitu pada proses proses perebus kedelai dan menggoreng tahu, 71,05 MJ/Kg kedelai untuk bahan bakar kayu bakar, 16,95 MJ/Kg kedelai untuk bahan bakar LPG, dan pelet kayu 6,02MJ/Kg kedelai. Sedangkan konsumsi energi untuk mesin penggiling tergantung pada jenis mesin penggilingan yang digunakan. Konsumsi bensin adalah 1,94 MJ/Kg kedelai, dan diesel adalah 3,22 MJ/Kg kedelai (Ningsih *et al.*, 2022).

Pemanfaatan limbah cair menjadi biogas telah dilakukan dan dapat menghasilkan kandungan metana yang cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi pengganti kayu bakar dan gas LPG pada proses produksi tahu. Efisiensi pembakaran biogas dengan kompor biogas konvensional sekitar 50-60% (Lam and Felix, 2011). Sedangkan limbah padat atau ampas tahu biasanya dimanfaatkan sebagai bahan dasar atau campuran pada proses pengolahan pada

produk tertentu. Mengingat kandungan nutrisi dalam ampas tahu yang masih tinggi, sebagai alternatif pemanfaatan ampas tahu yang lain adalah dengan digunakan sebagai co-substrat dalam produksi biogas (Saputra *et al.*, 2018). Penambahan ampas tahu sebagai substrat tambahan dalam biogas dari limbah cair tahu diharapkan dapat meningkatkan produksi biogas karena memiliki kandungan senyawa organik seperti lignoselulosa. Limbah pertanian yang mengandung karbohidrat seperti glukosa dan lignoselulosa dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biogas (Khaidir, 2016).

Ampas tahu merupakan biomassa lignoselulosa yang memiliki struktur molekul yang kompleks terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Ampas tahu mengandung 34,86% hemiselulosa, 38,60,2% selulosa, 5,64% lignin, 16,37% protein, 7,69% lemak, dan 3,76% abu (basis kering) (Husin *et al.*, 2014). Dekomposisi bahan organik yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin berlangsung sangat lambat. Masalah yang dihadapi dalam proses biokonversi biomassa adalah biomassa relatif sangat sukar untuk dihidrolisis secara enzimatik karena struktur keterikatan selulosa dengan bahan lain (Hapsari *et al.*, 2015). Sebelum difermentasi, bahan lignoselulosa perlu diberi perlakuan awal atau *pre-treatment* untuk memecah molekul-molekul lignoselulosa yang selanjutnya digunakan sebagai umpan dalam proses fermentasi (Khaidir, 2016). *Pre-treatment* atau perlakuan awal diperlukan untuk memecah struktur polimer dari biomassa lignoselulosa dan meningkatkan aksesibilitas enzim terhadap substrat selama proses hidrolisis enzimatik (Hapsari *et al.*, 2015).

*Pre-treatment* menggunakan ragi tempe dapat membantu menaikkan hasil biogas. *Pre-treatment* dengan ragi tempe diharapkan dapat menurunkan senyawa organik dalam ampas tahu dan melarutkan bahan organik dalam ampas tahu. Ragi tempe menghasilkan enzim-enzim pencernaan seperti enzim protease, amilase, dan lipase, dimana enzim-enzim tersebut dapat mempermudah dalam mencerna karbohidrat, lemak, dan protein dalam tubuh. Ragi tempe mengandung enzim protease, amilase, dan lipase yang memiliki pengaruh untuk memecah protein, karbohidrat dan lemak (Mujdalipah, 2016). Ragi tempe bereaksi positif untuk

mengubah senyawa-senyawa kompleks (selulosa, hemiselulosa, pektin, lignin, protein, lemak, dan senyawa kompleks lain) pada kiambang menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Mikroba dalam ragi tempe juga menghasilkan enzim selulase yaitu enzim-enzim yang mendegradasi selulosa menjadi glukosa, mikroba tersebut juga mampu menghasilkan hemiselulase (*Xilanase*) yang dapat mendegradasi hemiselulosa menjadi *xilosa* dan glukosa, lignin didegradasi secara sempurna oleh *ligninase* yang dihasilkan *Rhizopus sp.* menjadi karbon dioksida dan air (Zaman *et al.*, 2013). Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini dengan melakukan perlakuan awal pada ampas tahu sebagai co-substrat pembuatan biogas dengan limbah cair tahu dengan memvariasikan konsentrasi ragi tempe dan waktu *pre-treatment*.

## 1.2. Tujuan

Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui peningkatan *biodegradability* selama *pre-treatment* ampas tahu dengan ragi tempe.
2. Mengetahui konsentrasi dan waktu tinggal terbaik yang menghasilkan substrat bahan baku biogas terbaik.
3. Mengetahui peningkatan produksi biogas dengan penambahan ampas tahu.

## 1.3. Kerangka Pemikiran

Ampas tahu mengandung senyawa organik dan merupakan biomassa lignoselulosa sehingga dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biogas (Khaidir, 2016). Ampas tahu memiliki struktur molekul yang kompleks terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Ampas tahu mengandung 34,86% hemiselulosa, 38,60,2% selulosa, 5,64% lignin, 16,37% protein, 7,69% lemak, dan 3,76% abu (Husin *et al.*, 2014). Sebelum dilakukan proses fermentasi menjadi biogas, bahan atau limbah yang mengandung lignoselulosa perlu diberi perlakuan

awal atau *pre-treatment* terlebih dahulu untuk memecah molekul-molekul lignoselulosa yang selanjutnya digunakan sebagai umpan dalam proses fermentasi (Khaidir, 2016).

Penelitian yang telah dilakukan mengenai ampas tahu sebagai biogas yaitu oleh Prasetya *et al.*, (2018), mengenai pengaruh penambahan limbah ampas tahu pada produksi biogas dari feses sapi didapatkan hasil dari penelitian ini adalah tidak ada pengaruh yang nyata ( $P > 0,05$ ) dari perlakuan yang diterapkan terhadap produksi metan, pencernaan bahan organik dan nilai pH. Tidak berpengaruhnya perlakuan penambahan ampas tahu terhadap produksi metan dikarenakan penambahan C/N hanya sebesar 1,72 dari selisih ratio T0 dengan T1. Hapsari *et al.*, (2015), mengenai Evaluasi Efek *Pre-treatment* Ultrasonik Pada Proses Hidrolisis Enzimatis Ampas Tahu didapatkan hasil bahwa perlakuan awal dengan menggunakan ultrasonik dan penambahan asam didapatkan nilai konversi yang tinggi. *Pre-treatment* dengan menggunakan ultrasonik, luas permukaan ampas tahu menjadi lebih besar kemudian struktur selulosa juga mengalami perubahan menjadi lebih amorf. Sebagian besar hemiselulosa terdegradasi menjadi gula oleh adanya katalis asam, sehingga aksesibilitas enzim terhadap selulosa lebih mudah.

Perlakuan awal bertujuan mendapatkan bahan terlarut dari ampas tahu sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas. Perlakuan awal berfungsi untuk mempermudah proses degradasi dan perluasan akses ke polimer dengan cara memisahkan selulosa dari polimer matrik lignoselulosa. Metode perlakuan awal seperti perlakuan awal secara fisik, kimia, maupun biologi telah dilakukan pada penelitian sebelumnya untuk memecah lignoselulosa (Rekha and Pandit, 2013). Perlakuan awal atau *pre-treatment* yang dilakukan pada bahan sebelum digunakan yaitu perlakuan awal secara biologis menggunakan mikroorganisme yang berfungsi untuk menguraikan lignoselulosa dan meningkatkan hidrolisis enzimatik. Mikroorganisme dapat mendegradasi lignin dan hemiselulosa, sedangkan selulosa hanya dapat terdegradasi sedikit karena selulosa lebih tahan terhadap perlakuan secara biologis (Taherzadeh and Karimi, 2008).

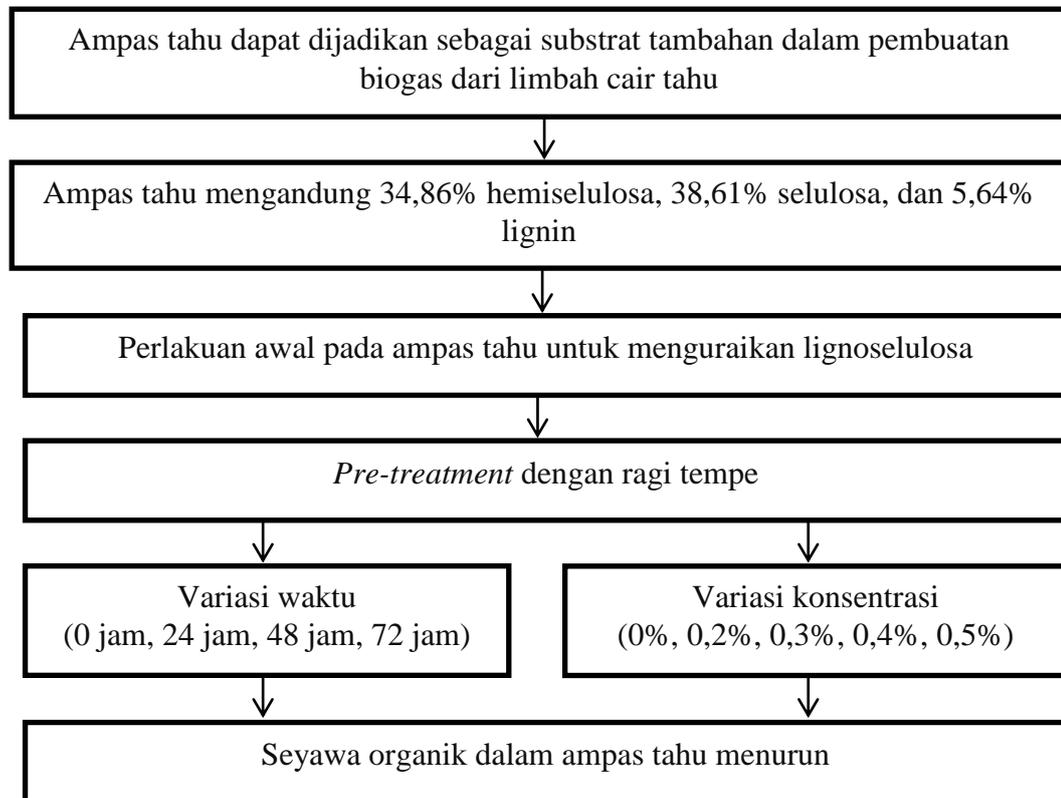
Ragi tempe selain digunakan sebagai bahan pembuatan tempe dapat dijadikan sebagai bahan fermentasi. Ragi tempe menghasilkan enzim-enzim pencernaan seperti enzim protease, amilase, dan lipase, dimana enzim-enzim tersebut dapat mempermudah dalam mencerna karbohidrat, lemak, dan protein (Mujdalipah, 2016). Kapang dalam ragi tempe juga dapat merubah selulosa dalam bahan menjadi bentuk yang lebih sederhana (Mukhoyaroh, 2015). Hal ini karena ragi tempe mengandung mikroba yang menghasilkan selulase dan enzim lainnya yang mampu memecah ikatan kompleks serat kasar menjadi lebih sederhana. Ragi tempe bereaksi positif untuk mengubah senyawa-senyawa kompleks seperti selulosa, hemiselulosa, pektin, lignin, protein, lemak, dan senyawa kompleks lainnya menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Kapang yang terkandung dalam ragi tempe secara signifikan melakukan sintesis enzim-enzim ekstraseluler yang digunakan dalam proses degradasi substrat selama proses fermentasi (Zaman *et al.*, 2013).

Mikroba dalam ragi tempe menghasilkan enzim selulase yaitu enzim-enzim yang mendegradasi selulosa menjadi glukosa, mikroba tersebut juga mampu menghasilkan hemiselulase (*Xylanase*) yang dapat mendegradasi hemiselulosa menjadi xilosa dan glukosa, lignin didegradasi secara sempurna oleh ligninase yang dihasilkan *Rhizopus sp.* menjadi karbondioksida dan air. Glukosa hasil perombakan selulosa dan hemiselulosa kemudian digunakan oleh mikroba dalam jalur metabolisme yaitu masuk ke jalur glikolisis dan siklus krebs melalui serangkaian reaksi menghasilkan 3-fosfoglisarat, fosfoenolpiruvat, dan asam piruvat, oksaloasetat dan  $\alpha$ -ketoglutarat. Senyawa-senyawa tersebut merupakan senyawa-senyawa intermediet prekursor pembentukan asam-asam amino mikroba. *Rhizopus stolonifer* yang terdapat di dalam ragi tempe dapat menghasilkan enzim lignoselulolitik untuk mendegradasi lignoselulosa dalam limbah (Zaman *et al.*, 2013).

Penelitian ini dilakukan *pre-treatment* dengan melakukan pencampuran ampas tahu menggunakan ragi tempe dengan variasi ragi tempe 0%, 0,2%, 0,3%, 0,4%,

dan 0,5% selama 0 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam untuk mengetahui pengaruh konsentrasi ragi tempe terbaik terhadap karakteristik ampas tahu.

disajikan pada Gambar 1.



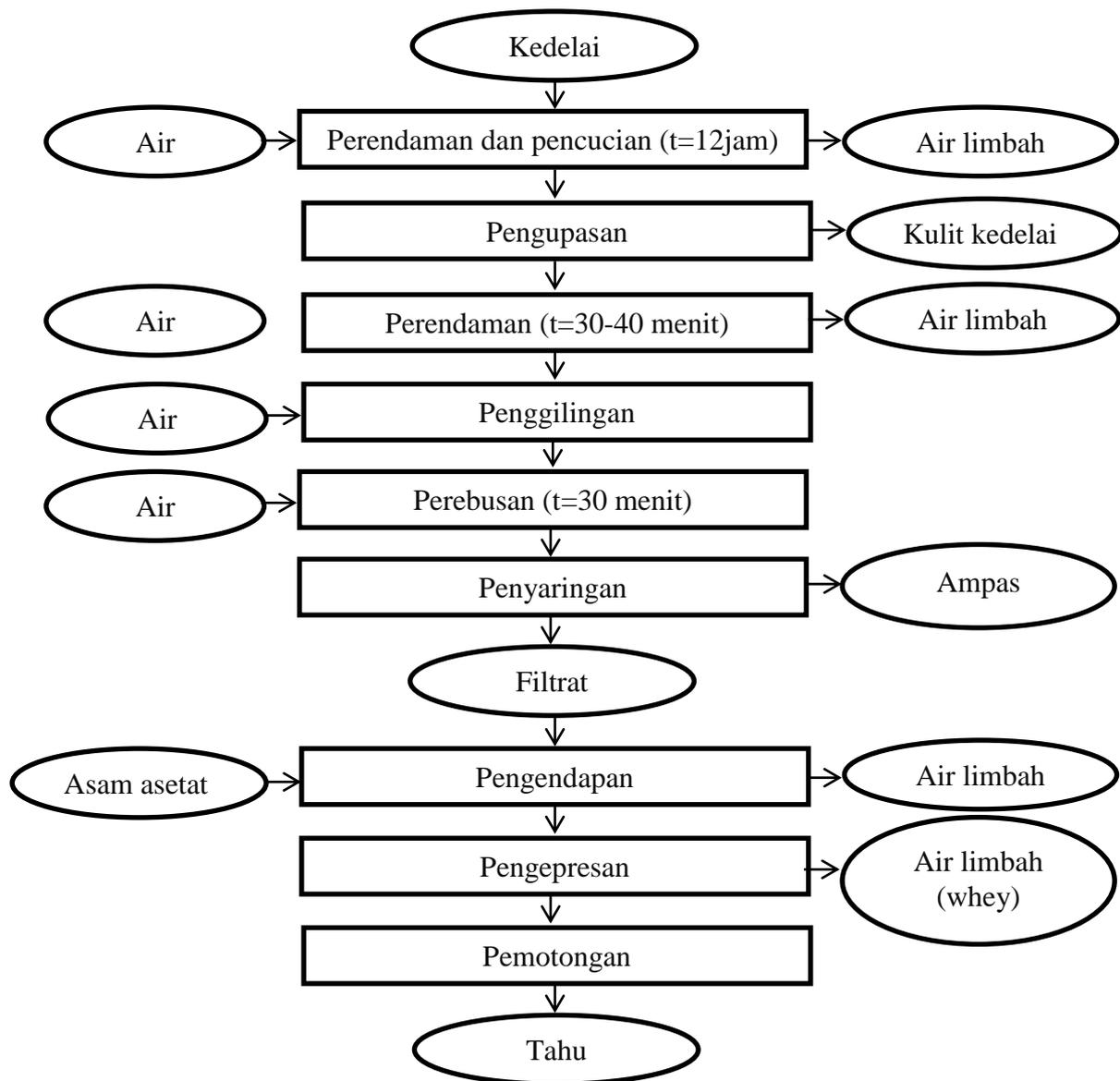
Gambar 1. Kerangka Pemikiran Penelitian

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Tahu

Tahu adalah makanan tradisional yang sering di konsumsi oleh masyarakat Indonesia. Tahu merupakan salah satu produk olahan dari kedelai yang diolah melalui proses penggumpalan ekstrak protein kedelai (Andarwulan *et al.*, 2018). Menurut SNI 01-3142-1998, tahu adalah produk makanan yang berupa padatan lunak yang dibuat melalui proses pengolahan kedelai dengan cara pengendapan protein. Proses pembuatan tahu terdiri dari dua proses utama, yaitu pembuatan susu kedelai dan koagulasi susu kedelai untuk membentuk endapan putih yang kemudian di press untuk memperoleh tahu. Tahu diproduksi berdasarkan pada sifat protein, yaitu akan menggumpal bila bereaksi dengan asam. Penggumpalan protein oleh asam akan berlangsung dengan cepat dan serentak di seluruh bagian cairan sari kedelai, sehingga sebagian besar air yang tercampur dalam sari kedelai akan terperangkap. Pengepresan akan mengeluarkan air yang terperangkap dan gumpalan protein yang tersisa yang kemudian disebut sebagai tahu (Widaningrum, 2015).

Menurut (Rahmawati and Puspitaningrum, 2022), proses produksi tahu disajikan pada Gambar 2. berikut.



Gambar 2. Proses produksi tahu.

Tahu mengandung gizi yang baik karena mengandung mutu protein nabati terbaik dan memiliki daya cerna yang tinggi yaitu sekitar 85%-98%. Kandungan gizi dalam tahu memang masih terbilang sedikit jika dibandingkan dengan hewani, namun dengan harga yang relatif murah, masyarakat lebih memilih mengkonsumsi tahu sebagai makanan pengganti protein hewani untuk memenuhi kebutuhan gizi (Widaningrum, 2015).

Tahu memiliki tekstur yang halus, kokoh tetapi tidak keras, dan kenyal.

Komposisi kimia dari tahu disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia tahu.

Komposisi kimia	Persentase (%)
Kadar air	88
Protein	6
Lemak	3,5
Karbohidrat	1,9
Kadar abu	0,6

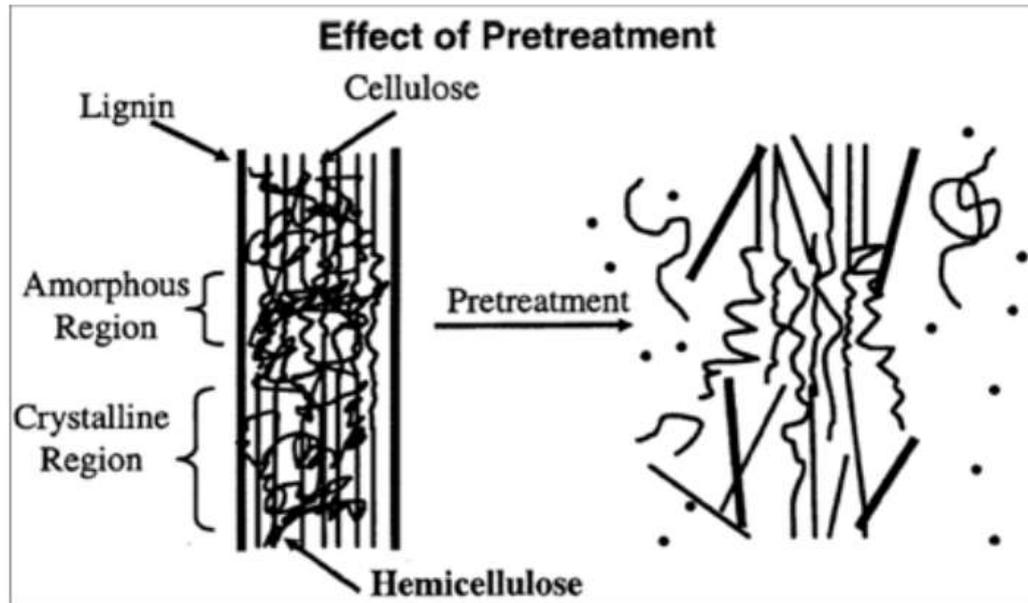
Sumber: (Andarwulan *et al.*, 2018).

Dalam proses produksi tahu, sebuah pabrik tahu dapat menghasilkan limbah cair dan limbah padat atau ampas tahu. limbah cair tahu biasanya tidak dimanfaatkan atau tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan oleh kebanyakan pabrik tahu. limbah cair tahu masih mengandung bahan organik dan kadar COD dan BOD yang cukup tinggi, sehingga bila dibuang langsung ke lingkungan akan mencemari lingkungan (Subekti, 2011). Limbah padat atau ampas tahu masih mengandung gizi yang tinggi yaitu protein 17,4 gram/100 gram ampas tahu, lemak 5,9 gram/100 gram ampas tahu, karbohidrat 67,5 gram/100 gram ampas tahu, dan energi 393 kal/100 gram ampas tahu (Rohman *et al.*, 2022). Karena kandungan ampas tahu ini, banyak pabrik tahu yang mengolah ampas tahu menjadi bahan dasar produk makanan tertentu seperti tempe gembus, kerupuk ampas tahu, pakan ternak, dan diolah menjadi tepung ampas tahu (Subekti, 2011).

## 2.2. *Pre-treatment*

*Pre-treatment* atau perlakuan awal merupakan tahapan yang memakan biaya dan berpengaruh besar terhadap biaya keseluruhan serta hasil akhir produk. *Pre-treatment* diperlukan untuk memecah struktur polimer dari biomassa lignoselulosa dan meningkatkan aksesibilitas enzim terhadap substrat selama proses hidrolisis enzimatik. *Pre-treatment* biomassa lignoselulosa dilakukan untuk mendapatkan

hasil yang tinggi dimana penting untuk pengembangan teknologi biokonversi dalam skala komersial. Tujuan dari *pre-treatment* adalah untuk membuka struktur lignoselulosa agar selulosa menjadi lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah polimer polisakarida menjadi monomer gula (Jannah, 2010). Tujuan *pre-treatment* secara skematis ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Skema tujuan *Pre-treatment* biomassa lignoselulosa (Jannah, 2010).

Terdapat beberapa jenis *pre-treatment* yaitu *pre-treatment* secara biologi, kimia, panas dan fisik. *Pre-treatment* secara biologi dapat dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme yang mengandung enzim selulase yang dapat mendegradasi selulosa. Tujuan perlakuan awal secara biologi yaitu untuk meningkatkan luas permukaan bahan, sehingga memperluas kontak antara enzim yang terkandung didalam mikroorganisme terhadap bahan. *Pre-treatment* secara kimia awalnya dikembangkan di industri dan memiliki tujuan utama untuk meningkatkan biodegradasi selulosa dan menghilangkan lignin dan hemiselulosa. *Pre-treatment* secara kimia juga bertujuan untuk menurunkan tingkat polimerisasi dan kristalinitas selulosa. *Pre-treatment* secara kimia biasa menggunakan larutan NaOH, tetapi *pre-treatment* menggunakan NaOH membutuhkan waktu yang lama (Purwoko *et al.*, 2016).

*Pre-treatment* secara fisik atau mekanik bertujuan untuk mengecilkan ukuran partikel dalam limbah sehingga meningkatkan luas permukaan partikel. Salah satunya yaitu penggilingan dimana ukuran substrat dapat dikurangi. Tetapi penggilingan biomassa lignoselulosa yang terlalu halus dapat menyebabkan pengasaman karena kelarutan limbah yang tinggi. Terakhir, *pre-treatment* dengan menggunakan panas atau secara termal. *Pre-treatment* secara termal melibatkan suhu tinggi untuk menghidrolisis biomassa lignoselulosa. Penentuan suhu pada *pre-treatment* secara termal sangat penting karena memiliki pengaruh pada keberhasilan proses *pre-treatment*. Penggunaan suhu yang terlalu tinggi dapat menghancurkan nilai VS, menyisakan sedikit substrat yang tersedia untuk anaerobik digestion. Peningkatan kelarutan karbohidrat pada suhu tinggi juga dapat menyebabkan melanoidin yang menumpuk dari reaksi maillard (Meegoda et al., 2018).

### **2.3. Biogas**

Biogas adalah salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari gas yang dihasilkan oleh mikroorganisme selama bahan organik mengalami proses fermentasi dalam keadaan anaerob. Proses fermentasi tersebut akan menghasilkan gas bio berupa gas metana ( $\text{CH}_4$ ) yang cukup tinggi dan dapat dibakar. Biogas merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau serta memiliki daya nyala yang tinggi. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk menggantikan elpiji, bahan bakar kendaraan dan sumber energi pembangkit listrik. Kandungan metana yang cukup tinggi dalam biogas dapat membuat biogas menggantikan peran elpiji. Penggunaan biogas sebagai bahan bakar dinilai lebih aman dan ramah lingkungan karena biogas hanya memiliki satu karbon dalam setiap rantainya. Hal ini membuat jumlah  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan selama pembakaran bahan bakar akan lebih sedikit (Suyitno *et al.*, 2010).

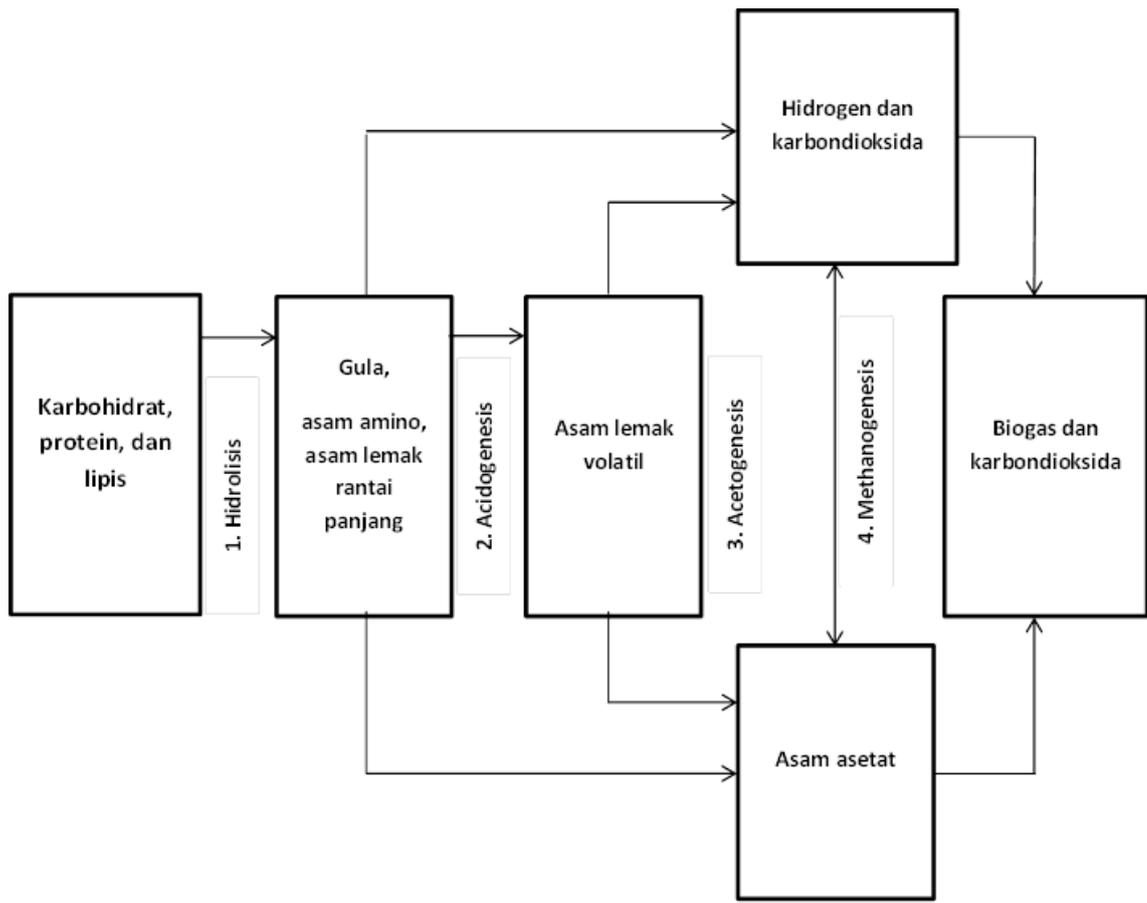
Tabel 2. Komposisi dalam biogas

No	Komponen	Presentase
1	Metana (CH <sub>4</sub> )	55-75
2	Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )	25-45
3	Nitrogen (N <sub>2</sub> )	0-0,3
4	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	1-5
5	Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S)	0-3
6	Oksigen (O <sub>2</sub> )	0,1-0,5

Sumber: (Wahab and Ramli, 2022).

Biogas dapat diproduksi dari berbagai bahan organik. Sumber bahan baku biogas bervariasi, dapat bersumber dari kotoran binatang, tanaman, limbah aktivitas makhluk hidup yang mengandung metana, karbondioksida, dan gas lainnya. Variasi bahan baku yang tersedia menyebabkan produksi biogas juga bervariasi. Jenis dan variasi yang digunakan dalam memproduksi biogas sangat mempengaruhi kualitas biogas yang dihasilkan. Pemilihan bahan baku produksi biogas dapat ditentukan dari perbandingan kadar C (karbon) dan N (nitrogen) dalam bahan yang akan digunakan. Perbandingan kadar C dan N dalam produksi biogas merupakan faktor penting dalam menentukan perkembangan bakteri yang akan menguraikan bahan organik selama proses fermentasi. Bahan organik yang memiliki rasio C/N sekitar 20-30 dan 20-25 umumnya mampu menghasilkan biogas dengan kualitas yang tinggi (Suyitno *et al.*, 2010).

Proses pembentukan biogas berlangsung melalui 4 tahap proses berturut-turut yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Proses pembentukan biogas dipengaruhi oleh interaksi antara berbagai mikroorganisme selama proses pembentukan berlangsung. Penggambaran aliran 4 tahapan proses pembentukan biogas yang digambarkan pada Gambar 4. berikut.



Gambar 4. Tahapan proses pembentukan biogas (Annur et al., 2020).

### 1. *Hydrolisis*

Hidrolisis merupakan tahap pertama dalam pemecahan bahan organik. Tahap hidrolisis dapat menentukan laju fermentasi pembentukan biogas. Pada tahap ini, bakteri hidrolitik mampu mengeluarkan enzim ekstraseluler yang dapat mengubah karbohidrat, lipid, dan protein dalam bahan organik menjadi gula, asam lemak rantai panjang, dan asam amino. Setelah proses pembelahan enzimatik, produk hasil hidrolisis mampu berdifusi melalui membran sel mikroorganisme asidogenik. Namun terdapat beberapa substrat yang sulit untuk didegradasi yaitu lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang tidak dapat dipecah oleh mikroba karena strukturnya yang kompleks. Untuk mengatasi hal tersebut,

biasanya enzim sering ditambahkan untuk meningkatkan proses hidrolisis pada substrat tersebut. *Pre-treatment* atau perlakuan awal dibutuhkan untuk mengoptimalkan proses hidrolisis agar dapat memecah lignoselulosa (Meegoda *et al.*, 2018).

## 2. *Acidogenesis*

Pada tahap ini molekul organik dipecah kembali menjadi senyawa basa atau asam organik. Membran sel yang menyerap produk hasil dihidrolisis akan diubah oleh mikroba asidogenik menjadi asam lemak volatil (VFA) dan fermentasi asam amino dan gula menjadi hidrogen dan asam asetat. Pada tahap ini juga kemungkinan adanya alkohol dan asam laktat dalam jumlah kecil yang dihasilkan. Konsentrasi zat yang dihasilkan bergantung pada kondisi digester. Kondisi pH digester dapat mempengaruhi konsentrasi zat yang dihasilkan secara signifikan. Pada tahap ini, proses pembentukan biogas berada pada tingkat yang lebih cepat dibandingkan pada semua tahapan anaerobik lainnya. Bakteri asidogenik memiliki waktu regenerasi kurang dari 48 jam (Meegoda *et al.*, 2018).

## 3. *Acetogenesis*

Tahap *acetogenesis* menghasilkan asam asetat, hidrogen monoksida, amonium, dan oksigen. *Acetogenesis* adalah proses pengubahan VFA konsentrasi tinggi menjadi asam asetat dan hidrogen. Dengan produksi asam asetat pada tahap ini, sebagian dari substrat awal bahan organik yang sudah diolah menjadi substrat yang cocok untuk tahap selanjutnya atau tahap metanogenesis, karena VFA dengan konsentrasi yang tinggi belum dapat diproses oleh bakteri metanogenik (Meegoda *et al.*, 2018).

## 4. *Methanogenesis*

Pada tahap ini bakteri mengeluarkan biogas. Biogas yang dihasilkan adalah campuran 45-85% metana dan 15-45% karbondioksida, tergantung pada variabel

proses. Tahap metanogenesis menandakan tahap akhir proses fermentasi anaerob, dimana zat dalam bahan organik dikonsumsi oleh bakteri mikroorganisme metanogenik untuk menghasilkan metana. Mikroorganisme metanogenik cenderung membutuhkan pH yang tinggi dan memiliki waktu regenerasi yang lambat yaitu 5-16 hari. Mikroorganisme metanogenik merupakan mikroorganisme paling sensitif dibandingkan dengan mikroorganisme pada tahapan lain. Akhir dari proses metanogenesis ditandai ketika produksi biogas terhenti (Meegoda *et al.*, 2018).

#### **2.4. Ragi Tempe**

Ragi atau fermentasi merupakan zat yang dapat menyebabkan fermentasi. Mikroorganisme yang digunakan di dalam ragi umumnya terdiri atas berbagai bakteri dan fungi (khamir dan kapang), yaitu *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Amylomyces*, *Endomycopsis*, *Saccharomyces*, *Hansenula anomala*, *Lactobacillus*, *Acetobacter*, dan sebagainya (Jannah, 2010). Ragi biasanya mengandung mikroorganisme yang dapat melakukan proses fermentasi dan media biakan bagi mikroorganisme tersebut. Media biakan dapat berupa butiran-butiran kecil atau cairan nutrient. Ragi umumnya digunakan dalam industri makanan untuk membuat makanan dan minuman hasil fermentasi seperti tempe (Surbakti, Asprina *et al.*, 2020).

Ragi tempe adalah inokulan dalam proses pembuatan tempe dari kedelai, dimana kapang *Rhizopus* berperan sebagai agensia pengubah kedelai yang telah mengalami proses perebusan dan perendaman menjadi tempe. Ragi tempe termasuk saprofit, hidup pada bahan organik dari tumbuhan atau hewan yang telah mati. Ragi mengandung sediaan mikroorganisme hidup atau kapang yang merupakan bahan baku penunjang dalam proses fermentasi. Substansi tempat tumbuhnya substrat organik. Peran ragi tempe sangat penting karena ragi tempe menjadi faktor utama yang menunjang keberhasilan pembuatan tempe (Firdaus *et al.*, 2014).

Kapang yang terdapat dalam ragi tempe adalah *Rhizopus oligosporus*, *Rhizopus oryzae*, *Rhizopus stolonifer*, *Rhizopus chlamdosporus*, dan *Rhizopus arrhizus*. Kapang *Rhizopus* merupakan kapang yang penting dalam industri makanan yang digunakan sebagai penghasil berbagai macam enzim dalam proses fermentasi. Kapang ini tidak menghasilkan racun bagi bahan pangan dan dapat melindungi tempe dari kapang penghasil aflatoksin (Nurholipah and Ayun, 2021). Ragi tempe menghasilkan enzim-enzim pencernaan seperti enzim protease, amilase, dan lipase. Enzim-enzim tersebut dapat mempermudah dalam mencerna karbohidrat, lemak, dan protein dalam tubuh (Firdaus *et al.*, 2014).

## 2.5. Enzim

Enzim merupakan kelompok protein yang melakukan perubahan-perubahan kimia dalam sistem biologi. Enzim berfungsi sebagai katalisator atau dapat mempercepat suatu proses reaksi kimia. Secara umum, enzim menghasilkan kecepatan, spesifikasi, dan kendali pada suatu reaksi. Enzim dapat mempercepat reaksi  $10^8$  sampai  $10^{11}$  kali lebih cepat dibandingkan reaksi tanpa katalis. Seperti katalis lainnya, enzim juga menurunkan atau memperkecil energi aktivasi suatu reaksi kimia. Dalam reaksi tersebut enzim mengubah senyawa yang selanjutnya disebut substrat menjadi suatu senyawa yang baru yaitu produk, namun enzim tidak ikut berubah dalam reaksi tersebut. Setiap enzim memiliki aktivitas maksimum pada suhu tertentu, aktivitas enzim akan semakin meningkat dengan bertambahnya suhu hingga suhu optimum tercapai. Setelah itu kenaikan suhu lebih lanjut akan menyebabkan aktivitas enzim menurun (Supriyatna *et al.*, 2015).

Enzim dikategorikan menjadi dua tipe yaitu enzim ekstraseluler dan intraseluler. Enzim ekstraseluler bereaksi di luar sel dan berfungsi untuk mengubah senyawa yang berada dalam media di sekitar sel sehingga akan dimanfaatkan oleh enzim. Contoh dari enzim ekstraseluler adalah enzim protease yang dapat menguraikan protein menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana. Sedangkan enzim intraseluler bereaksi di dalam sel dan berperan untuk melakukan sintesis bahan

seluler yang diperlukan oleh sel. Contoh dari enzim intraseluler adalah enzim heksokinase yang dapat mengkatalisis fosforilasi glukosa dari heksosa (senyawa gula sederhana) (Supriyatna *et al.*, 2015).

### **2.5.1. Enzim Selulase**

Selulase adalah nama trivial enzim yang mempunyai nama sistematik  $\beta$ -1,4-glikan-4-glukanohidrolase (EC. 3. 2. 1. 4). Enzim selulase merupakan enzim yang dapat mendegradasi selulosa dan memiliki sistem enzim yang terdiri dari beberapa komponen enzim yang bekerja secara bertahap untuk menguraikan selulosa menjadi glukosa dengan komposisi yang beragam tergantung sumbernya. Nama selulase menjadi nama umum bagi semua enzim yang dapat memutuskan ikatan  $\beta$ -1,4-glukosida dalam selulosa, selodekstrin, selobiosa serta turunan selulosa yang lain. Enzim selulase dapat mendegradasi molekul selulosa yang tidak larut menjadi mono atau disakarida sederhana larut sehingga dapat digunakan oleh mikroba sebagai sumber energi. Degradasi selulosa merupakan hasil kerja tiga komponen enzim secara sinergis, yaitu endoglukanase, eksoglukanase, dan  $\beta$ -glukosidase (Razie *et al.*, 2011).

Berdasarkan spesifikasi substrat masing-masing enzim, cara kerja enzim selulase dikelompokkan menjadi empat kelompok sebagai enzim utama sebagai komponen penyusun selulase, yaitu endo-  $\beta$ -1,4 glukanase yang dapat menghidrolisis ikatan  $\beta$ -1,4 glukosida secara acak. Enzim ini tidak menyerang selubiosa tetapi menghidrolisis selodekstrin.  $\beta$ -1,4 glukan selobiohidrolase, menyerang ujung rantai selulosa non pereduksi dan menghasilkan selobiosa. Enzim ini tidak dapat menyerang selodekstrin tetapi menyerang selulosa yang telah disustitusi serta tidak dapat menghidrolisis selobiosa.  $\beta$ -1,4-D-glukan glukohidrolase, menyerang ujung rantai selulosa non pereduksi dan menghasilkan glukosa. Enzim ini menyerang selulosa yang telah dilonggarkan.  $\beta$ -1,4-Dglukosidase, menghidrolisis selubiosa dan selo-oligosakarida rantai pendek serta menghasilkan glukosa. Enzim ini tidak menyerang selulosa dan selodekstrin (Ramadhan, 2015).

### 2.5.2. Enzim Peotese

Enzim protease merupakan enzim yang dapat mengkatalisis reaksi hidrolisis ikatan peptida dalam protein. Enzim protease bersifat degradatif yang mampu mengkatalisis hidrolisis ikatan peptida dalam protein dan termasuk ke dalam kelas hidrolase karena aktivitasnya yang membutuhkan H<sub>2</sub>O (Natassya, 2016). Protease termasuk enzim yang sangat kompleks, memiliki sifat fisiko kimia dan katalitik yang bervariasi. Protease dapat dihasilkan secara ekstraseluler dan intraseluler serta mempunyai peranan penting dalam sistem metabolisme sel dan keteraturan proses dalam sel (Mahdiyah, 2016). Menurut Simamora and Sukmawati, (2020), sumber enzim protease yang telah diketahui berasal dari hewan, mikroba, dan tanaman. Tanaman menjadi sumber enzim terbesar yaitu 43.85% dan diikuti oleh bakteri sebesar 18.09%, jamur 15.08%, hewan 11.15%, alga 7.42%, dan virus (4.41%).

Enzim protease terdiri dari dua jenis yaitu enzim protease yang bersifat eksopeptida dan enzim protease yang bersifat endopeptida. Eksopeptidase akan memutus ikatan peptida pada ujung dan dekat ujung rantai polipeptida baik pada gugus amino maupun gugus karboksilnya, sehingga akan menghasilkan asam amino. Sedangkan eksopeptidase akan memutus ikatan peptida pada bagian dalam sehingga akan menghasilkan sejumlah peptida dan polipeptida (Natassya, 2016). Enzim protease mempunyai dua pengertian, yaitu proteinase yang mengkatalisis hidrolisis molekul protein menjadi fragmen-fragmen yang lebih sederhana, dan peptidase yang mengdirolisis fragmen polipeptida menjadi asam amino. Enzim proteolitik yang berasal dari mikroorganisme adalah protease yang mengandung proteinase dan peptidase (Supriyatna *et al.*, 2015).

### 2.5.3. Enzim Amilase

Amilase adalah enzim yang mengkatalisis hidrolisis dari  $\alpha$ -1,4- glikosidik polisakarida untuk menghasilkan dekstrin, oligosakarida, maltosa, dan D-glukosa. Enzim amilase dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti mikroorganisme,

tanaman, dan juga hewan. Amilase diklasifikasikan sebagai *saccharidase* (enzim yang memotong polisakarida). Fungsi utama dari enzim amilase adalah untuk memecah pati dalam makanan sehingga mereka dapat digunakan oleh tubuh. Amilase dibedakan menjadi endoamilase dan eksoamilase. Endoamilase umumnya dikenal sebagai  $\alpha$ -amilase, sedangkan eksoamilase dikenal sebagai  $\beta$ -amilase (Supriyatna et al., 2015).

Ada beberapa tipe amilase yang berbeda Enzim ini diklasifikasikan sesuai dengan cara memotong ikatan glikosidik.  $\alpha$ -amilase menghidrolisis  $\alpha$ -1,4-glikosidik, secara acak menghasilkan dekstrin, oligosakarida dan monosakarida.

Alpha amilase adalah endo-amilase. Exoamylases menghidrolisis  $\alpha$ -1,4-glikosidik linkage hanya dari non-pereduksi ujung rantai polisakarida luar. *Exoamylases* termasuk  $\beta$ -amilase dan *glucoamylases* (*gamma-amilase*, *amyloglucosidases*). Enzim  $\alpha$ -amilase memiliki gugus karboksil dan nitrogen pada sisi aktifnya. Substrat membentuk kompleks adsorpsi dengan enzim dimana posisi ikatan glukosidik dalam posisi saling berhadapan dengan gugus karboksil dan kelompok imidazol. Karboksil anion menyerang bagian nukleofil C (1) dari substrat yang bertujuan untuk menetralkan rantai ion amidazol. Pada reaksi deglukosilasi, kelompok imidazol menjadi dasar untuk memisahkan komponen air pada posisi C (1) (Ariandi, 2016).

Mekanisme kerja enzim  $\alpha$ -amilase terdiri dari dua tahap, yaitu : tahap pertama degradasi amilosa menjadi maltosa dan maltotriosa yang terjadi secara acak. Degradasi ini terjadi sangat cepat dan diikuti dengan menurunnya viskositas dengan cepat. Tahap kedua terjadi pembentukan glukosa dan maltosa sebagai hasil akhir dan tidak acak. Keduanya merupakan kerja enzim  $\alpha$ -amilase pada molekul amilosa. Pada molekul amilopektin kerja  $\alpha$ -amilase akan menghasilkan glukosa, maltosa dan satu seri  $\alpha$ -limit dekstrin, serta oligosakarida yang terdiri dari empat atau lebih glukosa yang mengandung ikatan  $\alpha$ -1,6-glikosidik (Ariandi, 2016).

## III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April sampai Juli 2023. Bertempat di Laboratorium Pengolahan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

### 3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *beaker glass*, erlenmeyer, labu ukur, gelas ukur, pipet volumetrik, *rubber bulb*, pipet tetes, wadah plastik, timbangan analitik, timbangan, hot plate *Fisher Scientific*, pH meter *HI 2550* pH/ORP & EC/TDS/NaCl *Meter Hanna Instruments*, statif dan klem, oven, furnace isuzu tipe EPTR-13K, desikator, *sentrifuge*, refluks, tabung uji, COD reactor DRB 200, spektrofotometer, alat peras, kain, cawan porselen, penjepit, corong, rak tabung reaksi, kaca arloji, spatula, tabung *sentrifuge*, vortex, kulkas. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ampas tahu, ragi tempe, aquades, tisu, label, NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, indikator PP, *electroda cleaning solution* HI7061 dan kertas saring.

### 3.3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif dengan menyajikan hasil pengamatan dalam bentuk grafik dan kemudian dilakukan analisis secara deskriptif. Penelitian ini menggunakan 2 faktor perlakuan yang digunakan yaitu konsentrasi ragi tempe pada ampas tahu sebesar 0% (K0), 0,2% (K1), 0,3% (K2), 0,4% (K3), dan 0,5% (K4) dengan berat ampas tahu adalah 350 gram dan waktu tinggal 0 jam (T0), 24 jam (T1), 48 jam (T2), dan 72 jam (T3). Percobaan dilakukan dengan total 40 unit percobaan. Perlakuan terhadap masing-masing sampel ampas tahu dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kombinasi Perlakuan Konsentrasi Ragi Tempe dan Waktu Tinggal

Konsentrasi	0%	0,2%	0,3%	0,4%	0,5%
Jam	(K0)	(K1)	(K2)	(K3)	(K4)
0 jam (T0)	K0T0	K1T0	K2T0	K3T0	K4T0
24 jam (T1)	K0T1	K1T1	K2T1	K3T1	K4T1
48 jam (T2)	K0T2	K1T2	K2T2	K3T2	K4T2
72 jam (T3)	K0T3	K1T3	K2T3	K3T3	K4T3

Keterangan:

K0T0 = Berat ampas tahu 350 gram + 0% ragi tempe + waktu tinggal 0 jam

K1T0 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,2% ragi tempe + waktu tinggal 0 jam

K2T0 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,3% ragi tempe + waktu tinggal 0 jam

K3T0 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,4% ragi tempe + waktu tinggal 0 jam

K4T0 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,5% ragi tempe + waktu tinggal 0 jam

K0T1 = Berat ampas tahu 350 gram + 0% ragi tempe + waktu tinggal 24 jam

K1T1 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,2% ragi tempe + waktu tinggal 24 jam

K2T1 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,3% ragi tempe + waktu tinggal 24 jam

K3T1 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,4% ragi tempe + waktu tinggal 24 jam

K4T1 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,5% ragi tempe + waktu tinggal 24 jam

K0T2 = Berat ampas tahu 350 gram + 0% ragi tempe + waktu tinggal 48 jam

K1T2 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,2% ragi tempe + waktu tinggal 48 jam

K2T2 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,3% ragi tempe + waktu tinggal 48 jam

K3T2 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,4% ragi tempe + waktu tinggal 48 jam

K4T2 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,5% ragi tempe + waktu tinggal 48 jam

K0T3 = Berat ampas tahu 350 gram + 0% ragi tempe + waktu tinggal 72 jam

K1T3 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,2% ragi tempe + waktu tinggal 72 jam

K2T3 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,3% ragi tempe + waktu tinggal 72 jam

K3T3 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,4% ragi tempe + waktu tinggal 72 jam

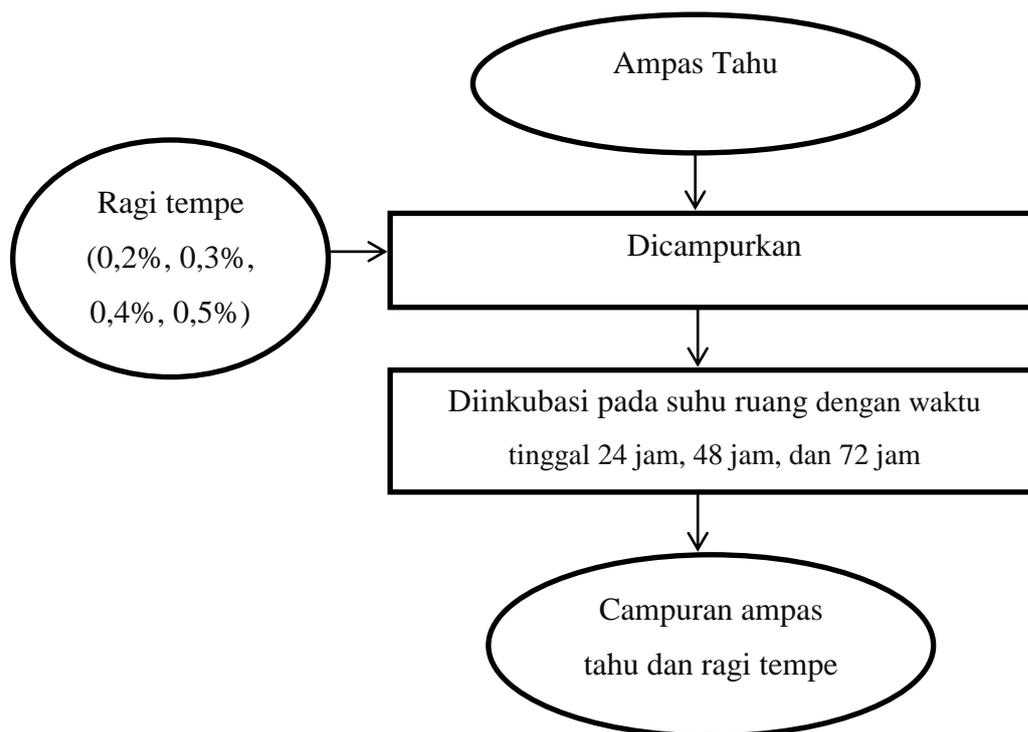
K4T3 = Berat ampas tahu 350 gram + 0,5% ragi tempe + waktu tinggal 72 jam

Penelitian perlakuan awal ampas tahu dengan dua faktor konsentrasi ragi tempe dan waktu tinggal. Ampas tahu yang digunakan pada penelitian ini adalah ampas tahu segar. Dilakukan pengamatan terhadap *soluble chemical oxygen demand* (S-COD), pH, *total volatile acid* (TVA) metode titrasi, *total solid* (TS) metode gravimetri, dan pengukuran lignoselulosa yang terdiri dari hemiselulosa, selulosa, dan lignin.

### **3.4. Pelaksanaan Penelitian**

#### **3.4.1. Perlakuan Awal Ampas Tahu**

Penelitian ini menggunakan sampel ampas tahu segar yang diperoleh dari industri tahu yang terdapat di Bandar Lampung. Perlakuan awal ampas tahu dilakukan dengan penambahan ragi tempe dengan waktu tinggal seperti tabel 3. Setelah itu, dilakukan pengambilan sampel untuk dilakukan analisis terhadap berbagai perlakuan awal.



Gambar 5. Diagram Alir *Pre-treatment* Ampas tahu

### 3.5. Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan adalah pengukuran pH, TVA, TS, S-COD, dan lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin).

#### 3.5.1. Pengukuran Derajat Keasaman (pH)

Pengukuran pH sampel menggunakan alat pH meter. Sampel ampas tahu diperas sehingga didapat air perasan ampas tahu. Prosedur pengukuran pH adalah sebagai berikut. Bilas elektroda dengan air bebas mineral, selanjutnya keringkan dengan kertas tisu halus. Celupkan elektroda ke dalam sampel uji sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang stabil. Catat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan dari pH meter. Bilas kembali elektroda dengan air bebas mineral setelah pengukuran (SNI 6989.11:2019).

### 3.5.2. Analisis *Total Volatile Acid* (TVA)

Analisis *total volatile acid* (TVA) dilakukan untuk mengetahui jumlah total padatan yang menguap pada bahan. Proses analisis TVA diawali dengan mempersiapkan bahan pengasam dan basa. Bahan pengasam yang digunakan yaitu  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 N. Untuk membuat  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 N, ambil 2,77 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan menggunakan pipet volumetric dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL. Encerkan dengan menambahkan aquades sampai batas tanda tera. Kemudian, larutan basa yang digunakan yaitu NaOH 0,1 N. Untuk membuat NaOH 0,1 N, ambil 40 gram NaOH dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL. encerkan dengan menambahkan aquades sampai batas tera.

Proses analisis TVA sampel dilakukan dengan memasukkan 50 mL sampel ke dalam Erlenmeyer 250 mL. selanjutnya, tetapkan pH sampel tersebut menuju pH 4 dengan menambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 N. Panaskan larutan sampel tersebut hingga mendidih selama  $\pm 3$  menit menggunakan hot plate & magnetic stirrer Fisher Scientific. Dinginkan sampel sampai suhu ruang. Tambahkan 3 tetes indikator PP dan kemudian dititrasi dengan NaOH 0,1 N sampai menunjukkan perubahan warna (biasanya merah muda). Catat volume titar terpakai pada lembar pengamatan. Adapun perhitungan TVA yaitu sebagai berikut:

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

(Nurjanah, 2022)

### 3.5.3. Analisis *Total Solid* (TS)

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 ke dalam cawan dan timbang dan panaskan menggunakan oven memmert dengan suhu

103°C – 105°C selama 24 jam. Setelah proses pengeringan, cawan didinginkan didalam desikator selama 15 menit, lalu menimbang cawan berisi sampel. Setelah didapatkan bobot tetap dilakukan perhitungan TS dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

(SNI 06-6989.26-2005).

#### **3.5.4. Analisis Soluble Chemical Oxygen Demand (S-COD)**

Pengukuran *Soluble Chemical Oxygen Demand* (S-COD) dilakukan untuk mengetahui total kebutuhan oksigen dalam mengoksidasi bahan organik padatan dalam larutan (*soluble*) secara kimiawi. Pengukuran dilakukan pada sampel setelah proses perlakuan awal. Proses pengukuran S-COD yaitu dengan memasukan 45 mL sampel ke dalam sentrifuge. Proses sentrifugasi dilakukan dengan kecepatan 3000 rpm selama 10 menit. Sampel limbah yang telah terpisah dari padatan terlarutnya (supernatan) diambil sebanyak 0,2 mL menggunakan pipet volumetrik 1 mL. Sampel dimasukan kedalam tabung yang 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 HACH spektrofotometer DR4000 (SNI 06-6989.2-2004).

#### **3.5.5. Analisis Lignoselulosa**

Analisis lignin, selulosa, dan hemiselulosa dilakukan dengan mengacu pada metode Chesson (1871) dalam Widyawati and Argo, (2014). Sampel dikeringkan dengan suhu 105,5°C sampai bobot konstan. Diambil 1 gram sampel kering dan ditambahkan 150 ml aquades, lalu didihkan selama 2 jam disertai dengan pendingin balik. Saring dan oven pada suhu 105,5 °C, kemudian timbang (residu

pertama). Selanjutnya didihkan kembali residu pertama menggunakan 150 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M selama 2 jam disertai dengan pendingin balik lalu disaring. Residu dicuci dengan 300 ml aquades dan dioven pada suhu 105,5 °C lalu ditimbang (residu kedua). Residu kedua ditambahkan dengan 10 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% dan didiamkan selama 4 jam pada suhu kamar. Setelah itu, residu ditambahkan dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N sebanyak 150 ml dan didihkan selama 2 jam disertai dengan pendingin balik. Kemudian residu disaring lalu dicuci dengan 300 ml aquades dan dioven pada suhu 105 °C (residu ketiga). Residu keempat diperoleh dengan pengabuan residu pada suhu 575 °C selama 3 jam dan ditimbang.

$$A. \text{ Hemiselulosa} = \frac{\text{residu pertama} - \text{residu kedua}}{\text{sampel}} \times 100\%$$

$$B. \text{ Selulosa} = \frac{\text{residu kedua} - \text{residu ketiga}}{\text{sampel}} \times 100\%$$

$$C. \text{ Lignin} = \frac{\text{residu ketiga} - \text{residu keempat}}{\text{sampel}} \times 100\%$$

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah

1. Terjadi peningkatan *biodegradability* penambahan ragi tempe dalam ampas tahu yang ditandai oleh peningkatan *Soluble-Chemical Oxygen Demand* (S-COD) sebesar 25,840 mg/L, nilai *Total Volatile Acid* (TVA) sebesar 4,656 mg/L, dan kondisi pH asam sebesar 5,06 dengan waktu tinggal 72 jam pada konsentrasi ragi 0,5%. Penurunan nilai *Total Solid* (TS) terendah yaitu 9,04%, Hemiselulosa 33,13%, selulosa 25,38%, dan lignin 5,81% pada waktu tinggal 48 jam.
2. Perlakuan terbaik pada penambahan ragi tempe dalam ampas tahu dengan konsentrasi ragi 0,5% waktu tinggal 72 jam menghasilkan nilai *Soluble-Chemical Oxygen Demand* (S-COD) dan *Total Volatile Acid* (TVA) tertinggi yaitu berturut-turut 25.840 mg/L dan 4.656 mg/L.
3. Penambahan ampas tahu yang di *pre-treatment* menggunakan ragi tempe konsentrasi 0,5% dan waktu tinggal 72 jam dapat meningkatkan produksi biogas dari limbah cair tahu sebesar 3,396 m<sup>3</sup> biogas.

## 5.2. Saran

Saran yang diajukan dari penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai *pre-treatment* ampas tahu dengan ragi tempe agar didapatkan air perasan yang lebih banyak dan penelitian lanjutan mengenai pembuatan biogas dari limbah cair tahu yang ditambahkan dengan ampas tahu yang telah dilakukan *pre-treatment* dengan ragi tempe.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, N., 2022. pengaruh pemberian konsentrasi ragi dan lama fermentasi terhadap kualitas tempe segar di rumah tempe indonesia. *Skripsi*. Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia. Banten. 82 hlm.
- Andarwulan, N., Nuraida, L., Adawiyah, D.R., Noviar, R., Agustin, D., Gitapратиwi, D. 2018. Pengaruh Perbedaan Jenis Kedelai terhadap Kualitas Mutu Tahu. *Jurnal Mutu Pangan*. Vol. 5(2): 66–72.
- Anindyawati, T. 2010. Potensi Selulase Dalam Mendegradasi Lignoselulosa Limbah Pertanian Untuk Pupuk Organik. *Jurnal Selulosa*. Vol. 45(2): 70–77.
- Annur, S., Kusmasari, W., Wulandari, R., Sumiati. 2020. Pengembangan Biogas Dari Sampah Untuk Energi Listrik Dan Bahan Bakar Kompor Di Tpa Cilowong, Kota Serang, Provinsi Banten. *Jurnal Keuangan Umum dan Akuntansi Terapan*. Vol. 2(1): 48–51.
- Ariandi. 2016. Pengenalan Enzim Amilase (*Alpha-Amylase*) Dan Reaksi Enzimatiknya Menghidrolisis Amilosa Pati Menjadi Glukosa. *Jurnal Dinamika*. Vol. 7(1): 74–82.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2004. Standar Nasional Indonesia (Sni 06-6989.2-2004) Tentang Air Dan Air Limbah – Bagian 2: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Terlarut Kimia (Kok) Dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri. 7 hlm.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2004. Standar Nasional Indonesia (SNI 06-6989.26-2005) Tentang Air dan Air Limbah – Bagian 26: Cara Uji Padatan Total Secara Gravimetri. 5 hlm.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2019. Standar Nasional Indonesia (SNI 6989.11:2019) Tentang Air dan Air Limbah – Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan pH meter. 3 hlm.

- Badan Pusat Statistik (BPS). 2022. *Rata-Rata Konsumsi Tahu Per Kapita Per Minggu*. Statistik Indonesia. Jakarta. 426 hlm.
- Broughton, A.D. 2009. Hydrolysis and Acidogenesis of Farm Dairy Effluent for Biogas Production at Ambient Temperatures. *Thesis*. Massey University. New Zealand. 140 hlm.
- Budiyono, B., Syaichurrozi, I. 2020. A Review : Biogas Production From Tofu Liquid Waste. IOP Conference Series: Material Science And Engineering.
- Dewi, C., Purwoko, T., 2005. Produksi Gula Reduksi oleh *Rhizopus oryzae* dari Substrat Bekatul. *Jurnal Bioteknologi*. Vol. 2(1): 21–26.
- Fadilah, A.A., Hertamawati, R.T. 2021. Perbaikan Kualitas Kimiawi Tepung Kuning Telur Ayam Dengan Fermentasi Kuning Telur Menggunakan Ragi Tempe. *ANIMPRO : Conference of Applied Animal Science Proceeding*.
- Firdaus, F., Purwanto, B., Salundik. 2014. Dosis Penggunaan Mikroorganisme Lokal (MOL) Ragi Tempe dan Isi Rumen Untuk Pengomposan. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*. Vol. 2(1): 257–261.
- Fransistika, R., Idiawati, N., Destiarti, L. 2012. Pengaruh Waktu Fermentasi Campuran *Trichoderma reesei* Dan *Aspergillus niger* Terhadap Kandungan Protein Dan Serat Kasar Ampas Sagu. *Jurnal Kimia dan Kemasan*. Vol. 1(1): 35–39.
- Hapsari, F., Prasetyo, I., Budhijanto, W. 2015. Evaluasi Efek *Pre-treatment* Ultrasonik Pada Proses Hidrolisis Enzimatis Ampas Tahu. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 9(2): 65–70.
- Hasanudin, U., Haryanto, A., Sapura, M.T.A. 2022. Peningkatan Produksi Biogas Dari Air Limbah Industri Tapioka Menggunakan Onggok. LPPM. Universitas Lampung. Lampung.
- Herawati, D.A., Wibawa, A.A. 2010. Pengaruh *Pre-treatment* Jerami Padi pada Produksi Biogas dari Jerami Padi dan Sampah Sayur Sawi Hijau Secara Batch. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 4(1): 25–29.
- Hidayat, A.R., 2008. Kandungan Nutrisi Ampas Tahu Yang Difermentasi Dengan Ragi Tempe. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin. Makassar. 62 hlm.
- Husin, A., Sarto, Siti, S., Imam, P. 2014. Produksi Biohidrogen Dari Hidrolisat Ampas Tahu Secara Fermentasi Anaerob Menggunakan Kultur Campuran.

*Jurnal Reaktor*. Vol. 15(2): 87–96.

- Jaya, D.J., Ariyani, L., Hadijah. 2018. Perencanaan Produksi Bersih Industri Pengolahan Tahu Di Ud. Sumber Urip Pelaihari. *Jurnal Agroindustri*. Vol. 8(2):105-112.
- Jannah, A.M., 2010. Proses Fermentasi Hidrolisat Jerami Padi Untuk Menghasilkan Bioetanol. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 17(1): 44–52.
- Jin, G., Bierma, T., Walker, P.M. 2014. Low-Heat, Mild Alkaline *Pretreatment* Of Switchgrass For Anaerobic Digestion. *Journal Environment Science Health - Part A Toxic/Hazardous Substances Environmental Engineering*. Vol. 49(5): 565–574.
- Kahar, A., Warmadewanthi, I., Hermana, J. 2018. Effect Of Ph On Liquid-Phase Mass Transfer And Diffusivity Coefficient At Leachate Treatment Of Municipal Waste Landfill In Anaerobic Bioreactor. *Journal Eksergi*. Vol. 15(2): 24–33.
- Khaidir. 2016. Pengolahan Limbah Pertanian Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Agrium*. Vol. 13(2): 63–68.
- Kusuma, G.P.A.W., Nocianitri, K.A., Pratiwi, I.D.P.K. 2020. Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Karakteristik Fermented Rice Drink Sebagai Minuman Probiotik Dengan Isolat *Lactobacillus* sp. F213. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. Vol. 9(2) :182-193.
- Lam, J., Heegde, F. 2011. Domestic Biogas Compact Course: Technology and Mass-Dissemination Experiences From Asia in Domestic Biogas Compact Course. University of Oldenburg. 75 hlm.
- Mahdiyah, D. 2016. Isolasi Bakteri Dari Tanah Gambut Penghasil Enzim Protease. *Jurnal Pharmascience*. Vol. 2(2): 71–79.
- Meegoda, J.N., Li, B., Patel, K., Wang, L.B. 2018. A Review of the Processes , Parameters , and Optimization of Anaerobic Digestion. *International Journal Environmental Research and Public Health*. Vol. 15(2224): 1–16.
- Mujdalipah, S. 2016. Pengaruh Ragi Tradisional Indonesia Dalam Proses Fermentasi Santan Terhadap Karakteristik Rendemen, Kadar Air, Dan Kadar Asam Lemak Bebas Virgin Coconut Oil (VCO). *Jurnal FORTECH*. Vol 1(1): 1–6.

- Mukhoyaroh, H. 2015. Pengaruh Jenis Kedelai, Waktu dan Suhu pemeraman Terhadap Kandungan protein Tempe Jedelai. *Jurnal Florea*. Vol. 2(2): 47–51.
- Natassya, R., 2016. Uji Aktivitas Enzim Protease Oleh *Rhizopus oryzae* dan *Neuspora crassa* Pada Substrat Ampas Tahu. *Skripsi*. Universitas Brawijaya. Malang. 108 hlm.
- Ningsih, L.M., Mazancová, J., Hasanudin, U., Roubík, H. 2022. Water Consumption And Wastewater Produced In Tofu Industry: Evidence From Indonesia. je součástí České zemědělské univerzity v Praze.
- Ningsih, L.M., Mazancová, J., Hasanudin, U., Roubík, H. 2022. Energy Audit in Tofu Industry: Evidence From Indonesia. je součástí České zemědělské univerzity v Praze.
- Nugroho, W.W. 2016. Pengaruh Lama Fermentasi Ampas tahu Dengan Menggunakan Ragi tempe (*Rhizopus Oryzae*) Terhadap Kualitas Fisik Dan Kimiawa. *Skripsi*. Universitas Brawijaya. Malang. 102 hlm.
- Nurholipah, N., Ayun, Q. 2021. Isolasi Dan identifikasi *Rhizopus oligosporus* Dan *Rhizopus oryzae* Pada Tempe Asal Bekasi. *Jurnal Teknologi Pangan*. Vol. 15(1): 98–104.
- Nurjanah, S., 2022. Peningkatan Biodegradability Campuran Onggok Pada Air Limbah Segar Tapioka. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. 73 hlm.
- Purwoko, Romli, M., Suprihatin, Haditjaroko, L. 2016. Perlakuan Awal Jerami Sorgum Secara Biologis dan Co-Digestion dengan Sludge Pada Produksi Biogas. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. Vol. 26(2): 134–142.
- Rahayu, Winiati, P., Pambayun, R., Santoso, U., Nuraida, L., Ardiansyah. 2015. Tinjauan Ilmiah Teknologi Pengolahan Tempe Kedelai. Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia. Jakarta. 47 hlm.
- Rahmawati, S.H., Puspitaningrum, C., 2022. Analisis Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dan Efektivitasnya Terhadap Masyarakat dan Lingkungan di Bandar Lampung. *Journal Open Science and Technology*. Vol. 2(1): 54–61.
- Ramadhan, E. 2015. Produksi Enzim Selulase Menggunakan Mikrofungi *Mucor circinelloides*, *Rhizopus oryzae* dan *Aspergillus niger* Pada Substrat Limbah Padat Tapioka (Onggok), Serbuk Jerami, Dedak, dan Campuran. *Skripsi*. Universitas Brawijaya. Malang. 120 hlm.

- Razie, F., Iswandi, A., Sutandi, A., Gunarto, L. 2011. Aktivitas Enzim Selulase Mikroba Yang Diisolasi Dari Jerami Padi Di Persawahan Pasang Surut Di Kalimantan Selatan. *Jurnal Tanah Lingkungan*. Vol. 13(2): 43–48.
- Rekha, B.N., Pandit, A.B. 2013. Performance enhancement of batch anaerobic digestion of napier grass by alkali *pre-treatment*. *International Journal ChemTech Research*. Vol. 5(2): 558–564.
- Rendika, N., Yudiarti, T., Isroil. 2016. Pengaruh Pemberian Aditif Pakan Probiotik *Rhizopus oryzae* Dalam Ransum Terhadap Bobot dan Panjang Organ Pencernaan Ayam Kampung. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Rhohman, F., Anam, M.K., Pamungkas, D. 2022. Perancangan Mesin Pengepress Ampas Tahu Elektrik. *Jurnal Mesin Nusantara*. Vol. 4(1): 47–54.
- Ridhuan, K. 2012. Pengolahan Limbah Cair Tahu Sebagai Energi Alternatif Biogas yang ramah lingkungan. *Jurnal TURBO*. Vol. 1(1): 1-9.
- Rohmah, N., Sugiarto, A.T. 2008. Penurunan TS (*Total Solid*) pada Limbah Cair Industri Perminyakan dengan Teknologi AOP. Prosiding Seminar Nasional Teknoin Bidang Teknik Kimia Dan Tekstil. *Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*. Yogyakarta.
- Safitri, R., Dewi, S., Rossiana, N. 2014. Bodegradasi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) Oleh Jamur Lignoselulolitik, dalam Mengurai Stagnasi Inovasi Berbasis Litbang Di Indonesia. Prosiding Forum Tahunan Pengembangan Ilmu Pengetahuan, Teknologi, Dan Inovasi Nasional : 55–63.
- Samura, L., Burhannudinnur, M., Prakoso, S., Rosyidan, C., Putra, R.H., Atlantika, G., Auliya, H. 2022. Pemanfaatan Komposit Natural Bentonit Dan Ampas Tebu Sebagai Penjernih Air Limbah Industri tahu Harapan Maju. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*. Vol. 4(2): 133–139.
- Saputra, F., Sutaryo, Purnomoadi, A. 2018. Pemanfaatan Limbah Padat Industri Tahu sebagai Co-Subtrat untuk Produksi Biogas. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*. Vol. 7(3) :117–121.
- Sholihati, A.M., Baharuddin, M., Santi, S. 2015. Produksi dan Uji Aktivitas Enzim Selulase dari Bakteri *Bacillus subtilis*. *Jurnal Al-Kimia*. Vol. 3(2): 78–90.

- Simamora, C.J.K., Sukmawati, S. 2020. Identification and Characterization of PrTK-2 Bacterial Isolate Producing Extracellular Protease Enzym from Rubber Seeds Tempeh. *Journal Bioscience*. Vol 4(1): 79–88.
- Soetopo, R.S., Purwati, S., Setiawan, Y., Wardhana, K.A. 2011. Efektivitas Proses Kontinyu Digestasi Anaerobik Anaerobik Dua Tahap Pada Pengolahan Lumpur Biologi Industri Kertas. *Jurnal Riset Industri*. Vol. 5(2): 131–142.
- Subekti, S. 2011. Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi. Universitas Padjajaran. Bandung.
- Suprihatin. 2009. Manfaat Ekologis Dan Finansial Pemanfaatan Limbah Cair Agroindustri Sebagai Bahan Baku Dalam Produksi Biogas Untuk Mereduksi Emisi Gas Rumah Kaca. *Jurnal Agromet*. Vol. 23(2):101-111.
- Supriyatna, A., Amalia, D., Jauhari, A.A., Holydaziah, D. 2015. Aktivitas Enzim Amilase, Lipase, dan Protease Dari Larva *Hermetia illucens* yang diberi pakan jerami padi. *Jurnal Istek*. Vol. 9(2): 18–32.
- Surbakti, Asprina, B., Rahayu, Shinta, P., Sinek, M., Ginting, Raheliya, B. 2020. Sistem Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Penentuan Optimasi Ragi Tempe Pada proses Fermentasi Tempe Kedelai Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani (Studi Kasus : Pengrajin Tempe Kedelai Desa Bulu Cina). *Jurnal Ilmiah Simantek*. Vol. 4(2): 146–160.
- Suyitno, Sujono, A., Dharmanto. 2010. *Teknologi Biogas (Pembuatan, Operasional, dan Pemanfaatan)*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Taherzadeh, M.J., Karimi, K. 2008. *Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production : A Review*. *International Journal Molecular Sciences*. Vol. 9(1): 1621–1651.
- Tanjungsari, H., Sudarno, Andarani, P. 2016. Pengaruh Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terhadap Kualitas Air Sumur Ditinjau Dari Konsentrasi TDS, Klorida, Nitrat, COD dan Total coliform (Studi Kasus : RT 01, RW 02, Pemukiman Tunjungsari, Kelurahan Tembalang). *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol. 5(1): 1–11.
- Wahab, N., Ramli, I. 2022. Analisis Pengolahan Biogas Dari Campuran Limbah Sayur Kangkung Dan Eceng Gondok Dengan Starter Kotoran Sapi. *Jurnal Tecnoscienza*. Vol. 6(2): 234–245.

- Wati, L., Ahda, Y., Handayani, D. 2011. Pengaruh Volume Cairan Rumen Sapi Terhadap Berbagai Feses Dalam Menghasilkan Biogas. *Jurnal Ekstakta*. Vol. 1(15): 20–28.
- Widaningrum, I. 2015. Teknologi Pembuatan Tahu Yang Ramah Lingkungan (Bebas Limbah). *Jurnal Dedik*. Vol. 12(1): 14–21.
- Widyahapsari, D.A.N., Indrati, R., Setyabudi, S., Sardjono, S. 2016. Evaluasi Perlakuan Pendahuluan Menggunakan Kalsium Hidroksida untuk Biokonversi Jerami Padi Menjadi L-Asam Laktat oleh *Rhizopus oryzae* AT3. *Jurnal Agritech*. Vol. 36(3): 253-260.
- Widyawati, N.L., Argo, B.D. 2014. Pemanfaatan Microwave Dalam Proses Pretreatment Degradasi Lignin Ampas Tebu (Bagasse) Pada Produksi Bioetanol. *Jurnal Teknologi Pertanian*. Vol. 15(1): 1–6.
- Wirajaya, K.A., G.P. Ganda, P., Nyoman, S.A. 2016. Pengaruh Lama Fermentasi Secara Anaerob Cairan Pulpa Hasil Samping Fermentasi Biji Kakao Terhadap Karakteristik Alkohol. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. Vol. 4(1): 82–91.
- Zaman, Q., Suparno, G., Hariani, D. 2013. Pengaruh Kiambang (*Salvinia molesta*) Yang Difermentasi Dengan Ragi Tempe Sebagai Suplemen Pakan Terhadap Peningkatan Biomassa Ayam Pedaging. *Jurnal Lentera Bio*. Vol. 2(1): 131–137.