

**PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH CAIR INDUSTRI  
TEPUNG TAPIOKA MELALUI PENCERNAAN  
ANAEROB BERBANTUKAN SEL  
ELEKTROLISIS MIKROBA**

**TUGAS AKHIR TESIS**



**Oleh  
Nur Khomariah  
7780230003**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA  
JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
TAHUN 2025**

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Nur Khomariah

NIM : 7780230003

Judul Tesis : Produksi Biogas Dari Limbah Cair Industri Tepung Tapioka Melalui Pencernaan Anaerob Berbantuan Sel Elektrolisis Mikroba

Menyatakan bahwa:

1. Tesis yang diajukan adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana dan/ magister baik di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa maupun perguruan tinggi lainnya).
2. Tesis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian penulis sendiri tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan tim pembimbing.
3. Dalam Tesis tidak terdapat karya-karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang atau dicantumkan dalam daftar pustaka.

Apabila pernyataan ini tidak sesuai maka saya bersedia diberi sanksi sesuai dengan norma yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh rasa tanggung jawab dan segala konsekuensinya

Cilegon, 29 Juli 2025



Nur Khomariah  
NIM 7780230003

## HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR TESIS

PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH CAIR INDUSTRI

TEPUNG TAPIOKA MELALUI PENCERNAAN

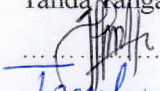
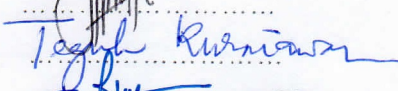
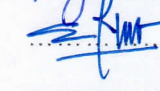
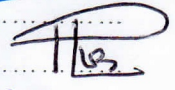
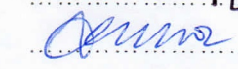
ANAEROB BERBANTUKAN SEL

ELEKTROLISIS MIKROBA

NUR KHOMARIAH

7780230003

Tugas Akhir telah dipertahankan dan diperbaiki sesuai dengan masukan tim dosen penguji

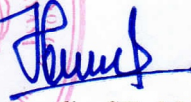
| Komisi Penguji:                               | Sebagai      | Tanda Tangan                                                                          |
|-----------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Dr. Iqbal Syaichurrozi, S.T., M.T.         | Ketua Sidang |     |
| 2. Prof. Teguh Kurniawan S.T., M.T., Ph.D.    | Sekretaris   |    |
| 3. Prof. Dr. Ir. Eka Sari, M.T., IPM., Asean. | Penguji 1    |    |
| 4. Dr. H. Rudi Hartono, M.T., IPM.            | Penguji 2    |  |
| 5. Dr. Widya Ernayati K., S.Si M.Si.          | Penguji 3    |   |

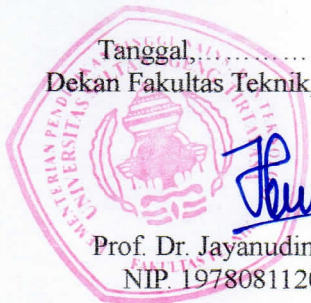
Mengetahui

Tanggal, .....  
Koordinator Program Studi Magister Teknik Kimia,

  
Prof. Teguh Kurniawan S.T., M.T., Ph.D.  
NIP 198305062006041002

Tanggal, .....  
Dekan Fakultas Teknik,

  
Prof. Dr. Jayanudin, ST., M.Eng.  
NIP. 197808112005011003



**LEMBAR PERSETUJUAN PROPOSAL TUGAS AKHIR TESIS**

**PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH CAIR INDUSTRI**

**TEPUNG TAPIOKA MELALUI PENCERNAAN**

**ANAEROB BERBANTUKAN SEL**

**ELEKTROLISIS MIKROBA**

**NUR KHOMARIAH**

**7780230003**

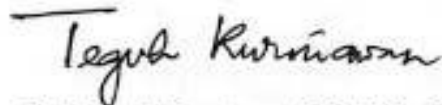
Telah disetujui untuk dilaksanakan Sidang Tugas Akhir Tesis

Tanggal, 14 Juni 2025  
Pembimbing I,



Dr. Iqbal Syaichurrozi, S.T., M.T.  
NIP. 199003202014041001

Tanggal, 14 Juni 2025  
Pembimbing II,



Prof. Teguh Kurniawan S.T., M.T., Ph.D.  
NIP 198305062006041002

Tanggal, 14 Juni 2025  
Koordinator Program Studi Magister Teknik Kimia,



Prof. Teguh Kurniawan S.T., M.T., Ph.D.  
NIP 198305062006041002



Prof. Dr. Jayanudin, ST., M.Eng.  
NIP. 197808112005011003

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita sekalian, khususnya kepada penulis. Dalam menyelesaikan proposal tesis ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Jayanudin, ST., M.Eng., Dekan Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
2. Bapak Teguh Kurniawan, S.T., M.T., Ph.D., Kordinator Program Studi Pasca Sarjana Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa sekaligus Pembimbing II
3. Bapak Dr. Iqbal Syaichurrozi, S.T., M.T. Sebagai Pembimbing I
4. Para dosen dan staf Pasca Sarjana Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
5. Orangtua, Suami, dan keluarga peneliti
6. Teman-teman satu angkatan 2023

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan proposal ini, baik dari segi penulisan maupun penyajian. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan proposal ini di masa mendatang.

Cilegon, 14 Juni 2025

Nur Khomariah

## RINGKASAN

Nur khomariah, 2025, Produksi Biogas Dari Limbah Cair Industri Tepung Tapioka Melalui Pencernaan Anaerob Berbantuan Sel Elektrolisis Mikroba (SEM-AD). *Tugas Akhir Tesis*. Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Pembimbing I: Dr. Iqbal Syaichurrozi, S.T., M.T. Pembimbing II: Prof. Teguh Kurniawan S.T., M.T., Ph.D.

Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional, pada tahun 2050 persentasi energi baru dan terbarukan dapat memenuhi kebutuhan energi nasional. Biogas adalah salah satu jenis energi baru dan terbarukan yang dapat dihasilkan dari limbah organik melalui proses pencernaan anaerob (AD). Proses AD dapat dikombinasikan dengan proses Sel Elektrolisis Mikroba (SEM) untuk meningkatkan produksi biogas. Limbah cair tapioka (LCT) merupakan salah satu limbah yang sangat melimpah di Indonesia dan belum diolah secara optimal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari kondisi optimum produksi biogas dari LCT melalui kombinasi proses AD dan SEM pada variasi pH umpan. Semua reaktor dijalankan secara batch sampai biogas berhenti dihasilkan. Parameter yang diukur selama proses adalah volume biogas, konsentrasi *Volatile Fatty Acids* (VFA), *Chemical Oxygen Demand* (COD), pH dan kandungan metana. Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil kondisi optimum produksi biogas terjadi pada variasi pH umpan 7 proses SEM-AD yaitu sebesar 340,58 mL/g-COD dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 44 %. Kandungan metana pada SEM-AD juga ditemukan lebih besar dari pada AD. Kehadiran SEM berkontribusi pada peningkatan nilai A,  $\mu$ , dan  $\lambda$ . Dalam penelitian ini, prediksi volume kumulatif biogas menggunakan model Gompertz pada variasi terbaik yaitu SEM-AD pada pH umpan 7, nilai A,  $\mu$ , dan  $\lambda$  masing-masing adalah 340,58 mL/g-COD, 170,00 mL/g-COD/hari, dan 0,00 hari.

Kata kunci: Biogas, Limbah Cair Tapioka, Pencernaan Anaerob, Sel Elektrolisis Mikroba

## ABSTRACT

Nur khomariah, 2025, Produksi Biogas Dari Limbah Cair Industri Tepung Tapioka Melalui Pencernaan Anaerob Berbantuan Sel Elektrolisis Mikroba (SEM-AD). *Tugas Akhir Tesis*. Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Pembimbing I : Dr. Iqbal Syaichurrozi, S.T., M.T. Pembimbing II : Prof. Teguh Kurniawan S.T., M.T., Ph.D.

Based on the National Energy General Plan, by 2050 the percentage of new and renewable energy can meet national energy needs. Biogas is one type of new and renewable energy that can be produced from organic waste through the anaerobic digestion (AD) process. The AD process can be combined with the *Microbial Electrolysis Cell* (SEM) process to increase biogas production. Tapioca liquid waste (LCT) is one of the wastes that is very abundant in Indonesia and has not been processed optimally. The purpose of this study was to determine the optimum conditions for biogas production from LCT through a combination of AD and SEM processes at variations in feed pH. All reactors were run in batches until biogas was no longer produced. The parameters measured during the process were biogas volume, *Volatile Fatty Acids* (VFA) concentration, *Chemical Oxygen Demand* (COD), pH and methane content. From the research that has been conducted, the results obtained showed that the optimum conditions for biogas production occurred at variations in feed pH 7 of the SEM-AD process, which was 340.58 mL/g-COD with a COD removal efficiency of 44%. The methane content in SEM-AD was also found to be greater than AD. The presence of SEM contributed to the increase in the values of  $A$ ,  $\mu$ , and  $\lambda$ . In this study, the prediction of the cumulative volume of biogas using the Gompertz model at the best variation, namely SEM-AD at a feed pH of 7, the values of  $A$ ,  $\mu$ , and  $\lambda$  were 340.58 mL/g-COD, 170.00 mL/g-COD/day, and 0.00 day, respectively.

Keywords: Anaerobic Digestion, Biogas, Microbial Electrolysis Cell, Tapioca Liquid Waste

DAFTAR ISI

Contents

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR TESIS..... ii

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR TESIS..... iii

KATA PENGANTAR ..... iv

RINGKASAN..... v

ABSTRACT ..... vi

DAFTAR ISI..... vii

DAFTAR TABEL ..... ix

DAFTAR GAMBAR..... x

BAB I PENDAHULUAN..... 1

1.1 Latar Belakang ..... 1

1.2 Rumusan Masalah ..... 3

1.3 Tujuan Penelitian..... 4

1.4 Ruang lingkup ..... 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 5

2.1 Pengertian Biogas..... 5

2.2 Produksi Biogas..... 5

2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biogas..... 7

2.4 Sel Elektrolisis Mikroba (SEM) ..... 8

2.5 Limbah Cair Tapioka ..... 9

2.6 State of the Art.....11

2.7 Hipotesis..... 13

BAB III METODE PENELITIAN ..... 15

3.1 Prosedur Penelitian..... 15

3.1.1 Diagram Alir Penelitian..... 15

3.1.2 Experimental set-up..... 15

3.2 Alat dan Bahan ..... 16

3.2.1 Alat ..... 16

3.2.2 Bahan..... 17

|          |                                                                            |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3      | Desain Experimen dan Prosedur Penelitian .....                             | 18 |
| 3.4      | Pengumpulan Data .....                                                     | 19 |
| 3.4.1    | Analisis VFA .....                                                         | 19 |
| 3.4.2    | Analisis Chemical Oxygen Demand (COD) .....                                | 21 |
| 3.4.3    | Analisis Total Solid (TS) .....                                            | 21 |
| 3.4.4    | Analisis Total Suspended Solid (TSS) dan Total Dissolved Solid (TDS)<br>22 |    |
| 3.4.5    | Analisis Produksi Biogas.....                                              | 22 |
| 3.4.6    | Analisis PH.....                                                           | 22 |
| 3.5      | Pengolahan dan Analisis Data .....                                         | 22 |
| 3.5.1    | Yield Biogas .....                                                         | 22 |
| 3.5.2    | COD Removal .....                                                          | 23 |
| 3.5.3    | Analisis Kinetika .....                                                    | 23 |
| BAB IV   | HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                                 | 24 |
| 4.1      | Produksi Biogas.....                                                       | 25 |
| 4.2      | Profil pH and VFA.....                                                     | 27 |
| 4.3      | Pengurangan Chemical Oxygen Demand (COD).....                              | 29 |
| 4.4      | Kandungan Metana.....                                                      | 31 |
| 4.5      | Analisis Kinetika .....                                                    | 32 |
| 4.6      | Perbandingan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya.....              | 35 |
| 4.7      | Analisis Energi .....                                                      | 40 |
| BAB V    | KESIMPULAN DAN SARAN .....                                                 | 42 |
| DAFTAR   | PUSTAKA.....                                                               | 43 |
| LAMPIRAN | .....                                                                      | 50 |

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Hasil Uji Labolatorium Sampel Limbah Cair Tapioka Tapioka..... 10

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu..... 16

Tabel 3.1 Alat dan Kegunaan ..... 16

Tabel 3.2 Bahan dan Kegunaan..... 17

Tabel 3.3 Desain Experimen ..... 18

Tabel 3.4 Jadwal Pelaksanaan ..... 21

Tabel 4. 1. Karakteristik Limbah dan Inokulum ..... 24

Tabel 4. 2. Kandungan Metana ..... 32

Tabel 4. 3. Konstanta kinetik produksi biogas ..... 33

Tabel 4. 4. Perbandingan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya ..... 37

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2. 1. Skema Sel SEM-AD Menghasilkan Biogas..... 8

Gambar 2. 2. Proses produksi tapioka skala kecil.....11

Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian..... 15

Gambar 3. 2. Rangkaian Alat Penelitian Skala Labolatorium ..... 16

Gambar 3. 3 Curve Sigmoid ..... 23

Gambar 4. 1. Profil produksi biogas (a) Harian, (b) Kumulatif..... 25

Gambar 4. 2. (A) Profil pH (B) Profil VFA ..... 28

Gambar 4. 3. COD Removal ..... 30

Gambar 4. 4. Perbandingan data eksperimen dan model Gompertz yang  
dimodifikasi ..... 35

Gambar 4. 5. Profil arus listrik pada MEC-AD ..... 40

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia, sebagai negara dengan jumlah penduduk yang besar dan potensi sumber daya alam yang melimpah memiliki peluang besar untuk mengembangkan energi terbarukan. Indonesia telah mengeluarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang menetapkan target minimal porsi energi terbarukan sebesar 23% dalam bauran energi pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 (Syaichurrozi, et. al. 2023). Penetapan RUEN bertujuan mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Biogas merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang berpotensi untuk. Biogas dapat dihasilkan melalui pemecahan bahan organik oleh mikroorganisme anaerob. Proses ini tidak hanya menyediakan energi terbarukan tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan limbah yang efektif (Khanal, 2008).

Di Indonesia, limbah cair tapioka (LCT) merupakan jenis limbah yang sangat melimpah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas. Indonesia merupakan produsen tepung tapioka nomor dua di Asia setelah Thailand dengan produksi rata-rata produksi sebesar 18,3 juta ton pada tahun 2020 (Teguh *et al.*, 2022). Produksi 1 ton tepung tapioka, industri tersebut akan menghasilkan limbah cair sebanyak 12.000 liter (Azizah *et al.*, 2017). Limbah cair ini berasal dari berbagai tahap, termasuk pencucian, ekstraksi, dan pengendapan. Limbah cair dari industri tepung tapioka tidak hanya mengeluarkan bau yang tidak sedap dan menyebabkan kekeruhan air tetapi juga menimbulkan ancaman pencemaran yang signifikan terhadap lingkungan perairan jika tidak diolah dengan baik (Agung R & Winata, 2017).

Pada umumnya, LCT langsung dibuang ke aliran sungai tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu sehingga menimbulkan kerusakan lingkungan (Saputra *et al.*, 2016). Limbah padat biasanya diolah menjadi bahan yang memiliki nilai ekonomis. Limbah padat tersebut terdiri dari kulit singkong dan onggok. Kulit singkong dimanfaatkan sebagai pakan ternak, sedangkan onggok diolah menjadi

tepung asia (Indrianecu & Singkawijaya, 2019). Teknologi pengolahan limbah yang efektif dan efisien diperlukan untuk mengolah limbah cair tersebut.

Limbah cair tapioka (LCT) mengandung bahan organik yang tinggi, yaitu glukosa sebesar 21,067%, karbohidrat sebesar 18,9%, dan vitamin C sebesar 51,040% (Rivera *et al.*, 2019). Menurut Sensih & Prayitno (2020), limbah cair ini juga mengandung *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi yaitu berkisar antara 7.000 hingga 30.000 mg/L dan rasio COD/N sebesar 96 (Neves *et al.*, 2016). Rasio COD/N ideal untuk proses pencernaan anaerob berkisar 50 sampai 143 (Speece, 1983). Proses AD akan mengkonversi COD menjadi biogas (Ahmadi-Pirlou & Mesri Gundoshmian, 2021). LCT dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi biogas karena memiliki kandungan COD yang tinggi.

Produksi biogas dapat ditingkatkan dengan mengkombinasikan proses pencernaan anaerob (AD) dengan sel elektrolisis mikroba (SEM) (Syaichurrozi *et al.*, 2024). Dalam integrasi sel elektrolisis mikroba dan pencernaan anaerob (SEM-AD), elektroda (anoda dan katoda) dimasukkan langsung ke dalam reaktor pencernaan anaerob. Kondisi ini memungkinkan proses SEM dan AD terjadi secara bersamaan dalam satu reaktor, sehingga menyederhanakan pengaturan. Ketika arus listrik dialirkan, mikroorganisme yang aktif secara elektrokimia mengoksidasi senyawa organik dianoda dan mengubah menjadi metan dikatoda melalui metanogenesis jalur transfer elektron antar spesies langsung (TEL) (Syaichurrozi *et al.*, 2024). Metanogenesis jalur TEL lebih efisien dibandingkan metanogenesis transfer elektron antar spesies tidak langsung (TETL) dalam produksi metan. Dalam SEM-AD, metan dihasilkan melalui metanogenesis jalur TEL dan TETL. Sedangkan pada AD metan dihasilkan melalui jalur TETL. Penelitian lain oleh Yu *et al.* (2018) penerapan SEM pada AD dapat mempercepat degradasi substrat dan mengubah komunitas mikroba dengan memperkaya eksoelektrogen dan metanogen sehingga meningkatkan produksi biogas. Sehingga, kehadiran SEM pada AD diharapkan dapat meningkatkan degradasi senyawa organik dan produksi metan.

Peneliti sebelumnya telah melakukan proses SEM-AD untuk mengolah berbagai limbah, antara lain limbah cair tahu yang berhasil meningkatkan produksi

biogas sebesar 14,4-114,5% dan menghasilkan COD removal 20,2 % (Syaichurrozi *et al.*, 2024), limbah lumpur aktif menghasilkan metan hingga 27,2-44,8 % dan COD removal 80 % (Joicy *et al.*, 2022), limbah cair tapioka tiruan menghasilkan total yield biogas sebesar 268,9 yang meningkat hingga 2,5 kali dibandingkan AD dan COD removal sebesar 38% (Khomariah *et al.*, 2024), serta limbah kulit lidah buaya dan kotoran sapi yang menghasilkan total biogas 444,20 NmL/g VS dan terjadi peningkatan hingga 1,8 kali dibandingka AD (Xing *et al.*, 2021). Berdasarkan informasi diatas, penerapan SEM-AD untuk limbah cair tapioka belum pernah dilakukan.

Salah satu faktor yang mempengaruhi hasil biogas adalah pH, karena pH awal merupakan faktor fundamental bagi aktivitas bakteri (Kafle *et al.*, 2013). pH menentukan kelangsungan hidup mikroorganisme sejak awal proses pencernaan dan mempengaruhi semua tahapan proses anaerob. Menurut Metcalf & Eddy Inc. *et al.*, (2003) kisaran pH optimum untuk proses anaerob adalah 6,9-7,3. Laju pembentukan biogas tidak optimal jika tingkat pH berada di bawah atau di atas kisaran ideal. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mencari kondisi pH optimum produksi biogas dan mengetahui pengaruh kombinasi proses pencernaan anaerob dan sel elektrolisis mikroba (SEM-AD) pada limbah cair tapioka. Penelitian ini merupakan penelitian baru karena penerapan teknologi SEM-AD untuk menghasilkan biogas dari limbah cair tapioka belum dieksplorasi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Limbah cair tapioka merupakan limbah yang mengandung kadar COD yang cukup tinggi, apabila tidak dilakukan pengolahan lebih lanjut terhadap limbah dapat menjadi permasalahan serius pada lingkungan. Peneliti sebelumnya telah melakukan proses SEM-AD untuk pengolah limbah cair tahu (Syaichurrozi *et al.*, 2024), protein (Bovine Serum Albumin) (Zhao *et al.*, 2021), glukosa (Choi *et al.*, 2017), limbah lumpur aktif (Joicy *et al.*, 2022), dan substrat campuran kotoran sapi dengan limbah kulit lidah buaya (Xing *et al.*, 2021). Berdasarkan informasi tersebut limbah cair tapioka belum pernah diteliti oleh peneliti lain. Salah satu metode pengolahan limbah cair tapioka yang potensial adalah pencernaan secara anaerob.

Proses AD sebelumnya dikombinasikan dengan pretreatmen hidrotermal (Kim et al., 2011) dan perlakuan asam basa (Qiao et al., 2023). Pada proses gabungan tersebut diperlukan dua reaktor sehingga memerlukan area yang lebih luas dan biaya yang lebih tinggi. Produksi biogas dapat ditingkatkan dengan mengkombinasikan proses pencernaan anaerob (AD) dengan sel elektrolisis mikroba (SEM). Pada SEM-AD, elektroda (anoda dan katoda) dipasang di dalam pencernaan anaerobik. Proses SEM-AD hanya memerlukan satu reaktor dimana proses SEM dan AD terjadi secara bersamaan di dalam reaktor, sehingga tidak memerlukan penambahan area. Sehingga pada penelitian ini digunakan proses SEM-AD pada limbah cair tapioka. Permasalahan yang terjadi adalah bagaimana pengaruh pH umpan terhadap produksi biogas dan bagaimana pengaruh SEM-AD terhadap peningkatan biogas dari LCT.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Mendapatkan kondisi optimum pH umpan terhadap produksi biogas dari limbah cair tepung tapioka.
2. Mendapatkan pengaruh peningkatan gas metan dari limbah cair tepung tapioka melalui SEM-AD

### **1.4 Ruang lingkup**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengolahan dan Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Bahan baku limbah cair tapioka diperoleh tahap settling dan inokulum berupa cairan rumen dari RPH Cilegon. Produksi biogas ini dilakukan menggunakan proses pencernaan Anaerob (AD) yang dikombinasikan dengan Sel Elektrolisis Mikroba (SEM) dan dioperasikan pada kondisi ruang. Menggunakan variable bebas berupa variasi pH umpan 5, 6, 7 dan 8. Variable terikat berupa volume biogas harian dan kumulatif, konsentrasi Volatile Fatty Acid (VFA), konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan kandungan metana.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abudi, Z. N., Hu, Z., Abood, A. R., Liu, D., & Gao, A. (2020). Effects of Alkali Pre-treatment, Total Solid Content, Substrate to Inoculum Ratio, and pH on Biogas Production from Anaerobic Digestion of Mango Leaves. *Waste and Biomass Valorization*, 11(3), 887–897. <https://doi.org/10.1007/S12649-018-0437-0>
- Adnan, A. A., Ismayana, A., Sailah, I., Shobi, I., & Indrasti, N. S. (2020). The potential usage of recycled waste water in small scale tapioca industry in Bogor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 472(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/472/1/012033>
- Agung R, T., & Winata, H. S. (2017). Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Dengan Menggunakan Teknologi Plasma. *Jurnal Imiah Teknik Lingkungan*, 2(2), 19–28.
- Andareswari, N., Hariyadi, S., & Yulianto, G. (2019). KARAKTERISTIK DAN STRATEGI PENGELOLAAN LIMBAH CAIR USAHA TAPIOKA DI BOGOR UTARA. *Jurnal Ecolab*, 13(2), 85–96. <https://doi.org/10.20886/JKLH.2019.13.2.85-96>
- Azizah, R. N., Slamet, A., & Yuniarto, A. (2017). Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tapioka Di Kabupaten Lampung Timur. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 3(5). <https://doi.org/10.12962/J23546026.Y2017I5.3126>
- Budiyono, B. (2014). Pengaruh pH dan Rasio COD:N Terhadap Produksi Biogas dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol (Vinasse). *Eksergi*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.31315/e.v11i1.324>
- Budiyono, B., Syaichurrozi, I., Suhirman, S., Hidayat, T., & Jayanudin, J. (2021). Experiment and modeling to evaluate the effect of total solid on biogas production from the anaerobic co-digestion of Tofu liquid waste and rice straw. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(4), 3489–3496. <https://doi.org/10.15244/pjoes/127277>
- Budiyono, B., Syaichurrozi, I., & Sumardiono, S. (2013). Biogas production from bioethanol waste: the effect of pH and urea addition to biogas production rate. *Waste Technology*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.14710/1.1.1-5>
- Budiyono, Widiassa, I. N., Johari, S., & Sunarso. (2010). The kinetic of biogas production rate from cattle manure in batch mode. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 37(1), 983–988.
- Buyukkamaci, N., & Filibeli, A. (2004). Volatile fatty acid formation in an

- anaerobic hybrid reactor. *Process Biochemistry*, 39(11), 1491–1494. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00295-4)
- Carlini, M., Castellucci, S., & Moneti, M. (2015). Biogas production from poultry manure and cheese whey wastewater under mesophilic conditions in batch reactor. *Energy Procedia*, 82, 811–818. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.817>
- Chakraborty, D., Ganesh, P. S., Suryawanshi, P. C., Kumar, B. G. P., & Ramachandran, S. (2018). Thermophilic Biomethanation of Food Waste for the Production of Biogas and Concomitant Use of Biogas as a Fuel Supplement for Cooking. *Bioprocess Engineering for a Green Environment*, 369–409. <https://doi.org/10.1201/B22021-17>
- Choi, K., Kondaveeti, S., & Min, B. (2017). Bioresource Technology Bioelectrochemical methane (CH<sub>4</sub>) production in anaerobic digestion at different supplemental voltages. *Bioresource Technology*, 245(September), 826–832. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.057>
- Cremonez, P. A., Teleken, J. G., Weiser Meier, T. R., & Alves, H. J. (2021). Two-Stage anaerobic digestion in agroindustrial waste treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 281, 111854. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.111854>
- De Vrieze, J., Arends, J. B. A., Verbeeck, K., Gildemyn, S., & Rabaey, K. (2018). Interfacing anaerobic digestion with (bio)electrochemical systems: Potentials and challenges. *Water Research*, 146, 244–255. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.08.045>
- Deublein, D. and Steinhauser, A. (2011). Biogas from Waste and Renewable Resources: An introduction, John Wiley & Sons. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1). [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484\\_SISTEM\\_PEMBETUNGAN\\_TERPUSAT\\_STRATEGI\\_MELESTARI](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI)
- Fudge, T., Bulmer, I., Bowman, K., Pathmakanthan, S., Gambier, W., Dehouche, Z., Al-Salem, S. M., & Constantinou, A. (2021). Microbial electrolysis cells for decentralised wastewater treatment: The next steps. *Water (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/w13040445>
- Gomes, C. S., Strangfeld, M., & Meyer, M. (2021). *Diauxie Studies in Biogas Production from Gelatin and Adaptation of the Modified Gompertz Model: Two-Phase Gompertz Model*. <https://doi.org/10.3390/app11031067>
- Han, W., He, P., Lin, Y., Shao, L., & Lü, F. (2019). A Methanogenic Consortium Was Active and Exhibited Long-Term Survival in an Extremely Acidified Thermophilic Bioreactor. *Frontiers in Microbiology*, 10(November), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02757>

- I. Syaichurrozi, S. Sarto, W.B. Sediawan, M. H. (2023). *View of Effect of Fe Addition on Anaerobic Digestion Process in Treating Vinasse: Experimental and Kinetic Studies*. Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 67(1), Pp. 127–140,. <https://pp.bme.hu/ch/article/view/20611/9665>
- Indrianeu, T., & Singkawijaya, E. B. (2019). Pemanfaatan Limbah Industri Rumah Tangga Tepung Tapioka Untuk Mengurangi Dampak Lingkungan. *JURNAL GEOGRAFI Geografi Dan Pengajarannya*, 17(2), 39. <https://doi.org/10.26740/jggp.v17n2.p39-50>
- Joicy, A., Seo, H., Lee, M. E., Kim, D. H., Cho, S. K., & Ahn, Y. (2022a). Enhanced methane production using pretreated sludge in MEC-AD system: Performance, microbial activity, and implications at different applied voltages. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(96), 40731–40741. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.07.154>
- Joicy, A., Seo, H., Lee, M. E., Kim, D. H., Cho, S. K., & Ahn, Y. (2022b). Enhanced methane production using pretreated sludge in MEC-AD system: Performance, microbial activity, and implications at different applied voltages. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(96), 40731–40741. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2022.07.154>
- Juanga, J. P., Visvanathan, C., & Tränkler, J. (2007). Optimization of anaerobic digestion of municipal solid waste in combined process and sequential staging. *Waste Management & Research: The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 25(1), 30–38. <https://doi.org/10.1177/0734242X07072085>
- Kadier, A., Simayi, Y., Abdeslahian, P., Azman, N. F., Chandrasekhar, K., & Kalil, M. S. (2016). A comprehensive review of microbial electrolysis cells (MEC) reactor designs and configurations for sustainable hydrogen gas production. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 427–443. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2015.10.008>
- Kafle, G. K., Kim, S. H., & Sung, K. I. (2013). Ensiling of fish industry waste for biogas production: A lab scale evaluation of biochemical methane potential (BMP) and kinetics. *Bioresource Technology*, 127, 326–336. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2012.09.032>
- Kanellos, G., Tremouli, A., Arvanitakis, G., & Lyberatos, G. (2024). Boosting methane production and raw waste activated sludge treatment in a microbial electrolysis cell-anaerobic digestion (MEC-AD) system: The effect of organic loading rate. *Bioelectrochemistry*, 155, 108555. <https://doi.org/10.1016/J.BIOELECHEMA.2023.108555>
- Karthikeyan, O. P., & Visvanathan, C. (2012). Bio-energy recovery from high-solid organic substrates by dry anaerobic bio-conversion processes: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 2012 12:3, 12(3), 257–284. <https://doi.org/10.1007/S11157-012-9304-9>

- Khanal, S. K. (2008). *Anaerobic biotechnology for bioenergy production: principles and applications*. 301.
- Khomariah, N., Syaichurrozi, I., & Kurniawan, T. (2024). Jurnal Bahan Alam Terbarukan Enhanced Biogas Production from Tapioca Wastewater Through the Microbial Electrolysis Cell-Assisted Anaerobic Digestion Process at Various Urea Additions. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 13(200), 146–155.
- Kim, D. H., Lee, D. Y., & Kim, M. S. (2011). Enhanced biohydrogen production from tofu residue by acid/base pretreatment and sewage sludge addition. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(21), 13922–13927. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.03.085>
- Kitching, M., Butler, R., & Marsili, E. (2017). Microbial bioelectrosynthesis of hydrogen: Current challenges and scale-up. *Enzyme and Microbial Technology*, 96, 1–13. <https://doi.org/10.1016/J.ENZMICTEC.2016.09.002>
- Lin, Y., Zhang, W., Li, C., Sakakibara, K., Tanaka, S., & Kong, H. (2012). Factors affecting ethanol fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* BY4742. *Biomass and Bioenergy, Complete*(47), 395–401. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2012.09.019>
- Matin, H. H. A., Damarjati, B. Y., Shidqi, M. I. G., Budiyono, B., Othman, N. H., & Wahyono, Y. (2024). Biogas Production From the Potato Peel Waste: Study of the Effect of C/N Ratio, Em-4 Bacteria Addition and Initial Ph. *Revista de Gestao Social e Ambiental*, 18(6), 1–21. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n6-039>
- Metcalf & Eddy Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). Chapter 13: Water Reuse. *Wastewater Engineering - Treatment and Reuse*, 1345–1446. [https://books.google.com/books/about/Wastewater\\_Engineering\\_Treatment\\_and\\_Reu.html?id=L1MAXTAKL-QC](https://books.google.com/books/about/Wastewater_Engineering_Treatment_and_Reu.html?id=L1MAXTAKL-QC)
- Neves, C., Maroneze, M. M., dos Santos, A. M., Francisco, E. C., Wagner, R., Zepka, L. Q., & Jacob-Lopes, E. (2016). Cassava processing wastewater as a platform for third generation biodiesel production. *Scientia Agricola*, 73(5), 412–416. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0302>
- Olukanni, D. O., & Olatunji, T. O. (2018). Cassava waste management and biogas generation potential in selected local government areas in Ogun State, Nigeria. *Recycling*, 3(4). <https://doi.org/10.3390/recycling3040058>
- Qiao, F., Zhang, G., Fan, J., Zhang, H., Shi, B., Yang, J., Zhang, J., & Han, Z. (2023). Hydrothermal pretreatment of protein-rich substrate: Modified physicochemical properties and consequent responses in its anaerobic digestion. *Carbon Resources Conversion*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.CRCON.2022.10.001>
- Rivera, I., Schröder, U., & Patil, S. A. (2019). Microbial Electrolysis for

- Biohydrogen Production: Technical Aspects and Scale-Up Experiences. *Biomass, Biofuels, Biochemicals: Microbial Electrochemical Technology: Sustainable Platform for Fuels, Chemicals and Remediation*, 871–898. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64052-9.00036-4>
- Saputra, A., Rahardianto, T., & Gomez, C. (2016). Dampak Pembuangan Limbah Tapioka Terhadap Kualitas Air Tambak di Kecamatan Margoyoso Kabupaten Pati. *Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS*, 577–587. <http://publikasiilmiah.ums.ac.id/handle/11617/8575>
- Sensih, D. G., & Prayitno, P. (2020). LIMBAH TAPIOKA UNTUK PRODUKSI BIOGAS: ALTERNATIF PENGOLAHAN DAN PENGARUH KONSENTRASI SUBSTRAT. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 6(2), 457–467. <https://doi.org/10.33795/DISTILAT.V6I2.158>
- Shitophyta, L. M., Maryudi, M., & Budiyono, B. (2017). COMPARISON OF KINETIC MODELS FOR BIOGAS PRODUCTION FROM RICE STRAW. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 6(2), 107–111. <https://doi.org/10.15294/JBAT.V6I2.9325>
- Soeprijanto, S., Kaiser, A. A., & Amalia, D. F. (2021). Biogas Production from Water Spinach and Banana Peel Waste Using Plug Flow Reactor. *IPTEK The Journal of Engineering*, 7(2), 46. <https://doi.org/10.12962/j23378557.v7i2.a9928>
- Speece, R. E. (1983). Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. *Environmental Science and Technology*, 17(9), 416A-427A. <https://doi.org/10.1021/ES00115A001>
- Sun, R., Zhou, A., Jia, J., Liang, Q., Liu, Q., Xing, D., & Ren, N. (2015). Characterization of methane production and microbial community shifts during waste activated sludge degradation in microbial electrolysis cells. *Bioresource Technology*, 175, 68–74. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2014.10.052>
- Syaichurrozi, I. (2017). Pengaruh Ph Umpan Terhadap Produksi Biogas Dari Kiangbang. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(4), 180. <https://doi.org/10.36055/jip.v6i4.2543>
- Syaichurrozi, I. (2022). *TEKNOLOGI BIOGAS - Dr. Iqbal Syaichurrozi, S.T., M.T.* - Google Buku. Adab. <https://books.google.co.id/books?id=hhVyEAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=id#v=onepage&q&f=false>
- Syaichurrozi, I., Murtiningsih, I., Angelica, E. C., Susanti, D. Y., Raharjo, J., Timuda, G. E., Darsono, N., Primeia, S., Suwandi, E., Kurniawan, & Khaerudini, D. S. (2024). A preliminary study: Microbial electrolysis cell assisted anaerobic digestion for biogas production from Indonesian tofu-processing wastewater at various Fe additions. *Renewable Energy*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121203>

- Syaichurrozi, I., Rusdi, R., Hidayat, T., & Bustomi, A. (2016). Kinetics Studies Impact of Initial pH and Addition of Yeast *Saccharomyces cerevisiae* on Biogas Production from Tofu Wastewater in Indonesia. *International Journal of Engineering*, 29(8), 1037–1046. [https://www.ije.ir/article\\_72765.html](https://www.ije.ir/article_72765.html)
- Teguh, T. E., Zakaria, W. A., Indah, L. S. M., & Seta, A. P. (2022). Strategies and Policies To Increase Competitiveness of Cassava in Lampung Province, Indonesia. *Jurnal Manajemen Dan Agribisnis*, 19(3), 492–500. <https://doi.org/10.17358/jma.19.3.492>
- Villano, M., Scardala, S., Aulenta, F., & Majone, M. (2013). Carbon and nitrogen removal and enhanced methane production in a microbial electrolysis cell. *Bioresource Technology*, 130, 366–371. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2012.11.080>
- Wang, X. T., Zhang, Y. F., Wang, B., Wang, S., Xing, X., Xu, X. J., Liu, W. Z., Ren, N. Q., Lee, D. J., & Chen, C. (2022). Enhancement of methane production from waste activated sludge using hybrid microbial electrolysis cells-anaerobic digestion (MEC-AD) process - A review. *Bioresource Technology*, 346. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.126641>
- Xiaomei, Z., Rujing, L., Jun, X., Yingying, H., Xinying, Z., & Li, X. (2022). Enhanced methane production by bimetallic metal–organic frameworks (MOFs) as cathode in an anaerobic digestion microbial electrolysis cell. *Chemical Engineering Journal*, 440(January), 135799. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135799>
- Xing, T., Yun, S., Li, B., Wang, K., Chen, J., Jia, B., Ke, T., & An, J. (2021a). Coconut-shell-derived bio-based carbon enhanced microbial electrolysis cells for upgrading anaerobic co-digestion of cow manure and aloe peel waste. *Bioresource Technology*, 338(May), 125520. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125520>
- Xing, T., Yun, S., Li, B., Wang, K., Chen, J., Jia, B., Ke, T., & An, J. (2021b). Coconut-shell-derived bio-based carbon enhanced microbial electrolysis cells for upgrading anaerobic co-digestion of cow manure and aloe peel waste. *Bioresource Technology*, 338, 125520. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.125520>
- Yu, Z., Leng, X., Zhao, S., Ji, J., Zhou, T., Khan, A., Kakde, A., Liu, P., & Li, X. (2018). A review on the applications of microbial electrolysis cells in anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 255, 340–348. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2018.02.003>
- Zhao, L., Wang, X. T., Chen, K. Y., Wang, Z. H., Xu, X. J., Zhou, X., Xing, D. F., Ren, N. Q., Lee, D. J., & Chen, C. (2021). The underlying mechanism of enhanced methane production using microbial electrolysis cell assisted anaerobic digestion (MEC-AD) of proteins. *Water Research*, 201(May). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117325>

Zou, L., Wang, C., Zhao, X., Wu, K., Liang, C., Yin, F., Yang, B., Liu, J., Yang, H., & Zhang, W. (2021). Enhanced anaerobic digestion of swine manure via a coupled microbial electrolysis cell. *Bioresource Technology*, 340(July). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125619>