

**PENINGKATAN PRODUKSI BIOGAS DARI AIR LIMBAH  
INDUSTRI TAPIOKA MENGGUNAKAN ONGGOK**

**(Tesis)**

**Oleh**

**Muhamad Teguh Angga Saputra  
NPM 2124051005**



**PROGRAM PASCA SARJANA  
TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

## **ABSTRACT**

### **ADDITION OF ONGGOK PRETREATED USING ASPERGILLUS NIGER TO INCREASE BIOGAS YIELD FROM TAPIOCA MILL WASTEWATER**

**By**

**MUHAMAD TEGUH ANGGA SAPUTRA**

Wastewater and onggok produced by the tapioca industry can be utilized as a source of raw materials in the production of biogas with the help of *Aspergillus niger* mold. Onggok contains high carbohydrate (starch) content and has the potential to be utilized as a substrate for biogas formation. However, carbohydrates (starch) cannot be decomposed immediately. *Aspergillus niger* mold can degrade starch to produce biogas. This study aims to determine the pretreatment of onggok using *Aspergillus niger* on S-COD, pH, TS, biogas production, and the best delay time. The research method is to make a bioreactor using Erlenmeyer which is placed on a magnetic stirrer and connected to a measuring cup as a biogas reservoir using a pipe. Inoculum *Aspergillus niger* slant agar method, the spores were taken by adding 5ml of distilled water. 10ml of spore solution was mixed into the mixture of onggok and wastewater. The mixture before being put into the bioreactor was pretreated in the form of submerged fermentation with the help of *Aspergillus niger* for 1, 2, and 3 days. The results showed that the administration of *Aspergillus niger* with a delay time of 2 days was the best as it was proven to increase biogas production by 1,783mL and methane gas by 51%.

**Keywords:** Biogas, onggok, tapioca wastewater, *Aspergillus niger*, delay time.

## **ABSTRAK**

### **PENAMBAHAN ONGGOK DENGAN PERLAKUAN ASPERGILLUS NIGER UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI BIOGAS DARI AIR LIMBAH PABRIK TAPIOKA**

**Oleh**

**MUHAMAD TEGUH ANGGA SAPUTRA**

Air limbah dan onggok yang dihasilkan industri tapioka dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku dalam pembuatan biogas dengan bantuan kapang *Aspergillus niger*. Onggok mengandung kandungan karbohidrat (pati) yang tinggi dan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai substrat pembentukan biogas. Namun, karbohidrat (pati) tidak dapat langsung terurai. Kapang *Aspergillus niger* dapat mendegradasi pati dalam menghasilkan biogas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pretreatment onggok menggunakan *Aspergillus niger* terhadap S-COD, pH, TS, produksi biogas, dan waktu tunda terbaik. Metode penelitian yaitu pembuatan bioreaktor menggunakan Erlenmeyer yang diletakkan di atas magnetic stirrer dan dihubungkan dengan gelas ukur sebagai penampung biogas menggunakan pipa. Inokulum *Aspergillus niger* metode agar miring, diambil sporanya dengan menambahkan 5 ml aquades. 10 ml larutan spora dicampurkan kedalam campuran onggok dan air limbah. Campuran tersebut sebelum dimasukkan ke dalam bioreaktor dilakukan pretreatment berupa fermentasi terendam dengan bantuan *Aspergillus niger* selama 1,2, dan 3 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian *Aspergillus niger* dengan waktu tunda 2 hari merupakan yang terbaik terbukti dapat meningkatkan produksi biogas sebesar 1.783mL dan gas metana sebesar 51%.

**Kata Kunci:** Biogas, onggok, air limbah tapioka, *Aspergillus niger*, waktu tunda

**PENINGKATAN PRODUKSI BIOGAS DARI AIR LIMBAH  
INDUSTRI TAPIOKA MENGGUNAKAN ONGGOK**

**Oleh**

**MUHAMAD TEGUH ANGGA SAPUTRA**

**Tesis**

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

**Pada**

Program Pascasarjana Magister Teknologi Industri Pertanian  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**PROGRAM PASCASARJANA  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

Judul Tesis : **PENINGKATAN PRODUKSI BIOGAS  
DARI AIR LIMBAH INDUSTRI TAPIOKA  
MENGUNAKAN ONGGOK**

Nama Mahasiswa : **Muhamad Teguh Angga Saputra**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2124051005

Program Studi : Magister Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Pertanian

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**



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



**Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**  
NIP 19650527 199303 1 002

**2. Ketua Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian**



**Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P.**  
NIP 19710930 199512 2 001



## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P. 

Penguji  
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Maria Erna K., M.Sc. 

  
Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T. ....



### 3. Direktur Program Pascasarjana

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

## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhamad Teguh Angga Saputra

NPM : 2124051005

dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil plagiat karya orang lain.

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

Bandar Lampung, Agustus 2023

Pembuat Pernyataan



Muhamad Teguh Angga Saputra

NPM. 2124051005

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Bandung, pada tanggal 29 Agustus 1996 sebagai anak tunggal dari pasangan Bapak Boy Rachman dan Ibu Muslimah. Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari TK Bina Putra pada tahun 2002, SD Negeri 2 Kedamaian pada tahun 2002-2008, SMP Negeri 23 Bandar Lampung pada tahun 2008-2011, SMA Negeri 1 Bandar Lampung pada tahun 2011-2014, Penulis telah menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2018. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan S2 di Program Magister Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2021,

Selama menjadi mahasiswa S2, penulis dipercaya menjadi Asisten Dosen mata kuliah “Teknologi Pengelolaan Limbah Agroindustri”



## SANWACANA

*Bismillaahirrahmaanirrahiim.* Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya tesis ini dapat diselesaikan. Tesis dengan judul “Peningkatan Produksi Biogas dari Air Limbah Industri Tapioka Menggunakan Onggok” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknologi Industri Pertanian di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung;
4. Ibu Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P. selaku Ketua Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, motivasi, bantuan, saran, dan nasihat;
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Udin Hasanudin, M.T. selaku pembimbing pertama tesis yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, saran, nasihat, bantuan dan fasilitas dalam penyusunan tesis;
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, bantuan, saran, dan nasihat hingga penyusunan tesis ini selesai;
7. Ibu Dr. Ir. Maria Erna K., M.Sc. selaku pembahas pertama atas bantuan, saran, dan evaluasinya terhadap karya tesis penulis;

8. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T. selaku pembahas kedua atas bantuan, saran, dan evaluasinya terhadap karya tesis penulis;
9. Ibu Dr. Ir. Siti Nurdjanah, M.Sc. selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, saran, dan nasihat, kepada penulis selama kuliah;
10. Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan ilmu, wawasan dan bantuan kepada penulis selama kuliah;
11. Bapak Joko yang telah memberikan bantuan, fasilitas, dukungan dan keceriaan selama penelitian;
12. Keluargaku tercinta, Bapak Boy rachman dan Ibu Muslimah Serta adikku Naili yang telah memberikan dukungan, motivasi, materi dan doa yang selalu menyertai penulis selama ini;
13. Putri Ajeng Kusuma Dewi, yang selalu mendampingi, dan memberikan semangat selama penulisan tesis ini;
14. Sahabat-sahabat terbaikku Asep, Denny, Komang, Desria, Arin, dan teman-teman MTIP angkatan 2021 atas pengalaman yang diberikan, bantuan, semangat, dukungan, serta kebersamaannya selama ini;
15. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

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

Bandar Lampung, Agustus 2023

Pembuat Pernyataan

**Muhamad Teguh Angga Saputra**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Kerangka Pemikiran.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Biogas .....	6
2.2 Limbah Cair Industri Tapioka .....	7
2.3 Limbah Padat Industri Tapioka .....	8
2.4. Nilai pH .....	9
2.5 Soluble <i>Chemical Oxygen Demand</i> (S-COD) .....	9
2.6 <i>Total Solid</i> (TS) .....	10
2.7 Volatile Solid (VS).....	10
2.8 Perlakuan Awal ( <i>Pretreatment</i> ) Onggok.....	10
2.9 Kapang <i>Aspergillus niger</i> .....	11
2.10 Fermentasi .....	12

<b>III. METODELOGI PENELITIAN.....</b>	<b>13</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	13
3.2 Alat dan Bahan .....	13
3.3 Metode Penelitian.....	13
3.4 Pelaksanaan Penelitian .....	15
3.4.1 Persiapan Bioreaktor dan Alat Pengukur Volume Biogas .....	15
3.4.2 Pembuatan Inokulum <i>Aspergillus niger</i> .....	16
3.4.3 Pretreatment Onggok.....	17
3.5 Pengamatan .....	17
3.5.1 Analisis pH.....	17
3.5.2 <i>Soluble Chemical Oxygen Demand (S-COD)</i> .....	18
3.5.3 Analisis Total Solid <i>Total Solid (TS)</i> Metode Gravimetri .....	19
3.5.4 <i>Volatile Solid (VS)</i> Metode Gravimetri .....	19
3.5.5 Analisis <i>Total Volatile Acid (TVA)</i> .....	19
3.5.6 Pengukuran Volume Biogas.....	20
3.5.7 Komposisi Gas .....	20
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>22</b>
4.1 Efek Penambahan <i>Aspergillus niger</i> pada Pretreatment Onggok .....	22
4.1.1 Analisis Parameter Total Solid (TS).....	22
4.1.2 Analisis Parameter Volatile Solid (VS).....	23
4.1.3 Analisis Parameter Soluble Chemical Oxygen Demand (S-COD).....	25
4.1.4 Analisis Parameter Total Volatile Acid (TVA).....	27
4.1.5 Analisis Parameter pH.....	28
4.2 4.2. Kinerja Proses Anaerobik .....	29
4.2.1 Analisis Perubahan Nilai Total Solid (TS).....	29
4.2.2 Analisis Perubahan Volatile Solid (VS).....	31
4.2.3 Analisis Perubahan Soluble Chemical Oxygen Demand (S-COD).....	33
4.2.4 Analisis Perubahan Total Volatile Acid (TVA).....	36
4.2.5 Analisis Perubahan pH .....	37

4.2.6	Produksi Biogas Harian dan Kumulatif.....	39
4.2.7	Komposisi Biogas dan Total Gas Metana .....	42
<b>5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>46</b>
5.1	Kesimpulan .....	46
5.2	Saran .....	46
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>47</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>53</b>

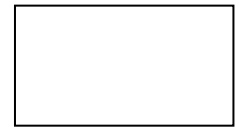
## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Industri Tapioka.....	8
Tabel_2. Komposisi Kimia Onggok .....	8
Tabel_3. Perlakuan komposisi air limbah dan waktu tunda .....	14
Tabel_4. Hasil Pengukuran S-COD Pretreatment.....	54
Tabel_5. Hasil Pengukuran S-COD Hari ke-0.....	54
Tabel_6. Hasil Pengukuran S-COD Hari ke-20.....	54
Tabel_7. Hasil Pengukuran TVA Pretreatment .....	55
Tabel_8. Hasil Pengukuran TVA Hari ke-0.....	55
Tabel_9. Hasil Pengukuran TVA Hari ke-20.....	55
Tabel_10. Hasil Pengukuran TS Pretreatment .....	56
Tabel_11. Hasil Pengukuran TS Hari ke-0 .....	56
Tabel_12. Hasil Pengukuran TS Hari ke-20 .....	56
Tabel_13. Hasil Pengukuran VS Pretreatment.....	57
Tabel_14. Hasil Pengukuran VS Hari ke-0.....	57
Tabel_15. Hasil Pengukuran VS Hari ke-20.....	57
Tabel_16. Hasil Pengukuran pH Pretreatment.....	58
Tabel_17. Hasil Pengukuran pH Hari ke-0.....	58
Tabel_18. Hasil Pengukuran pH Hari ke-20 .....	58
Tabel_19. Hasil Analisis Rata-rata Komposisi Gas Metana (CH <sub>4</sub> ).....	59
Tabel_20. Hasil Analisis Rata-rata Komposisi Gas Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> )	59
Tabel 21. Produksi Rata-Rata Harian Biogas .....	58
Tabel 22. Produksi Rata-Rata Kumulatif Biogas.....	58



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Kerangka pemikiran penelitian .....	5
Gambar 2 Rangkaian Bioreaktor dan Pengukur Volume Biogas.....	16
Gambar 3. Pengaruh penambahan <i>Aspergillus niger</i> dan waktu tunda terhadap perubahan nilai TS .....	22
Gambar 4. Pengaruh penambahan <i>Aspergillus niger</i> dan waktu tunda terhadap perubahan nilai VS .....	24
Gambar 5. Pengaruh penambahan <i>Aspergillus niger</i> dan waktu tunda terhadap perubahan nilai S-COD. ....	26
Gambar 6. Pengaruh penambahan <i>Aspergillus niger</i> dan waktu tunda terhadap perubahan nilai TVA.....	27
Gambar 7. Pengaruh penambahan <i>Aspergillus niger</i> dan waktu tunda terhadap perubahan nilai pH. ....	29
Gambar 8. Grafik Perubahan Nilai Total Solid (TS) .....	30
Gambar 9. Grafik Nilai TS Removal .....	31
Gambar 10. Grafik Perubahan Nilai <i>Volatile Solid</i> (VS).....	32
Gambar 11. Grafik Nilai VS Removal.....	33
Gambar 12. Grafik Perubahan Nilai soluble COD.....	34
Gambar 13. Grafik Nilai S-COD Removal .....	35
Gambar 14. Grafik Perubahan Nilai Total Volatile Acid (TVA).....	36
Gambar 15. Grafik Perubahan Nilai pH.....	38
Gambar 16. Grafik Produksi Biogas Harian .....	39
Gambar 17. Grafik Produksi Biogas Kumulatif.....	41



Gambar 18. Konsentrasi Gas Metana (CH <sub>4</sub> ) dalam Biogas .....	42
Gambar 19. Konsentrasi Gas Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ) dalam Biogas .....	43
Gambar 20. Grafik Total Metana Kumulatif .....	45
Gambar 21. Bahan baku onggok.....	61
Gambar 22. Spora <i>Aspergillus niger</i> .....	61
Gambar 23. Pengukuran VS .....	61
Gambar 24. Pengukuran Volume.....	61
Gambar 25. Penambahan Spora.....	62
Gambar 26. Perlakuan Pendahuluan .....	62
Gambar 27. Pengukuran pH <i>Sludge</i> .....	62
Gambar 28. Penuangan Substrat ke dalam Bioreaktor (Erlenmeyer) .....	62
Gambar 29. Pengukuran S-COD.....	63
Gambar 30. Pengukuran Volume Biogas.....	63
Gambar 31. Rancangan Penelitian .....	63
Gambar 32. Pengukuran TS .....	63
Gambar 33. Pengambilan <i>Sludge</i> .....	64
Gambar 34. Pengambilan Limbah Cair Tapioka.....	64

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Singkong atau ubi kayu merupakan salah satu komoditas pertanian terbesar di Indonesia. Provinsi Lampung singkong merupakan salah satu komoditi pertanian terbesar dengan luas panen sebesar 279.226 hektar dan di Indonesia luas panen singkong sebesar 949.253 hektar pada tahun 2015. Total produksi singkong 2015, Provinsi Lampung sebesar 7.387.084 ton dan Indonesia sebesar 21.801.415 ton (Badan Pusat Statistik, 2016). Sebagian besar singkong di Indonesia diolah menjadi tapioka. Menurut Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) melalui unit kerjanya di Lampung yaitu Balai Besar Teknologi Pati (B2TP), Provinsi Lampung merupakan produsen tapioka terbesar di Indonesia. Diketahui di Provinsi Lampung terdapat sekitar 74 pabrik tapioka, dengan kapasitas produksi lebih dari 2 juta ton tapioka per tahunnya (BPPT, 2019).

Tapioka merupakan pati yang diperoleh dari proses ekstraksi singkong. Menurut Koswara (2013), proses produksi tapioka meliputi sortasi singkong segar, pengupasan kulit, pelumatan, ekstraksi (penambahan air, pengepresan dan penyaringan), pengendapan, pengeringan, dan penepungan. Menurut Pingmuangek *et al*, (2017), industri tapioka dalam mengolah 4,3 ton akan menghasilkan 1 ton tapioka dan 1,3 ton onggok dengan air limbah menurut (Kamahara, 2010) mengandung COD sebesar 18.000 – 25.000 mg/L (Kamahara, 2010). Air limbah industri tapioka berwarna putih kekuningan dengan kandungan padatan tersuspensi 1.500-5.000 mg/L (Prayitno, 2008). Air limbah industri tapioka dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi biogas.

Limbah padat yang dihasilkan oleh industri tapioka berasal dari proses

pengupasan ubi kayu serta proses pemerasan dan penyaringan. Limbah tersebut dapat berupa kulit dan onggok yang biasanya dimanfaatkan oleh pihak ketiga untuk pakan ternak. Limbah padat berupa onggok pada umumnya masih mengandung karbohidrat yang cukup dan berpotensi untuk dimanfaatkan (Djuma'ali, 2013). Sampai saat ini, belum terdapat upaya pemanfaatan onggok yang signifikan untuk menghasilkan output penting seperti *energy resource* atau sumber energi.

Berdasarkan jumlah dan kandungan bahan organik pada limbah industri tapioka dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang memiliki nilai ekonomi apabila dikelola secara tepat. Energi terbarukan berupa biogas dapat diperoleh dari limbah cair tapioka melalui proses anaerobik dengan prinsip mengubah bahan organik menjadi gas CO<sub>2</sub> (karbon dioksida) dan CH<sub>4</sub> (gas metana). Gas metana yang dihasilkan dapat digunakan untuk pembangkit listrik dan atau digunakan dalam proses pengeringan tepung tapioka. Setiap 1 ton ubi kayu yang digunakan akan menghasilkan 24,4 m<sup>3</sup> biogas atau 14,6 – 15,8 m<sup>3</sup> gas metana/ton ubi kayu dengan kandungan metana sekitar 59,8 - 64,75% (Hasanudin, 2007). Untuk memenuhi kebutuhan energi bagi industri tapioka, dibutuhkan sumber bahan baku tambahan (*feed stock*) untuk mendapatkan lebih banyak energi biogas. Jika dilihat dari konsentrasi bahan organik pada onggok, onggok berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas yang dapat dicampurkan bersama air limbah segar tapioka. Perlu beberapa pengembangan tentang bagaimana meningkatkan bahan terlarut dari onggok yang mudah diubah menjadi biogas secara anaerobik (Wintolo dan Isdiyanto, 2011).

Onggok memiliki kandungan pati yang tidak dapat langsung digunakan oleh mikroorganisme metanogenesis untuk menghasilkan biogas. Kandungan pati pada onggok harus dipecah menjadi molekul sederhana agar dapat dimanfaatkan mikroorganisme metanogenesis untuk menghasilkan biogas. Pemecahan pati onggok dapat dilakukan secara biologis dengan memanfaatkan mikroorganisme. Mikroorganisme akan menghasilkan enzim yang dapat menghidrolisis ikatan pati onggok menjadi gula sederhana dan asam organik. Salah satu mikroorganisme

yang dapat digunakan karena menghasilkan enzim untuk menghidrolisis pati adalah *Aspergillus niger*.

*Aspergillus niger* merupakan kapang yang menghasilkan beberapa enzim utama yaitu enzim alfa amilase, beta amilase, dan pektinase. Kapang *Aspergillus niger* mendegradasi pati onggok menjadi gula sederhana. Glukosa hasil degradasi pati onggok dikonversi menjadi asam organik. Glukosa dan asam organik dapat digunakan bakteri metanogenesis untuk menghasilkan biogas. Glukosa dan asam organik yang terbentuk larut pada air sehingga dapat meningkatkan kandungan bahan organik terlarut. Peningkatan kandungan bahan organik terlarut diketahui dari peningkatan nilai *soluble chemical oxygen demand* (S-COD). Oleh karena itu, perlu diketahui pengaruh fermentasi onggok menggunakan *Aspergillus niger* dengan melakukan pencampuran onggok dan air limbah segar tapioka dengan memvariasikan waktu tunda kedua campuran tersebut sehingga meningkatkan bahan terlarut untuk produksi biogas.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh pretreatment onggok menggunakan *Aspergillus niger* terhadap *soluble chemical oxygen demand* (S-COD), pH, dan total solid (TS).
2. Mengetahui konsentrasi onggok dan lama waktu pretreatment terbaik yang menghasilkan S-COD tertinggi.

## 1.3 Kerangka Pemikiran

Kegiatan agroindustri tidak terlepas dari limbah yang dikeluarkan. Salah satu agroindustri yang cukup potensial di Provinsi Lampung yaitu industri tapioka, yang menghasilkan limbah cair dan padat dengan kandungan bahan organik yang tinggi (Fogaca *et al.*, 2014). Pengelolaan limbah industri tapioka sudah banyak diterapkan oleh banyak pabrik tapioka dengan menggunakan sistem lagoon untuk menghasilkan biogas. Biogas adalah gas yang diproduksi dari proses dekomposisi

bahan organik oleh mikroorganismenya dalam keadaan tanpa adanya udara (*anaerobic*) (Atmodjo, 2017). Biogas digunakan oleh pabrik tapioka untuk menghasilkan panas dan/atau listrik sebagai sumber energi dalam kegiatannya. Menurut Hasanudin *et al.* (2019), pabrik tapioka skala kecil umumnya hanya menggunakan energi biogas untuk proses pengeringan tapioka dan energi tersebut belum dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi pabriknya. Dalam memenuhi kebutuhan energi pabrik tapioka, maka diperlukan bahan baku tambahan dalam rangka meningkatkan produksi biogas. Selain menghasilkan limbah cair, industri tapioka pula menghasilkan limbah padat berupa ongkok yang masih memiliki kandungan karbohidrat sebesar 68,01% yang merupakan serat kasar yang sulit terdekomposisi (Sari, 2019). Menurut Parlina (2009), konsentrasi *volatile solid* pada ongkok tinggi yaitu sebesar 92%, yang akan menambah beban penguraian oleh bakteri sehingga harus dilakukan peningkatan kadar air dari padatan sehingga menurunkan konsentrasi padatan volatil. Salah satu upaya dalam meningkatkan kadar air ongkok yaitu dengan menambahkan air limbah segar tapioka.

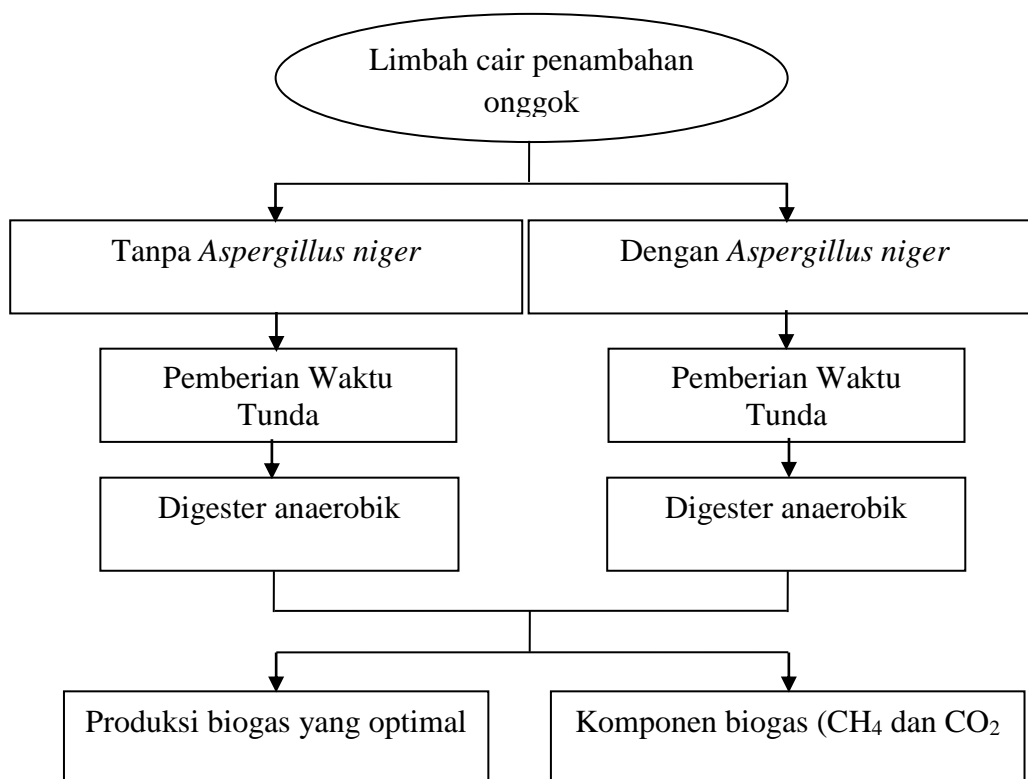
Pati ongkok harus dipecah menjadi gula sederhana agar dapat dimanfaatkan mikroba pengurai. Pemecahan pati pada fermentasi dilakukan oleh mikroba yang menghasilkan enzim yang dapat mendegradasi pati menjadi gula sederhana. Salah satu mikroba yang dapat mendegradasi pati yaitu kapang *Aspergillus niger*. Kapang *Aspergillus niger* menghasilkan enzim selulase, alfa amilase dan pektinase untuk mendegradasi polisakarida menjadi disakarida dan menghidrolisis menjadi monosakarida (Sopandi, 2015). Pemecahan pati ongkok oleh *Aspergillus niger* menghasilkan gula sederhana (glukosa) dipengaruhi oleh konsentrasi substrat ongkok. Konsentrasi substrat ongkok mempengaruhi pati dalam ongkok agar dapat diambil secara optimal.

Fermentasi oleh *Aspergillus niger* dalam mendegradasi dan menghidrolisis pati ongkok dipengaruhi lama fermentasi karena mempengaruhi jumlah pati ongkok yang dapat dihidrolisis untuk menghasilkan gula sederhana. Lama fermentasi berkaitan dengan kurva pertumbuhan mikroba, penggunaan substrat, dan produk



yang dihasilkan. Menurut Sopandi (2015), mikroba menggunakan substrat secara maksimal pada fase pertumbuhan. Selama fase pertumbuhan kebutuhan substrat oleh *Aspergillus niger* terpenuhi sehingga gula sederhana yang dihasilkan terus meningkat. Pada fase eksponensial substrat mulai habis yang menyebabkan pertumbuhan mikroba tetap karena mikroba yang tumbuh dan mati seimbang. Fase eksponensial menghasilkan gula sederhana mulai sedikit dan menurun. Lama fermentasi oleh *Aspergillus niger* berpengaruh terhadap gula sederhana, bahan organik yang terlarut, asam yang terbentuk, dan padatan tersuspensi pada substrat. Menurut penelitian Juariah (2004), fermentasi onggok menggunakan *Aspergillus niger* menghasilkan konsentrasi glukosa tertinggi pada hari ke tiga dan pH menurun setelah hari ke tiga.

Berdasarkan uraian diatas, maka kerangka pikir penelitian adalah sebagai berikut yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Kerangka pemikiran penelitian

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biogas

Biogas secara signifikan mendapat perhatian sebagai bahan bakar nabati yang relevan (Qyyum *et al.*, 2020) dan dapat dimanfaatkan dalam pembangkit energi membawa beberapa keuntungan ekonomi, lingkungan, dan iklim (Gaballah *et al.*, 2020). Tergantung pada sumber bahan organik yang digunakan, biogas terutama terdiri dari metana (50 - 75%), karbon dioksida (25 - 50%), dan sisa-sisa gas lainnya, seperti ammonia, hidrogen, dan hidrogen sulfida. Hal ini dapat diterapkan untuk produksi pemanas/listrik atau ditingkatkan menjadi biometana dan digunakan sebagai bahan bakar kendaraan atau dipompa ke jaringan gas alam. Hal yang menjadi tantangan dari proses produksi biogas yaitu, proses dimana harus meminimalkan konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam biogas dan gas pengotor lainnya sehingga diharapkan dapat meningkatkan kandungan metana dan nilai energinya (Gustafsson *et al.*, 2020).

Metana yang terdapat dalam biogas merupakan gas yang tidak berbau, tidak berwarna dan mudah terbakar. Gas ini biasanya digunakan terutama sebagai bahan bakar untuk membuat panas dan listrik sebagai pencahayaan. Hal ini juga digunakan untuk memproduksi bahan kimia organik. Metana dapat dibentuk oleh pembusukan bahan alami dan umum di tempat pembuangan sampah, rawa-rawa, sistem septik dan saluran pembuangan. Air limbah tapioka diolah melalui sejumlah *lagoon* terbuka anaerobik untuk mengurangi unsur-unsur seperti COD yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Dalam proses ini, air limbah tapioka juga menghasilkan gas metana. Gas metana ini dapat ditampung melalui *lagoon* tertutup kemudian dimanfaatkan untuk dimasukkan ke pembangkit listrik biogas baru yang menggantikan generator diesel yang sudah ada. Listrik yang

dihasilkan akan digunakan kembali dalam industri tepung tapioka (Setyawaty, 2011).

## **2.2 Limbah Cair Industri Tapioka**

Industri tapioka menghasilkan limbah cair dari proses pengolahan singkong menjadi tapioka. Proses yang menghasilkan limbah cair pada industri tapioka yaitu pada pencucian singkong, dan ekstraksi singkong. Menurut Adnan (2011) bahwa air limbah yang dihasilkan memiliki jumlah besar yaitu  $\pm 20$  m<sup>3</sup>/ton tapioka atau  $\pm 5$  m<sup>3</sup>/ton singkong. Kandungan bahan organik pada limbah cair industri tapioka sangat tinggi. Kandungan bahan organik diketahui dari nilai Chemical Oxygen Demand (COD) limbah cair.

Limbah cair industri tapioka memiliki *Chemical Oxygen Demand* (COD) yaitu sekitar 7.000 – 30.000 mg/L (Prayitno, 2008). Menurut Kamahara, dkk (2011) Industri tapioka dapat menghasilkan limbah cair dengan COD sebesar 16.000 – 25.000 mg/L. BOD limbah cair tapioka memiliki nilai setengah dari COD. Menurut Setyawati et al (2011) limbah cair tapioka dengan memiliki nilai BOD sebesar 3.000 – 7.500 mg/L. Nilai COD dan BOD tinggi dapat mencemari lingkungan baik lingkungan air maupun darat, namun berpotensi dimanfaatkan untuk produksi biogas sebagai sumber energi pada industri tapioka. Limbah cair industri tapioka harus memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan sebelum dibuang ke lingkungan. Kualitas limbah cair diukur dari COD, BOD, pH, dan total padatan tersuspensi (TSS). Baku mutu limbah cair industri tapioka telah ditetapkan dan harus dipenuhi sebelum dibuang ke lingkungan. Baku mutu limbah cair tapioka terdapat pada Peraturan Gubernur Provinsi Lampung nomor 7 tahun 2010.

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Industri Tapioka

Parameter	Kadar Maksimum
COD	300 mg/L
BOD <sub>5</sub>	150 mg/L
TSS	100 mg/L
Sianida	0,3 mg/L
Ph	6,0 – 9,0
Debit Limbah Maksimum	30m <sup>3</sup> per ton tapioca

Sumber: Peraturan Gubernur Provinsi Lampung nomor 7 tahun 2010.

### 2.3 Limbah Padat Industri Tapioka

Limbah padat yang dihasilkan oleh industri tapioka biasa berupa kulit dan onggok yang dihasilkan dari proses pengupasan, ekstraksi, dan pemisahan pati (Santoso, 2010). Pada industri tapioka, pengolahan singkong menjadi tapioka menghasilkan 145,8 kg onggok/ton .

Tabel 2. Komposisi Kimia Onggok

Komposisi Kimia	Jumlah presentase (%)
Air	-
Protein	3,1
Lemak	0,2
Abu	5,7
Serat kasar	13,1
Pati	65,5

Sumber: Djuma'ali (2013).

Onggok memiliki kandungan utama pati dan serat kasar. Kandungan tertinggi onggok merupakan pati dengan bentuk granula-granula. Pati pada onggok terdiri dari amilosa dan amilopektin. Pati mengandung amilosa berkisar 15% - 30% amilopektin berkisar antara 70% - 85% (Jane dan Chen, 1992). Serat kasar onggok terdiri dari selulosa dan hemiselulosa (Arnata, 2009).

## 2.4. Nilai pH

Nilai pH merupakan tingkat keasaman atau kebasaan yang menunjukkan jumlah ion-ion pada limbah. Perubahan pH di suatu air sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, maupun biologi dari organisme yang hidup di dalamnya. Derajat keasaman diduga sangat berpengaruh terhadap daya racun bahan pencemaran dan kelarutan beberapa gas, serta menentukan bentuk zat didalam air. Nilai pH air digunakan untuk mengekspresikan kondisi keasaman (konsentrasi ion hidrogen) air limbah. Skala pH berkisar antara 1-14 dengan kisaran nilai pH 1-7 termasuk kondisi asam, pH 7-14 termasuk kondisi basa, dan pH 7 adalah kondisi netral. Air limbah dengan kondisi terlalu asam maupun terlalu basa menyulitkan proses biologis (Sutrisno, 2010).

## 2.5 Soluble *Chemical Oxygen Demand* (S-COD)

*Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi oleh senyawa pengoksidasi (Suharto, 2017). Nilai COD merupakan parameter untuk menentukan kandungan organik pada suatu bahan atau limbah. Bahan kimia sebagai senyawa pengoksidasi dapat berupa kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ). Senyawa tersebut mendegradasi kandungan bahan organik secara keseluruhan secara oksidatif. Semua bahan organik dioksidasi baik secara biologis maupun yang sukar didegradasi secara biologis (Effendy, 2003). Limbah organik dioksidasi oleh kalium bikromat menjadi gas  $CO_2$  dan  $H_2O$  serta sejumlah ion krom.

Reaksi oksidasi limbah organik oleh kalium bikromat dilakukan dengan pemanasan dan penambahan katalisator perak sulfat ( $Ag_2SO_4$ ). Jumlah kalium bikromat untuk mengoksidasi limbah organik sama dengan jumlah oksigen yang diperlukan. Banyaknya kalium bikromat pada reaksi oksidasi menunjukkan semakin banyak oksigen yang diperlukan (Wardhana, 2001).

## 2.6 Total Solid (TS)

*Total solid* (TS) merupakan semua padatan yang tertinggal sebagai residu pada penguapan dan pengeringan pada suhu 103 – 105°C. *Total solid* terdiri atas bahan terlarut (*dissolved solid*) dan padatan tidak terlarut (*suspended solid*). *Total solid* mempengaruhi kualitas air limbah dari dispersi besar hingga sangat kecil. Pengukuran *total solid* didasarkan pada sampel air yang dikeringkan pada temperatur diatas titik uap air pada waktu tertentu hingga seluruh air menguap. Berat sampel yang tertinggal ditimbang sebagai berat total solid per satuan liter (mg/L) (Sutrisno, 2010).

## 2.7 Volatile Solid (VS)

*Volatile Solid* (VS) merupakan lanjutan dari proses analisis *Total Solid* (TS) yang mengukur jumlah padatan yang menguap setelah pemanasan pada suhu 550°C (SNI 06-6989.26-2005). Proses pengujian VS untuk mengetahui berapa banyak bahan organik yang terkandung dalam limbah terutama yang mengalami proses biologis sehingga dapat menyediakan: (1) kandungan bahan organik pada limbah yang dapat terurai, dan (2) sebagai kontrol parameter dalam proses penurunannya. Pemanasan hingga suhu tinggi membuat *volatile solid* (VS) akan menguap (diklasifikasikan sebagai bahan organik), dan sisa padatan yang tertinggal pada cawan merupakan *fixed solid* (diklasifikasikan sebagai bahan anorganik) (Muchtadi, 2010).

## 2.8 Perlakuan Awal (*Pretreatment*) Onggok

Perlakuan awal (*pretreatment*) merupakan perlakuan yang dilakukan sebelum proses utama. *Pretreatment* onggok pada *air effluent biogas reaktor* merupakan perlakuan yang dilakukan sebelum produksi biogas. *Pretreatment* onggok dilakukan dengan melakukan berbagai perlakuan pada onggok sebelum diolah menjadi biogas. Onggok harus dilakukan *pretreatment* karena mengandung pati yang tinggi. Pati dalam onggok sebesar 65,5% yang terdapat di dalam matriks polisakarida dan protein dengan lapisan berupa pektin (Djuma'ali, 2013). Pati



onggok harus didegradasi menjadi gula sederhana agar dapat digunakan oleh mikroorganisme anaerobik menjadi biogas. Untuk mendegradasi pati dalam onggok dilakukan berbagai metode salah satunya menggunakan mikroorganisme.

*Pretreatment* onggok menggunakan mikroorganisme untuk menghasilkan enzim dan memecah ikatan pati onggok. *Pretreatment* onggok menggunakan mikroorganisme dilakukan dengan fermentasi onggok sebelum onggok dicampurkan pada limbah cair untuk produksi biogas. Fermentasi onggok merupakan salah satu cara pada *pretreatment* untuk memecah ikatan pati menjadi gula sederhana dan asam organik. Salah satu mikroorganisme yang digunakan untuk meningkatkan produksi biogas adalah *Aspergillus niger* (Romli, 2012).

## 2.9 Kapang *Aspergillus niger*

*Aspergillus niger* merupakan fungi dengan genus *Aspergillus* yang terdapat dalam family *Trichocomaceae*. *Aspergillus niger* merupakan kapang yang dapat digunakan untuk menghasilkan berbagai jenis asam. *Aspergillus niger* menghasilkan beberapa jenis enzim seperti pektinase, amilase, asparaginase, selulase, proteinase, lipase, katalase, glukosa oksidase dan fitase (Ratledge, 1994). Molekul-molekul sederhana seperti monosakarida dapat langsung diserap oleh hifa. Molekul kompleks seperti pati atau selulosa harus dipecah menjadi molekul sederhana oleh enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh *Aspergillus niger*. Molekul sederhana yang dipecah enzim ekstraseluler *Aspergillus niger* langsung diserap hifa menghasilkan metabolit asam (Ferdiaz, 1992).

*Aspergillus niger* merupakan mikroba jenis kapang mesofilik dan memiliki sifat pertumbuhan seperti suhu, kelembaban, dan pH tertentu. Suhu pertumbuhan *Aspergillus niger* yaitu minimum 6-8 °C, maksimum 45-47 °C, dan optimum pada suhu 35 – 37 °C. pH tumbuh kapang *Aspergillus niger* yaitu antar 2,2 – 8,8 dan optimum pertumbuhan adalah antara 4,5 – 6,5. Kelembaban sebesar 80 – 90 % dan bersifat aerobik sehingga memerlukan oksigen yang cukup (Fardiaz, 1988).

Berdasarkan penelitian Kanti (2017), Kapang *Aspergillus niger* tumbuh optimal pada suhu 30°C dan pH 6 – 7.

## 2.10 Fermentasi

Fermentasi merupakan cara dalam mengubah substrat menjadi produk tertentu yang dikehendaki dengan menggunakan bantuan mikroba. Fermentasi adalah suatu teknik konversi secara biologis terhadap substrat kompleks menjadi senyawa sederhana. Perombakan komponen kompleks menjadi senyawa sederhana pada fermentasi menggunakan kerja mikroorganisme. Fermentasi berdasarkan substrat yang digunakan dibedakan menjadi fermentasi substrat padat (*solid substrate fermentation*) dan fermentasi tercelup (*submerged fermentation*).

Fermentasi media padat (*solid state fermentation*) merupakan proses fermentasi menggunakan substrat padat. *Solid state fermentation* (SSF) memiliki kandungan atau konsentrasi substrat yang padat. Sehingga senyawa kompleks memiliki jumlah besar. SSF memiliki beberapa keuntungan yaitu medium yang digunakan lebih sederhana, biaya lebih murah, tidak memerlukan aerasi pada fermentasi aerobik, ruang fermentasi lebih kecil, dan produk dapat dipanen dengan mudah (Subramaniam, 2012).

Fermentasi terendam atau tercelup (*submerged fermentation*) merupakan fermentasi dengan substrat mengandung air dalam jumlah tinggi. *Submerged fermentation* (SmF) adalah fermentasi yang mengandung air dalam jumlah besar dan kelembaban tinggi. SmF memiliki kelebihan yaitu mudah dalam pengaturan kondisi, meningkatkan kontak mikroba terhadap substrat, fermentasi lebih cepat dan seragam, dan pemurnian mudah (Subramaniam, 2012). SmF lebih baik untuk produksi glukosa oleh *Aspergillus niger* karena lama fermentasi lebih cepat dan seragam sehingga potensi glukosa lebih tinggi pada waktu yang sama.

### III. METODELOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Oktober hingga November 2022 di Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan yaitu *autoclave*, Erlenmeyer 1000 mL, hotplate, *laminary airflow*, bunsen, jarum ose, inkubator, mikropipet, pipet tip, tabung *centrifuge*, *centrifuge*, lemari pendingin, tabung reaksi, rak tabung reaksi, mikroskop, *hotplate magnetic stirrer*, krop karet, cawan porselen, gelas ukur, timbangan digital, oven, desikator, penjepit cawan, pH meter, tabung COD, COD reactor DRB 200, HACH *spektrofotometer* DR4000, *rubber bulb*, pipet volumetrik, corong kaca, kuvet *spektrofotometer*, kertas label, dan peralatan keselamatan laboratorium. Bahan-bahan yang digunakan yaitu limbah cair segar, onggok, *air effluent* biogas reaktor, starter *Aspergillus niger van tieghem*, Medium *Potato Dextrosa Agar* (PDA), *reagen* COD (kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ )), glukosa anhidrat, fenol 5%, asam sulfat pekat ( $H_2SO_4$ ), Pb asetat, dan *aquades*.

#### 3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif dengan menyajikan hasil pengamatan dalam bentuk tabel dan grafik (*Microsoft Excel Data Analysis*) dan kemudian dianalisis secara deskriptif. Penelitian ini melibatkan tiga tahapan

yaitu: pengumpulan dan persiapan bahan baku, analisis sampel uji, serta mengukur produksi biogas harian dan komposisi sampel biogas.

Analisis yang dilakukan antara lain:

1. pH
2. *Soluble Chemical Oxygen Demand* (S-SOD)
3. *Total Solid* (TS)
4. *Volatile Solid* (VS)
5. *Total Volatile Acid* (TVA)
6. Produksi dan Komposisi Biogas

Penelitian ini juga untuk mengevaluasi peranan *Aspergillus niger* untuk mencerna bahan organik yang tidak larut menjadi bahan organik yang larut. Penelitian ini juga untuk menentukan waktu tunda (1, 2, dan 3 hari) yang optimal pada substrat campuran 20g onggok, 180mL air limbah segar tapioka dan 0,1% *Aspergillus niger*. Setelah dilakukan penundaan pada substrat, kemudian dimasukkan ke dalam bioreaktor dengan menambahkan sludge sebanyak 800mL. Penelitian ini dilakukan dengan 6 kombinasi perlakuan (waktu tunda  $\times$  *Aspergillus niger*) dan disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Perlakuan komposisi air limbah dan waktu tunda

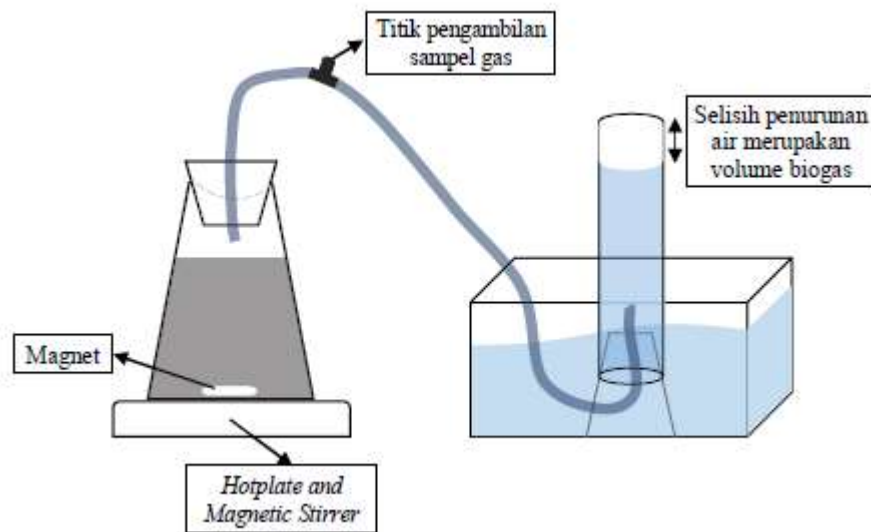
Kode	Komposisi	<i>Aspergillus niger</i>	Waktu Tunda (hari)
A	180 ml ALST + 20g OG + 800ml SLD	Ya	1
B	180 ml ALST + 20g OG + 800ml SLD	Tidak	1
C	180 ml ALST + 20g OG + 800ml SLD	Ya	2
D	180 ml ALST + 20g OG + 800ml SLD	Tidak	2
E	180 ml ALST + 20g OG + 800ml SLD	Ya	3
F	180 ml ALST + 20g OG + 800ml SLD	Tidak	3

Keterangan: ALST = air limbah segar tapioka; OG = onggok;  
SLD= sludge kolam anaerobik.

### 3.4 Pelaksanaan Penelitian

#### 3.4.1 Persiapan Bioreaktor dan Alat Pengukur Volume Biogas

Bioreaktor yang dirancang merupakan bioreaktor sederhana menggunakan peralatan laboratorium sistem *batch* (Gambar 2). Rangkaian peralatan bioreaktor adalah Erlenmeyer dengan kapasitas 1000 mL bahan kaca, *crop silicon* yang telah diberi lubang, selang, kran T sebagai tempat pengambilan *sample gas*, dan *hotplate and magnetic stirrer*. Perangkaian *bioreactor* dilakukan dengan cara menutup mulut Erlenmeyer dengan *crop silicon* dengan memasang selang pada lubang yang terdapat di *crop silicon* sebagai jalan keluar untuk gas mengalir. Kemudian, bioreaktor tersebut selanjutnya diletakkan di atas *hotplate and magnetic stirrer*. Persiapan selanjutnya adalah perangkaian alat pengukur volume biogas (Gambar 2). Alat untuk mengukur volume biogas terdiri dari gelas ukur kapasitas 1000 mL, selang, gelas plastik yang telah diberi lubang, batang besi penyangga, klem dan statif dan bak air. Bak yang telah berisi air diletakkan pada tempat yang datar kemudian di atas bak ditaruh batang besi penyangga. Besi penyangga ini berfungsi sebagai penyangga gelas ukur dalam keadaan terbalik, diusahakan agar bibir gelas ukur tenggelam dalam bak air. Kemudian, gelas plastik yang telah diberi lubang selanjutnya dipasangkan pada bibir gelas ukur sebagai kaki alas sehingga posisi gelas ukur tidak menyentuh alas bak air. Fungsi pemberian lubang pada gelas plastik yaitu sebagai tempat untuk memasukkan selang agar dapat masuk ke dalam gelas ukur sebagai perantara pembawa aliran gas yang menyatu dengan rangkaian bioreactor. Rangkaian bioreaktor dan alat pengukur biogas disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2 Rangkaian Bioreaktor dan Pengukur Volume Biogas

Bioreaktor dirancang untuk sesuai dalam keadaan anaerob dengan menggunakan prinsip sistem *batch*. Pada sistem *batch*, substrat dan inokulum secara bersamaan dimasukkan ke dalam bioreaktor di awal fermentasi dan produk diambil di akhir fermentasi. Pada saat proses berlangsung akan terjadi perubahan kondisi di dalam bioreaktor (Jumlah bakteri akan terus bertambah sedangkan tidak ada substrat yang ditambahkan dalam reaktor). Dalam bioreaktor ini, sistem pertumbuhan bakteri merupakan sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth-bacteria*). Mikroba yang berperan pada proses biologis, tumbuh dan berkembangbiak dalam keadaan tersuspensi (tercampur secara merata) di dalam air limbah.

### 3.4.2 Pembuatan Inokulum *Aspergillus niger*

Inokulum disiapkan dengan membuat suspensi biakan *Aspergillus niger* pada tabung reaksi dengan metode agar miring. Dilakukan pembuatan media potato dextrose agar (PDA) dan disterilisasi. Media langsung dituangkan ke tabung reaksi kemudian ditunggu hingga padat dan dingin. Setelah padat dan dingin diinokulasikan starter *Aspergillus niger* menggunakan jarum ose menggunakan metode gores. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 35 – 37°C selama 120 jam. Setelah terbentuk spora ditambahkan 5 ml aquades steril pada tabung reaksi.

Spora diambil menggunakan jarum ose (Juariah dkk, 2004 yang telah dimodifikasi).

### **3.4.3 Pretreatment Onggok**

*Pretreatment* dilakukan dengan menambahkan kapang *Aspergillus niger* sebanyak 10mL kedalam onggok dan air limbah segar. Kemudian diinkubasi selama 24, 48, dan 72 jam pada suhu ruang. Selama inkubasi akan terjadi proses fermentasi. Fermentasi dilakukan dengan fermentasi terendam (submerged). Dilakukan analisis terhadap berbagai perlakuan pretreatment.

## **3.5 Pengamatan**

Pengamatan terhadap analisis sampel limbah meliputi pH, TS, VS, dan COD hari-0 (awal) dan hari-20 (akhir). Parameter pengamatan yang dilakukan untuk produksi biogas termasuk parameter volume gas, dan komposisi biogas. Sedangkan pengamatan terhadap parameter volume gas dilakukan setiap hari serta komposisi biogas pada hari ke-1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, dan 20.

### **3.5.1 Analisis pH**

Analisis pH dilakukan dengan menggunakan pH meter HI 2550 pH/ORP & EC/TDS/NaCl Meter Hanna Instruments. Pengujian pH dilakukan dengan menggunakan metode APHA AWWA WEF *23rd Edition* 2017 Part 4500 – H+ B. Langkah dalam analisis pH dimulai dengan mempersiapkan peralatan instrument pH. Pertama, elektroda pH meter dibilas menggunakan air suling sebanyak tiga kali dan dikeringkan menggunakan tisu. Kemudian, elektroda pH meter direndam ke dalam sampel selama  $\pm 1$  menit kemudian dikeringkan dengan tisu. Jika sampel yang akan dianalisis lebih dari satu, maka tahapan menganalisis sampel berikutnya mengikuti tahapan sampel sebelumnya. Sampel baru disiapkan untuk dianalisis dan elektroda yang telah dibilas kemudian direndam ke dalam sampel baru sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap. Angka yang tertera pada layar pH meter merupakan nilai pH dari air limbah yang diukur. Angka hasil

pengukuran tersebut kemudian dicatat pada lembar pengamatan.

### **3.5.2 Soluble Chemical Oxygen Demand (S-COD)**

#### **3.5.2.1 Persiapan Larutan Pencerna dan Reagen**

Sebelum dilakukan analisis COD, terlebih dahulu dipersiapkan *reagen* COD dengan menyiapkan larutan pencerna dan larutan pereaksi asam sulfat (*reagen* COD). Larutan Pencerna (*Digestion Solution*) terdiri dari 10,216 gram  $K_2Cr_2O_7$ ; yang telah dikeringkan pada suhu  $150\text{ }^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Setelah itu ditambahkan 167 mL,  $H_2SO_4$  pekat dan 33,3 g  $H_2SO_4$ . Dilarutkan, dan didinginkan pada suhu ruang kemudian diencerkan sampai 1000 mL. Larutan pereaksi atau *reagen* asam sulfat dibuat dengan cara menambahkan 10,12 kristal  $AgSO_4$  kedalam 1000 mL  $H_2SO_4$  pekat. Dibiarkan 1 jam sampai larut diatas *magnetic stirrer*. Larutan pencerna sebanyak 1,5 mL dan 3,5 mL larutan asam sulfat dimasukkan ke dalam vial atau tabung COD berkapasitas 10 mL. Homogenkan dengan cara *divortex*.

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

Analisis S-COD dilakukan dengan mengambil sampel 45 mL ke dalam tabung *centrifuge*. Proses *sentrifuge* dilakukan dengan kecepatan 3000 rpm selama 10 menit. Prinsip sentrifugator yaitu memutar tabung (rotasi) dengan kecepatan tinggi sehingga terpisah antara partikel yang terkandung dari larutannya. Larutan sampel yang telah terpisah dari partikel terlarutnya (*supernatant*) diambil sebanyak 0,2 mL menggunakan pipa volumetrik 1 mL. Sampel dimasukkan ke dalam vial atau tabung yang berisi *reagen* COD kemudian dipanaskan dengan unit reaktor DBR200 pada suhu  $150\text{ }^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Setelah dipanaskan, vial dikeluarkan dan dibiarkan hingga dingin (sampai mencapai suhu ruang) kemudian diukur nilai COD-nya dengan menggunakan HACH *Spektrofotometri* DR4000 pada panjang gelombang 620 nm (APHA, 1998).



### 3.5.3 Analisis Total Solid *Total Solid* (TS) Metode Gravimetri

*Total solid* (TS) merupakan seluruh padatan yang terdapat pada air limbah baik padatan terlarut maupun tidak terlarut. *Total solid* dihitung berdasarkan perbedaan berat padatan tertinggal per liter larutan. Perhitungan total solid dilakukan dengan memanaskan dan menimbang cawan sebagai berat A Sampel air limbah dimasukkan pada cawan dengan volume tertentu. Cawan berisi sampel dipanaskan suhu 103-105 °C selama 24 jam. Cawan didinginkan pada desikator selama 15 menit. Setelah dingin cawan ditimbang sebagai berat B. Hasil dihitung besar TS sesuai rumus sebagai berikut:

$$TS \text{ (g/mL)} = \frac{\text{berat cawan sampel setelah dioven (g)} - \text{berat cawan kosong (g)}}{\text{berat sampel (mL)}}$$

(SNI 06-6989.26-2005).

### 3.5.4 *Volatile Solid* (VS) Metode Gravimetri

Analisis *Volatile Solid* (VS) merupakan pengukuran yang berfungsi untuk mengetahui berat bahan yang hilang atau pecah dari total solid selama proses pemanasan. Analisis VS merupakan lanjutan dari proses analisis TS dengan menghitung jumlah bahan yang menguap. Analisis VS dimana cawan berisikan sampel yang telah di oven dan ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* selama 1 jam pada suhu 550°C. Setelah itu, tunggu hingga suhu di dalam *furnace* turun hingga suhu 30-33°C untuk mengeluarkan cawan dan dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit. Cawan kemudian ditimbang hingga didapatkan bobot konsan dan dilakukan perhitungan VS menggunakan rumus sebagai berikut:

$$VS \text{ (g/g)} = TS - \left( \frac{\text{berat cawan setelah difurnace (g)} - \text{berat cawan kosong (g)}}{\text{berat sampel (g)}} \right)$$

(SNI 06-6989.26-2005).

### 3.5.5 Analisis *Total Volatile Acid* (TVA)

Analisa *total volatile acid* (TVA) dilakukan untuk mengetahui jumlah total padatan yang menguap pada bahan. Proses analisa TVA diawali dengan

mempersiapkan bahan pengasam dan basa. Bahan pengasam yang digunakan yaitu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N. Untuk membuat H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diambil sebanyak 2,77 mL dengan menggunakan pipet volumetrik dan dimasukkan ke dalam labu takar 1000 mL. Larutan kemudian diencerkan dengan menambahkan aquades sampai batas tanda tera. Untuk membuat NaOH 0,1 N, NaOH diambil sebanyak 40 gr dan dimasukkan ke dalam labu takar 1000 mL. Kemudian diencerkan dengan menambahkan aquades sampai batas tera. Proses analisa TVA sampel dilakukan dengan memasukkan 50 mL sampel ke dalam Erlenmeyer 250 mL. Selanjutnya, tetapkan pH sampel tersebut menuju pH 4 dengan menambahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N. Panaskan larutan sampel tersebut hingga mendidih selama ± 3 menit menggunakan *hotplate and magnetic stirrer Fisher Scientific*. Dinginkan sampel sampai suhu ruang. Tambahkan 5 tetes indikator PP 1% 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:

$$\text{TVA} \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{\sum \text{titar NaOH } 0,1 \text{ n} \times 0,1 \times 60}{50} \times 1000$$

### 3.5.6 Pengukuran Volume Biogas

Pengukuran volume biogas dilakukan setiap hari dari hari ke satu setelah pengisian sludge ke dalam campuran onggok, *Aspergillus niger* dan air limbah segar tapioca selama 20 hari pengamatan. Produksi gas harian diukur dengan cara mengalirkan biogas menggunakan selang yang tersambung dengan gelas ukur yang berisi air. Gas yang keluar dari reaktor akan mendorong air sehingga volume air di dalam gelas ukur akan turun. Selisih penurunan volume air merupakan volume gas. Volume biogas yang diamati yaitu volume biogas harian kumulatif.

### 3.5.7 Komposisi Gas

Pengukuran komposisi biogas dilakukan setelah gas diproduksi. Pengukuran dilakukan dengan alat *gas chromatography* (Shimadzu Shincorbon ST 50-80 D-

375), menggunakan kolom jenis shincarbon dengan panjang 1 – 4 meter dan detektor *Thermal Conductivity Detector* (TCD) pada *temperatur* 200°C dengan arus 80 mA. Analisis komposisi biogas dilakukan dengan mengambil sampel gas sebanyak 2,5 mL menggunakan *srynge sample* lalu disuntikan pada injection port. Ketika GC bekerja, maka data akan terbaca dengan menunjukkan grafik kromatogram dan hasil perhitungan akan indikator tersebut dimonitor. Pengukuran komposisi biogas dilakukan untuk melihat besaran komposisi CH<sub>4</sub> (metana) dan CO<sub>2</sub> (karbon dioksida) pada biogas yang dihasilkan (Shimadzu Corporation, 2004).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penambahan *Aspergillus niger* dan pemberian waktu tunda selama 1, 2, dan 3 hari terhadap campuran onggok dan air limbah segar tapioka dapat meningkatkan produksi biogas dibandingkan dengan perlakuan tanpa penambahan *Aspergillus niger*.
2. Penambahan *Aspergillus niger* dan waktu tunda campuran onggok dan air limbah segar tapioka terbaik yaitu selama 2 hari dengan produksi kumulatif sebesar 1.783 mL biogas, dengan gas metana sebesar 51%.

### 5.2. Saran

Saran pada penelitian ini yaitu perlu ditambahkan proses pengadukan pada saat pretreatment agar *Aspergillus niger* dapat menghidrolisis onggok secara maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, M. G. 2009. *Pedoman Pengolahan Limbah Industri Pengolahan Tapioka. Program Agroindustry to Zerowaste*. Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta. 16 – 31.
- Amalia, T., Nosrati, M., dan Srekrishnan, T.R. 2010. Anaerobic digestion from the viewpoint of microbiological, chemical, and operational aspects - a review. *Journal of Environmental* 18: 255-278.
- Arnata, I. W., 2015. Pengembangan Alternatif Teknologi Bioproses Pembuatan Bioetanol Dari Ubi Kayu Menggunakan *Trichoderma viride*, *Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Agritech* Vol. 35 No. 04.
- Atmodjo, M. C. T. (2017, October). The Biogas Plant From Liquid Waste Of Tapioca. In *International Conference on Engineering and Technology Development (ICETD)*.
- Atmodjo, M. C. T. 2017. The Biogas Plant From Liquid Waste of Tapioca. *The 4th International Conference on Engineering and Technology Development*. 335 – 338. Badan Pusat Statistik. 2019. *Produksi Ubi Kayu Berdasarkan Provinsi*. Statistik Indonesia. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2016. Luas dan Produksi Ubi Kayu Menurut Provinsi 1993 – 2015. <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/880>. Diakses pada tanggal 25 agustus 2022.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2004. Standar Nasional Indonesia (SNI)06 6989.2-2004 tentang Air dan air limbah – Bagian 2: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri. Hal 1 – 7.

- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2004. Standar Nasional Indonesia (SNI)06-6989.3-2004 tentang Air dan air limbah- Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total (Total Suspended Solid, TSS) secara gravimetri. Hal. 1 –6.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2005. Standar Nasional Indonesia (SNI)06-6989.26-2005 tentang Air dan air limbah – Bagian 26: Cara uji padatan total secara gravimetri. Hal 1 – 5.
- Bougrier, C., Delgenès, J. P., dan Carrère, H. 2006. Combination of Thermal Treatments and Anaerobic Digestion to Reduce Sewage Sludge Quantity and Improve Biogas Yield. *Process Safety and Environmental Protection*. 84(4): 280 – 284.
- Broughton, A. D. 2009. Hydrolysis and Acydogenesis of Farm Dairy Effluent for Biogas Production at Ambient Temperatures. *Thesis*. Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- Contrera, R. C., da Cruz Silva, K. C., Ribeiro Silva, G. H., Morita, D. M., Zaiat, M., dan Schalch, V. 2015. The Chemical Oxygen Demand / Total Volatile Acids Ratio As An Anaerobic Treatability Indicator For Landfill Leachates. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 32(1): 73 – 86.
- Djuma'ali. 2013. Biokonversi Onggok Menjadi Etanol dengan Menggunakan Multienzim. Disertasi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. Hal. 183-192.
- Ega, Nur. 2018. Pretreatment Onggok Menggunakan *Aspergillus Niger* Sebagai Campuran Air Limbah Industri Tapioka Untuk Produksi Biogas. *Skripsi*. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 54 hlm.
- Farghaly, A. dan Tawfik, A. 2016. Simultaneous Hydrogen and Methane Production Through Multi-Phase Anaerobic Digestion of Paperboard Mill Wastewater Under Different Operating Conditions. *Appl Biochem Biotechnol*. 181(1):142 – 156.
- Fardiaz, S. 1988. Fisiologi Fermentasi. PAU IPB. Bogor. Hal. 3 – 135.
- Fardiaz, S. 1992. Mikrobiologi Pangan I. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. Hal. 180 – 205.
- Firdausy, M.A. 2016. Produksi biogas dari campuran eceng gondong (*Eichornia Crassipes*) dan kotoran ayam. *Tesis*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 156 hlm.
- Gaballah, E. S., Abdelkader, T. K., Luo, S., Yuan, Q., dan Abomohra, A. E. 2020. Enhancement Of Biogas Production By Integrated Solar Heating System: A Pilot Study Using Tubular Digester. *Energy*. 193.

- Gustafsson, M., Cruz, I., Svensson, N., dan Karlsson, M. 2020. Scenarios For Upgrading And Distribution Of Compressed And Liquefied Biogas – Energy, Environmental, And Economic Analysis. *J. Clean Prod.* 256.
- Haryanto, A., Hasanudin, U., Afrian, C., dan Zulkarnaen, I. 2018. Biogas Production From Anaerobic Codigestion of Cowdung and Elephant Grass (*Pennisetum Purpureum*) Using Batch Digester. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 141: 1 – 10.
- Hasanudin, U. (2007, February 1). *Biogas production from agro-industries wastewater* [Presentation]. Commercialization of Renewable Energy Recovery from Agroindustry Wastewater, Bandar Lampung, Indonesia.
- Isdiyanto, R., dan Hasanudin. 2009. Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolik Terhadap Produksi Biogas. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbaharukan* 8(2): 82-90.
- Istiadi, m., sutaryo s., dan punomoadi a. 2020. Pengaruh substitusi by-product industry tapioka pada feses sapi perah sebagai substrat biogas terhadap nilai pH, produksi metan dan pencernaan bahan organik. *Jurnal ilmiah peternakan terpadu*, 8(2): 53 – 59.
- Iriani, P., Suprianti, Y., dan Yulistiani, F. 2017. Fermentasi Anaerobik Biogas Dua Tahap Dengan Aklimatisasi dan Pengkondisian pH Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan.* 1(1): 1 – 10.
- Juariah, S., A. Susilowati, dan R. Setyaningsih. 2004. Fermentasi Etanol dari Limbah Padat Tapioka (Onggok) oleh *Aspergillus niger* dan *Zymomonas mobilis*. *Jurnal. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.* 6 halaman.
- Kahar, A., Warmadewanthi, I., dan Hermana, J. 2018. Effects Of Temperature-Ph On Liquid Phase Mass Transfer And Diffusion Coefficients At Leachate Treatment In Anaerobic Bioreactor 7(2): 41–48.
- Kamahara, H., U. Hasanudin, Y. Atsuya, A. Widiyanto, R. Tachibana, N. Goto, H. Daimon, and K. Fujie. 2010. Methane Emission from Anaerobic Pond of Tapioca Starch Extraction Wastewater in Indonesia. *Jurnal. Journal of Ecotechnology Research*, 15(2). Hal. 79- 83.
- Kanti, A. 2017. Potensi Kapang *Aspergillus niger*, *Rhizopus oryzae*, dan *Neurospora sitophila* Sebagai Penghasil Enzim Fitase dan Amilase pada Substrat Ampas Tahu. *Jurnal. Buletin Peternakan Vol. 41 (1) ISSN-0126-4400 E-ISSN-2407-876X.* Hal. 26-36.
- Koswara, S. 2013. Teknologi Pengolahan Umbi-Umbian, Bagian 6: Pengolahan Singkong. *Modul Institut Pertanian Bogor (IPB). Bogor.* Hal. 7-8.

- Manurung, R. 2004. *Proses Anaerobik sebagai Alternatif untuk Mengolah Limbah Sawit*. Universitas Sumatera Utara Repository. Medan.
- Metcalf dan Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse: 4th Edition*. McGraw-Hill. New York.
- Myint, M. T., dan Nirmalakhandan, N. 2009. Enhancing Anaerobic Hydrolysis of Cattle Manure In Leachbed Reactors. *Bioresource Technology*. 100(2009): 1695 – 1699.
- Orhororo, E.K., Patrick O.E., dan Godwin E.S. 2017. Experimental determination of effect of total solid (TS) and volatile solid (VS) on biogas yield. *American Journal Of Modern Energy*, 3(6): 131-135.
- Permadi, D.M.I., Ahmad A., dan Shinta E. 2015. Efisiensi Penyisihan Cod Dan Pembentukan Biogas Dalam Pengolahan Sludge IPAL Industry Pulp And Paper Dengan Menggunakan Bioreaktor Hybrid Anaerobic. *Jom FTEKNIK* 2(1): 1-15.
- Pingmuangek, P., Napat J., dan Shabbir H.G. 2017. Supply chain analysis for cassava starch production: clear production opportunities and benefits. *Journal Pf Cleaner Production*, 162: 1075-1084.
- Prayitno, H. T. 2008. Pemisahan Padatan Tersuspensi Limbah Cair Tapioka Teknologi Membran Sebagai Upaya Pemanfaatan dan Pengendalian Pencemaran Lingkungan. Program Megister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang. Hal. 8-9.
- Ponsa, S., Ivett, F., Felicitas, V., dan Xavier, F. 2008. Optimization oof The Hydrolytic-Acidogenic Anaerobic Digestion Stage (55 OC) of Sewage Sludge: Influence of pH and Solid Content. *Water Research*. 42: 3972 – 3980.
- Qyyum, M. A., Haider, J., Qadeer, K., Valentina, V., Khan, A., Yasin, M., Aslam, M., Guido, G. D. E., Pellegrini, L. A., and Lee, M. 2020. Biogas To Liquefied Biomethane: Assessment Of 3P's – Production, Processing, And Prospects. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 119, 109561.
- Ramdiana. 2017. Pengaruh variasi komposisi pada campuran limbah cair dan kotoran sapi terhadap produksi biogas. *Eksergi* 14(2): 12-17.
- Rambe, S. M. 2013. Perancangan Dan Evaluasi Kinerja Reaktor Hidrolisis-Acidogenesis Pada Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Tesis*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Ratnaningsih, R., Widyatmoko, H., dan Yananto, T. 2009. Potensi Pembentukan Biogas pada Proses Biodegradasi Campuran Sampah Organik Segar dan Kotoran Sapi dalam Batch Reaktor Anaerob. *Jurnal Universitas Trisakti*. 5



(1): 20 – 26.

- Ratledge, C. 1994. *Biochemistry of Microbial Degradation*. Kluwer Academic Publishers. London. Hal. 54. – 60.
- Rohmah, N., dan Anto, T.S. 2008. *Penurunan TS (Total Solid) Pada Limbah Cair Industri Perminyakan Dengan Teknologi AOP*. Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Hal: 44-48.
- Rolfe, M. D., Rice C. J., Lucchini, S., Pin, C., Thompson, A., Cameron, A. D., Alston, M., Stringer, M. F., Betts, R. P., Baranyi, J., Peck, M. W. 2012. Lag Phase Is A Distinct Growth Phase That Prepares Bacteria For Exponential Growth And Involves Transient Metal Accumulation. *Journal of Bacteriology*. 194(3): 686 – 701.
- Romli, M. (2012). *Bioksidasi Parsial pada Penanganan Anaerobik Limbah Biomasa Pertanian*.
- Rusdiyono, A. P., Kirom, M. R., dan Qurthobi, A. 2017. Perancangan Alat Ukur Konsentrasi Gas Metana dari Anaerobic Baffled Reactor (ABR) Semi-Kontinu dengan Substrat Susu Basi. *E-Proceeding Of Engineering*. 4 (1): 580 – 588.
- Saputra, T., Triatmojo, S., dan Pertiwiningrum, A. 2010. Produksi Biogas Dari Campuran Feses Sapi Dan Ampas Tebu (Bagasse) Dengan Rasio C/N Yang Berbeda. *Buletin Peternakan*. 34(2): 114 – 122.
- Santosa, B. (2010). Proses pengolahan air buangan industri tapioka. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*. 15(3): 13 – 220.
- Setyawati, R. 2011. Current Tapioca Starch Wastewater (TSW) Management in Indonesia. *IDOSI Publications* 14(5). Jepang. Hal. 658 – 665.
- Soeprijanto, Suprpto, Hari, D., Puspita, N. F., Pudjiastuti, L., Setiawan, B., Triastuti, W. E., Ferdiansyah, A., Humaidah, N., dan Anzip, A. 2022. Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi Menggunakan Biodigester di Desa Jumput Kabupaten Bojonegoro. *Sewagati*, 1(1), 17–25.
- Soetopo, S.R., Sri, P., Yusup, S., dan Krisna, A. W. 2011. Efektivitas Proses Kontinu Digestasi Anaerobik Dua Tahap Pada Pengolahan Lumpur Biologi Industri Kertas. *Jurnal Riset Industri* 5(2): 131-142.
- Sopandi, Tatang, dan Wardah. 2015. *Mikrobiologi Pangan*. Penerbit Andi. Jakarta. Hal: 69-130.
- Sopandi, T., dan Wardah, W. 2014. *Mikrobiologi Pangan—Teori dan Praktik*. ANDI. Yogyakarta.

- Subramaniam dan J.R. Vimala. 2012. Solid State and Submerged Fermentation for The Production of Bioactive Substance : A Comparative Study. Jurnal. International Journal of Science and Nature 3 (3) ISSN:2229-6441. Hal. 480–486.
- Sutrisno, C.T. 2010. Teknologi Penyediaan Air Bersih. Rineka Cipta. Jakarta. 97 halaman.
- Wardhana, W. A. 2001. Dampak Pencemaran Lingkungan. Andi Offset. Jakarta. Hal 19 dan 71-169.
- Winantu, N. P. 2018. Pengaruh fermentasi onggok menggunakan *Aspergillus niger* terhadap kandungan nutrien dan hcn. Thesis, Universitas Brawijaya
- Wintolo, M. dan Isdiyanto, R. 2011. Prospek Pemanfaatan Biogas Dari Pengolahan Air Limbah Industri Tapioka. *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbaru*. 10 (2): 103 – 112.