

**POTENSI LIMBAH IKAN TONGKOL UNTUK PRODUKSI  
METANA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Oleh:

**NURHADIA HUMAIRA  
NIM. 160702096  
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi  
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY  
DARUSSALAM – BANDA ACEH  
2020 M / 1441 H**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### POTENSI LIMBAH IKAN TONGKOL UNTUK PRODUKSI METANA

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh  
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh

**NURHADIA HUMAIRA**

**NIM. 160702096**

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi  
Program Studi Teknik Lingkungan

Disetujui oleh:

Pembimbing I,



**Andian Aristia Anas, S.T., M.Sc.**  
NIDN. 2022108701

Pembimbing II,



**Yeggi Darnas, S.T., M.T.**  
NIDN. 2020067905

# POTENSI LIMBAH IKAN TONGKOL UNTUK PRODUKSI METANA

## TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh  
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)  
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Senin, 31 Agustus 2020  
12 Muharram 1442

Panitia Ujian Munqasyah Tugas Akhir

Ketua,



Andian Aristia Anas, S.T., M.Sc.  
NIDN. 2022108701

Sekretaris,



Yeggi Darnas, S.T., M.T.  
NIDN. 2020067905

Penguji I,



Dr. Irhamni, S.T., M.T.  
NIDN. 0102107101

Penguji II,



Bhayu Gita Bhernama, M.Si.  
NIDN. 2023018901

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. Azhar Amsal, M.Pd.  
NIDN. 2001066802

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH/TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurhadia Humaira  
NIM : 160702096  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh  
Judul Skripsi : Potensi Limbah Ikan Tomkol untuk Produksi Metana

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Banda Aceh, 24 Agustus 2020  
Yang membuat pernyataan,



**Nurhadia Humaira**

## ABSTRAK

Nama : Nurhadia Humaira  
NIM : 160702096  
Program Studi : Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi (FST)  
Judul : Potensi Limbah Ikan Tongkol untuk Produksi Metana  
Tanggal Sidang : 31 Agustus 2020  
Tebal Skripsi : 45 halaman  
Pembimbing I : Andian Aristia Anas, S.T., M.Sc.  
Pembimbing II : Yeggi Darnas, M.T.  
Kata kunci : limbah pengolahan ikan tongkol, digester anaerobik, metana

Limbah pengolahan ikan semakin meningkat seiring pertumbuhan kebutuhan impor ikan sebagai sumber makanan. Aktivitas pengolahan ikan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, konsumsi, pembangunan, dan ekonomi, sehingga berakibat pada semakin bertambahnya produksi limbah ikan tongkol. Akan lebih baik apabila limbah tersebut diolah dan digunakan untuk keperluan sehari – hari yang memiliki nilai manfaat dan berkelanjutan, seperti untuk sumber energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui produksi metana dari variasi substrat limbah pengolahan ikan dalam digester anaerobik. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental, dimana data primer hasil uji laboratorium dan data sekunder dari sumber hasil penelitian. Perhitungan potensi volume metana didapatkan menggunakan persamaan gas ideal, persamaan pemodelan kinetik orde 1, persamaan pemodelan Gompertz. Volume metana harian yang dihasilkan dari limbah pengolahan ikan tongkol adalah 6,27 L/kg VS pada komposisi 10 liter limbah pengolahan ikan tongkol dan 0 liter kotoran sapi, 13,77 L/kg VS pada komposisi 7,5 liter limbah pengolahan ikan tongkol dan 2,5 liter kotoran sapi, dan 80 L/kg VS pada komposisi 5 liter limbah pengolahan ikan tongkol dan 5 liter kotoran sapi. Campuran limbah ikan tongkol dan kotoran sapi berpotensi pada produksi metana dimana dapat menggantikan metana dari sumber fosil.

## ABSTRACT

Name : Nurhadia Humaira  
Student ID : 160702096  
Study Program : Environmental Engineering, Faculty of Science and Technology (FST)  
Title : The Potential of Tuna Fish Waste to Produce Methane  
Defense Date : 31<sup>st</sup> August 2020  
Number of Pages : 45 pages  
Thesis Advisor I : Andian Aristia Anas, S.T., M.Sc.  
Thesis Advisor II : Yeggi Darnas, S.T., M.T.  
Key Words : Tuna fish processing waste, anaerobic digester, methane

Fish processing waste is increasing along with the increasing needs for fish import activity as a food source. Fish processing activities are increasing along with the increase in population, consumption, development, and economy, which are resulting in increased production of tuna fish waste. It would be better if the waste is processed and used for daily needs that have beneficial and sustainable values, such as for renewable energy sources.

This study aims to determine methane production by varying substrates of fish processing waste in anaerobic digester. This study uses experimental quantitative methods, which the primary data are the result of laboratory tests and secondary data are obtained from the source of the other research. Calculation of the potential volume of methane is obtained using the ideal gas equation, the first order kinetic equation, the Gompertz equation. The daily volume of methane produced from tuna processing waste is 6.27 L/kg VS at the composition of 10 liters of tuna processing waste and no cow manure, 13.77 L/kg VS at a composition of 7.5 liters of tuna processing waste and 2.5 liters of cow dung, and 80 L/kg VS in the composition of 5 liters of tuna processing waste and 5 liters of cow dung. Co-digestion of tuna fish waste and cow nmanure has the potential for methane production that can replace methane from fossil sources.

## KATA PENGANTAR



Puji beserta syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kemampuan berfikir untuk penulis sehingga dapat menyusun Tugas Akhir pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Kemudian shalawat dan salam penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, dimana kehadirannya menjadi lentera untuk umat manusia di permukaan bumi, sehingga tercipta kedamaian dan ketinggian makna ilmu pengetahuan di dunia ini. Dalam kesempatan ini penulis memutuskan untuk menyusun Tugas Akhir berjudul ” **Potensi Limbah Ikan Tongkol untuk Produksi Metana**”. Penyusunan Tugas Akhir ini guna untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan kurikulum pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan pengetahuan dan wawasan baru yang sangat berharga. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih setulus-tulusnya kepada Ibunda Zainabon dan Ayahanda Mansuridi serta keluarga besar yang telah memberikan do’a dan dukungan kepada penulis selama ini. Penulis juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

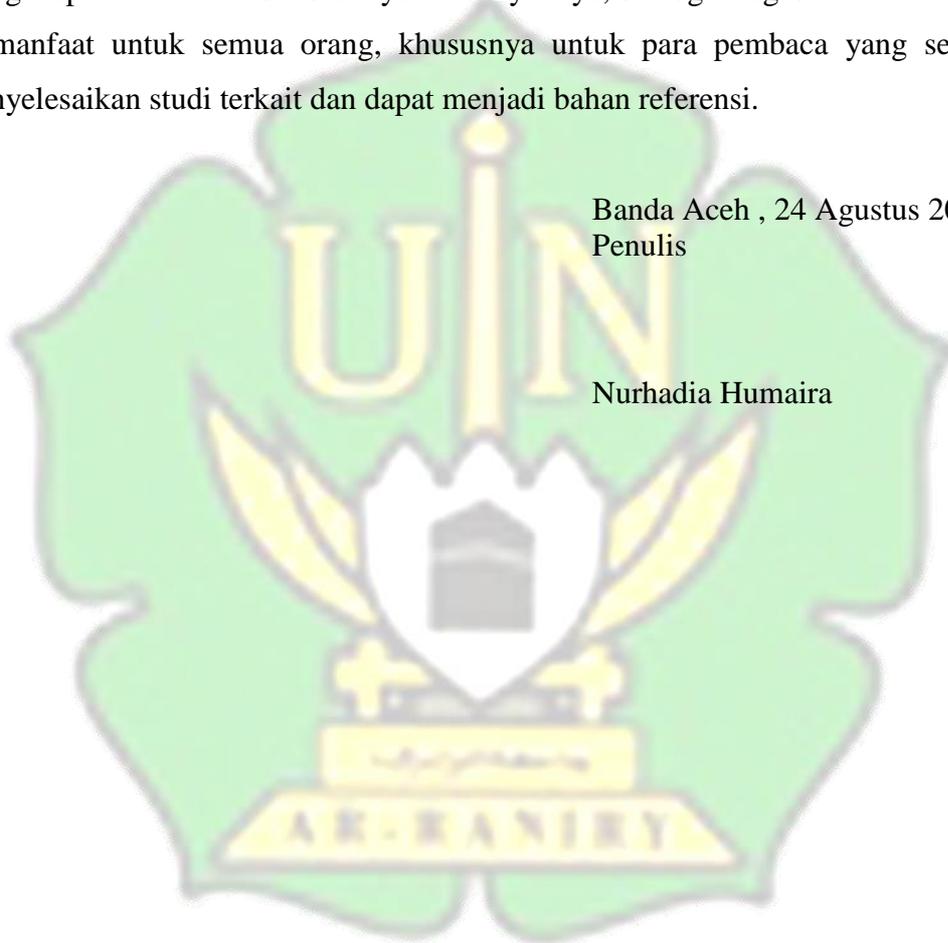
1. Bapak Andian Aristia Anas, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing I Tugas Akhir pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Ibu Yeggi Darnas, S.T., M.T. selaku Pembimbing II dan Koordinator Tugas Akhir pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Seluruh Bapak/Ibu dosen pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

5. Seluruh teman – teman seperjuangan angkatan 2016 Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Semoga amalan baik mereka mendapatkan balasan dari Allah SWT dengan balasan yang berlipat ganda. Perlu disadari bahwa dengan segala keterbatasan, Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga masukan dan kritikan sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih sebanyak – banyaknya, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk semua orang, khususnya untuk para pembaca yang sedang menyelesaikan studi terkait dan dapat menjadi bahan referensi.

Banda Aceh , 24 Agustus 2020  
Penulis

Nurhadia Humaira



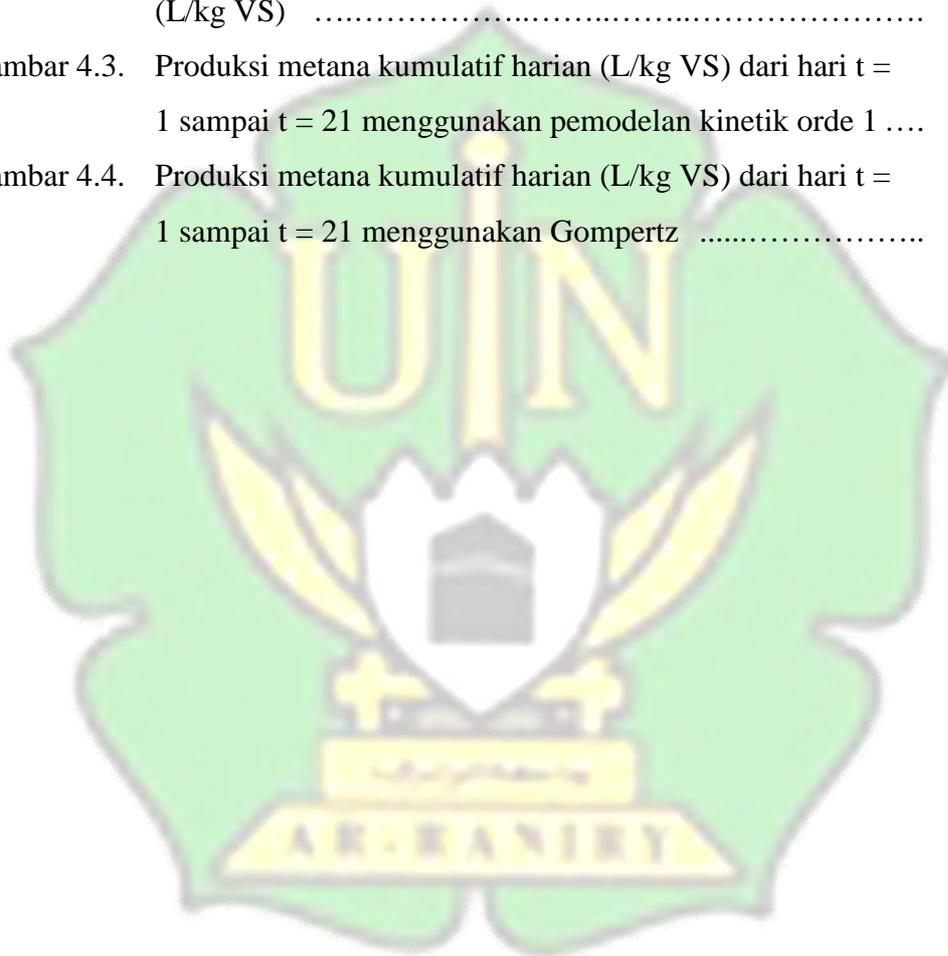
## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>BAB I : PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Limbah Ikan.....	2
1.3. Penelitian Terdahulu Terkait Limbah Ikan untuk Produksi Biogas .....	5
1.4. Rumusan Masalah .....	8
1.5. Tujuan Penelitian.....	9
1.6. Batasan Masalah.....	9
<b>BAB II : LANDASAN TEORITIS</b> .....	<b>10</b>
2.1. Biogas .....	10
2.2. Tahap Pembuatan Biogas .....	11
2.3. Faktor-faktor Mempengaruhi Produksi Biogas .....	14
2.4. Limbah Perusahaan Pengolahan Ikan Tongkol .....	16
2.5. Proses Fermentasi .....	18
<b>BAB III: METODE PENELITIAN</b> .....	<b>19</b>
3.1. Metode Penelitian .....	19
3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian .....	19
3.3. Alat dan Bahan .....	19
3.4. Data Primer dan Data Sekunder .....	21

3.5. Tahapan Penelitian .....	21
3.5.1. Tahap Persiapan Digester Anaerobik .....	21
3.5.2. Tahap Persiapan dan Analisis Bahan Baku.....	22
3.5.3. Prosedur Kerja.....	23
3.5.4. Tahap Uji Organik pada Limbah Ikan Tongkol.....	23
3.5.5. Tahap Analisis Kuantitas Metana .....	23
<b>BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>25</b>
4.1. Volume Metana dari Limbah Ikan Tongkol.....	25
4.2. Analisis Potensi Metana dari Limbah Ikan Tongkol.....	30
4.2.1. Analisis Kinetika Produksi Metana Harian dari Limbah Ikan Tongkol Menggunakan Pemodelan Kinetik Orde 1 ..	31
4.2.2. Analisis Kinetika Produksi Metana Harian dari Limbah Ikan Tongkol Menggunakan Pemodelan Gompertz .....	32
<b>BAB V : PENUTUP.....</b>	<b>34</b>
A. Kesimpulan .....	34
B. Saran .....	34
<b>DAFTAR KEPUSTAKAAN .....</b>	<b>35</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>39</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1. Perencanaan awal digester anaerobik tanpa pengaduk .....	22
Gambar 4.1. Potensi produksi metana dari limbah ikan pada variabel A, B, dan C (L) .....	28
Gambar 4.2. Potensi produksi metana untuk variabel A, B, dan C (L/kg VS) .....	30
Gambar 4.3. Produksi metana kumulatif harian (L/kg VS) dari hari t = 1 sampai t = 21 menggunakan pemodelan kinetik orde 1 ....	32
Gambar 4.4. Produksi metana kumulatif harian (L/kg VS) dari hari t = 1 sampai t = 21 menggunakan Gompertz .....	34



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Komposisi karbon, nitrogen, dan hidrogen dalam limbah ikan .....	3
Tabel 1.2. Kandungan COD, nitrogen, dan hidrogen dalam limbah cair hasil industri pengolahan ikan .....	3
Table 1.3. <i>Review</i> dari beberapa literatur terkait limbah ikan untuk produksi biogas .....	5
Tabel 2.1. Komposisi biogas .....	10
Tabel 2.2. Rasio C/N pada beberapa jenis bahan baku pembuatan biogas .....	15
Table 2.3. Kondisi pengoperasian pada proses pencernaan anaerobik ....	18
Tabel 3.1. Persiapan variabel perlakuan substrat .....	22
Tabel 4.1. Potensi produksi metana dari limbah ikan pada variabel A, B, dan C (L) .....	28
Tabel 4.2. Hasil uji TS dan hitungan VS pada variabel A, B, dan C .....	29
Tabel 4.3. Kadar VS pada variabel A, B, dan C menggunakan rasio TS/VS 0,33 .....	30
Tabel 4.4. potensi produksi metana untuk variabel A, B, dan C (L/kg VS) .....	30

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Limbah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dalam memenuhi kebutuhannya, sehingga tidak dapat dihindarkan bahwa sampah selalu ada selama aktivitas kehidupan masih berlanjut seiring dengan peningkatan kebutuhan manusia dan dalam kondisi perkotaan yang padat penduduk dan sempit lahan, volume sampah yang terus meningkat dari tahun ke tahun menimbulkan permasalahan kebutuhan lahan pembuangan sampah, serta semakin tingginya biaya pengolahan sampah.

Energi yang bersumber dari biomassa merupakan salah satu alternatif menggantikan bahan bakar fosil. Produksi biogas sangat didukung oleh tingginya jumlah sampah organik seperti sampah industri makanan dan sampah domestik dari rumah tangga. (Pramanik, dkk., 2019). Salah satu penghasil limbah ikan berasal dari perusahaan pengolahan ikan (Muflih, 2013). Aktivitas pengolahan ikan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, konsumsi, pembangunan, dan ekonomi, sehingga berakibat pada semakin bertambahnya produksi limbah ikan. Selanjutnya, akan lebih baik apabila limbah tersebut diolah dan digunakan untuk keperluan sehari – hari yang memiliki nilai manfaat dan berkelanjutan, seperti untuk sumber energi terbarukan (Serrano, dkk., 2013). Dalam Al-Qur'an surah Al-Jasiyah ayat 13 Allah SWT berfirman:

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ

۱۳ -

Artinya: “Dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir”. (Qs. Al-Jasiyah: 13).

Ayat di atas menjelaskan tanda – tanda kebesaran Allah SWT. Di antaranya adalah segala apa yang berada di langit dan di bumi agar manusia dapat mengambil manfaatnya untuk kepentingan kemaslahatan umat manusia. Allah SWT telah menciptakan seluruh isi alam agar manusia dapat memanfaatkannya dengan baik. Salah satu kebesaran Allah SWT adalah menciptakan isi bumi sebagai salah satu sumber kehidupan bagi makhluk ciptaan-Nya.

## 1.2. Limbah Ikan

Ikan merupakan salah satu makanan pokok jutaan orang di seluruh dunia dan konsumsi per kapitanya hampir dua kali lipat selama 45 tahun terakhir, sehingga menghasilkan sejumlah besar limbah ikan yang bersumber dari industri pengolahan ikan (Ward dan Løes, 2011). Menurut Organisasi Pangan dan Pertanian (FAO, 2018), produksi ikan dunia pada 2017 mencapai 172,6 juta ton, dimana sebagian besar produksi ini, yaitu sekitar 153,2 juta ton dimanfaatkan untuk konsumsi manusia (FAO, 2019). Akuakultur merupakan cabang agribisnis yang menjanjikan di dunia dan memiliki tingkat pertumbuhan terbesar. Misalnya, di Indonesia, produksi ikan diproyeksikan mengalami peningkatan sebesar 66,7% atau total produksi satu juta ton ikan pada tahun 2030 (FAO, 2018). Kenaikan ini juga diikuti oleh tingginya produksi limbah ikan, yaitu diperkirakan sekitar 64 juta ton limbah diproduksi setiap tahun (Rai dkk., 2010).

Menurut Bucker dkk., (2020), limbah ikan yang terdiri dari kepala, jeroan, sirip, kulit, dan sisik memiliki kandungan protein dan lemak yang tinggi. Pada kondisi anaerob, lemak, protein, dan karbohidrat dapat terdegradasi secara biologis, sehingga dapat dikonversi menjadi biogas, oleh karena itu, hasil produksi biogas tergantung pada kandungan senyawa organik tersebut (Abdul Aziz dkk., 2019). Namun, setiap fraksi limbah tersebut memiliki komposisi biokimia yang berbeda, sehingga menghasilkan bahan baku yang memiliki *biodegradable* tinggi, dimana menjadi tantangan untuk produksi metana (Kamusoko dkk., 2019). Secara teoritis, potensi metana dari karbohidrat, protein, dan lemak adalah 1014 L CH<sub>4</sub> kg/VS (Symons dan Buswell, 1993). Jumlah dan jenis bahan organik yang terdapat di kepala berpotensi untuk kegiatan produksi metana (Cirne dkk., 2007). Menurut

Bücker (2020), limbah ikan berpotensi menghasilkan biogas sekitar 790 mL/grVS dan metana sekitar 520 mL/grVS dengan menggunakan proses digester anaerobik secara keseluruhan selama 17 hari. Komposisi atau kandungan di dalam limbah ikan ditunjukkan pada Tabel 1.1 dan Kandungan di dalam limbah cair hasil industri pengolahan ikan ditunjukkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.1. Komposisi karbon, nitrogen, dan hidrogen dalam limbah ikan

Substrat	C-organik	N total	H total	Rasio C/N
	(% berat)	(% berat)	(% berat)	
Limbah ikan	52,6	8,1	9,8	6,5

Sumber: Bücker (2020)

Tabel 1.2. Beban pencemaran limbah cair industri perikanan

Jenis industry	BOD	COD	Lemak	Padatan tersuspensi
Pengolahan ikan manual	3,32	-	0,348	1,42
Pengolahan ikan mekanis	11,9	-	2,48	8,92
Pengalengan tuna	6,8 – 20	14 – 64	1,7 – 13	3,8 – 17
Pengalengan sardine	9,22	-	1,74	5,41

Sumber: Muflih (2013)

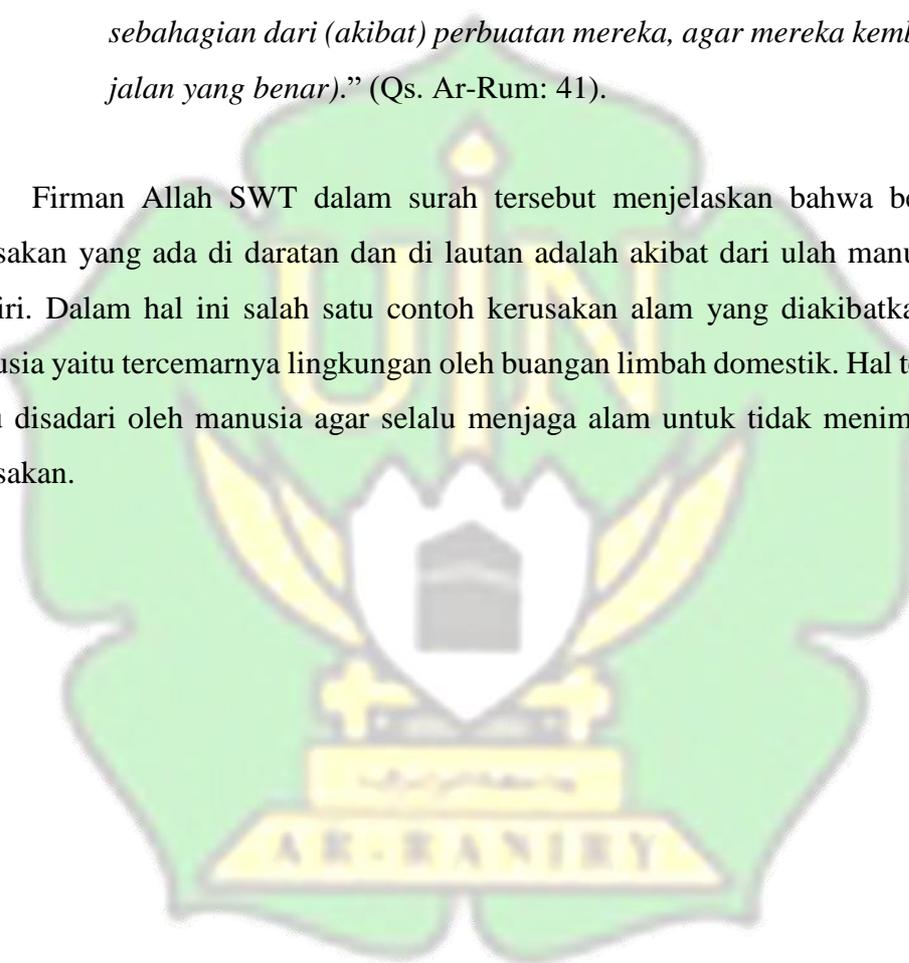
Menurut Bücker (2020), sekitar 50% massa ikan pada industri pengolahan ikan yang terdiri jeroan, kepala, tulang belakang, dan kulit dibuang begitu saja. Oleh karena itu, peneliti tertarik meneliti lebih lanjut terhadap limbah ikan agar dapat memiliki nilai guna seperti produksi biogas. Hal ini juga didukung karena ikan mengandung bahan yang berpotensi menjadi *biodegradable* (penguraian hayati atau proses dimana bahan organik diuraikan oleh enzim yang dihasilkan oleh organisme) dengan menggunakan proses digester anaerobik seperti yang dijelaskan dari beberapa hasil penelitian terdahulu di bawah ini. Beberapa studi terdahulu yang menyatakan bahwa produksi biogas sebagai solusi untuk pengolahan limbah di industri perikanan dan mengatasi permasalahan lingkungan saat ini.

Dalam Al-Qur'an surah Ar-Rum ayat 41 Allah SWT berfirman:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا  
لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ - ٤١

Artinya: *“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).”* (Qs. Ar-Rum: 41).

Firman Allah SWT dalam surah tersebut menjelaskan bahwa berbagai kerusakan yang ada di daratan dan di lautan adalah akibat dari ulah manusia itu sendiri. Dalam hal ini salah satu contoh kerusakan alam yang diakibatkan oleh manusia yaitu tercemarnya lingkungan oleh buangan limbah domestik. Hal tersebut perlu disadari oleh manusia agar selalu menjaga alam untuk tidak menimbulkan kerusakan.



### 1.3. Penelitian Terdahulu Terkait Limbah Ikan untuk Produksi Biogas

Table 1.3. *Review* dari beberapa literatur terkait limbah ikan untuk produksi biogas

No.	Nama dan Tahun	Bahan Baku	Judul	TS	VS	Rasio C/N	Reaktor	Waktu Optimum	Hasil
1.	Antonio Serrano, José A. Siles, Arturo F. Chica, M. Ángeles Martín (2013)	kepala, jeroan, dan tulang ikan yang berasal dari proses pengalengan ikan dan stroberi dari ADESVA Technology Centre di Huelva (Spanyol Barat Daya)	Agri-food waste valorization through anaerobic co-digestion: fish and strawberry residues	374 g/kg	332 g/kg	-	1 liter, <i>Batch</i>	12 hari	175 mL CH <sub>4</sub> /g VS. Biodegradasi senyawa organik yang berasal dari penguraian sel oleh mikroorganisme akan meningkatkan produksi metana serta waktu yang dibutuhkan untuk produksi gas dan VS <i>removal</i> .
2.	Cezar Fonseca, Laercio Mantovani Frare, Lucas D'avila, Thiago Edwiges (2020)	Limbah produksi <i>filleting</i> ikan nila di Institut Federal Parana di Foz do Iguaçu, Brasil.	Influence of different waste compositions from tilapia fish on methane production	33%	83,4 %	28:1	100 liter, <i>batch</i>	10 hari	Biogas muncul di hari ke-5. Produksi metana 445 LN CH <sub>4</sub> /kgVS.

3.	Francielle Bucker, Munique Marder, Marina Regina Peiter, dkk. (2020)	Jeroan ikan dari pabrik pengolahan perikanan Roca Sales, Brazil.	Fish waste: An efficient alternative to biogas and methane production in an anaerobic mono-digestion system	29,1	89	6,5 : 1	2 liter, <i>batch</i>	20 hari	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dalam kondisi anaerobik, lemak, protein, dan karbohidrat secara biologis dapat terurai dan dapat diubah menjadi biogas</li> <li>• Limbah ikan menjanjikan untuk untuk produksi biogas menggunakan proses mono-digestion</li> <li>• 540,45 mL CH<sub>4</sub>/gVS</li> <li>• Volume biogas dan metana yang dihasilkan dalam percobaan ini menunjukkan bahwa <i>mono-digestion</i> dari limbah pengolahan ikan dapat menjadi alternatif yang layak untuk produksi biogas.</li> <li>• Kandungan metana yang tinggi dimana 70% biogas terdiri dari metana.</li> </ul>
----	--	--	---	------	----	---------	-----------------------	---------	---

4.	Gopi Krishna Kafle, 1Sang Hun Kim, dan Kyung Ill Sung (2013)	limbah ikan, limbah roti, dan limbah biji-bijian di pabrik pembuatan bir.	Ensiling of fish industry waste for biogas production: A lab scale evaluation of biochemical methane potential (BMP) and kinetics	34,9 %	32,8 %	c/n	210 mL, <i>batch</i>	96 hari	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 671-763 mL biogas/gVS</li> <li>• 441-482 mL CH<sub>4</sub>/gVS.</li> </ul>
5.	L.S.Cadavid-Rodríguez, M.A.Vargas-Muñoz, dan J.Plácido (2019)	digestive tracts and viscera of ed snapper, corvine and tuna. Anaerobic sludge.	Biomethane from fish waste as a source of renewable energy for artisanal fishing communities	25,2 %	88,9 %	5,7 pH = 7,4	1 liter, <i>batch</i>	28 hari	465 mL CH <sub>4</sub> /gVS

Serrano, dkk. (2013) meneliti pemanfaatan limbah ikan (kepala, jeroan, dan tulang) dan stroberi sebagai bahan baku produksi metana. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa limbah ikan yang dicampur stroberi hingga homogen dengan rasio campuran basah 20:80 (%berat) dapat menghasilkan 121 mL CH<sub>4</sub>/gr VS substrat pada hari ke-12. Pada tahap perlakuan, limbah ikan diblender sampai mesh 1 mm tanpa kulit. pH rata – rata di dalam reaktor adalah 7,9. TS dan VS substrat masing – masing adalah 80 g/kg dan 75 g/kg. OLR (*Organic Loading Rate*) atau jumlah bahan organik per unit volume reaktor yang mengalami proses digester anaerobik di periode waktu tertentu adalah 2,73 kg VS/m<sup>3</sup>/hari. *Biodegradability* campurannya adalah 87% VS. Reaktor yang digunakan adalah tipe *batch* 1 liter.

Fonseca, dkk. (2020) pada penelitiannya didapatkan bahwa limbah ikan nila (campuran kepala, tulang, jeroan, sirip, kulit, dan sisik) dengan kadar TS 34%, VS 85%, protein 33%, lemak 26%, dan karbohidrat 47% dapat menghasilkan metana 445 L CH<sub>4</sub>/kg VS pada hari ke-40. Reaktor yang digunakan adalah tipe batch 100 liter. Pada penelitiannya biogas pertama muncul pada hari ke-5.

Hasil penelitian Bucker, dkk (2020), limbah ikan (padat dan cair) memiliki rasio C/N sebesar 6,5, Total Solid (TS) 29,1%, Volatile Solid (VS) 89%. Bioreaktor yang digunakan adalah digester anaerobik bervolume 2 liter yang beroperasi pada suhu 35 °C (mesofilik). Hasil penelitiannya juga menunjukkan bahwa limbah ikan sudah menghasilkan biogas pada hari ke-19.

Menurut Kafle, dkk. (2013), limbah ikan berpotensi untuk produksi biogas dimana penelitiannya menggunakan campuran limbah ikan dan limbah roti menghasilkan metana 482 mL/grVS. Bioreaktor yang digunakannya adalah digester anaerobik berbahan botol kaca bervolume 1,8 liter dan 2 liter yang beroperasi pada suhu 36,5 °C (mesofilik). Hasil penelitiannya juga menunjukkan bahwa waktu *digestion* di dalam bioreaktor yang direkomendasikan adalah 21 – 24 hari.

Cadavid-Rodríguez, dkk. (2019) pada penelitiannya didapatkan bahwa jeroan ikan kakap merah, korvet dan tuna dapat menghasilkan metana 465 mL/gVS pada digestion hari ke-28. Kandungan organik awal substratnya adalah 25% TS dan 89% VS, karbon 51% TS, nitrogen 9% TS, dan rasio C/N 5,7:1.

#### **1.4. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana potensi limbah pengolahan ikan tongkol yang dihasilkan untuk produksi metana?
- 2) Bagaimana volume metana harian yang dihasilkan dari limbah pengolahan ikan tongkol?

### 1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui potensi limbah pengolahan ikan tongkol yang dihasilkan untuk produksi metana.
- 2) Mengetahui volume metana yang dihasilkan dari limbah pengolahan ikan tongkol.

### 1.6. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Sampel limbah pengolahan ikan tongkol diambil dari UD. Nagata Tuna, Desa Punge Blang Cut, Kecamatan Jaya Baru, Kota Banda Aceh;
- 2) Rasio C/N dan *Total Solid* (TS) substrat hanya diuji di awal, yaitu sebelum dimasukkan ke dalam bioreaktor;
- 3) Data kuantitas akumulatif dan harian metana tidak diuji langsung melainkan didapat dari hasil analisis atau prediksi menggunakan persamaan model kinetik orde 1 dan persamaan model Gompertz
- 4) Data sekunder (kandungan C-organik di dalam limbah ikan, TS/VS, *K*, *Rmaks.* dan rasio TS/VS) didapat dari artikel pada jurnal terindeks scopus Q1.

## BAB II

### LANDASAN TEORITIS

#### 2.1. Biogas

Menurut Aknesa (2018), biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik yang melibatkan mikroorganisme dalam keadaan anaerob (tanpa oksigen). Biogas mulai terbentuk ketika mikroorganisme, khususnya bakteri, menurunkan kadar zat organik pada kondisi anaerob. Biogas terdiri dari 50% sampai 75% metana (CH<sub>4</sub>), 25% sampai 45% karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan sejumlah kecil gas lainnya. Komposisi biogas ditunjukkan pada tabel 2.1.

Biogas sekitar 20% lebih ringan dibandingkan udara dan memiliki temperatur nyala antara 650<sup>0</sup>C sampai 750<sup>0</sup>C. biogas terbakar dengan efisiensi 60% dalam tungku biogas konvensional dan memiliki nilai kalor 20 MJ/Nm<sup>3</sup>. Volume biogas biasanya dinyatakan dalam satuan normal meter kubik (Nm<sup>3</sup>), yaitu volume gas pada suhu 0<sup>0</sup>C dan tekanan atmosfer (1 atm).

Tabel 2. 1. Komposisi biogas

No.	Unsur	Simbol	Konsentrasi (% volume)
1.	Metana	CH <sub>4</sub>	50 – 70
2.	Karbondioksida	CO <sub>2</sub>	35 – 40
3.	Air	H <sub>2</sub> O	2 – 7
4.	Hidrogen sulfida	H <sub>2</sub> S	2
5.	Nitrogen	N <sub>2</sub>	< 2
6.	Oksigen	O <sub>2</sub>	< 2
7.	Hidrogen	H <sub>2</sub>	< 1
8.	Amonia	NH <sub>3</sub>	< 0,005

*Sumber:* Vogeli, dkk. (2014)

Biogas adalah salah satu produk energi terbarukan yang bersumber dari biomassa, dimana biogas tergolong ke dalam energi yang berasal dari bahan-bahan organik (bahan non fosil) yang umumnya berasal dari berbagai limbah organik seperti, kotoran manusia, kotoran hewan, sisa-sisa tumbuhan dan lain – lain.

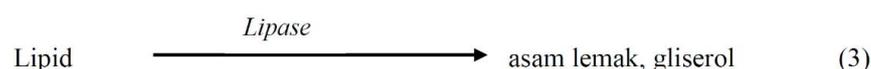
Menurut Sanjaya (2015), faktor penting yang mempengaruhi produksi gas metana (CH<sub>4</sub>) di dalam biogas adalah hubungan antara jumlah karbon (C) dan nitrogen (N) yang terdapat pada bahan organik yang dinyatakan dengan rasio C/N. Rasio C/N yang optimum berkisar pada rentang 25 – 30 (Jabeen et. al, 2015). Feses sapi mempunyai rasio C/N sebesar 26,5 (Sanjaya, 2015).

## 2.2. Tahapan Pembuatan Biogas

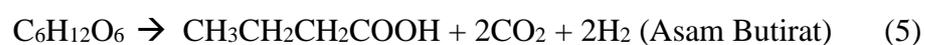
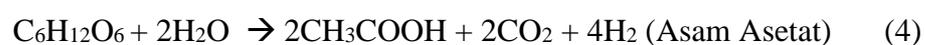
Menurut Megawati dan Aji (2015), pembentukan biogas meliputi 4 (empat) tahap, yaitu:

### a. Hidrolisis

Bahan organik (polimer) didekomposisi menjadi unit yang lebih kecil. Selama proses tersebut, polimer seperti karbohidrat, lemak, asam nukleat, dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, purin, dan pirimidin. Mikroorganisme hidrolitik akan mensekresi enzim hidrolitik dan mengubah polimer menjadi senyawa sederhana seperti persamaan yang ditunjukkan di bawah ini:



Tahap hidrolisis membutuhkan mediasi *exo-enzim* yang diekskresi oleh bakteri fermentatif. Produk yang dihasilkan dari proses hidrolisis lebih lanjut diuraikan oleh mikroorganisme yang terlibat dan digunakan untuk proses metabolisme mereka sendiri. Walaupun demikian proses penguraian anaerobik sangat lambat dan menjadi terbatas dalam penguraian limbah selulolitik yang mengandung lignin. Pada proses ini, bakteri pengurai asam menguraikan senyawa glukosa sesuai dengan reaksi berikut:



b. Asidogenesis

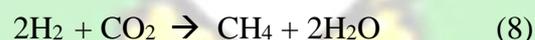
Pada tahap asidogenesis, produk dari hidrolisis dikonversi oleh bakteri asidogenik menjadi substrat metanogen. Gula, asam amino, dan asam lemak terdegradasi menjadi asetat, karbondioksida, dan hidrogen (70%) serta menjadi *Volatile Fatty Acid* (VFA) dan alkohol (30%).

c. Asetogenesis

Pada tahap asetogenesis, produk dari asidogenesis yang tidak dapat diubah secara langsung menjadi metana oleh bakteri metanogen akan diubah menjadi substrat metanogen. VFA dan alkohol dioksidasi menjadi substrat metanogen seperti asetat, hidrogen dan karbondioksida.

d. Metanogenesis

Pada tahap metanogenesis hidrogen akan diubah menjadi metana. Asetogenesis dan metanogenesis biasanya sejajar, sebagai simbiosis dari dua kelompok organisme. Produksi metana dan karbondioksida dari produk antara dilakukan oleh bakteri metanogen, 70% dari metana yang terbentuk berasal dari asetat, sedangkan 30% sisanya dihasilkan dari konversi hidrogen (H) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>), menurut persamaan berikut:



Di dalam bioreaktor atau digester anarobik, terdapat 2 (dua) jenis bakteri yang sangat berperan, yaitu bakteri asidogenik dan bakteri metanogenik. Kedua jenis bakteri ini diperlukan ada di dalam digester anarobik dalam jumlah berimbang. Bakteri – bakteri ini memanfaatkan bahan organik dan memproduksi metana dan gas lainnya dalam siklus hidupnya pada kondisi anaerob. Bakteri asidogenik dan bakteri metanogenik memerlukan kondisi tertentu dan sensitif terhadap lingkungan mikro dalam digester seperti suhu, keasaman, dan jumlah bahan organik yang akan dicerna. Terdapat beberapa spesies metanogenik dengan berbagai karakteristik dan mempunyai beberapa sifat fisiologi yang umum, namun mempunyai morfologi yang beragam seperti *Methanomicrobium*, *Methanosarcina*, *Metanococcus*, dan *Methanothrix* (Haryati, 2006).

### 2.1.1. Reaktor Biogas

Reaktor biogas dirancang pada kondisi anaerob sebagai tempat penampungan dan pengolahan bahan organik dengan proses fermentasi untuk menghasilkan biogas. Reaktor yang umum digunakan pada skala rumahan menggunakan bahan plastik yang lebih dalam pengolahan biogas.

Terdapat beberapa sistem fermentasi untuk proses produksi biogas yang dibedakan berdasarkan pada metode pengisian bahan bakunya. Sistem fermentasi tersebut adalah *batch fermentation*, *fed-batch fermentation*, dan *continuous fermentation*.

1. *Batch fermentation*

Menurut Nurdimansyah, dkk., (2015), proses fermentasi dengan sistem *batch* dilakukan dengan memasukkan media dan inokulum secara bersamaan ke dalam bioreaktor dan pengambilan gas dilakukan pada akhir fermentasi. Tipe ini merupakan sistem tertutup dimana tidak ada penambahan media baru selama proses fermentasi terjadi.

2. *Fed-batch fermentation*

Sistem fermentasi *fed-batch* merupakan sistem yang perlu ditambahkan media baru secara teratur pada kultur tertutup, tanpa mengeluarkan sisa substrat yang ada di dalam digester, sehingga volume kulturnya semakin lama semakin bertambah (Firdausiyah, 2015).

3. *Continuous fermentation*

Menurut Darma (2015), proses pemasukan bahan baku dan pengeluaran *slurry* sisa proses pada sistem *continuous fermentation* dilakukan secara berkala. Jumlah material yang masuk dan keluar harus diatur secara seimbang, sehingga jumlah bahan organik yang ada di dalam digester menjadi tetap. Kekurangan dari sistem ini adalah membutuhkan pengoperasian dan pengawasan yang lebih ketat supaya reaksi selalu berjalan dengan baik.

### 2.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas

Faktor yang mendukung dalam mempercepat proses fermentasi adalah kondisi lingkungan digester yang baik bagi pertumbuhan dan kinerja mikroorganisme terhadap produksi biogas. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biogas adalah sebagai berikut:

#### 1. Kondisi anaerob

Biogas dapat diproduksi dari proses fermentasi bahan organik yang dikerjakan oleh mikroorganisme anaerob. Oleh karena itu, desain dan pembuatan digester anaerobik harus kedap udara atau kondisi anaerob atau tanpa adanya oksigen. Menurut Mayasari (2010), apabila oksigen terdapat di dalam digester, maka akan menyebabkan penurunan produksi metana dimana terhambatnya pertumbuhan mikroorganisme yang disebabkan oleh kondisi lingkungannya yang tidak sepenuhnya anaerob.

#### 2. Bahan baku

Bahan baku yang dimasukkan ke dalam tangki digester anaerobik harus berupa bahan organik seperti kotoran ternak, limbah pertanian, sisa dapur, dan sampah organik. Bahan baku harus tidak bercampur dengan bahan baku anorganik seperti pasir, batu, plastik, dan beling. (Febriyanita, 2015).

#### 3. Rasio C/N

Bakteri anaerob membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi, dimana kekurangan nutrisi dapat menghambat pertumbuhannya. Karbon dibutuhkan untuk mensuplai energi dan nitrogen untuk membentuk struktur sel bakteri (Fisdausiyah, 2015). Rasio C/N yang optimum bagi bakteri anaerob pengurai bahan baku organik di dalam digester anaerobik adalah 25 – 30. Menurut Haryati (2006), apabila rasio C/N terlalu tinggi, maka nitrogen akan dikonsumsi dengan cepat oleh bakteri metanogen untuk keperluan pertumbuhannya dan hanya sedikit yang bereaksi dengan karbon. Hal ini berakibat pada produksi biogas yang rendah. Sebaliknya, apabila rasio C/N terlalu rendah, maka nitrogen akan berakumulasi dan bentuk senyawa kimia  $\text{NH}_4\text{OH}$  dimana keadaan ini dapat mengakibatkan pH menjadi naik hingga 8,5 dan bersifat toksik bagi bakteri metanogen (Windyasmara dkk., 2012).

Bahan organik yang memiliki rasio C/N tinggi dapat dicampur dengan bahan organik yang memiliki rasio C/N yang lebih rendah, sehingga diperoleh nilai rasio C/N yang ideal, misalnya mencampurkan sampah organik sayur – mayur, umbi – umbian dan buah – buahan dengan kotoran ternak untuk mencapai kadar C/N yang cocok dan produksi biogas dapat berjalan dengan optimum.

Tabel 2.2. Rasio C/N pada beberapa jenis bahan baku pembuatan biogas

Komponen	Persentase (% Volume)
Urine	0,8
Kotoran manusia	8
Kotoran ayam	10
Kotoran kambing	12
Kotoran sapi	24
Sampah buah-buahan dan sayuran	10

Sumber: Rosid (2016)

4. Derajat keasaman (pH)

Derajat keasaman atau pH sangat mempengaruhi kinerja dan kelanjutan hidup mikroorganisme di dalam digester anaerobik. Selama proses anaerob, nilai pH untuk tahap hidrolisis adalah di bawah 6 – 7,5 dan jika pH lebih rendah dari 5,0 dan lebih tinggi dari 8,5 dapat menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme terhambat (Wiranata, 2014).

5. Suhu

Proses konversi zat organik polimer menjadi senyawa yang lebih sederhana di dalam reaktor juga dipengaruhi oleh suhu. Berdasarkan suhu, bakteri yang terdapat di dalam reaktor dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu termofilik (bakteri yang hidup pada suhu antara 40 – 60 °C) dan mesofilik (bakteri yang hidup pada suhu antara 25 – 40 °C). Suhu terbaik untuk pertumbuhan bakteri mesofilik adalah 30 °C atau lebih sedikit. Bila reaktor digester anaerobik dioperasikan pada suhu yang lebih rendah, misalnya 20 °C, pertumbuhan mikroba pada kondisi ini sangat lambat dan biasanya akan sulit pada awal operasi untuk beberapa bioreaktor (Wiranata, 2014).

#### 6. Waktu fermentasi

Waktu fermentasi adalah total bilangan hari selama proses digester anaerobik untuk produksi biogas dimulai dari pemasukan substrat sampai terbentuknya biogas. Lamanya fermentasi tergantung pada jenis kandungan organik pada substratnya dan perlakuan terhadap bahan tersebut sebelum tahapan fermentasi. Beberapa bahan kimia dapat ditambahkan untuk mempercepat waktu proses fermentasi. Menurut Karlina (2017), biogas sudah terbentuk pada hari ke – 10.

#### 7. Pengadukan

Pada dasarnya setiap bahan organik yang digunakan untuk pembuatan biogas memiliki kotoran seperti lumpur yang merupakan salah satu yang mempengaruhi proses terbentuknya biogas di dalam bioreaktor dalam waktu yang cukup lama. Permasalahan ini bisa diatasi jika proses di dalam digester anaerobik diberi atau dipasang pengaduk baik proses secara *batch fermentation* maupun *continous fermentation*. Pengaduk atau disebut juga agitator yang sering digunakan pada umumnya adalah motor arus DC untuk menggerakkan sudu. Pengaduk dengan dengan 1 sudu saja sudah cukup untuk bioreaktor berukuran kecil. Pengadukan di dalam digester anaerobik juga berfungsi untuk menghindari pengendapan, dimana hal ini terjadi karena substrat di dalam digester anaerobik yang tidak bergerak pada waktu yang lama akan menyebabkan terjadinya pengendapan di dasar digester anaerobik dan terbentuknya busa pada permukaan yang dapat menyulitkan munculnya gas (Karlina, 2017). Selain itu, pengadukan dapat memberikan kondisi suhu yang seragam di dalam bioreaktor (Purnomo, 2009). Pengadukan juga dapat meningkatkan hubungan antara mikroba dengan substrat di dalam digester anaerobik, sehingga bakteri mendapatkan nutrisi pada kondisi yang lebih baik (Yuwono dan Totok, 2013).

### 2.4. Limbah Perusahaan Pengolahan Ikan Tongkol

Usaha pengolahan ikan tongkol berkembang pesat seiring meningkatnya kebutuhan jasa terhadap makanan di kota besar dan permintaan dari luar negeri. Usaha – usaha tersebut tidak hanya memberikan

manfaat yang besar bagi masyarakat di perkotaan, tetapi juga memberikan dampak bagi lingkungan. Hal ini tersebut menjadi permasalahan penting yang perlu diperhatikan. Sebagai contoh, kurangnya pengolahan air limbah yang dihasilkan oleh rumah makan dapat menyebabkan meningkatnya kadar BOD, COD, dan fosfor di badan air yang dapat menyebabkan pencemaran dalam badan air (Zahra dan Purwanti, 2013).

Menurut Muslimah (2015), pencemaran lingkungan merupakan proses masuknya zat energi, makhluk hidup, atau zat lain ke dalam sistem lingkungan atau perubahan tatanan lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan manusia atau alam, dimana hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan sampai pada tingkat tertentu yang menjadikan lingkungan kurang atau tidak berfungsi lagi. Polutan atau bahan yang dapat mencemari lingkungan merupakan zat yang keberadaannya dapat menyebabkan dampak negatif pada makhluk hidup.

Limbah merupakan hasil bahan – bahan sisa sistem pemrosesan yang tidak ada atau sedikit nilai ekonominya dari kegiatan industri. Limbah dapat berupa benda padat, cair, atau gas yang dapat mencemari lingkungan jika dibuang di atas tanah terbuka, perairan bebas seperti sungai, danau maupun laut serta udara tanpa memperdulikan daya tampung lingkungan terhadap limbah tersebut. Agar limbah tidak dibuang ke lingkungan, diperlukan proses seperti pengelolaan, pengolahan, dan pengendalian limbah tersebut. Hal ini dilakukan bertujuan untuk mencegah dampak – dampak yang dapat mengganggu keseimbangan lingkungan dan mengganggu kesehatan manusia. Limbah pengolahan ikan baik padat maupun cair juga termasuk bahan pencemar karena kandungan minyak dan lemaknya, dimana pada umumnya berasal dari sisa atau residu perusahaan pengolahan ikan. Sampah ikan biasanya tergolong ke dalam limbah padat, seperti jeroan, tulang, dan sisik, dan juga dapat menghasilkan limbah cair dari sisa sudah bercampur dengan potongan – potongan ikan, kulit, darah, isi cairan dari perut ikan, kondensat dari operasi pemasakan, dan air pendinginan dari kondensor. River, dkk. (1998) menyatakan bahwa bagian terbesar kontribusi beban organik pada limbah perikanan berasal dari industri pengalengan dengan beban COD 37,56 kg/m<sup>3</sup>.

Komposisi sampah padat dan limbah cair dari sisa pengolahan ikan tergantung pada spesies ikan yang diolah, dan juga tergantung pada jeni kelamin, makanan, musim, dan kesehatan ikan. Bahan padat ikan terdiri dari sisik ikan dan tulangnya dan bahan cair terdiri dari darah dan kandungan cairan di dalam ikan yang merupakan sumber kaya akan kandungan protein dan minyak. Ikan mengandung hingga 60% protein, 20% lemak, dan mineral (Ivanovs, dkk., 2018). Asam palmitat, asam oleat, dan asam monosaturasi juga sangat banyak terkandung dalam sampah ikan (Ghal, dkk., 2013).

## 2.5. Proses Fermentasi

Proses fermentasi atau pencernaan anaerobik merupakan dasar dari reaktor biogas dimana proses pemecahan bahan organik dilakukan oleh aktivitas bakteri metanogenik dan bakteri asidogenik pada kondisi tanpa udara. Bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran binatang, manusia, dan sampah organik rumah tangga. Kondisi pengoperasian selama proses digester anaerobik ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kondisi pengoperasian selama proses digester anaerobik

Parameter	Nilai
Suhu	20 – 30 °C
Mesofilik	35°C
Termofilik	54°C
pH	7 – 8
Alkalinitas	2500 mg/L minimum
Waktu retensi	10 – 30 hari
Laju alir <i>volatile solid</i> (VS)	0,15 – 0,35 kg VS/m <sup>3</sup> /hari
Produksi biogas	4,5- 11 m <sup>3</sup> /kg VS
Kandungan metana	60 – 70%

Sumber: Karlina (2017)

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif eksperimental. Pengolahan data pimer diperoleh dari hasil eksperimen dan data sekunder yang merupakan kondisi *eksisting* limbah ikan tongkol di UD. Nagata Tuna, Kota Banda Aceh. Eksperimen pada penelitian ini menggunakan digester anaerobik tanpa pengadukan selama 21 hari untuk proses produksi metana dari limbah ikan tongkol.

#### **3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian**

Penelitian dan penyelesaian Tugas Akhir ini dilakukan selama 4 (bulan) bulan, yaitu dari bulan Mei 2020 sampai bulan Agustus 2020. Sampel limbah ikan tongkol diambil dari perusahaan pengolahan ikan PT. Nagata Tuna, Desa Punge Blang Cut, Kecamatan Jaya Baru, Kota Banda Aceh. Kemudian untuk pengujian sampel tersebut dilakukan di Laboratorium Baristand (Balai Riset dan Standarisasi Industri) Banda Aceh di Jalan Cut Nyak Dhien Nomor 377, Desa Lamtemen Timur, Kecamatan Jaya Baru, Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh. Pengujian ini diperlukan untuk mengetahui *Total Solid* (TS) dan perbandingan kandungan karbon dan nitrogen (rasio C/N) limbah pengolahan ikan tongkol. Selanjutnya dilakukan eksperimen limbah pengolahan ikan tongkol untuk produksi metana yang dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh, Jalan Syeikh Abdul Rauf, Kopelma Darussalam, Kecamatan Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh.

#### **3.3. Alat dan Bahan**

Alat – alat yang digunakan untuk pengambilan sampel limbah ikan tongkol adalah sebagai berikut:

1. Gelas ukur 1000 ml;
2. Timbangan; dan

3. 3 buah jerigen 10 liter untuk pengambilan sampel limbah pengolahan ikan tongkol.

Alat yang digunakan untuk pembuatan digester anaerobik adalah sebagai berikut:

1. Gergaji besi;
2. Penggaris;
3. Bor;
4. Pisau *cutter*; dan
5. Spidol permanen.

Bahan yang digunakan untuk pembuatan digester anaerobik adalah sebagai berikut:

1. 3 galon air mineral 20 liter;
2. 1 lem pipa;
3. 1 lem tembak;
4. 2 meter pipa PVC 1 in;
5. 6 penutup pipa PVC in;
6. 3 meter Selang air kecil  $\frac{1}{4}$  in;
7. 3 kran angin;
8. 1 selotip kran air; dan
9. 3 balon penampung biogas.

### 3.4. Data Primer dan Data Sekunder

Data yang diperlukan pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kadar air, TS, dan VS;
2. Rasio C/N substrat;
3. potensi volume metana (*modelling* menggunakan data sekunder); dan
4. volume metana harian pada *anaerobic digestion*.

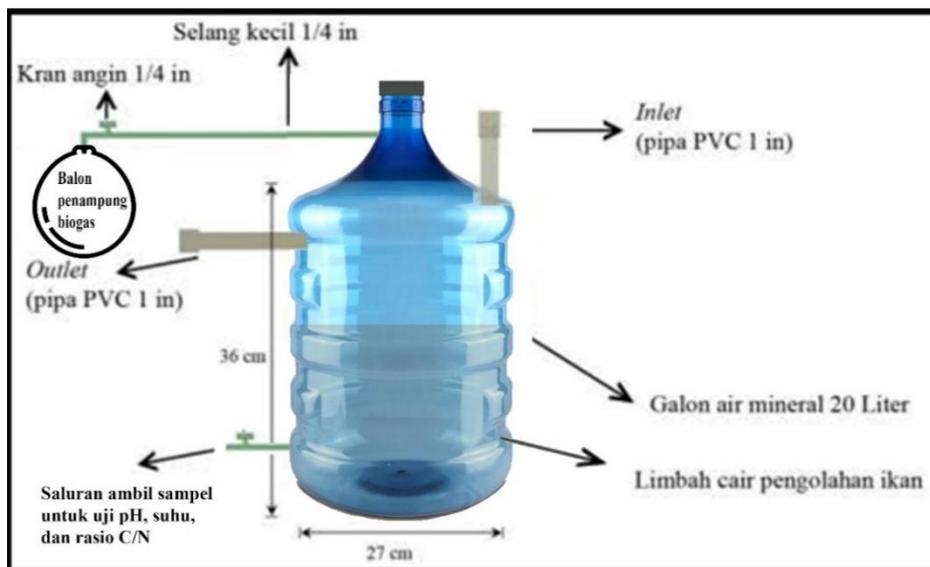
Data sekunder pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Koefisien K (konstanta tingkat produksi metana, dengan satuan per hari);
2. Kadar N (% berat);
3. Persentase karbon menjadi metana; dan
4. Rasio TS/VS.

### 3.5. Tahapan Penelitian

#### 3.5.1. Tahap Persiapan Digester Anaerobik

Bioreaktor yang digunakan sebagai digester anaerobik tanpa pengaduk adalah sebanyak 3 buah. Rangkaian bioreaktor menggunakan galon isi ulang air mineral bervolume 20 L yang terbuat dari bahan plastik, pipa PVC  $\frac{3}{4}$  in, kran  $\frac{1}{4}$  in, dan balon (penampung biogas). Ketentuan desain bioreaktor menggunakan galon isi ulang mengikuti penelitian yang sudah pernah dilakukan oleh Mujahidah dkk. (2013). Bioreaktor dibuat kedap udara di setiap sisi dan sambungan ke pipa - pipanya. Bagian atas digester terhubung dengan selang angin  $\frac{1}{4}$  in (sudah dipasang kran  $\frac{1}{4}$  in) yang tersambung dengan balon. Pada masing – masing digester anaerobik diberi label sesuai dengan variabel perlakuan. Perencanaan digester anaerobik tanpa pengaduk yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.1. Komponen yang terdapat pada digester yaitu 1 lubang pemasukan (*inlet*) substrat bahan baku, 1 lubang luaran (*outlet*) yang berfungsi untuk pengeluaran gas, dan satu lubang pada bagian bawah samping digester yang dipasang selang angin  $\frac{1}{4}$  in dan kran angin  $\frac{1}{4}$  in yang berfungsi untuk pengambilan sampel pengujian pH dan suhu.



Gambar 3.1. Perencanaan awal digester anaerobik tanpa pengaduk

### 3.5.2. Tahap Persiapan dan Analisis Bahan Baku

Kotoran sapi akan digunakan sebagai sumber inokulum. Kotoran sapi diperoleh dari peternakan sapi di Desa Gla Deyah, Kecamatan Krueng Barona Jaya, Kabupaten Aceh Besar. Massa jenis kotoran sapi digunakan untuk memperoleh volume kotoran sapi, yaitu 1,375 kg/liter (Ardinal dkk., 2015). Penelitian ini dilakukan dengan 3 (tiga) variabel perlakuan seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Persiapan variabel perlakuan substrat

Variabel perlakuan awal	Perbandingan komposisi	Keterangan
A	100% : 0%	Limbah ikan tongkol 10 ltr + kotoran sapi 0 ltr
B	75% : 25%	Limbah ikan tongkol 7,5 ltr + kotoran sapi 2,5 ltr
C	50% : 50%	Limbah ikan tongkol 5 ltr + kotoran sapi 5 ltr

### 3.5.3. Prosedur Kerja

Prosedur kerja yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan semua bahan yang akan digunakan, yaitu limbah ikan tongkol, kotoran sapi segar, dan air.
2. Menimbang berat dan mengukur volume limbah ikan tongkol untuk mendapatkan massa jenis limbah ikan (kg/L).
3. Mencampur kotoran sapi segar dan air sampai dengan perbandingan 1:1 (liter) sampai homogen.
4. Untuk variabel A, mengukur 10 liter limbah ikan tongkol menggunakan gelas kimia.
5. Untuk variabel B, mengukur 7,5 liter limbah ikan tongkol menggunakan gelas kimia dan menimbang 3,5 kg kotoran sapi (1,5 liter pada massa jenis 1,375 kg/liter) dan memcampurnya sampai homogen sebelum dimasukkan ke digester anaerobik.
6. Untuk variabel C, mengukur 5 liter limbah ikan tongkol menggunakan gelas kimia dan menimbang 7 kg kotoran sapi (5 liter pada massa jenis 1,375 kg/L) dan memcampurnya sampai homogen sebelum dimasukkan ke digester anaerobik.
7. Untuk pengukuran rasio C/N substrat, sampel diantarkan ke Lab. Baristand Banda Aceh.

### 3.5.4. Tahap Uji Kandungan Organik pada Limbah Ikan Tongkol

Kandungan organik diuji di Lab. Baristand Banda Aceh, antara lain rasio C/N, dan TS. Namun, kandungan VS sedang tidak dapat dihitung di laboratorium tersebut, sehingga kandungan VS diambil dari data sekunder menggunakan rasio TS/VS sebesar 0,33 (Bücker, dkk., 2020).

### 3.5.5. Tahap Analisis Kuantitas Metana

Potensi produksi metana (volume) di hari ke-21 dihitung menggunakan persamaan gas ideal berikut ini:

$$V = \frac{nRT}{P}$$

Dimana:

$V$  = normal volumetrik gas ( $\text{Nm}^3$ )

$n$  = mol gas (mol)

$R$  = konstanta gas umum = 8,315 Joule/mol.K

$T$  = Suhu standar = 0 °C = 0 + 273,15 = 273,15 K

$P$  = tekanan standar = 1 atm = 1,013 x 10<sup>5</sup> Pascal

Analisis kuantitas biogas harian (total 21 hari) secara prediksi dilakukan secara mandiri di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Studi ini dilakukan dengan menggunakan persamaan pemodelan kinetik orde 1 dan persamaan pemodelan Gompertz. Persamaan pemodelan kinetik orde 1 untuk menganalisis laju produksi metana kumulatif harian (L/kg VS) adalah (Kafle dan Chen, 2016):

$$G(t) = G_0 \times (1 - e^{(Kt)})$$

Dimana:

$G(t)$  = produksi metana pada hari *digestion*  $t$  (L/kgVS)

$G_0$  = potensi metana dari limbah ikan (L/kgVS) didapat dari hasil perhitungan volume gas ideal pada masing – masing variabel

$K$  = konstanta tingkat produksi metana, 0,33/hari (Fonseca, dkk., 2020)

$t$  = waktu (hari)

Persamaan pemodelan Gompertz untuk menganalisis laju produksi metana kumulatif harian (L/kg VS) adalah (Fonseca, dkk., 2020):

$$G(t) = G_0 \cdot \exp \left\{ -\exp \left[ \frac{R_{maks} \cdot e}{G_0} (\lambda - t) + 1 \right] \right\}$$

Dimana:

$G(t)$  = produksi metana kumulatif pada hari *digestion*  $t$  (L/kg VS)

$R_{maks}$  = Tingkat produksi metana maksimum dari limbah ikan (L/kgVS) didapat dari analisis data sekunder (L/kg VS.hari)

$e$  = konstanta eksponen, 2,7183

$\lambda$  = Periode fase lag atau waktu minimum untuk menghasilkan metana (hari), didapat dari monitoring di laboratorium teknik lingkungan

$t$  = waktu (hari)

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Volume Metana dari Limbah Ikan Tongkol

Pada penelitian ini,  $G_0$  (volume produksi metana dari limbah ikan tongkol) dari masing – masing variabel perlakuan dihitung dengan menggunakan persamaan gas ideal. Massa masing – masing substrat ditunjukkan pada tabel 4.1. Kadar C di dalam masing – masing substrat didapatkan dari hasil uji di Lab. Baristand Banda Aceh (lampiran 1). Menurut Bucker, dkk. (2020), 1,46% (berat) karbon dapat dikonversi menjadi metana pada hari ke-21 di dalam digester anaerobik. Berikut adalah perhitungan volume metana teoritis yang dihasilkan dari variabel A.

Menurut Bucker, dkk. (2020), persentase n-total di dalam limbah ikan adalah 8,1% (berat). Oleh karena itu, dengan rasio C/N = 1,01 dan kandungan C-organik di dalam limbah ikan pada variabel A adalah 8,2%, dan massa limbah ikan yang dimasukkan ke dalam digester anaerobik adalah 15.000 gr, maka massa karbon adalah:

$$\begin{aligned} \text{massa C} &= \text{massa variabel A} \times \% \text{ kandungan C} \times \frac{\text{massa C}}{\text{massa variabel A}} \\ &= 15.000 \text{ gr} \times 0.082 \text{ gr C} = 123 \text{ gr C} \end{aligned}$$

Dengan massa karbon 123 gr, maka massa metana pada variabel A ( $m_{A(CH_4)}$ ) adalah:

$$\begin{aligned} m_{A(CH_4)} &= \text{massa C} \times 0,0146 \frac{\text{massa metana}}{\text{massa C}} \\ &= 123 \text{ gr C} \times 0,0146 \frac{\text{gr metana}}{\text{gr C}} = 17,9 \text{ gr metana} \end{aligned}$$

dan mol metana pada variabel A ( $n_A$ ) adalah:

$$n_{A(CH_4)} = \frac{17,9 \text{ gr metana}}{16 \frac{\text{gr metana}}{\text{mol}}} = 1,12 \text{ mol metana}$$

Selanjutnya persamaan gas ideal digunakan untuk menghitung volume metana ( $V_{A(CH_4)}$ ) pada variabel A:

$$V_{A(CH_4)} = \frac{n_{A(CH_4)}RT}{P} = \frac{1,2 \text{ mol} \times 8,315 \frac{\text{Joule}}{\text{mol.K}} \times 273,15 \text{ K}}{1,013 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

$$= 0,0251 \text{ Nm}^3 = 25,1 \text{ L}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan potensi volume metana ( $G_0$ ) pada variabel A adalah 25,1 L.

Pada variabel B, dengan rasio C/N = 2,25 dan kandungan C-organik di dalam limbah ikan 18,22%, dan massa limbah ikan masukannya adalah 14.750 gr, maka massa karbonnya adalah:

$$m_{B(C)} = \text{massa variabel B} \times \% \text{ kandungan C} \times \frac{\text{massa C}}{\text{massa variabel B}}$$

$$= 14.750 \text{ gr} \times 0,1822 \frac{\text{massa C}}{\text{massa variabel B}} = 2.688 \text{ gr C}$$

Dengan massa karbon 2.688 gr, maka massa metana pada variabel B adalah:

$$m_{B(CH_4)} = m_{B(C)} \times 0,0146 \frac{\text{massa metana}}{\text{massa C}}$$

$$= 2.688 \text{ gr C} \times 0,0146 \frac{\text{gr metana}}{\text{gr C}} = 39,2 \text{ gr metana}$$

dan mol metana pada variabel B ( $n_B$ ) adalah:

$$n_{B(CH_4)} = \frac{39,2 \text{ gr metana}}{16 \frac{\text{gr metana}}{\text{mol}}} = 2,45 \text{ mol metana}$$

Selanjutnya persamaan gas ideal digunakan untuk menghitung volume metana ( $V_{B(CH_4)}$ ) pada variabel B:

$$V_{B(CH_4)} = \frac{n_{B(CH_4)}RT}{P} = \frac{2,45 \text{ mol} \times 8,315 \frac{\text{Joule}}{\text{mol.K}} \times 273,15 \text{ K}}{1,013 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

$$= 0,055 \text{ Nm}^3 = 55 \text{ L}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan potensi volume metana ( $G_0$ ) pada variabel B adalah 55 L.

Pada variabel C, dengan rasio C/N = 13,06 dan kandungan C-organik di dalam limbah ikan adalah 52,24%, dan massa limbah ikan masukannya adalah 12.500 gr, maka massa karbonnya adalah:

$$m_{C(C)} = \text{massa variabel C} \times \% \text{ kandungan C} \times \frac{\text{massa C}}{\text{massa variabel C}}$$

$$= 12.500 \text{ gr} \times 0,5224 \frac{\text{massa C}}{\text{massa variabel C}} = 6.530 \text{ gr C}$$

Dengan massa karbon 6.530 gr, maka massa metana pada variabel C adalah:

$$m_{C(CH_4)} = \text{massa C} \times 0,0146 \frac{\text{massa metana}}{\text{massa C}}$$

$$= 6.530 \text{ gr C} \times 0,0146 \frac{\text{kg metana}}{\text{kg C}} = 95,3 \text{ gr metana}$$

dan mol metana ( $n_{C(CH_4)}$ ) pada variabel C adalah:

$$n_{C(CH_4)} = \frac{95,3 \text{ gr metana}}{16 \frac{\text{gr metana}}{\text{mol}}} = 5,96 \text{ mol metana}$$

Selanjutnya persamaan gas ideal digunakan untuk menghitung volume metana:

$$V_{C(CH_4)} = \frac{n_{C(CH_4)}RT}{P} = \frac{5,96 \text{ mol} \times 8,315 \frac{\text{Joule}}{\text{mol.K}} \times 273,15 \text{ K}}{1,013 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

$$= 0,1336 \text{ Nm}^3 = 133,6 \text{ L}$$

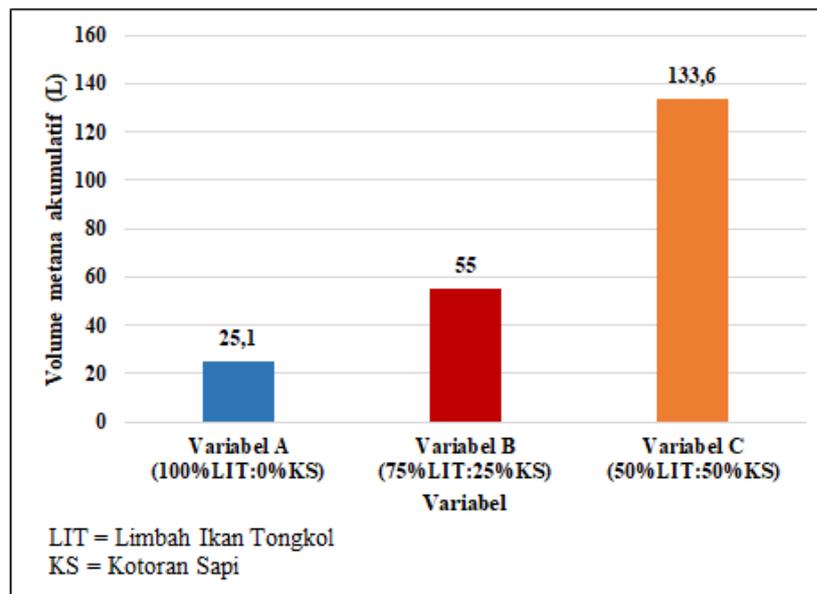
Dari perhitungan di atas, didapatkan potensi volume metana ( $G_0$ ) pada variabel A adalah 133,6 L.

Rekapan hasil perhitungan potensi produksi metana dalam satuan liter untuk variabel B dan C ditunjukkan pada tabel 4.1 dan gambar 4.1.

Tabel 4.1. Potensi produksi metana dari limbah ikan pada variabel A, B, dan C (L)

Variabel	Massa substrat (gr)	Kandungan Karbon (%)	Massa CH <sub>4</sub> (gr)	n CH <sub>4</sub> (mol)	V <sub>CH<sub>4</sub></sub> (L)
A	15.000	8,2	17,9	1,12	25,1
B	14.750	18,22	39,2	2,45	55

C	12.500	52,24	95,3	6	133,6
---	--------	-------	------	---	-------



Gambar 4.1. Potensi produksi metana pada variabel A, B, dan C (L)

Dari gambar 4.1 di atas dapat dilihat bahwa dengan penambahan kotoran sapi sebagai sumber inokulum, potensi metana limbah terus meningkat, yaitu 55 L pada variabel B dan 133,6 L pada variabel C. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan kotoran sapi sebagai sumber inokulum pada limbah pengolahan ikan tongkol sebelum dimasukkan ke dalam digester anaerboik dapat meningkatkan rasio C/N dan produksi metana.

Hasil uji TS dari laboratorium Baristand Banda Aceh pada masing – masing variabel ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil uji TS dan hitungan VS pada variabel A, B, dan C

Variabel	Volume substrat (L)	Massa substrat (gr)	TS (%)	TS (kg/L)	kg TS
A	10	15.000	13,07	0,1307	1,307
B	10	14.750	13,06	0,1306	1,306
C	10	12.500	5,46	0,0546	0,546

Bucker, dkk. (2020) dalam penelitiannya menyatakan bahwa perbandingan TS dan VS pada limbah ikan mas adalah 0,33. Oleh karena itu, kg VS yang pada penelitian kali ini ditunjukkan pada tabel 4.3.

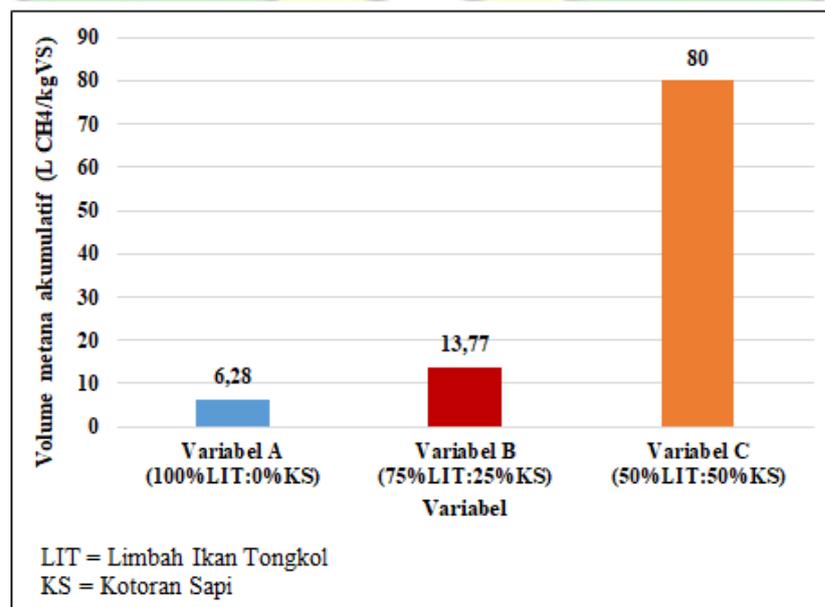
Tabel 4.3. Kadar VS pada variabel A, B, dan C menggunakan rasio TS/VS 0,33

Variabel	TS/VS	kg TS	kg VS
A	0,33	1,307	4
B	0,33	1,306	4
C	0,33	0,546	2

Dengan hasil potensi metana dalam satuan L (tabel 4.1) dan kadar VS dalam satuan kg VS (tabel 4.2) di atas, maka potensi produksi metana untuk variabel A, B, dan C dalam L/kg VS ditunjukkan pada tabel 4.4 dan gambar 4.2.

Tabel 4.4. Potensi produksi metana untuk variabel A, B, dan C dalam L/kg VS

Variabel	kg VS	CH <sub>4</sub> (L/kg VS)
A	4	6,28
B	4	13,77
C	2	80



Gambar 4.2. Potensi produksi metana untuk variabel A, B, dan C (L/kg VS)

Dari gambar 4.2 di atas dapat dilihat bahwa potensi metana limbah ikan tongkol tertinggi terdapat pada variabel C, yaitu 80 L/kg VS. Hal ini menunjukkan bahwa limbah pengolahan ikan tongkol memiliki potensi dimanfaatkan untuk produksi metana menggunakan digester anaerobik tipe *batch*. Selain itu, penambahan kotoran sapi sebagai sumber inoculum pada limbah pengolahan ikan tongkol dapat meningkatkan rasio C/N dan kuantitas metana.

#### 4.2. Analisis Potensi Metana dari Limbah Ikan Tongkol

Untuk mengetahui laju produksi metana dari limbah pengolahan ikan selama proses digestasi berlangsung, maka diperlukan analisis kinetika laju produksi metana. Metode analisis ini dapat memberikan informasi tentang pendekatan dalam hal memahami proses produksi metana (Ugwu dan Enweremadu, 2019). Pada penelitian ini, pemodelan kinetika orde 1 dan pemodelan Gompertz digunakan untuk menjelaskan dan memahami langkah degradasi bahan organik menghasilkan metana di dalam digester anaerobik tipe *batch*.

##### 4.2.1. Analisis Kinetika Produksi Metana Harian dari Limbah Ikan Tongkol Menggunakan Pemodelan Kinetika Orde 1

Persamaan pemodelan kinetik orde 1 untuk menganalisis laju produksi metana kumulatif harian (L/kg VS) adalah (Kafle dan Chen, 2016):

$$G(t) = G_0 \times (1 - e^{(Kt)})$$

Dimana:

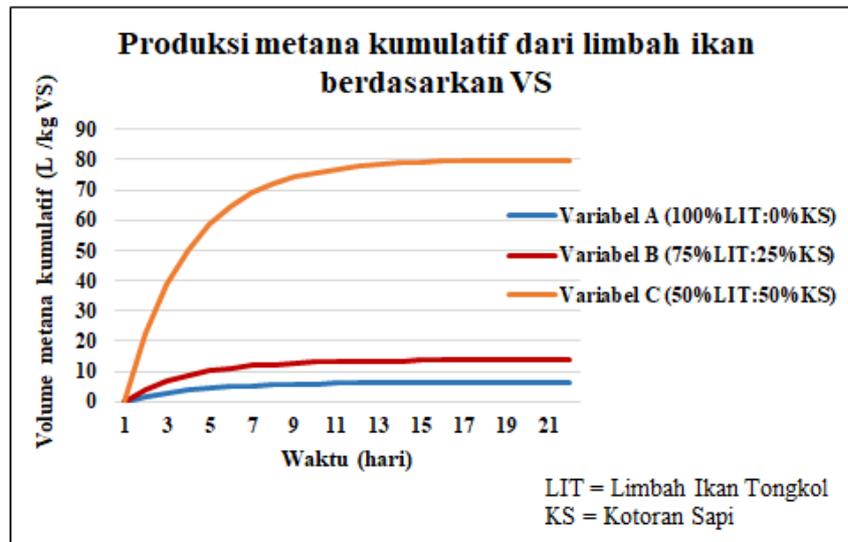
$G(t)$  = produksi metana kumulatif pada hari *digestion*  $t$  (L/kg VS)

$G_0$  = potensi metana dari limbah ikan (L/kg VS) didapat dari hasil perhitungan volume gas ideal pada masing – masing variabel

$K$  = konstanta tingkat produksi metana, 0,33/hari (Fonseca, dkk., 2020)

$t$  = waktu (hari)

Produksi metana kumulatif dari limbah ikan tongkol harian dari variabel A, B, dan C di dalam digester anaerobik pada hari *digestion* ke- $t$  dengan menggunakan pemodelan kinetik orde 1 ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Laju produksi metana kumulatif harian (L/kg VS) dari hari  $t = 1$  sampai  $t = 21$  menggunakan pemodelan kinetik orde 1

Dari gambar 4.3 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan pemodelan kinetik orde 1, akumulasi metana dari masing – masing variabel A, B, dan C sudah terbentuk dari hari pertama setelah proses *digestion* dan sustrat dimasukkan ke dalam digester anaerobik, yaitu 1,77 L/kg VS, 3,87 L/kg VS, dan 22,49 L/kg VS. Di akhir proses *digestion* atau di hari ke-21, akumulasi metana dari masing – masing variabel A, B, dan C adalah 6,27 L/kg VS, 13,77 L/kg VS, dan 80 L/kg VS.

Selain itu, akumulasi laju produksi metana harian dari limbah ikan tongkol terbaik ada pada variabel C. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kotoran sapi sebagai sumber inokulum dapat meningkatkan akumulasi produksi metana harian dan produksi metana hingga hari ke-21.

#### 4.2.2. Analisis Kinetika Produksi Metana Harian dari Limbah Ikan Tongkol Menggunakan Pemodelan Gompertz

Ugwu dan Christopher (2019) menyatakan bahwa perbandingan antara produksi metana kumulatif hasil prediksi ( $G(t)$ ) menggunakan persamaan pemodelan Gompertz dan produksi metana kumulatif hasil pengukuran langsung tidak boleh lebih dari 10%. Sitompul (2019) telah membuktikan dalam penelitiannya bahwa perbandingan antara produksi metana kumulatif hasil prediksi

( $G(t)$ ) dan produksi metana kumulatif hasil pengukuran langsung adalah 0,15%. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini, analisis produksi metana kumulatif ( $G(t)$ ) persamaan pemodelan Gompertz akan digunakan tanpa melakukan pengujian atau eksperimen langsung.

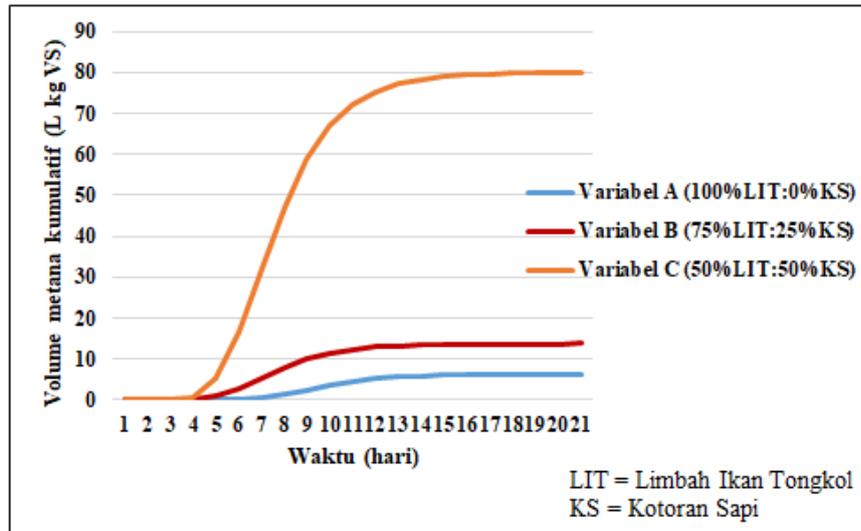
Persamaan pemodelan Gompertz untuk menganalisis laju produksi metana kumulatif harian (L/kg VS) adalah (Fonseca, dkk., 2020):

$$G(t) = G_0 \cdot \exp \left\{ -\exp \left[ \frac{R_{maks} \cdot e}{G_0} (\lambda - t) + 1 \right] \right\}$$

Dimana:

- $G(t)$  = produksi metana kumulatif pada hari *digestion*  $t$  (L/kg VS)  
 $R_{maks}$  = Tingkat produksi metana maksimum dari limbah ikan (L/kgVS) didapat dari analisis data sekunder (L/kg VS.hari)  
 $e$  = konstanta eksponen, 2,7183  
 $\lambda$  = Periode fase lag atau waktu minimum untuk menghasilkan metana (hari), didapat dari monitoring di laboratorium teknik lingkungan  
 $t$  = waktu (hari)

Menurut Fonseca, dkk. (2020) pada penelitian limbah ikan nila untuk produksi metana,  $R_{maks}$  yang dihasilkan adalah 91,9 L/kg VS.hari dan akumulasi potensi metana,  $G(t)$ , adalah 445 L/kg VS, sehingga persentase  $R_{maks}:G(t)$  adalah 20%. Pada penelitian kali ini, angka persentase ini digunakan untuk mendapatkan  $R_{maks}$  pada masing – masing variabel, yaitu 1,26 L/kg VS.hari untuk variabel A, 2,75 L/kg VS.hari untuk variabel B, dan 16 L/kg VS.hari untuk variabel C. Selanjutnya, periode fase lag (hari),  $\lambda$ , atau disebut juga waktu minimum yang diperlukan untuk menghasilkan metana didapatkan dari hasil monitoring di Laboratorium Teknik Lingkungan.  $\lambda$  pada masing – masing variabel, yaitu 7 hari untuk variabel A, 5 hari untuk variabel B dan C. Produksi metana kumulatif dari limbah ikan tongkol harian dari variabel A, B, dan C di dalam digester anaerobik pada hari *digestion* ke- $t$  dengan menggunakan pemodelan Gompertz ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Laju produksi metana kumulatif harian (L/kg VS) dari hari  $t = 1$  sampai  $t = 21$  menggunakan pemodelan Gompertz

Dari gambar 4.4 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan pemodelan Gompertz, akumulasi metana dari masing – masing variabel A, B, dan C pada hari ke-21 setelah proses *digestion* dan sustrat dimasukkan ke dalam digester anaerobik adalah 6,27 L/kg VS, 13,77 L/kg VS, dan 80 L/kg VS. Selain itu, akumulasi produksi metana harian pada variabel C terjadi kenaikan yang signifikan dari hari ke-6 sampai hari ke-11, yaitu dari 16,5 L/kg VS sampai 72 L/kg VS. Namun, dari hari ke-12 hingga hari ke-21, akumulasi produksi metana harian sudah mencapai stabil atau konstan, yaitu rata – rata 78 L/kg VS. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kotoran sapi sebagai sumber inokulum dapat meningkatkan akumulasi produksi metana harian dari hari ke-5 hingga hari ke-21 di dalam digester anaerobik tipe *batch*.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

1. Potensi sumber biomassa yang dapat dimanfaatkan untuk produksi metana juga ditemukan dalam limbah pengolahan ikan tongkol. Prediksi potensi metana kumulatif yang optimum atau terbaik terdapat pada *digestion* hari ke-21 dari campuran limbah pengolahan ikan tongkol dan kotoran sapi dengan rasio 50%;50% adalah 80 L/kg VS. Hal ini menunjukkan bahwa campuran limbah ikan tongkol berpotensi pada produksi metana dimana dapat menggantikan metana dari sumber fosil.
2. Volume metana harian yang dihasilkan dari limbah pengolahan ikan tongkol adalah 6,27 L/kg VS pada komposisi 10 liter limbah pengolahan ikan tongkol dan 0 liter kotoran sapi, 13,77 L/kg VS pada komposisi 7,5 liter limbah pengolahan ikan tongkol dan 2,5 liter kotoran sapi, dan 80 L/kg VS pada komposisi 5 liter limbah pengolahan ikan tongkol dan 5 liter kotoran sapi. Pemodelan Gompertz yang dimodifikasi lebih cocok digunakan menganalisis potensi produksi metana daripada pemodelan kinetik orde 1. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Kafle, dkk. (2013) yang menyatakan bahwa perbandingan antara produksi metana kumulatif hasil prediksi ( $G(t)$ ) menggunakan pemodelan kinetik orde 1 dan produksi metana kumulatif hasil pengukuran langsung adalah 22,5%, dimana persentase ini melebihi dari perbandingan yang direkomendasikan, yaitu maksimum 10%.

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian dapat disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dapat dilakukan untuk penelitian lanjutan agar menambahkan variasi *co-substrat* selain kotoran sapi untuk mendapatkan potensi produksi metana yang variatif.
2. Dapat dilakukan pengujian langsung untuk pengujian kuantitas metana per harinya dan menampilkannya atau membandingkannya dengan persamaan pemodelan Gompertz.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

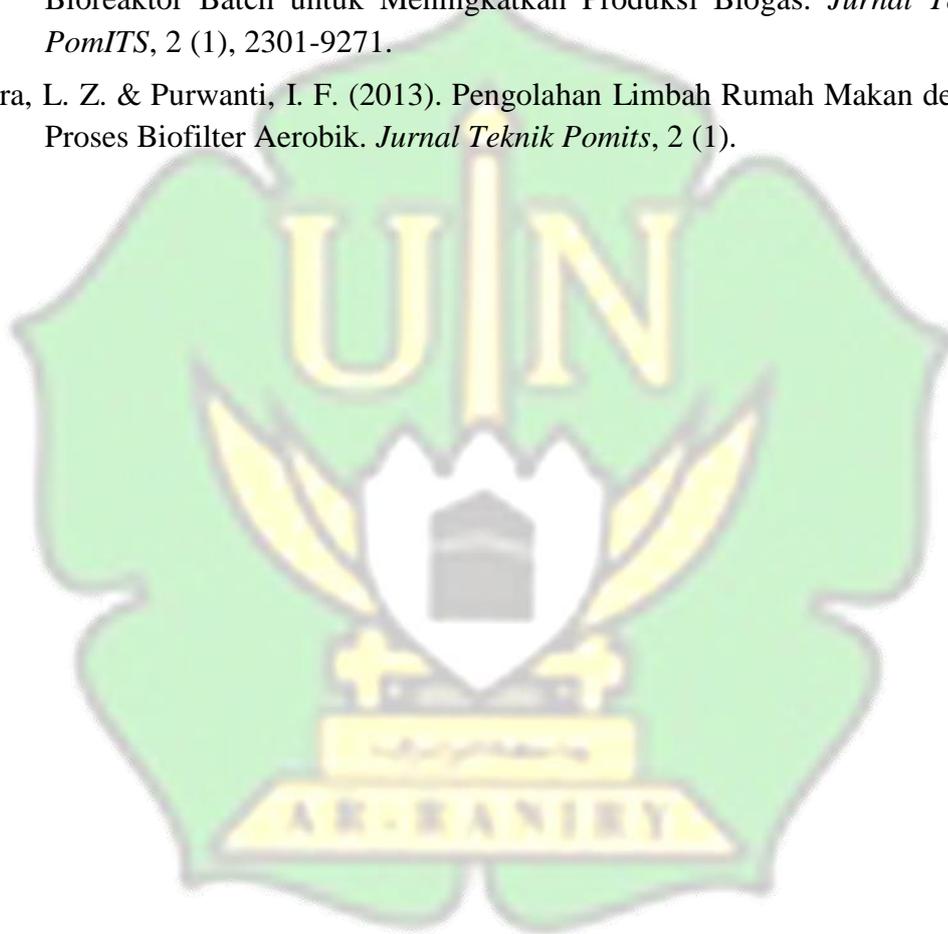
- Aziz, A., N.I.H., Hanafiah, M.M., Mohamed Ali, M.Y. (2019). Sustainable Biogas Production from Agrowaste and Effluents - A Promising Step for Small-Scale Industry Income. *Renewable Energy*, 132, 363-369.
- Ardinal, A., Gewe, R.M., Raharjo, S., & R., Iskandar. (2015). Studi Potensi Pembentukan Biogas dari Sampah Makanan dan Ko-Substrat Feses Sapi untuk Energi Listrik Alternatif: Studi Kasus di Universitas Andalas. *Jurnal Litbang Industri*, 5 (2), 101-111.
- Bücker, F., Marder, M., Peiter, M.R., Lehn, D.N., Esquerdo, V.M., de Almeida Pinto, L.A., Konrad, O. (2020). Fish waste: An efficient Alternative to Biogas and Methane Production in an Anaerobic Mono-Digestion System. *Renewable Energy*, 147, 798-805.
- Cadavid-Rodríguez, L.S., Vargas-Muñoz M.A., Plácido, J. (2019). Biomethane from fish waste as a source of renewable energy for artisanal fishing communities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 34, 110-115.
- Cirne, D.G., Paloumet, X., Bjornsson, L., Alves, M.M., Mattiasson, B. (2007). Anaerobic Digestion of Lipid-Rich Waste - Effects of Lipid Concentration. *Renewable Energy*, 32, 965-975.
- Darma, A. (2015). *Pengaruh Laju Alir Umpan Serta Waktu Tinggal Dalam Pemanfaatan Air Limbah Industri Tahu Menjadi Biogas Melalui Fermentasi Anaerob Dengan Sistem Batch. (Tugas Akhir)*. Pendidikan Diploma III Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Febriyanita, W. (2015). *Pengembangan Biogas dalam Rangka Pemanfaatan Energi Terbarukan di Desa Jetak Kecamatan Getasan Kabupaten Semarang. (Skripsi)*. Jurusan Geografi Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Semarang.
- Firdausiyah, N. (2015). *Variasi Perbandingan Bahan Baku Kompos dan Kotoran Sapi serta Waktu Fermentasi dalam Produksi Biogas dengan Penambahan Konsorsium Bakteri Hidrolitik. (Skripsi)*. Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2018). The State of World Fisheries and Aquaculture. *FAO*, Roma.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2019). Fishery and Aquaculture Statistics. *FAO*, Roma.
- Fonseca, C., Frare, L.M., D'avila, L., Edwiges, T. (2020). Influence of different waste compositions from tilapia fish on methane production, *Journal of Cleaner Production*, 265, 1-9.

- Ghaly, E., Ramakrishnan, V.V., Brooks, M.S., Budge, S.M., dan Dave, D. (2013). Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 5 (4), 107-129.
- Haryati, T. (2006). Biogas: Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Wartazoa*, 16 (3), 160-169.
- Ivanovs, K., Spalvins, K., dan Blumberga, D. (2018). Approach for Modelling Anaerobic Digestion Processes of Fish Waste. *Energy Procedia*, 147, 390-396.
- Jabeen, M., Zeshan, Yousaf, S., Haider, M.R., Malik, R.N. (2015). High Solid Anaerobic Co-Digestion of Food Waste and Rice Husk at Different Organic Loading Rates. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 149-153.
- 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.
- Kafle, G.K., Chen, L. (2016). Comparison on Batch Anaerobic Digestion of Five Different Livestock Manures and Prediction of Biochemical Methane Potential (BMP) Using Different Statistical Models, *Waste Management*, 48, 492-502.
- Kamusoko, R., Jingura, R.M., Parawira, W., Sanyika, W.T. (2019). Comparison of Pretreatment Methods That Enhance Biomethane Production from Crop Residues - A Systematic Review. *Biofuel Resources*, 24, 1080-1089.
- Karlina. (2017). *Pengujian Parameter Fisis Biogas dari Komposisi Kotoran Sapi dan Limbah Eceng Gondok Menggunakan Reaktor Berpengaduk*. (Skripsi). Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar.
- Mayasari, H.D. (2010). *Pembuatan Biodigester Dengan Uji Coba Kotoran Sapi Sebagai Bahan Baku*. (Tugas Akhir). DIII Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Megawati, M., dan Aji, K. W. (2015). Pengaruh Penambahan EM-4 (Effective Microorganism-4) pada Pembuatan Biogas dari Eceng Gondok dan Rumen Sapi. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 4 (2), 42-49.
- Muflih, A. (2013). Sistem Pengolahan Limbah Cair Industri Produk Perikanan. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 3 (2), 99-104.
- Mujahidah, M., Mappiratu, M., Sikanna, R. (2013). Kajian Teknologi Produksi Biogas Dari Sampah Basah Rumah Tangga. *Online Journal of Natural Science*, 2 (1), 25-34.
- Muslimah, M. (2015). Dampak Pencemaran Tanah dan Langkah Pencegahan. *Jurnal Penelitian Agrisamudra*, 2 (1), 11-20.

- Nurdimansyah, R., Utami, A.R.I., Qurtobi, A. (2015). Analisis Pengaruh Level Substrat pada Digester Anaerob Skala Laboratorium terhadap Produksi Metana. *e-Proceeding of Engineering*, 2 (2), 3260-3267.
- Purnomo, J. (2009). *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (Skripsi)*. Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Rai, A.K., Swapna, H.C., Bhaskar, N., Halami, P.M., Sachindra, N.M., (2010). Effect of Fermentation Ensilaging on Recovery of Oil from Fresh Water Fish Viscera. *Enzyme and Microbial Technology*, 46, 9-13.
- River, L., Aspe, E., Roeckel, M., dan Marti, M. C. (1998). Evaluation of Clean Technology Process in the Marine Product Processing Industry. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 73 (3), 217-226.
- Rosid, A., Irawan, A., Kosjoko, K. (2016). *Analisis Nilai Kalor Biogas Kotoran Sapi dengan Campuran Pretreatment Jerami Jagung dan Larutan EM4. (Tugas Akhir)*. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember.
- Sitompul, D.B. (2019). *Konstanta Pembentukan Biogas dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) Menggunakan Pemodelan Gompertz yang Dimodifikasi pada Variasi Temperatur. (Tugas Akhir)*. Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara.
- Supradata, S. (2005). *Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Cyperus Alternifolius L. dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (Ssf-Wetlands). (Thesis)*. Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro.
- Symons, G.E., Buswell, A.M. (1993). The methane fermentation of carbohydrates. *American Chemical Society*, 55 (5), 2028-2036.
- Ugwu, S. N. & Enweremadu, C. C. (2019). Biodegradability and kinetic studies on biomethane production from okra (*Abelmoschus esculentus*) waste. *South African Journal of Science*, 115 (8), 1-5.
- Vogeli, Y., Lohri, C.R., Gallardo, A., Diener, S., Zurbrugg, C. (2014). Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries: Practical Information and Case Studies. *Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag)*, 33-34.
- Wahyuni, A., Muliadia, M., Nurhasanaha, N. (2017). Analisis Kadar Gas Metana (CH<sub>4</sub>) dari Limbah Kubis Pada Berbagai Variasi Komposisi dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Prisma Fisika*, 5 (2), 68-71.
- Ward, A.J., Løes, A.K. (2011). The Potential of fish Oil Waste for Bioenergy Generation: Norway and Beyond. *Biofuels*, 2, 375-387.
- Windyasmara, L, Pertiwiningrum, A, dan Yusiati, L. E. (2012). Pengaruh Jenis Kotoran Ternak Sebagai Substrat dengan Penambahan Serasah Daun Jati (*Tectona grandis*) terhadap Karakteristik Biogas pada Proses Fermentasi.

*Buletin Peternakan*, 36 (1), 40-47.

- Wiranata, G. (2014). *Karakteristik Gas Buang Yang Dihasilkan Dari Rasio Pencampuran Antara Gasoline Dan Bioetanol. (Tugas Akhir)*. Jurusan Teknik Kimia Program Studi S1 (Terapan) Teknik Energi. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Wisniewski Jr., A., Wiggers, V.R., Simionatto, E.L., Meier, H.F., Barros, A.A.C., dan Madureira, L.A.S. (2010). Biofuels from Waste Fish Oil Pyrolysis: Chemical Composition. *Fuel*, 89, 563-568.
- Yuwono, W.C. dan Totok, S. (2013). Perancangan Sistem Pengaduk pada Bioreaktor Batch untuk Meningkatkan Produksi Biogas. *Jurnal Teknik PomITS*, 2 (1), 2301-9271.
- Zahra, L. Z. & Purwanti, I. F. (2013). Pengolahan Limbah Rumah Makan dengan Proses Biofilter Aerobik. *Jurnal Teknik Pomits*, 2 (1).



## LAMPIRAN

### Lampiran 1: Perhitungan potensi produksi metana

Hasil analisis produksi metana harian kumulatif (L/kg VS) menggunakan rumus model kinetik orde 1 (Kafle dan Chen, 2016):

$$G(t) = G_0 \times (1 - e^{(Kt)})$$

Dimana:

$G(t)$  = produksi metana pada hari *digestion*  $t$  (L/kgVS)

$G_0$  = potensi metana dari limbah ikan (L/kgVS) didapat dari hasil perhitungan volume gas ideal pada masing – masing variabel

$K$  = konstanta tingkat produksi metana, 0,33/hari (Fonseca, dkk., 2020)

$t$  = waktu (hari)

Tabel A. Hasil perhitungan laju produksi metana harian (L/kg VS) pada variabel A menggunakan persamaan pemodelan kinetik orde 1

$G_0$	$t$	$K$	$G(t)$
6,28	0	0,33	0,00
6,28	1	0,33	1,77
6,28	2	0,33	3,03
6,28	3	0,33	3,95
6,28	4	0,33	4,60
6,28	5	0,33	5,07
6,28	6	0,33	5,41
6,28	7	0,33	5,66
6,28	8	0,33	5,83
6,28	9	0,33	5,96
6,28	10	0,33	6,05
6,28	11	0,33	6,11
6,28	12	0,33	6,16
6,28	13	0,33	6,19
6,28	14	0,33	6,22
6,28	15	0,33	6,24
6,28	16	0,33	6,25
6,28	17	0,33	6,26
6,28	18	0,33	6,26
6,28	19	0,33	6,27
6,28	20	0,33	6,27
6,28	21	0,33	6,27

Tabel B. Hasil perhitungan laju produksi metana harian (L/kg VS) pada variabel B menggunakan persamaan pemodelan kinetik orde 1

$G_0$	$t$	$K$	$G(t)$
13,77	0	0,33	0
13,77	1	0,33	4
13,77	2	0,33	7
13,77	3	0,33	9
13,77	4	0,33	10
13,77	5	0,33	11
13,77	6	0,33	12
13,77	7	0,33	12
13,77	8	0,33	13
13,77	9	0,33	13
13,77	10	0,33	13
13,77	11	0,33	13
13,77	12	0,33	14
13,77	13	0,33	14
13,77	14	0,33	14
13,77	15	0,33	14
13,77	16	0,33	14
13,77	17	0,33	14
13,77	18	0,33	14
13,77	19	0,33	14
13,77	20	0,33	14
13,77	21	0,33	14

Tabel C. Hasil perhitungan laju produksi metana harian (L/kg VS) pada variabel C menggunakan persamaan pemodelan kinetik orde 1

$G_0$	$t$	$K$	$G(t)$
80	0	0,33	0
80	1	0,33	22
80	2	0,33	39
80	3	0,33	50
80	4	0,33	59
80	5	0,33	65
80	6	0,33	69
80	7	0,33	72
80	8	0,33	74
80	9	0,33	76
80	10	0,33	77
80	11	0,33	78
80	12	0,33	78
80	13	0,33	79
80	14	0,33	79
80	15	0,33	79
80	16	0,33	80
80	17	0,33	80
80	18	0,33	80
80	19	0,33	80
80	20	0,33	80
80	21	0,33	80

Hasil analisis produksi metana harian kumulatif (L/kg VS) menggunakan persamaan pemodelan Gompertz untuk (Fonseca, dkk., 2020):

$$G(t) = G_0 \cdot \exp \left\{ -\exp \left[ \frac{R_{maks} \cdot e}{G_0} (\lambda - t) + 1 \right] \right\}$$

Dimana:

$G(t)$  = produksi metana kumulatif pada hari *digestion*  $t$  (L/kg VS)

$R_{maks}$  = Tingkat produksi metana maksimum dari limbah ikan (L/kgVS) didapat dari analisis data sekunder (L/kg VS.hari)

$e$  = konstanta eksponen, 2,7183

$\lambda$  = Periode fase lag atau waktu minimum untuk menghasilkan metana (hari), didapat dari monitoring di laboratorium teknik lingkungan

$t$  = waktu (hari)

Tabel D. Hasil perhitungan laju produksi metana harian (L/kg VS) pada variabel A menggunakan persamaan pemodelan Gompertz

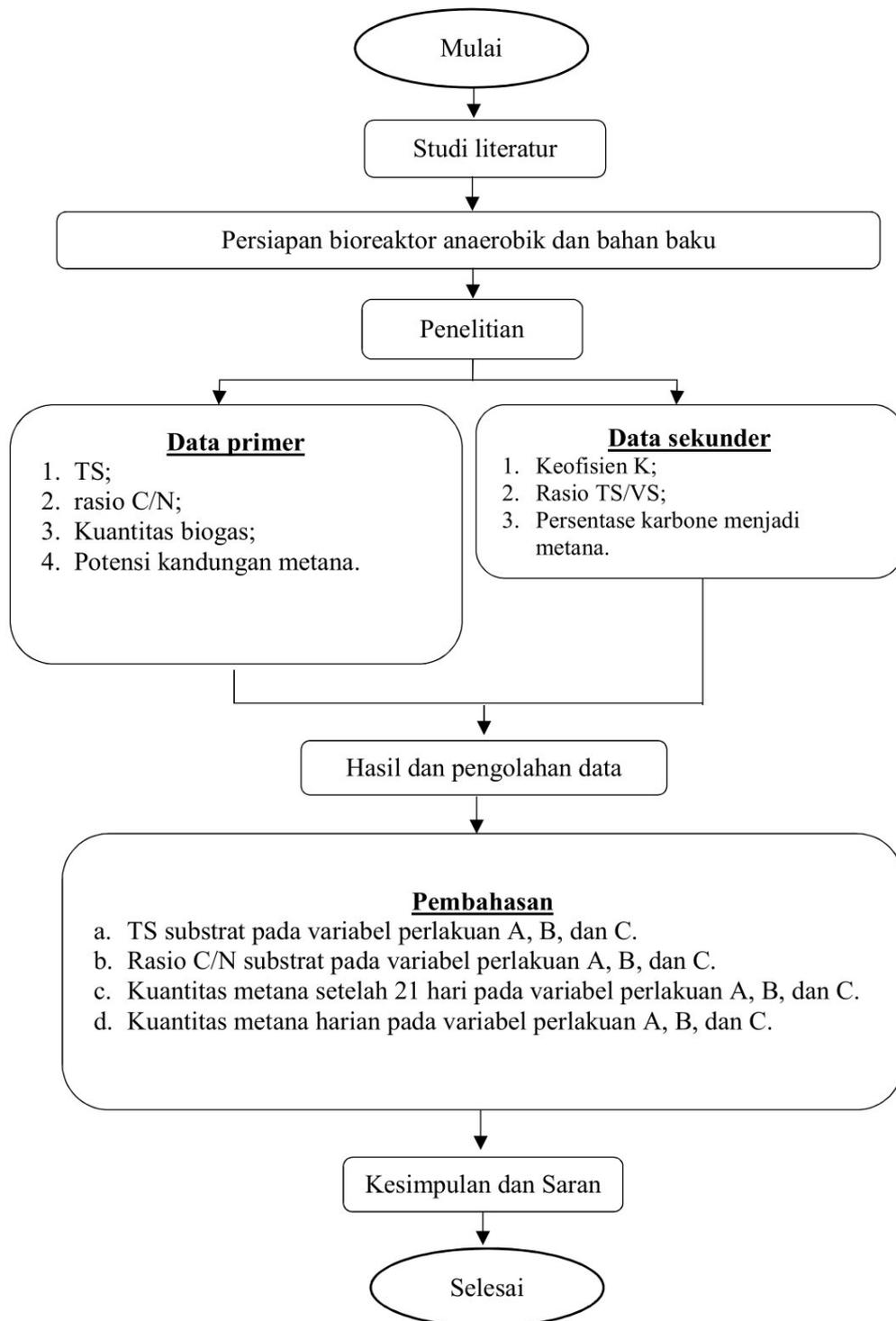
$t$	$G_0$	$R_{max}$	$\lambda$	$G(t)$
1	6,28	1,26	7	0,00
2	6,28	1,26	7	0,00
3	6,28	1,26	7	0,00
4	6,28	1,26	7	0,00
5	6,28	1,26	7	0,00
6	6,28	1,26	7	0,06
7	6,28	1,26	7	0,41
8	6,28	1,26	7	1,30
9	6,28	1,26	7	2,51
10	6,28	1,26	7	3,69
11	6,28	1,26	7	4,61
12	6,28	1,26	7	5,25
13	6,28	1,26	7	5,66
14	6,28	1,26	7	5,91
15	6,28	1,26	7	6,06
16	6,28	1,26	7	6,15
17	6,28	1,26	7	6,21
18	6,28	1,26	7	6,24
19	6,28	1,26	7	6,26
20	6,28	1,26	7	6,27
21	6,28	1,26	7	6,27

Tabel E. Hasil perhitungan laju produksi metana harian (L/kg VS) pada variabel B menggunakan persamaan pemodelan Gompertz

$t$	$G_0$	$R_{max}$	$\lambda$	$G(t)$
1	13,77	2,75	5	0,00
2	13,77	2,75	5	0,00
3	13,77	2,75	5	0,00
4	13,77	2,75	5	0,13
5	13,77	2,75	5	0,91
6	13,77	2,75	5	2,84
7	13,77	2,75	5	5,51
8	13,77	2,75	5	8,09
9	13,77	2,75	5	10,11
10	13,77	2,75	5	11,51
11	13,77	2,75	5	12,41
12	13,77	2,75	5	12,96
13	13,77	2,75	5	13,29
14	13,77	2,75	5	13,49
15	13,77	2,75	5	13,61
16	13,77	2,75	5	13,67
17	13,77	2,75	5	13,71
18	13,77	2,75	5	13,74
19	13,77	2,75	5	13,75
20	13,77	2,75	5	13,76
21	13,77	2,75	5	13,76

Tabel F. Hasil perhitungan laju produksi metana harian (L/kg VS) pada variabel C menggunakan persamaan pemodelan Gompertz

$t$	$G_0$	$R_{max}$	$\lambda$	$G(t)$
1	80	16,00	5	0,00
2	80	16,00	5	0,00
3	80	16,00	5	0,03
4	80	16,00	5	0,74
5	80	16,00	5	5,28
6	80	16,00	5	16,51
7	80	16,00	5	32,00
8	80	16,00	5	46,99
9	80	16,00	5	58,74
10	80	16,00	5	66,87
11	80	16,00	5	72,09
12	80	16,00	5	75,31
13	80	16,00	5	77,24
14	80	16,00	5	78,39
15	80	16,00	5	79,06
16	80	16,00	5	79,46
17	80	16,00	5	79,69
18	80	16,00	5	79,82
19	80	16,00	5	79,90
20	80	16,00	5	79,94
21	80	16,00	5	79,97

**Lampiran 2: Diagram Alur Penelitian**

## Lampiran 3: Hasil Uji Laboratorium

NO	PARAMETER UJI	SATUAN	METODE UJI	HASIL UJI		
				A	B	C
1	Kadar Air	%	Gravimetri	87,08	87,06	89,13
2	C/N Ratio	%	Kjedahl	1,01	2,25	0,85
3	Total Padatan	%	Gravimetri	13,07	13,06	5,46

#) : Bawah Limit Deteksi

BARISTAND INDUSTRI BANDA ACEH  
Manajer Teknis II LABBA,  
*Nurhaila*  
Nurhaila, ST, MT  
NIP. 19621108 198303 2 002

F. 5.10.01.02

Terbit/Revisi : 3/4



**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI**  
**BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI**  
**LABORATORIUM PENGUJI BARISTAND INDUSTRI BANDA ACEH (LABBA)**  
Jln. Cut Nyak Dhien No. 377 Lamteumen Timur Banda Aceh 23230 Telp. (0615) 49714 Fax. (0651) 49556 - 6302642  
E-mail: bns\_bns@yahoo.com Website: http://baristandaceh.kemenperin.go.id



## LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

Halaman : 1 dari 1

Page

Tanggal Penerbitan : 30 Juli 2020

Date of issue

Nomor Laporan

Report Number

: 1319/LHU/LABBA/Baristand-Aceh/7/2020

Kepada : Adian Aristia Anas, M.Sc

To

UIN AR-RANIRY  
di - Banda Aceh

Nomor Analisis

Analysis Number

: KIM - 20. 376 s.d 20.378

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

The undersigned certifies that examination

Dari Contoh : Pupuk Cair

Of the Sample (s)

Nomor BAPC

BAPC Number

: 143/INSD/KIM/6/2020

Keterangan contoh : Diantar

Identity Sample

Untuk Analisis

For Analysis

: Sesuai Parameter Uji

Kode Contoh : A, B, C

Code Sample

Diambil dari

Taken from

: -

Tanggal Sampling : -

Date of Sampling

Tanggal Penerimaan

Received On

: 16 Juni 2020

Tanggal Analisis : 16 Juni 2020

Date of Analysis

Hasil

Results

:

#### Lampiran 4: Dokumentasi Penelitian



Persiapan pembuatan digester anaerobik



Digester anaerobik di laboratorium Teknik Lingkungan



Pengambilan sampel limbah ikan tongkol kotoran sapi



Mengantar sampel variabel A, B, dan C di Lab. Baristand Banda Aceh