

No. Reg: 201050000027954

LAPORAN PENELITIAN



STUDI POTENSI LIMBAH PENGOLAHAN IKAN TONGKOL
KOTA BANDA ACEH UNTUK PRODUKSI METANA

Ketua Peneliti

Adian Aristia Anas, M.Sc.

NIDN: 2022108701

NIPN: 202210870110001

Anggota:

Nurhadia Humaira

Klaster	Penelitian Peningkatan Kapasitas/Pembinaan
Bidang Ilmu Kajian	Sains dan Teknologi
Sumber Dana	DIPA UIN Ar-Raniry Tahun 2020

PUSAT PENELITIAN DAN PENERBITAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH
OKTOBER 2020

**LEMBARAN IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENERBITAN LP2M UIN AR-RANIRY
TAHUN 2020**

1. a. Judul : Studi Potensi Limbah Pengolahan Ikan Tongkol Kota Banda Aceh Untuk Produksi Metana
- b. Klaster : Penelitian Peningkatan Kapasitas/Pembinaan
- c. No. Registrasi : 20105000027954
- d. Bidang Ilmu yang diteliti : Sains dan Teknologi

2. Peneliti/Ketua Pelaksana
 - a. Nama Lengkap : Adian Aristia Anas, S.T., M.Sc.
 - b. Jenis Kelamin : Laki – laki
 - c. NIP *(Kosongkan bagi Non PNS)* :
 - d. NIDN : 2022108701
 - e. NIPN (ID Peneliti) : 202210870110001
 - f. Pangkat/Gol. : III/B
 - g. Jabatan Fungsional :
 - h. Fakultas/Prodi : Sains dan Teknologi/Teknik Lingkungan

 - i. Anggota Peneliti 1
 - Nama Lengkap : Nurhadia Humaira
 - Jenis Kelamin : Perempuan
 - Fakultas/Prodi : Sains dan Teknologi/Teknik Lingkungan
 - j. Anggota Peneliti 2 *(Jika Ada)*
 - Nama Lengkap :
 - Jenis Kelamin :
 - Fakultas/Prodi :

3. Lokasi Kegiatan : Banda Aceh
4. Jangka Waktu Pelaksanaan : 7 (Tujuh) Bulan
5. Tahun Pelaksanaan : 2020
6. Jumlah Anggaran Biaya : Rp. 15.000.000
7. Sumber Dana : DIPA UIN Ar-Raniry B. Aceh Tahun 2020
8. *Output dan Outcome* : a. Laporan Penelitian; b. Publikasi Ilmiah; c. HKI

Mengetahui,
Kepala Pusat Penelitian dan Penerbitan
LP2M UIN Ar-Raniry Banda Aceh,

Banda Aceh, 5 Oktober 2020
Pelaksana,



Dr. Anton Widyanto, M. Ag.
NIP. 197610092002121002

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

Menyetujui:
Rektor UIN Ar-Raniry Banda Aceh,

Prof. Dr. H. Warul Walidin AK., MA.
NIP. 195811121985031007

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah Ini:

Nama : **Adian Aristia Anas, S.T., M.Sc.**
NIDN : 2022108701
Jenis Kelamin : Laki – laki
Tempat/ Tgl. Lahir : Desa Rawa, 22 Oktober 1987
Alamat : Dusun Lambateung, Gampong Kajhu, Baitussalam, Aceh Besar
Fakultas/Prodi : Sains dan Teknologi/Teknik Lingkungan

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang berjudul: **“Studi Potensi Limbah Pengolahan Ikan Tongkol Kota Banda Aceh Untuk Produksi Metana”** adalah benar-benar Karya asli saya yang dihasilkan melalui kegiatan yang memenuhi kaidah dan metode ilmiah secara sistematis sesuai otonomi keilmuan dan budaya akademik serta diperoleh dari pelaksanaan penelitian pada klaster Penelitian Peningkatan Kapasitas/Pembinaan yang dibiayai sepenuhnya dari DIPA UIN Ar-Raniry Banda Aceh Tahun Anggaran 2020. Apabila terdapat kesalahan dan kekeliruan di dalamnya, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Banda Aceh, 22 September 2020
Saya yang membuat pernyataan,
Ketua Peneliti,



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

STUDI POTENSI LIMBAH PENGOLAHAN IKAN TONGKOL KOTA BANDA ACEH UNTUK PRODUKSI METANA

Ketua Peneliti:
Adian Aristia Anas, M.Sc.

Anggota Peneliti:
Nurhadia Humaira

Abstrak

Limbah pengolahan ikan tongkol semakin meningkat seiring pertambahan kebutuhan impor ikan sebagai sumber makanan. Limbah pengolahan ikan tongkol dapat digunakan sebagai substrat organik di dalam digester anaerobik tipe batch dengan bantuan mikroorganisme berperan dalam produksi metana. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui produksi metana dari variasi substrat limbah pengolahan ikan tongkol dan kotoran sapi dalam digester anaerobik. Penelitian ini menggunakan data primer hasil uji laboratorium dan data sekunder dari sumber hasil penelitian. Parameter data primer yang diukur adalah TS, rasio C/N, dan periode fase lag (hari). Data sekunder yang diambil adalah persentase C-organik menjadi metana, rasio TS/VS, Koefisien K (1/hari), dan persentase N-total di dalam limbah ikan. Perhitungan potensi volume metana didapatkan menggunakan persamaan gas ideal dan persamaan pemodelan Gompertz. Variasi substrat limbah pengolahan ikan tongkol berpengaruh pada peningkatan produksi metana. Variabel substrat campuran limbah pengolahan ikan tongkol dan kotoran sapi dengan rasio 50%:50% dihasilkan rasio C/N terbaik, yaitu 13,06, dan produksi metana tertinggi, yaitu sebesar 80 L/kg VS.

Kata kunci: limbah pengolahan ikan, digester anaerobik, metana

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT dan salawat beriring salam penulis persembahkan kepangkuan alam Nabi Muhammad SAW, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis telah dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul **“Studi Potensi Limbah Pengolahan Ikan Tongkol Kota Banda Aceh Untuk Produksi Metana”**.

Dalam proses penelitian dan penulisan laporan ini tentu banyak pihak yang ikut memberikan motivasi, bimbingan dan arahan. Oleh karena itu penulis tidak lupa menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Rektor Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh;
2. Ibu Ketua LP2M UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
3. Bapak Kepala Pusat Penelitian dan Penerbitan UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
4. Ketua Prodi Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
5. Pimpinan UD. Nagata Tuna di Banda Aceh;

Akhirnya hanya Allah SWT yang dapat membalas amalan mereka, semoga menjadikannya sebagai amal yang baik.

Harapan penulis, semoga hasil penelitian ini bermanfaat dan menjadi salah satu amalan penulis yang diperhitungkan sebagai ilmu yang bermanfaat di dunia dan akhirat. *Amin ya Rabbal ‘Alamin.*

Banda Aceh,
Ketua Peneliti,

Adian Aristia Anas, M.Sc.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I : PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Limbah Ikan.....	3
C. Penelitian Terdahulu Terkait Limbah Ikan untuk Produksi Biogas	7
D. Rumusan Masalah	9
E. Tujuan Penelitian	9
F. Batasan Masalah.....	9
BAB II : KAJIAN KEPUSTAKAAN	
A. Digester Anaerobik.....	11
B. Biogas.....	18
C. Tahap Pembuatan Biogas.....	19
D. Tipe Reaktor Biogas.....	22
E. Faktor-faktor Mempengaruhi Produksi Biogas	23
F. Limbah Perusahaan Pengolahan Ikan Tongkol	28
G. Proses Fermentasi	31
BAB III : METODE PENELITIAN	
A. Metode Penelitian	33
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	33
C. Alat dan Bahan	34
D. Data Primer dan Data Sekunder.....	35
E. Tahapan Penelitian	36
F. Metode Analisis Kadar Air, Kandungan TS dan VS	40
G. Metode Analisis rasio C/N.....	41
H. Diagram Alur Penelitian	44
I. Jadwal Kegiatan Penelitian	46

J.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

- A. Volume Metana dari Limbah Ikan Tongkol (G_0)..... 48
B. Analisis Potensi Metana dari Limbah Ikan Tongkol..... 55

BAB V : PENUTUP

- A. Kesimpulan..... 59
B. Saran-saran..... 60

DAFTAR KEPUSTAKAAN..... 61

LAMPIRAN-LAMPIRAN

BIODATA PENELITI

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Komposisi karbon, nitrogen, dan hidrogen dalam limbah ikan	5
Tabel 1.2.	Kandungan COD, nitrogen, dan hidrogen dalam limbah cair hasil industri pengolahan ikan	5
Tabel 2.1.	Ringkasan keunggulan utama dari penggunaan sistem digester anaerobik	11
Tabel 2.2.	Persentase CH ₄ dari digester anaerobik menggunakan berbagai bahan baku	14
Tabel 2.3.	Komposisi biogas	18
Tabel 2.4.	Rasio C/N pada beberapa jenis bahan baku pembuatan biogas	26
Table 2.5.	Kondisi pengoperasian pada proses anaerobik ...	32
Tabel 3.1.	Persiapan variabel perlakuan substrat	38
Tabel 3.2.	Jadwal kegiatan penelitian	46
Tabel 4.1.	Potensi produksi metana dari limbah ikan pada variabel A, B, dan C (L)	52
Tabel 4.2.	Hasil uji TS dan hitungan VS pada variabel A, B, dan C	53
Tabel 4.3.	Kadar VS pada variabel A, B, dan C menggunakan rasio TS/VS 0,33	53
Tabel 4.4.	potensi produksi metana untuk variabel A, B, dan C (L/kg VS)	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.	Perencanaan awal digester anaerobik tanpa pengaduk	37
Gambar 3.2.	Diagram alur penelitian	45
Gambar 4.1.	Potensi produksi metana dari limbah ikan pada variabel A, B, dan C (L)	52
Gambar 4.2.	Potensi produksi metana untuk variabel A, B, dan C (L/kg VS)	54
Gambar 4.3.	Produksi metana kumulatif harian (L/kg VS) dari hari t = 1 sampai t = 21 menggunakan Gompertz	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Perhitungan potensi produksi metana	70
Lampiran 2.	Hasil Uji Laboratorium	73
Lampiran 3.	Dokumentasi Penelitian	74

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sampah bisa diartikan sebagai 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. Sselain itu, permintaan terhadap ikan tongkol semakin lama semakin bertambah dan potensi ini menyebabkan limbah ikan tongkol juga semakin bertambah dan hal ini akan berakibat pada pencemaran lingkungan apabila pengolahan limbah ini di Banda Aceh tidak diolah dengan baik dan menjadi produk yang bermanfaat.

Salah satu penghasil limbah ikan berasal dari perusahaan pengolahan ikan. Aktivitas pengolahan ikan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, konsumsi, pembangunan, dan ekonomi,

sehingga berakibat pada semakin bertambahnya produksi limbah ikan. Potensi limbah perikanan menjadi sangat besar karena mudah diperoleh dari usaha pengolahan ikan di pabrik dan di tepi laut. 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. Dalam Al-Qur'an surah Al-Jasiah ayat 13 Allah SWT berfirman:

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَاٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّتَفَكَّرُوْنَ

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-Jasiah: 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 mahluk ciptaan-Nya.

B. 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 Bückler 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 CH₄ kg/V_S (Symons dan Buswell, 1993). Jumlah dan jenis bahan organik yang terdapat di kepala dan di bagian ikan lainnya berpotensi untuk kegiatan produksi metana (Cirne dkk., 2007). Menurut Bucker (2020), limbah ikan berpotensi menghasilkan biogas sekitar 790 mL/grV_S dan metana sekitar 520 mL/grV_S 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.

Serrano, dkk. (2013) melakukan penelitian pemanfaatan limbah ikan (kepala, jeroan, dan tulang) dan stroberi yang digunakan sebagai bahan baku produksi metana. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa apabila limbah ikan dan stroberi dicampur hingga homogen dengan rasio campuran basah 20:80 (%berat) dapat menghasilkan 121 mL CH₄/gr VS substrat pada hari ke-12. Pada tahap perlakuan, limbah ikan diblender dan dihaluskan sampai mesh 1 mm tanpa kulit. pH rata-rata di dalam reaktor adalah 7,9. TS dan VS substrat masing-masing adalah 80 gr/kg dan 75 gr/kg. OLR yang dihasilkan adalah 2,73 kg VS/m³/hari. Biodegradabilitas campurannya adalah 87% VS. Reaktor yang digunakan adalah tipe *batch* 1 liter.

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: Bucker (2020)

Tabel 1. 2. Beban pencemaran limbah cair industri perikanan

Jenis industri	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 Bucker (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* 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.

C. Penelitian Terdahulu Terkait Limbah Ikan untuk Produksi Biogas

Adeoti dan Hawboldt (2014) mengkaji ekstraksi kandungan lemak pada sisa pengolahan ikan yang berpotensi untuk produksi *biofuel*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kandungan alami omega-3 asam lemak *polyunsaturated* yang ada pada minyak ikan dapat diekstrak menjadi bahan bakar yang bernilai berkelanjutan. Pengolahan yang diteliti dilakukan dengan menggunakan 4 (empat) metode, yaitu proses secara ekstraksi minyak ikan, secara fisika, secara kimia, dan secara biologi. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa proses secara kimia menghasilkan lemak total yang lebih tinggi dari 3 metode lainnya. Selain itu, sistem ekstraksi yang menggunakan pelarut heksana, *chloroform*, etil asetat atau eter minyak bumi ini juga dapat digunakan untuk mengesktrak bahan selain lemak.

Ibraheem (2014) mengkaji ekstraksi kandungan lemak pada sisa pengolahan ikan yang berpotensi untuk produksi *biofuel*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kandungan alami omega-3 asam lemak *polyunsaturated* yang ada pada minyak ikan dapat diekstrak menjadi bahan bakar yang bernilai berkelanjutan. Pengolahan yang diteliti dilakukan dengan menggunakan 4 (empat) metode, yaitu proses secara ekstraksi minyak ikan, secara fisika, secara kimia, dan secara biologi. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa proses secara kimia menghasilkan lemak total yang lebih tinggi dari 3 metode lainnya. Selain itu, sistem ekstraksi yang menggunakan pelarut heksana, *chloroform*, etil asetat

atau ester minyak bumi ini juga dapat digunakan untuk mengesktrak bahan selain lemak, dimana dapat menurunkan kualitas minyak.

Wisniewski (2010) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa komposisi kimia pada minyak limbah pengolahan ikan dapat menghasilkan asam karboksilat, yaitu asam *eicosapentaenoic* dan *docosahexaenoic*. Asam tersebut yang terdiri dari C16:0, C18:1, C18:2 dan C22:1 merupakan senyawa utama yang ditemukan pada limbah pengolahan ikan. Pirolisis pada temperatur 525 °C limbah minyak ikan (sumber trigliserida) menunjukkan bahwa sampah ikan berpotensi menghasilkan produk *biofuel* yang memiliki kesamaan karakteristik dengan bahan bakar fosil.

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

D. 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?

E. 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.

F. 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

bioereaktor.

- 3) Data kuantitas akumulatif dan harian metana tidak diuji langsung melainkan didapat dari hasil analisis atau prediksi menggunakan persamaan model Gompertz.
- 4) Data sekunder (kandungan C-organik di dalam limbah ikan, TS/VS, K , R_{maks} . dan rasio TS/VS) didapat dari artikel pada jurnal terindeks scopus Q1.

BAB II

KAJIAN KEPUSTAKAAN

A. Digester Anaerobik

Produksi bioenergi menggunakan digester anaerobik) merupakan alternatif yang menjanjikan untuk mengatasi perubahan iklim dan dianggap sebagai teknologi pengolahan yang layak untuk pengelolaan limbah. Sistem digester anaerobik memiliki banyak keuntungan yang signifikan dalam arti bahwa sistem ini tidak memerlukan langkah-langkah pemeliharaan yang rumit dan mahal dan dapat beradaptasi dengan kondisi iklim di sebagian besar negara (Lansing, 2008). Teknologi ini memiliki laju produksi energi rata-rata yang baik dan gas CH₄ yang dihasilkan dari proses tersebut juga memiliki kecenderungan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Faktanya, jika ditangani dengan benar, sistem digester anaerobik tidak memiliki efek negatif pada kesehatan manusia atau lingkungan (Paolini dkk., 2018). Beberapa keunggulan sistem digester anaerobik di antaranya dirangkum dalam Tabel 2.1.

Table 2.1. Ringkasan keunggulan utama dari penggunaan sistem digester anaerobik (Anukam, dkk., 2019)

Keunggulan	Catatan
Alternatif untuk deforestasi yang tidak berkelanjutan.	Penyebab utama deforestasi adalah penggunaan kayu sebagai bahan bakar untuk memasak dan penerangan. Penggunaan digester anaerobik untuk produksi biogas untuk keperluan

	memasak rumah tangga, yang pada akhirnya akan mengurangi aktivitas penggundulan hutan.
Digester anaerobik berfungsi sebagai sarana untuk mengolah kotoran manusia / hewan.	Hal ini untuk mencegah masalah lingkungan yang disebabkan oleh limbah ketika dibiarkan mengalir ke bak air dan mengalir ke lautan. Selain itu, penyebaran patogen juga dapat dicegah.
Digester anaerobik berfungsi sebagai alat produksi energi berupa biogas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak rumah tangga	Biogas mirip dengan gas alam. Namun, biogas ketika dibakar menghasilkan polusi udara yang sedikit.
Limbah dari proses digester anaerobik	Proses pembuatan pupuk komersial tidak konsisten dari sisi harga yang disebabkan oleh naiknya harga minyak dan meningkatnya permintaan pupuk di pasar global. Limbah dari pencernaan anaerobik berguna sebagai pupuk untuk pertanian.
Penggunaan digester anaerobik meningkatkan kualitas udara	Pembakaran bahan bakar biomassa padat menghasilkan emisi materi partikulat di lingkungan yang menyebabkan infeksi saluran pernapasan dan penyakit paru-paru kronis.
Jumlah padatan bio yang akan diendapkan jauh lebih kecil dibandingkan	Sebagian besar bahan baku yang dimasukkan ke dalam Digester anaerobik diubah menjadi CH_4 dan CO_2 . Jumlah

jumlah yang dihasilkan dari proses pengolahan digester anaerobik.	energi yang relatif dapat diabaikan digunakan untuk pertumbuhan sel.
---	--

Digester anaerobik bergantung pada konversi bahan organik yang efisien menjadi produk bermanfaat, yaitu biogas, dengan metana (CH_4) sebagai unsur utama untuk pembakaran. Biogas dapat digunakan sebagai energi untuk memasak, penerangan, pemanas, dan aplikasi lainnya. Proses ini sangat bergantung pada interaksi timbal balik dan *syntrophic* dari sekelompok mikroorganisme untuk memecah bahan organik yang kompleks menjadi monomer yang dapat larut seperti asam amino, asam lemak, gula sederhana, dan gliserol. Untuk pengoptimalan proses digester anaerobik, diperlukan pemahaman proses biologis ini dan reaksi kimia yang terjadi. Bahan baku untuk digester anaerobik adalah bahan organik yang terutama terdiri dari sel-sel yang tidak terdegradasi yang terdiri dari hidrokarbon rantai panjang. Gambaran umum dari proses digester anaerobik disajikan di Bagian 2. Terlepas dari semua manfaat digester anaerobik, bagaimanapun juga, operasional yang tidak stabil dan buruk masih menghalangi teknologi untuk diadopsi secara luas (Shanmugam dan Horan, 2009).

CH_4 merupakan konstituen utama yang mudah terbakar dari komponen biogas dan efisiensi pembakarannya bergantung pada dari hasil persentase produksi CH_4 . Tabel 3 menunjukkan persentase komposisi

CH₄ menurut bahan baku *biodegradable* yang digunakan dalam proses *digestion*.

Tabel 2.2. Persentase CH₄ dari digester anaerobik menggunakan berbagai bahan baku (Vintila, dkk., 2012)

Bahan baku	Persentase CH ₄ (%)
Kotoran ternak	50–60
Kotoran unggas	68
Kotoran domba	65
Kotoran kuda	66
Rumput	84
Jerami gandum	78.5
Daun kering	58
Jerami jelai	77
Daun bit	84.8
Silase jagung	54.5

Jerami dapat menghasilkan hingga 85% CH₄, tergantung pada jenis jerami yang digunakan dalam proses digester anaerobik, seperti jerami dari gandum, haver, gandum hitam, jelai, dan sorgum (Mussoline, 2013). Namun, untuk sebagian besar, kinerja optimal digester anaerobik bergantung pada beberapa parameter seperti pH, suhu, dan substrat. Hal ini disebabkan oleh kelompok mikroorganisme yang berbeda dan terlibat dalam proses produksi CH₄. Kondisi yang sesuai harus ditetapkan untuk menjaga keseimbangan semua mikroorganisme. Digester anaerobik adalah proses lambat yang membutuhkan waktu minimal 3 (tiga) minggu bagi mikroorganisme untuk beradaptasi dengan kondisi baru ketika ada perubahan substrat atau suhu (Deublein &

Steinhauser, 2008). Proses digester anaerobik lebih biasanya digunakan untuk mengolah limbah rumah tangga dan industri, dimana limbah organik padat dan cair dicerna secara anaerob untuk produksi CH_4 . Meskipun CH_4 diproduksi, tujuan utamanya adalah untuk mencegah volume limbah yang dibuang dan meningkatkan ketersediaan kadar hara tanaman dalam hasil cerna limbah. Karbon, nitrogen, dan oksigen merupakan komponen utama bahan organik yang digunakan oleh konsorsium mikroorganisme dalam proses *digestion*. Bahan organik ini digunakan sebagai substrat untuk pertumbuhan mikroorganisme melalui kombinasi dengan air (H_2O) untuk membentuk CH_4 dan CO_2 . Sebelum proses konversi metanogenik, zat organik dipecah dalam 3 (tiga) tahap melalui kerja tim berbagai mikroorganisme. Kumpulan mikroorganisme pertama mengubah organisme menjadi zat yang dapat diubah oleh mikroorganisme lain menjadi asam organik. Jumlah CH_4 menjadi CO_2 yang dihasilkan merupakan fungsi dari komposisi substrat asli yang diuraikan. Namun, jumlah CH_4 dan CO_2 yang kurang lebih sama diproduksi ketika gula, pati, dan selulosa mengalami AD, sedangkan persentase CH_4 yang lebih besar daripada CO_2 dihasilkan ketika lemak dan protein dicerna secara anaerob dan, produksi gas sangat tergantung pada suhu (Parawira, dkk., 2004). Bakteri pada kondisi anaerobik berkembang biak dalam 2 (dua) kategori, yaitu suhu mesofilik dan termofilik. Suhu mesofilik adalah kisaran suhu sedang dimana bakteri tumbuh subur pada kisaran suhu 20 - 45 $^{\circ}\text{C}$. Sedangkan suhu termofilik adalah kisaran suhu tinggi

dimana aktivitas bakteri meningkat untuk produksi gas yang optimal, dan dapat dicapai antara 49 dan 57 °C.

1. **Kemajuan Terkini Pada Teknologi Digester Anaerobik**

Kemajuan terkini pada digester anaerobik dan kolaborasi multidisiplin sains dan teknik memberikan harapan baru untuk pemahaman dan arah yang lebih baik dari teknologi ini. Produksi CH₄ dapat ditingkatkan dan membutuhkan kombinasi dari berbagai aspek teknologi. Keterkaitan yang baik antar aspek digester anaerobik memberikan kemajuan yang selama ini dilakukan dalam optimalisasi teknologi, sehingga penelitian pada satu aspek saja mungkin tidak dapat diandalkan secara teknis. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian pada aspek-aspek lain, seperti lingkungan, teknologi, inovasi desain digester, daur ulang substrat yang dimasukkan, penggunaan bahan konduktif non-biologis lainnya seperti biochar (produk padat dari dekomposisi termal biomassa) (Anukam, dkk., 2019). Material komposit seperti *magnetic fly ash* (Fe₃O₄/FA) dapat digunakan untuk perlakuan awal kotoran ternak yang digunakan sebagai bahan baku dalam proses anaerobik digester. Namun, dari sisi ekonominya, metode ini belum berkelanjutan. Pencampuran Fe₃O₄/FA dengan kotoran ternak seperti kotoran ternak dalam digester anaerobik dapat menimbulkan unsur-unsur seperti tembaga (Cu) dan seng (Zn) (Liu, dkk., 2019).

Migliori, dkk. (2019) menyatakan bahwa sistem digester anaerobik tipe basah dan kering dapat berhasil digunakan

untuk mengubah fraksi organik sampah kota (OFMSW) menjadi metana. Peningkatan produksi metana pernah dicapai melalui iradiasi gelombang mikro yang dikombinasikan dengan nanopartikel oksida besi yang digunakan untuk bahan baku ganggang hijau pada digester anaerobik (Zaidi, dkk., 2019). Freitas, dkk., (2019) menyimpulkan dalam penelitiannya bahwa bahan baku dari lumpur limbah industri farmasi dapat dimanfaatkan layak secara ekonomi dan berkelanjutan untuk produksi biogas melalui digester anaerobik karena kandungan mikro dan makronutrientnya. Terlepas dari semua studi ini, kemajuan teknologi yang dibuat sejauh ini belum sepenuhnya menjawab tantangan teknis paling signifikan.

2. Arah dan Peluang Teknologi digester anaerobik di Masa Depan

Teknologi digester anaerobik masih tetap merupakan teknologi mapan untuk produksi energi terbarukan dan untuk mengolah residu organik. Namun, penerapan teknologi ini untuk mewujudkan peningkatan hasil energi dalam bentuk CH_4 membutuhkan modifikasi teknis dan optimalisasi parameter operasi yang mendorong interaksi sintrofik dari berbagai mikroorganisme dalam proses *digestion*. Sistem digester anaerobik sangat cocok sebagai sistem konversi energi alternatif, terutama untuk negara-negara yang kaya akan ternak dan bahan pertanian, dan menawarkan kesempatan untuk memaksimalkan penggunaan sumber daya yang permintaannya tidak mencukupi. Selain meningkatkan efisiensi proses, pemulihan produk bernilai

tambah seperti biochar, minyak nabati, dan bahan fungsional lainnya dari proses digester anaerobik ketika sistem elektrokimia mikroba digabungkan dengan digester anaerobic (Li, dkk., 2016).

B. 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_4), 25% sampai 45% karbon dioksida (CO_2) dan sejumlah kecil gas lainnya. Komposisi biogas ditunjukkan pada tabel 2.3.

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

Tabel 2. 3. Komposisi biogas

No.	Unsur	Simbol	Konsentrasi (% volume)
1.	Metana	CH_4	50 - 70
2.	Karbon dioksida	CO_2	35 - 40
3.	Air	H_2O	2 - 7
4.	Hidrogen sulfida	H_2S	20-20000 ppm (2%)
5.	Nitrogen	N_2	< 2

6.	Oksigen	O ₂	< 2
7.	Hidrogen	H ₂	< 1
8.	Amonia	NH ₃	< 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. Keberadaan limbah-limbah organik tersebut ramah lingkungan.

Menurut Sanjaya (2015), faktor penting yang mempengaruhi produksi gas metana (CH₄) 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).

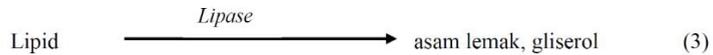
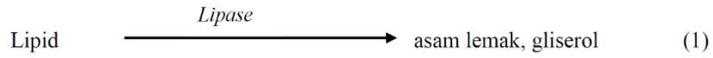
C. Tahap Pembuatan Biogas

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

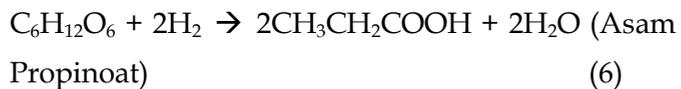
a. Hidrolisis

Bahan organik (polimer) didekomposisi menjadi unit yang lebih kecil. Selama proses tersebut, polimer seperti karboidrat, 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 exoenzim 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

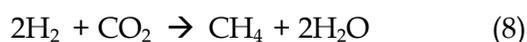
Pada tahap asidogenesis, produk dari hidrolisis dikonversi oleh bakteri asidogenik menjadi substrat metanogen. Gula, asam amino, dan asam lemak terdegradasi menjadi asetat, karbondioksida, dan hidrogen (70%) serta menjadi *Volatile Fatty Acid* (VFA) dan alkohol (30%).

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 (CO₂), 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 *Methanotherix* (Haryati, 2006).

D. Tipe 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.

E. 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:

a. 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.

b. Bahan baku

Bahan baku yang dimasukkan ke dalam tangki digester anaerobik harus berupa bahan organik seperti feses atau 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).

c. 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 NH_4OH 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 2.4. 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)

- d. 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).
- e. 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 tinggi 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).

f. 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.

g. 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 & Totok, 2013).

F. 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 berbagai kegiatan industri. Limbah dapat berupa benda padat, cair ataupun 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. Selain itu, air limbah jika dibuang sebelum diolah akan berbau busuk dan mudah menguap

yang disebabkan oleh mikroorganisme yang mengurai limbah tersebut. 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/m³. Dilihat dari laju dan kepadatan penduduk di Indonesia, Limbah cair menjadi ancaman yang sangat serius bila tidak dikelola dengan baik akan menjadi pencemar bagi lingkungan (Supradata, 2005).

Komposisi sampah padat dan limbah cair dari sisa pengolahan ikan tergantung pada spesies ikan yang diolah, dan juga tergantung pada jenis 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). Namun, hingga saat ini

literatur tentang *anaerobic digestion* dan sampah ikan masih sangat sedikit, yaitu sekitar 20 publikasi penelitian. Hasil studi tersebut menyimpulkan bahwa pencernaan sampah ikan memiliki potensi yang bagus untuk produksi metana, dimana *anaerobic digestion* sampah ikan dapat menghasilkan 0,2 sampai 0,9 m³ CH₄ dengan penambahan per kg *Volatil Solid* (VS).

G. 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 2.5.

Tabel 2.5. 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 ³ /hari
Produksi biogas	4,5- 11 m ³ /kg VS
Kandungan metana	60 – 70%

Sumber: Karlina (2017)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif eksperimental. Pengolahan data primer 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.

B. 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.

C. **Alat dan Bahan**

Alat - alat yang digunakan untuk pengambilan sampel limbah pengolahan 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.

D. 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*.

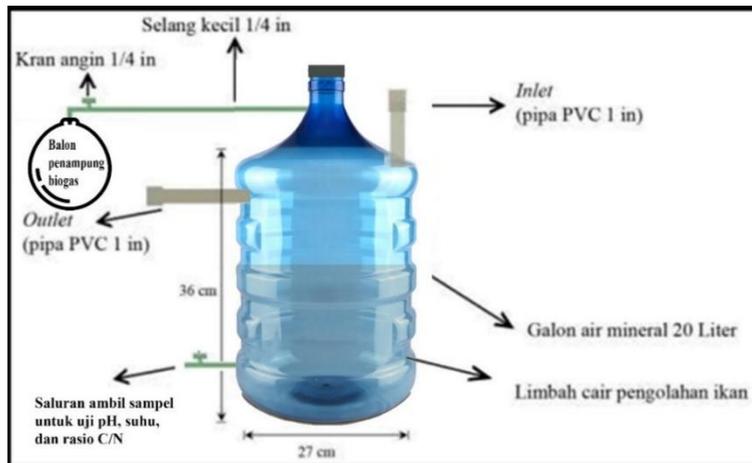
Data sekunder pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

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.

E. Tahapan Penelitian

3. 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

4. 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 9 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

5. 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.

6. 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).

7. 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 (Nm³)

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 10⁵ Pascal

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

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

t = waktu (hari)

F. Metode Analisis Kadar Air, Kandungan TS (Total Solids) dan VS (Volatile Solids)

Kadar air diukur dengan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 24 jam. Untuk mendapatkan kadar abu, sampel kering dibakar di dalam tanur pada suhu 550 °C selama 2 jam. Pengukuran ini dilakukan sebelum substrat dimasukkan ke dalam bioreaktor. Kadar air, TS, dan VS dihitung dengan persamaan berikut:

$$KA = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$TS = 100\% - KA \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$Abu = \frac{W_3 - W_4}{W_3} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$VS = 100\% - Abu \quad \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

KA = Kadar Air (%)

TS = Total Solid (%)

VS = Volatile Solid (%)

W_1 = berat sampel segar (gr)

W_2 = berat kering oven (gr)

W_3 = berat sampel kering sebelum pengabuan (gr)

W_4 = berat abu (gr)

G. Metode Analisis rasio C/N

Analisis kadar C dan N bertujuan untuk mengetahui kandungan karbon dan nitrogen mungguan di dalam bahan baku sehingga dapat menjadi bahan dasar acuan penelitian. Kedua unsur tersebut nantinya dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk menghasilkan produk akhir berupa metana (Yulistyowati, 2008). Analisis kadar C-organik dan N-total diukur di Laboraturium Baristand Banda Aceh seminggu sekali. Analisis kandungan C-organik diukur menggunakan metode Walkey and Black, sedangkan N-total diukur menggunakan Metode Kjeldhal. Setelah diketahui kandungan karbon dan nitrogennya, maka setiap perbandingan dapat dihitung untuk mencari nilai rasio C/N.

Prosedur Penetapan C-organik menggunakan metode Walkley and Black (1934) dilakukan berdasarkan langkah - langkah berikut:

- 1) Timbang 0.5 gr sampel kering udara yang lolos saringan 0.05 mm.
- 2) Tempatkan sampel tersebut di dalam erlenmeyer

- 500 ml.
- 3) Pipet 10 ml $K_2Cr_2O_7$ 1 N ke dalam erlenmeyer, kemudian goyang erlenmeyer secara perlahan-lahan sehingga sampel terdispersi dalam larutan.
 - 4) Tambahkan 20 ml H_2SO_4 pekat untuk membentuk suspensi, kemudian goyang dengan cepat erlenmeyer sampai sampel bercampur dengan pereaksi selama 1 menit. Usahakan tidak ada zarah sampel yang terlempar ke dinding erlenmeyer. Biarkan campuran selama 30 menit, hingga dingin.
 - 5) Tambahkan 100 atau 200 ml air destilata ke dalam Erlenmeyer setelah didiamkan selama 30 menit.
 - 6) Tambahkan 3-4 tetes indikator ferroin 0.025 M dan titrasi dengan larutan $FeSO_4$ 0.5 N. Titik akhir dicapai jika larutan berubah dari kehijauan ke hijau gelap. Pada waktu itu, teteskan $FeSO_4$ sampai warna berubah dari biru ke merah anggur. Saat titrasi alasi erlenmeyer dengan kertas berwarna putih agar perubahan warna terlihat jelas.
 - 7) Buat titrasi blanko dengan langkah yang sama, tetapi tanpa sampel (tahap 3, 4, 5, 6), untuk standarisasi dikromat.
 - 8) Hitung kadar C-Organik, dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kadar C (\%)} = \frac{[(N \times V) \times (K_2Cr_2O_7 - FeSO_4)] \times 0,003 \times fk}{BKM} \times 100\%$$

Dimana:

V = Volume (ml)

N = Normalitas

BKM = Bobot kering oven 105⁰C contoh

fk = faktor koversi (6,25)

Analisis N total dilakukan dengan menggunakan metode Kjeldahl yang terdiri dari 3 tahap, yaitu destruksi, destilasi, dan titrasi. Sampel setiap variabel perlakuan diukur volumenya sesuai perbandingannya masing - masing sebelum dimasukkan ke dalam labu labu Kjeldahl. Setelah itu, sampel tersebut ditambahkan 1 gr campuran selenium dan 5 ml H₂SO₄ pekat dan didestruksi pada suhu 300⁰C selama 1,5 jam dan selanjutnya diencerkan dengan 50 ml H₂O murni. Hasil destruksi diencerkan sampai 100 ml dan ditambahkan 20 ml NaOH 40% lalu disuling. Hasil sulingan ditampung dengan penunjuk asam berat sebanyak 20 ml hingga warna berubah dari jingga menjadi hijau dan volumenya menjadi 50 ml dan dititrasi dengan H₂SO₄ 0,01 N sampai titik akhir. Perhitungan kadar N total masing - masing variabel perlakuan sampel diperoleh dari persamaan:

$$\text{Kadar N (\%)} = \left[\frac{(V_c - V_b) \times V_{H_2SO_4} \times 14 \times fk}{\text{Massa sampel}} \right] \times 100\%$$

Dimana:

$V_c - V_b$ = selisih titrasi contoh dan blangko (ml)

N = Normalitas H_2SO_4

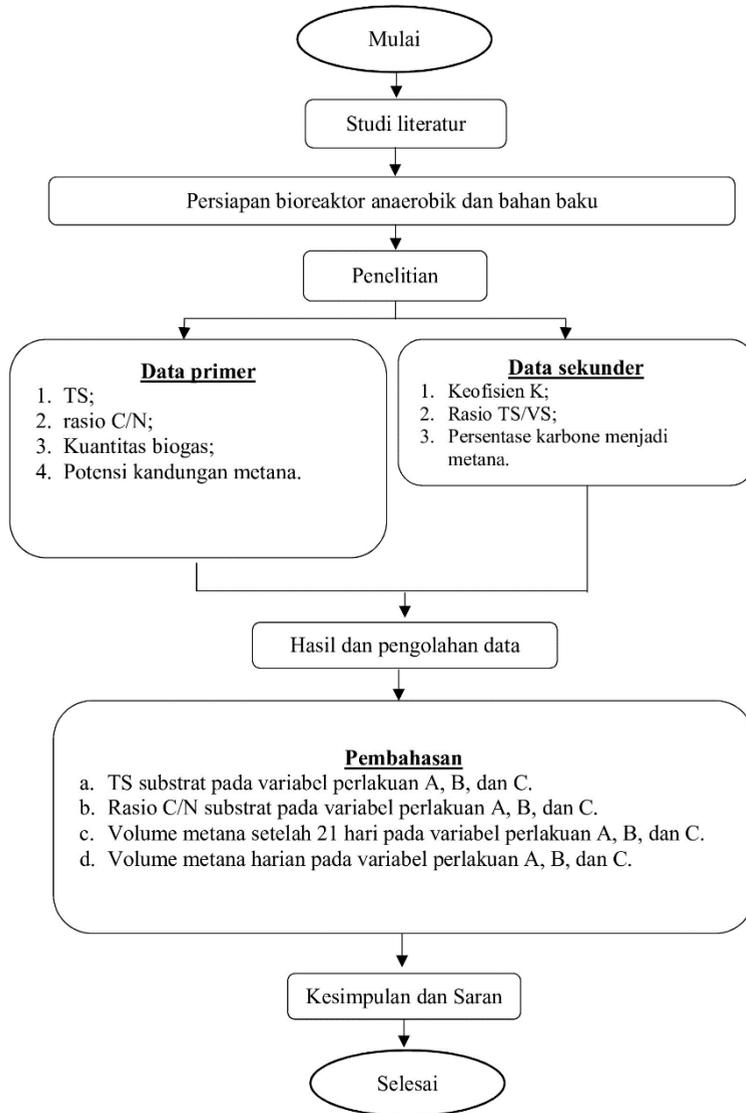
14 = Berat atom nitrogen

fk = faktor koversi (6,25)

Pengujian C-organik dan N total di atas diserahkan kepada pihak Laboratorium Baristand Banda Aceh.

H. Diagram Alur Penelitian

Alur penelitian Tugas Akhir ini ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram alur penelitian

I. Jadwal Kegiatan Penelitian

Jadwal atau *timeline* penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Jadwal kegiatan penelitian

Kegiatan	Tahun 2020																			
	Maret				April				Mei				Juni				Juli			
	Minggu				Minggu				Minggu				Minggu				Minggu			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Persiapan																				
1. Pengumpulan materi dan kajian relevan	■	■	■																	
2. Penyusunan Proposal		■	■	■	■															
3. Kontrak penelitian		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■
Pelaksanaan Penelitian																				

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Volume Metana dari Limbah Ikan Tongkol (G_0)

Pada penelitian ini, potensi produksi metana dari limbah ikan tongkol, G_0 , 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 Bückler, 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 Bückler, 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:

massa C = massa variabel A x % kandungan C

$$x \frac{\text{massa C}}{\text{massa variabel A}} \\ = 15.000 \text{ gr} \times 0.082 \text{ gr C} = 123 \text{ gr C}$$

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

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

$$= 123 \text{ gr C} \times 0,0146 \frac{\text{gr metana}}{\text{gr C}}$$

$$= 17,9 \text{ gr metana}$$

dan mol metana pada variabel A (n_A) adalah:

$$n_{A(\text{CH}_4)} = \frac{17,9 \text{ gr metana}}{16 \frac{\text{gr metana}}{\text{mol}}} = 1,12 \text{ mol metana}$$

Selanjutnya persamaan gas ideal digunakan untuk menghitung volume metana ($V_{A(\text{CH}_4)}$) pada variabel A:

$$V_{A(\text{CH}_4)} = \frac{n_{A(\text{CH}_4)}RT}{P}$$

$$= \frac{1,2 \text{ mol} \times 8,315 \frac{\text{Joule}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 273,15 \text{ K}}{1,013 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

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

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:

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

$$\times \frac{\text{massa C}}{\text{massa variabel B}}$$

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

$$= 2.688 \text{ gr C}$$

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

$$\begin{aligned}m_{B(CH_4)} &= m_{B(C)} \times 0,0146 \frac{\text{massa metana}}{\text{massa C}} \\ &= 2.688 \text{ gr C} \times 0,0146 \frac{\text{gr metana}}{\text{gr C}} \\ &= 39,2 \text{ gr metana}\end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}V_{B(CH_4)} &= \frac{n_{B(CH_4)}RT}{P} \\ &= \frac{2,45 \text{ mol} \times 8,315 \frac{\text{Joule}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 273,15 \text{ K}}{1,013 \times 10^5 \text{ Pa}} \\ &= 0,055 \text{ Nm}^3 = 55 \text{ L}\end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}
 m_{C(C)} &= \text{massa variabel } C \times \% \text{ kandungan } C \\
 &\quad \times \frac{\text{massa } C}{\text{massa variabel } C} \\
 &= 12.500 \text{ gr} \times 0,5224 \frac{\text{massa } C}{\text{massa variabel } C} \\
 &= 6.530 \text{ gr } C
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 m_{C(CH_4)} &= \text{massa } C \times 0,0146 \frac{\text{massa metana}}{\text{massa } C} \\
 &= 6.530 \text{ gr } C \times 0,0146 \frac{\text{kg metana}}{\text{kg } C} \\
 &= 95,3 \text{ gr metana}
 \end{aligned}$$

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:

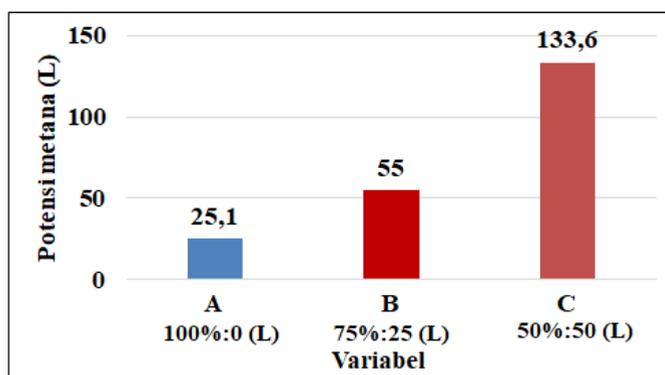
$$\begin{aligned}
 V_{C(CH_4)} &= \frac{n_{C(CH_4)}RT}{P} \\
 &= \frac{5,96 \text{ mol} \times 8,315 \frac{\text{Joule}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 273,15 \text{ K}}{1,013 \times 10^5 \text{ Pa}} \\
 &= 0,1336 \text{ Nm}^3 \\
 &= 133,6 \text{ L}
 \end{aligned}$$

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 ₄ (gr)	n CH ₄ (mol)	V _{CH₄} (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.

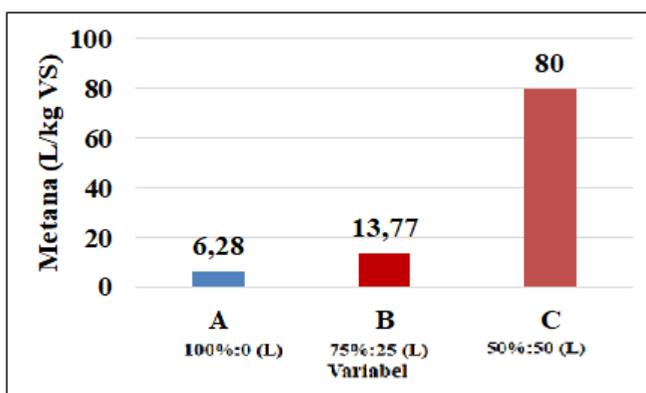
Tabel 4. 3. Kadar VS pada variabel A, B, dan C menggunakan rasio TS/VS 0,33

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 ₄ (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.

B. 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 Gompertz digunakan untuk menjelaskan dan memahami langkah degradasi bahan organik menghasilkan metana di dalam digester anaerobik tipe *batch*.

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):

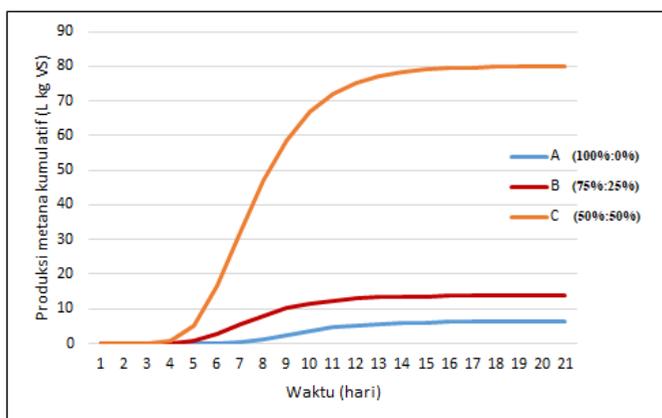
$$G(t) = G_0 \cdot \exp \left\{ -\exp \left[\frac{R_{maks} \cdot e}{G_0} (\lambda - t) + 1 \right] \right\}$$

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
- λ = 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 $R_{maks} \cdot G(t)$ 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), λ , atau disebut juga waktu minimum yang diperlukan untuk menghasilkan metana didapatkan dari hasil monitoring di Laboratorium Teknik Lingkungan. λ

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 4.3.



Gambar 4.3. 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

A. Kesimpulan

1. Potensi sumber biomassa yang dapat dimanfaatkan untuk produksi metana juga ditemukan dalam limbah pengolahan ikan tongkol. Prediksi potensi metana kumulatif yang optimum pada *digestion* hari ke-21 dari limbah pengolahan ikan tongkol dengan penambahan kotoran sapi dengan rasio 50%;50% adalah 80 L/kg VS. Perilakunya serupa dengan limbah organik lain yang mudah terdegradasi memiliki potensi untuk produksi metana.
2. Pemodelan Gompertz yang dimodifikasi cocok digunakan menganalisis potensi produksi metana. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Kafle, dkk. (2013) yang menyatakan bahwa perbandingan antara produksi metana kumulatif hasil prediksi ($G(t)$) menggunakan Pemodelan Gompertz produksi metana kumulatif hasil pengukuran langsung adalah 10%.
3. Dengan menggunakan digester anerobik, limbah organik yang mudah terdegradasi memiliki potensi untuk produksi metana.
4. Dengan menggunakan persamaan pemodelan Gompertz, akumulasi produksi metana per harinya dapat digunakan tanpa melakukan pengukuran langsung di laboratorium.

B. Saran-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

- Adeoti, I.A., Hawboldt, K. (2014). A review of Lipid Extraction from Fish Processing By-Product for Use as A Biofuel. *Journal of Biomass and Bioenergy*, 63, 330-340.
- Anukam, A., Mohammadi, A., Naqvi, M., Granström, K. (2019). A Review of the Chemistry of Anaerobic Digestion: Methods of Accelerating and Optimizing Process Efficiency, *Journal of Processes*, 7(8), 504.
- 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. *Journal of 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. *Journal of 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. *Journal of 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. *Journal of 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.
- Deublein, D., Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources – An Introduction*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, pp. 57–112.
- 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.
- Freitas, R.X.A., Borges, L.A., Fernandes de Souza, H., Colen, F., Cangussu, A.S.R., Sobrinho, E.M., Fonseca, F.S.A., Santos, S.H.S., de Carvalho, B.M.A., Brandi, I.V. (2019). Characterization of the primary sludge from pharmaceutical industry effluents and final disposition. *Journal of Processes*, 7, 231.
- Ghaly, E., Ramakrishnan, V.V., Brooks, M.S., Budge, S.M., 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.
- Lansing, S., Botero, R.B., Martin, J.F. (2008). Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Journal of Bioresource Technology*, 99, 5881-5890.
- Li, W.W., Yu, H.Q. (2016). Advances in energy-producing anaerobic biotechnologies for municipal wastewater treatment. *Journal of Engineering*, 2, 438-446.
- Liu, C., Tong, Q., Li, Y., Wang, N., Liu, B., Zhang, X. (2019). Biogas production and metal passivation analysis

- during anaerobic digestion of pig manure: Effects of a magnetic Fe₃O₄/FA composite supplement. *Journal of RSC Advances*, 9, 4488–4498.
- 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.
- Migliori, M.M. Catizzone, E. Giordano, G. Le Pera, A. Sellaro, M. Lista, A. Zanardi, G. Zoia, L. (2019). Pilot plant data assessment in anaerobic digestion of organic fraction of municipal waste solids. *Journal of Processes*, 7, 54.
- 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.
- Mussoline, W. (2013). Enhancing the Methane Production from Untreated Rice Straw Using an Anaerobic Co-digestion Approach with Piggery Wastewater and

- Pulp and Paper Mill Sludge to Optimize Energy Conversion in Farm-scale Biogas Plants. Earth Sciences. Ph.D. Thesis, Université Paris-Est, Paris, France.
- 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.
- Paolini, V. Petracchini, F. Segreto, M. Tomassetti, L. Naja, N. Cecinato, A. (2018). Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 53, 899-906.
- Parawira, W., Murto, M., Zvauya, R., Mattiason, B. (2004). Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugar beet leaves. *Journal of Renewable Energy*, 29, 1811-1823.
- 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., Roedel, 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-

- 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.
- Serrano, A., Siles, J.A., Chica, A.F., Martín, M.A. (2013). Agri-food waste valorization through anaerobic co-digestion: fish and strawberry residues. *Journal of Cleaner Production*, 54, 125-132.
- Shanmugam, P., Horan, N.J. (2009). Optimising the biogas production from leather fleshing waste by co-digestion with MSW. *Journal of Bioresource Technology*, 100, 4117-4120.
- 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.
- Vintila, T., Neo, S., Vintila, C. (2012). Biogas production potential from waste in Timis County, Scientific Papers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 45, 366-733.
- 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 (CH₄) 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.
- Windiasmara, 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 Dhasilkan 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).
- Zaidi, A.A., Feng, R., Malik, A., Khan, S.Z.; Shi, Y., Bhutta, A.J., Shah, A.H. (2019). Combining Microwave Pretreatment with iron oxide nanoparticles enhanced biogas and hydrogen yield from green algae. *Journal of Processes*, 7, 24.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1: Perhitungan potensi produksi metana

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

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

t = waktu (hari)

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

t	G_0	R_{maks}	λ	$G(t)$
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 B. Hasil perhitungan laju produksi metana harian (L/kg VS) pada variabel B menggunakan persamaan pemodelan

Gompertz

t	G_0	$Rmax$	λ	$G(t)$
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 C. Hasil perhitungan laju produksi metana harian (L/kg VS) pada variabel C menggunakan persamaan pemodelan Gompertz

t	G_0	R_{max}	λ	$G(t)$
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: Hasil Uji Laboratorium

	BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI LABORATORIUM PENGGUJI BARISTAND INDUSTRI BANDA ACEH (LABBA) <small>Jln. Cut Nyak Dhien No. 377 Lantemesen Timor Banda Aceh 22250 Telp. (0615) 49714 Fax. (0651) 49556 - 6302642 E-mail: bjs_bna@yahoo.com Website: http://baristandaceh.kemperin.go.id</small>																																	
	LAPORAN HASIL UJI <i>Report of Analysis</i>																																	
Tanggal Penerbitan : 30 Juli 2020 <small>Date of Issue</small>		Nomor Laporan : 1319/LHU/LABBA/Baristand-Aceh/7/2020 <small>Report Number</small>																																
Kepada : Adian Aristia Anas, M.Sc <small>To</small> UIN AR-RANIRY di - Banda Aceh		Nomor Analisis : KIM - 20. 376 s.d 20.378 <small>Analysis Number</small>																																
Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa : <small>The undersigned certifies that examination</small>																																		
Dari Contoh : Pupuk Cair <small>Of the Sample (s)</small>		Nomor BAPC : 143INSD/KIM/6/2020 <small>BAPC Number</small>																																
Keterangan contoh : Diantar <small>Identify Sample</small>		Untuk Analisis : Sesuai Parameter Uji <small>For Analysis</small>																																
Kode Contoh : A, B, C <small>Code Sample</small>		Diambil dari : - <small>Taken from</small>																																
Tanggal Sampung : - <small>Date of Sampling</small>		Tanggal Penerimaan : 16 Juni 2020 <small>Received On</small>																																
Tanggal Analisis : 16 Juni 2020 <small>Date of Analysis</small>		Hasil : <small>Results</small>																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">NO</th> <th rowspan="2">PARAMETER UJI</th> <th rowspan="2">SATUAN</th> <th rowspan="2">METODE UJI</th> <th colspan="3">HASIL UJI</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kadar Air</td> <td>%</td> <td>Gravimetri</td> <td>87,08</td> <td>87,06</td> <td>89,13</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>C/N Ratio</td> <td>%</td> <td>Kjedahl</td> <td>1,01</td> <td>2,25</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Total Padatan</td> <td>%</td> <td>Gravimetri</td> <td>13,07</td> <td>13,06</td> <td>5,46</td> </tr> </tbody> </table>				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
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,  Nurfailla, ST, MT NIP. 19621108 196303 2 002																																		
F. 5.10.01.02		Terbit/Revisi : 3/4																																
<small>* Data Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas. * Dilarang menggandakan tanpa izin tertulis dari Baristand Industri Banda Aceh</small>																																		

Lampiran 3: 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



BIODATA PENELITI
PUSAT PENELITIAN DAN PENERBITAN LP2M
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH

A. Identitas Diri

1.	Nama Lengkap <i>(dengan gelar)</i>	Adian Aristia Anas, M.Sc.
2.	Jenis Kelamin L/P	Laki – laki
3.	Jabatan Fungsional	
4.	NIP	
5.	NIDN	2022108701
6.	NIPN <i>(ID Peneliti)</i>	202210870110001
7.	Tempat dan Tanggal Lahir	Desa Rawa, 22 Oktober 1987
8.	E-mail	adian1087@gmail.com
9.	Nomor Telepon/HP	081360772412
10.	Alamat Kantor	Jl. Syekh Abdul Rauf, Kopelma Darussaam, Banda Aceh
11.	Nomor Telepon/Faks	
12.	Bidang Ilmu	Energi Terbarukan
13.	Program Studi	Teknik Lingkungan
14.	Fakultas	Sains dan Teknologi

B. Riwayat Pendidikan

No.	Uraian	S1	S2	S3
1.	Nama Perguruan Tinggi	UGM	University of Aberdeen	
2.	Kota dan Negara PT	Yogyakarta, Indonesia	Skotlandia, United Kingdom	
3.	Bidang Ilmu/ Program Studi	Teknik Mesin	Teknik Energi Terbarukan	
4.	Tahun Lulus	2012	2016	

C. Pengalaman Penelitian dalam 3 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Penelitian	Sumber Dana
1.	2019	Prevalence and Intensity of Ectoparasites on <i>Clarias gariepinus</i> From Aquaculture Pond in Aceh Besar District, Indonesia	Mandiri
2.	2019	Wind Energy Potential at Ulee Lheue Coast in Banda Aceh	Bappeda Kota Banda Aceh

3.	2019	Design of Horizontal Axis Wind Turbine at Alue Naga Coast in Banda Aceh	Bappeda Kota Banda Aceh
4.	2020	Pengendalian Air Lindi Pada Proses Penutupan TPA Gampong Jawa Terhadap Kualitas Air Sumur	Mandiri

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 3 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Pengabdian	Sumber Dana
1.	2018	Konservasi Leuser Ketambe, Aceh Tenggara	FKL
2.	2019	Clean Up Pantai Alue Naga	Mandiri

E. Publikasi Artikel Ilmiah dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/Nomor/Tahun/Url
1.	Prevalence and Intensity of Ectoparasites on Clarias gariepinus From Aquaculture Pond in Aceh Besar District, Indonesia	Biodjati	4/1/2019/www.journal.uinsgd.ac.id/index.php/biodjati/article/view/4328
2.	Pengendalian Air Lindi Pada Proses Penutupan TPA Gampong Jawa Terhadap Kualitas Air Sumur	Serambi Engineering	5/3/2020/jurnal.serambimekkah.ac.id/jse

F. Karya Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Buku	Tahun	Tebal Halaman	Penerbit
1.				
2.				

dst.				
------	--	--	--	--

G. Perolehan HKI dalam 10 Tahun Terakhir

No.	Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1.				
2.				
dst.				

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya.

Banda Aceh,
Ketua/Anggota Peneliti,



Adian Aristia Anas, M.Sc.
NIDN. 2022108701