



TUGAS AKHIR - RE 184804

STUDI LITERATUR PRODUKSI BIOGAS DARI MINYAK DAN LEMAK LIMBAH INDUSTRI RUMAH MAKAN

ADAM FAKHRULLAH
03211640000051

Dosen Pembimbing
Ir. EDDY SETIADI SOEDJONO, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - RE 184804

STUDI LITERATUR PRODUKSI BIOGAS DARI MINYAK DAN LEMAK LIMBAH INDUSTRI RUMAH MAKAN

ADAM FAKHRULLAH
0321164000051

Dosen Pembimbing
Ir. EDDY SETIADI SOEDJONO, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - RE 184804

**LITERATURE STUDY ON BIOGAS
PRODUCTION FROM FAT, OIL, AND GREASE
OF RESTAURANT INDUSTRY WASTE**

ADAM FAKHRULLAH
0321164000051

Supervisor

Ir. EDDY SETIADI SOEDJONO, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI LITERATUR PRODUKSI BIOGAS DARI MINYAK DAN LEMAK LIMBAH INDUSTRI RUMAH MAKAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh

Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

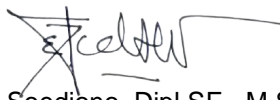
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ADAM FAKHRULLAH

NRP. 0321164000051

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D..

NIP. 19600308 198903 1 001

SURABAYA, AGUSTUS 2020



STUDI LITERATUR PRODUKSI BIOGAS DARI MINYAK DAN LEMAK LIMBAH INDUSTRI RUMAH MAKAN

Nama Mahasiswa : Adam Fakhrollah
NRP : 0321164000051
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE.,
M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Industri rumah makan sangat berkembang pesat di Indonesia terutama pada kota – kota besar. Limbah rumah makan yang mengandung banyak konsentrasi minyak dan lemak berpotensi untuk menyebabkan masalah pada sistem pembuangan air limbah dan apabila dibuang langsung ke lingkungan. Permasalahan tersebut perlu ditangani, salah satu cara penanganannya adalah dengan memanfaatkan minyak dan lemak limbah rumah makan menjadi sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, murah dan mudah diperoleh dari lingkungan sekitar yaitu biogas. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian pustaka yang bertujuan untuk mengetahui produksi biogas dari minyak dan lemak limbah industri rumah makan.

Studi literatur diawali dengan melakukan pengumpulan data sekunder dari pustaka dan ringkasan kajian pustaka yang terkait atau berhubungan dengan topik bahasan studi literatur. Kemudian dilanjutkan dengan studi kasus dan analisis yang berkaitan dengan topik bahasan sehingga menghasilkan kesimpulan dan saran. Kajian pustaka bersumber dari jurnal, buku maupun artikel dalam jangka waktu diusahakan selama 5-10 tahun terakhir. Jumlah pustaka yang akan digunakan minimal 30 buah. Hasil dari kajian pustaka akan disajikan dalam bentuk tabel dan/atau matriks untuk merepresentasikan informasi yang telah dirangkum sehingga memudahkan pembaca memahaminya.

Hasil studi literatur dan studi kasus produksi biogas dari minyak dan lemak limbah rumah makan menunjukkan bahwa perombakan tunggal dari limbah minyak dan lemak rumah makan dengan konsentrasi VS sebesar 5–15 g/L dapat menghasilkan biogas sebesar 60 – 1140 mL/gVS. Kemudian, *co-digestion* antara

limbah minyak dan lemak dengan sampah makanan dengan konsentrasi VS yang semakin tinggi menunjukkan hasil yang lebih baik menghasilkan produksi biogas yang optimal pada rasio konsentrasi VS(g/L) 1:4 (sampah makanan : minyak dan lemak) dan *co-digestion* limbah minyak dan lemak dengan lumpur limbah domestik dengan konsentrasi VS yang semakin tinggi menunjukkan hasil yang lebih baik menghasilkan produksi biogas yang optimal pada rasio konsentrasi VS(g/L) 1:2 (lumpur limbah : minyak dan lemak). Selanjutnya, produksi biogas terbaik diperoleh pada perlakuan suhu termofilik (50-60°C) dibandingkan dengan suhu mesofilik (30-40°C).

Kata Kunci: Perombakan Anaerobik, Biogas, *Co-digestion*, Minyak dan lemak, Limbah Rumah Makan

LITERATURE STUDY ON BIOGAS PRODUCTION FROM FAT, OIL, AND GREASE OF RESTAURANT INDUSTRY WASTE

Name of student : Adam Fakhrollah
NRP : 03211640000051
Study programme : Environmental Engineering
Supervisor : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE.,
M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

The restaurant industry is growing rapidly in Indonesia, especially in big cities. Restaurant wastes that contain large concentrations of fat, oil, and grease have the potential to cause problems in the sewage system and when discharged directly into the environment. This problem needs to be addressed, one way of handling it is by utilizing the oil and fat from restaurant waste to become an alternative energy source that is environmentally friendly, inexpensive and easily obtained from the surrounding environment, namely biogas. Therefore, it is necessary to conduct a literature review that aims to determine the production of biogas from fat, oil, and grease from the restaurant industry waste.

Literature study begins by collecting secondary data from the literature and literature review summary related or related to the topic of literature study. Then proceed with case studies and analysis related to the topic so as to produce conclusions and suggestions. Literature review sourced from journals, books and articles within a period of effort for the last 5-10 years. The number of libraries that will be used is at least 30 pieces. The results of the literature review will be presented in the form of tables and / or matrices to represent the information that has been summarized to make it easier for readers to understand.

The results of literature and case studies of biogas production from fat, oil and grease (FOG) of restaurant show that a single substrate anaerobic digestion of fat, oil and grease of restaurant with a VS concentration of 5-15 g/L can produce biogas of 60-1140 mL/gVS. Then, co-digestion using FOG and food waste produce optimal biogas with a higher VS contribution achieve a better

results in production at a ratio of VS (g/L) concentration of 1:4 (food waste: FOG) and co-digestion using FOG with sewage sludge with a higher VS contribution achieve a better results in biogas production that is optimal ratio of VS (g/L) concentration of 1:2 (sewage sludge: FOG). Furthermore, the best biogas production is obtained at thermophilic temperatures (50-60⁰C) compared to mesophilic temperatures (30-40⁰C).

Keywords: Anaerobic Digestion, Biogas, *Co-digestion*, Fat; Oil; and Grease, Restaurant Industry Waste,

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya penyusunan tugas akhir yang berjudul “ **Studi Literatur Produksi Biogas dari Minyak dan Lemak Limbah Industri Rumah Makan**” dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Dalam penyusunan laporan ini, penyusun menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D, selaku dosen pembimbing atas segala ilmu dan bimbingannya dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng., Bapak Dr. Ali Masduqi, ST., MT., dan Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., MT., selaku dosen pengarah atas segala saran dan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan moral maupun materil kepada saya.
4. Teman – teman saya yang secara langsung maupun tidak langsung membantu saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Laporan ini telah disusun dengan sebaik mungkin. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat yang berguna bagi pembaca dan penyusun.

Surabaya, 26 Juni 2020

Penulis

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Studi Literatur	3
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaat Studi Literatur	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Biogas.....	5
2.2 Limbah Rumah Makan.....	8
2.2.1 Karakteristik Limbah Rumah Makan.....	9
2.3 Limbah Minyak dan Lemak.....	10
2.3.1 Pengolahan Limbah Minyak dan Lemak	13
2.3.1.1 Pengolahan Fisik	13
2.3.1.2 Pengolahan Biologis	14
2.3.1.3 Pengolahan Kimia.....	14
2.4 Pengolahan Secara Anaerobik.....	15
2.4.1 Prinsip Kerja Perombakan Anaerobik.....	17
2.4.2 Proses Degradasi Limbah Minyak dan Lemak	19
2.4.3 Faktor Yang Mempengaruhi Perombakan Anaerobik	20

2.4.4	Faktor ketidakseimbangan proses perombakan anaerobik	25
2.4.5	Tipe Digester.....	26
2.5	<i>Co-Digestion</i>	27
2.5.1	Sampah Organik.....	29
2.5.2	Lumpur limbah domestik.....	31
2.5.3	Kotoran ternak	32
2.6	Produksi Biogas	33
BAB 3	METODE PENULISAN	39
3.1	Kerangka Studi	39
3.2	Metode Studi	41
3.2.1	Kajian Pustaka	41
3.2.2	Studi Kasus.....	41
3.3	Sistematika Penulisan.....	41
BAB 4	STUDI KASUS	43
4.1	Karakteristik Awal Limbah Minyak dan Lemak Rumah Makan	43
4.2	Perlakuan Minyak dan Lemak Limbah Rumah Makan ...	44
4.2.1	Perombakan Tunggal Limbah Minyak dan Lemak	44
4.2.2	Pengaturan pH.....	45
4.2.3	Penambahan Sampah Makanan dan/atau Lumpur Limbah Domestik	45
4.2.4	Pengaturan Suhu Mesofilik dan Termofilik	47
4.3	Produksi Biogas	48
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran.....	55
	DAFTAR PUSTAKA.....	57

BIOGRAFI PENULIS 71

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Akumulasi Produksi Biogas Berdasarkan Suhu	21
Gambar 3.1 Kerangka Studi Literatur	39
Gambar 4.1 Grafik Produksi Biogas Substrat Tunggal Limbah Minyak Dan Lemak	49
Gambar 4.2 Grafik Produksi Biogas <i>Co-Digestion</i> pada Suhu Mesofilik	51
Gambar 4.3 Grafik Produksi Biogas <i>Co-Digestion</i> pada Suhu Termofilik.....	51

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Biogas	5
Tabel 2.2	Nilai Kalori Biogas dan Bahan Bakar Lain.....	7
Tabel 2.3	Penyeteraan 1 m ³ Biogas Dengan Bahan Bakar Lain	8
Tabel 2.4	Baku Mutu Air Limbah	9
Tabel 2.5	Karakteristik Awal Limbah Industri Rumah Makan....	10
Tabel 2.6	Karakteristik Limbah Minyak dan Lemak Rumah Makan	13
Tabel 2.7	Kondisi Pengoperasian Proses Perombakan Anaerobik.....	16
Tabel 2.8	Karakteristik Biostarter atau Inokulum Kotoran Ternak	25
Tabel 2.9	Potensi Gas dan Metana Untuk Beberapa Substrat	28
Tabel 2.10	Perombakan Anaerobik Limbah Minyak dan Lemak Rumah Makan	29
Tabel 2.11	<i>Co-Digestion</i> Sampah Makanan dengan Limbah Minyak dan Lemak	30
Tabel 2.12	Karakteristik Sampah Makanan	31
Tabel 2.13	<i>Co-Digestion</i> Sampah Makanan dengan Limbah Minyak dan Lemak	32
Tabel 2.14	Karakteristik Lumpur Limbah Domestik Berdasar <i>Proxymate Analysis</i>	32
Tabel 4.1	Karakteristik Awal Limbah Minyak dan Lemak Rumah Makan	44
Tabel 4.2	Perlakuan reaktor dengan substrat tunggal minyak dan lemak	44
Tabel 4.3	Karakteristik Awal Sampah Makanan.....	46
Tabel 4.4	Karakteristik Awal Lumpur Limbah Domestik.....	47
Tabel 4.5	Peningkatan Produksi Biogas Berdasarkan Suhu	47
Tabel 4.6	Karakteristik Substrat <i>Co-Digestion</i> dengan Sampah Makanan	48
Tabel 4.7	Karakteristik Substrat <i>Co-Digestion</i> dengan Lumpur Limbah Domestik.....	48
Tabel 4.8	Produksi Biogas Pada Perombakan Anaerobik Substrat Tunggal Limbah Minyak Dan Lemak	49
Tabel 4.9	Produksi Biogas Pada <i>Co-Digestion</i> Limbah Minyak dan Lemak Suhu Mesofilik	50

Tabel 4.10 Produksi Biogas Pada Co-Digestion Limbah Minyak dan Lemak Suhu Termofilik.....	50
---	----

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri rumah makan sangat berkembang pesat di Indonesia terutama pada kota-kota besar, karena industri rumah makan merupakan salah satu dari beberapa sektor industri yang sangat potensial seiring dengan semakin bervariasinya permintaan masyarakat akan makanan dan minuman. Semakin banyaknya usaha rumah makan, maka limbah yang dihasilkan juga akan semakin bertambah, terutama limbah organik dan akan menjadi suatu permasalahan yang perlu diperhatikan.

Limbah rumah makan bisa berasal dari dapur, yakni bagian dari sayuran, buah dan bahan makanan lain yang tidak termasak dan memang harus dibuang, bisa juga sisa makanan yang tidak habis disantap para tamu (Nugroho *et al.*, 2007). Saat ini pencemar paling dominan di badan air adalah air limbah domestik yang presentasinya bisa mencapai 60 – 70%. Air limbah domestik terdiri dari parameter BOD, TSS, pH, minyak dan lemak yang apabila keseluruhan parameter tersebut dibuang langsung ke badan air, akan mengakibatkan pencemaran air (Filliazati *et al.*, 2013).

Limbah yang mengandung banyak konsentrasi minyak dan lemak berpotensi untuk menyebabkan masalah pada sistem pembuangan air limbah. Minyak dan lemak pada suhu rendah akan terbentuk menjadi padat, hal ini menyebabkan tersumbatnya saluran pembuangan dan menyebabkan masalah pada sistem pengolahan air limbah (Harvianto dan Ulfasha, 2012). Minyak dan lemak yang memasuki sistem pembuangan air limbah dapat menyebabkan beberapa masalah seperti menyumbat saluran dengan mengurangi kapasitas, menghambat, dan merusak pipa, kemudian jika tidak benar – benar di hilangkan dan ditangani minyak dan lemak dapat mengikat dan mengurangi oksigen pada perairan, kapasitas dan energi tambahan diperlukan pada pekerjaan pengolahan air limbah untuk menangani kelebihan minyak dan lemak yang memasuki sistem (Arthur dan Blanc, 2013).

Salah satu cara penanganan masalah tersebut adalah dengan memanfaatkan minyak dan lemak limbah rumah makan

menjadi sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, murah dan mudah diperoleh dari lingkungan sekitar yaitu energi biogas. Biogas sendiri memiliki kandungan energi tinggi yang tidak kalah dari kandungan energi dari bahan bakar fosil. Nilai kalori dari 1 m³ biogas setara dengan 0.6-0.8 liter minyak tanah. Biogas sangat cocok untuk menggantikan minyak tanah, LPG, dan bahan bakar fosil lainnya. Dan biogas memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Sifatnya yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui merupakan keunggulan dari biogas dibandingkan dengan bahan bakar fosil (Triakuntini *et al.*, 2013).

Berbagai teknik pengolahan limbah organik menjadi biogas dan produk alternatif lainnya telah dicoba dan dikembangkan, salah satunya adalah teknologi biokonversi (digester) anaerob yang merupakan teknologi sederhana, mudah dipraktekkan, dengan peralatan relatif murah dan mudah didapat (Santoso, 2010). Menurut Lenny dan Purnomo (2015), Peruraian anaerobik (*anaerobic digestion*) merupakan salah satu metode pengolahan limbah secara biologis yang memiliki keunggulan berupa dihasilkannya energi lewat pembentukan gas metana.

Berdasarkan hal-hal tersebut maka dilakukan studi literatur untuk mengkaji tentang produksi biogas yang dihasilkan dari minyak dan lemak limbah industri rumah makan. Hasil dari produksi biogas pada studi ini dapat digunakan sebagai acuan untuk pengolahan dan pemanfaatan limbah minyak dan lemak rumah makan menjadi biogas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan tersebut, maka pada studi literatur ini dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah produksi biogas dari minyak dan lemak limbah industri rumah makan?
2. Bagaimanakah pengaruh suhu dan variasi substrat terhadap produksi biogas dari minyak dan lemak limbah industri rumah makan?

1.3 Tujuan Studi Literatur

Tujuan yang ingin dicapai dalam studi literatur ini adalah :

1. Menentukan produksi biogas yang dihasilkan dari minyak dan lemak limbah industri rumah makan.
2. Menentukan pengaruh suhu dan variasi substrat terhadap produksi biogas dari minyak dan lemak limbah industri rumah makan berdasarkan studi kasus yang diambil.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari tugas akhir ini adalah:

1. Dalam studi literatur ini limbah yang dibahas adalah limbah minyak dan lemak industri rumah makan
2. Pembahasan mengenai produksi biogas serta pengaruh suhu dan variasi substrat pada limbah minyak dan lemak industri rumah makan
3. Studi kasus yang digunakan menggunakan data sekunder dari jurnal atau literatur
4. Jenis referensi produksi biogas dari minyak dan lemak limbah industri rumah makan ini berasal dari literatur

1.5 Manfaat Studi Literatur

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah :

1. Memberikan sumbangan ilmu pengetahuan tentang produksi biogas dari pemanfaatan minyak dan lemak limbah industri khususnya industri rumah makan
2. Memberi saran kepada masyarakat pada umumnya serta para pelaku industri rumah makan khususnya sebagai bahan pertimbangan dalam pengelolaan limbah yang dihasilkannya.
3. Sebagai salah satu upaya pengembangan teknologi untuk peningkatan sumber-sumber energi terbarukan. Mendukung kebijakan pemerintah di sektor energi sebagai upaya pemenuhan kebutuhan energi masyarakat yang ramah lingkungan serta dapat mengurangi efek pencemaran.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Biogas

Biogas adalah bahan bakar berguna yang dapat diperoleh dengan memproses limbah (sisa) yang basah, kotoran hewan dan manusia atau campurannya, yang dihasilkan dari suatu proses fermentasi bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen atau anaerobik, Biogas merupakan gas yang tidak berbau, tidak beracun dan tidak menimbulkan asap hitam serta mudah terbakar dan amat ideal sebagai sumber energi baru (Harahap *et al.*, 1980). Biogas merupakan hasil perubahan secara mikrobiologi pada bahan organik menjadi metana (CH_4) melalui proses pencernaan anaerob, atau dengan kondisi tanpa adanya ketersediaan oksigen (O_2). Selama proses anaerob terdapat hasil lain dari bahan organik tercerna pada biogas dinamakan sebagai *digeste*, atau biomassa tercerna (Ford, 2012).

Dari proses tersebut dihasilkan campuran biogas yang terdiri atas, metana (CH_4), karbon dioksida, hidrogen, nitrogen dan gas lain seperti H_2S . Metana yang dikandung biogas ini jumlahnya antara 54 – 70%, sedang karbon dioksidanya antara 27 – 43%. Gas-gas lainnya memiliki persentase hanya sedikit saja (Setiawan, 2004). Suhu yang baik untuk proses fermentasi ini adalah dari 30°C hingga kira-kira 55°C.

Komponen biogas adalah metan sebesar $\pm 60\%$, karbondioksida $\pm 38\%$, dan $\pm 2\%$ N_2 , O_2 , H_2 , dan H_2S . Biogas dapat dibakar seperti elpiji dan dalam skala besar biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan (Munazah *et al.*, 2008). kemudian persen komposisi dari biogas menurut Kadir (1995), dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Komposisi Biogas

Penjelasan	Rumus	Presentase
Metan	CH_4	55-65%
Karbondioksida	CO_2	36-45%
Nitrogen	N_2	0-3%
Hidrogen	H_2	0-1%

Penjelasan	Rumus	Presentase
Oksigen	O ₂	0-1%
Hidrogen Sulfida	H ₂ S	0-1%

Sumber : Energi Resources Development Series No. 19, Escap, Bangkok (Kadir, 1995)

Biogas sebenarnya adalah gas metana (CH₄), gas metana sendiri bersifat tidak berbau, tidak berwarna dan sangat mudah terbakar serta dalam pengapian berwarna biru (Dewanto, 2008). Penggunaan biogas sebagai energi alternatif tidak menghasilkan polusi, disamping berguna menyehatkan lingkungan karena mencegah penumpukan limbah sebagai sumber penyakit, bakteri, dan polusi udara. Keunggulan biogas adalah karena konstruksi digester sederhana, hemat ruang, awet, mudah perawatan dan penggunaannya, dan dihasilkan lumpur kompos maupun pupuk cair (Abdullah *et al.*, 1991).

Gas metana (CH₄) yang merupakan komponen utama biogas merupakan bahan bakar yang berguna karena mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi. Karena nilai kalor yang cukup tinggi itulah biogas dapat dipergunakan untuk keperluan penerangan, memasak, menggerakkan mesin dan sebagainya (Abdullah *et al.*, 1991). Sistem produksi biogas juga mempunyai beberapa keuntungan seperti (a) mengurangi pengaruh gas rumah kaca, (b) mengurangi polusi bau yang tidak sedap, (c) sebagai pupuk dan (d) produksi daya dan panas (Koopmans, 1998; UN, 1980; Yapp *et al.*, 2005 dalam Nurhasanah *et al.*, 2006).

Menurut Ginting (2007), Energi biogas mengandung nilai kalori lebih dari bahan bakar lainnya, artinya akan lebih banyak panas yang dihasilkan untuk memasak dan lebih cepat proses masak tersebut. Dalam pemakaian biogas, bau akan limbah akan berkurang karena proses penguraian bahan organik yang berlangsung.

Tabel 2. 2 Nilai Kalori Biogas dan Bahan Bakar Lain

Bahan Bakar	Nilai Kalori (KJ/Kg)
Biogas	15000
Kayu	2400
Arang	7000
Minyak Tanah	8000

Sumber: Ginting, 2007.

Pengolahan Limbah menjadi biogas sangatlah berpotensi dalam beberapa hal, salah satunya adalah penerapan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*). Salah satu prinsip yaitu *recycle* adalah proses daur ulang dari limbah yang telah dihasilkan sehingga bisa dimanfaatkan untuk kepentingan lain tanpa mengurangi produksi. Pemahaman daur ulang selama ini lebih menekankan aspek kepentingan ekonomi semata, padahal persepsi daur ulang tidak hanya terfokus kepada kepentingan ekonomi tapi juga kemanfaatan untuk aspek yang lebih luas. (Nasih dan Saputro, 2015).

Biogas yang dimanfaatkan dan dikembangkan sebagai energi alternatif memiliki manfaat seperti (Wahyuni, 2013):

1. Membantu menurunkan emisi gas rumah kaca yang bermanfaat untuk menghambat laju pemanasan global
2. Menghemat pengeluaran masyarakat terhadap konsumsi bahan bakar minyak tanah/kayu bakar serta dapat dikembangkan sebagai pembangkit listrik
3. Meningkatkan produktifitas masyarakat karena limbah biogas dapat dijadikan pupuk organik yang berkualitas.
4. Meringankan beban keuangan negara karena subsidi BBM dan pupuk akan berkurang.
5. Dapat mengurangi pencemaran lingkungan.
6. Membuka lapangan kerja baru.

Kemurnian metana (CH₄) dari produk biogas tersebut menjadi penting karena mempengaruhi nilai kalor yang dihasilkan. Dalam hal ini impuritas yang berpengaruh terhadap nilai kalor adalah karbondioksida (CO₂). Keberadaan CO₂ dalam gas CH₄ sangat tidak diinginkan, hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar CO₂ dalam CH₄ maka semakin menurunkan nilai kalor CH₄

ditunjukkan dengan warna merah kekuningan pada api yang dihasilkan (Burke, 2001) Banyak teknologi yang telah dikembangkan untuk pemurnian biogas dari CO₂ ini. Teknologi ini meliputi absorpsi kimia, absorpsi fisik, *cryogenic*, pemurnian dengan menggunakan membran dan fiksasi CO₂ dengan metode biologi atau kimia. Salah satu cara termudah dan termurah dalam pemurnian biogas yaitu melibatkan penggunaan air bertekanan sebagai penyerap (metode absorpsi) (Kapdi *et al.*,2005)

Pemanfaatan biogas memegang peranan penting dalam manajemen limbah karena metana merupakan gas rumah kaca yang lebih berbahaya dalam pemanasan global apabila dibandingkan dengan karbondioksida. Energi biogas bisa disetarakan dengan energi dari bahan bakar lain. Penyetaraan energi tersebut dapat dilihat di Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Penyetaraan 1 m³ Biogas Dengan Bahan Bakar Lain

Bahan bakar lain	Volume	Satuan
Elpiji	0,46	kg
Minyak Tanah	0,62	liter
Minyak Solar	0,52	liter
Bensin	0,8	liter
Gas kota	1,5	m ³
Kayu bakar	3,5	kg

Sumber: Wahyuni, 2013.

2.2 Limbah Rumah Makan

Limbah rumah makan adalah limbah yang berasal dari kegiatan operasional suatu rumah makan, yakni mulai dari proses mempersiapkan bahan makanan yang meliputi pemilahan dan pencucian bahan baku, pada proses pengolahan makanan, serta proses pembersihan peralatan memasak dan peralatan makan sesudah selesai makan dan pada akhir kegiatan setiap hari. Menurut Widyaningsih (2011), bahan buangan yang biasanya terdapat dalam limbah rumah makan adalah bahan buangan organik dan olahan bahan makanan/minuman. Bahan buangan organik umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau

terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga bila dibuang ke perairan akan menaikkan populasi.

Menurut Unnithan (2008), limbah buangan *biodegradable* yang berasal dari limbah dapur di dunia adalah 25% atau kurang lebih 300 milyar kg dalam setahun. Dari jumlah tersebut dapat dibuat 150 milyar meter kubik biogas. Dengan demikian penggunaan biogas dari limbah dapur ini akan berarti suatu pengurangan konsumsi 150 milyar kg LPG, 210 milyar liter minyak tanah, 510 milyar kg arang dan 1.220 milyar kg kayu. Energi panas yang dihasilkan dari biogas tersebut adalah satu milyar megawatt.

Malakahmad *et al.* (2009), menyatakan dengan perbandingan proporsi dari 75% limbah dapur dan 25% lumpur aktif yang dicampur dan diuji dalam reaktor dapat menghasilkan produksi gas metana yang terbaik dalam waktu yang singkat yaitu dihasilkan gas metana sebanyak 74%.

2.2.1 Karakteristik Limbah Rumah Makan

Kontaminan utama limbah cair rumah makan berasal dari bahan makanan, proses memasak dan tahap pembersihan peralatan, dan dari toilet. Dengan demikian limbah rumah makan berupa bahan – bahan organik, dan bahan pencuci (sabun/deterjen). Senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair rumah makan berupa karbohidrat, protein, lemak, dan minyak.

Untuk menentukan besarnya kandungan bahan organik digunakan beberapa teknik pengujian seperti BOD, COD, dan TSS. Uji BOD merupakan parameter yang sering digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran bahan organik, baik dari industri ataupun dari rumah tangga. Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, baku mutu untuk industri rumah makan dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Konsentrasi Maksimum (mg/l)
BOD ₅	30
COD	50
TSS	50
Minyak dan Lemak	10
pH	6 - 9

Menurut Mardianto *et al.* (2014), karakteristik awal dari limbah industri rumah makan dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Karakteristik Awal Limbah Industri Rumah Makan

Parameter	Konsentrasi
TSS	312 mg/l
pH	5,31
COD	603,8 mg/l
BOD	118,6 mg/l
Minyak dan Lemak	315 mg/l

Berdasarkan data karakteristik awal tersebut, limbah rumah makan dapat dikategorikan sebagai biodegradable karena memiliki ratio BOD/COD sebesar 0,2. Menurut Samudro dan Mangkoedihardjo (2010), zat organik termasuk zona biodegradable apabila memiliki ratio BOD/COD diantara 0,1 – 1,0 dan apabila ratio BOD/COD dibawah 0,1 maka zat organik tersebut sudah dinilai toksik. Zona biodegradable sendiri adalah batasan bahan organik yang dapat terurai oleh mikroba dalam kondisi perawatan alami dan buatan manusia. Rasio BOD/COD merupakan indikator hasil yang disebabkan dari efek bahan organik yang mengandung beberapa material (terutama air, air limbah, lindi, kompos dan bahan serupa lainnya) dalam komponen lingkungan alami dan lingkungan buatan manusia (sumber daya air, lahan basah, tanah, TPA limbah padat, lahan pertanian, kolam stabilisasi, pengolahan air dan air limbah dan komponen serupa lainnya).

2.3 Limbah Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan senyawa organik yang berasal dari alam dan tidak dapat larut di dalam air namun dapat larut dalam pelarut organik non-polar. Minyak dan lemak dapat larut karena memiliki polaritas yang sama dengan pelarut organik non-polar, contohnya adalah dietil eter ($C_2H_5OC_2H_5$), kloroform ($CHCl_3$), dan benzena (Herlina and Ginting, 2002). Minyak dan lemak termasuk salah satu anggota golongan lipid yaitu merupakan lipid netral (Ketaren, 1986). Berdasarkan sifat fisiknya, minyak dan lemak merupakan senyawa yang tak larut dalam air

yang diestrak dari organisme hidup menggunakan pelarut yang kepolarannya lemah atau pelarut non polar (Ngili, 2009). Minyak dan lemak merupakan campuran lipid yang terdiri dari triacylglycerols 95% dan sisanya adalah *diacylglycerols*, *monoacylglycerols* dan *free fatty acids* (FFA) (Gunstone, 2004).

Limbah Minyak dan Lemak adalah limbah yang kaya lipid yang dihasilkan dari banyak sumber termasuk industri makanan, hotel, restoran dan bahkan apartemen bertingkat yang menyimpan banyak keluarga. Komposisi limbah minyak dan lemak banyak mengandung senyawa yang dapat didegradasi seperti minyak yang diperoleh dari praktik memasak, daging dalam berbagai bentuk (misalnya saus, hidangan, dan limbah mentah), bahan panggang, produk susu (misalnya keju, susu, mentega, dan yoghurt), dan minuman (Sedghami *et al*, 2019).

Limbah minyak dan lemak utamanya terdiri dari asam lemak bebas, *triacylglycerols* (TAG), ester, lilin, fosfolipid, sterol dan ester sterol. Di antaranya, asam lemak bebas sangat penting karena proporsi tinggi yang signifikan dan menunjukkan reaktivitas kimia selama proses konversi. Biasanya, limbah minyak dan lemak yang diperoleh dari restoran mengandung sekitar 15% asam lemak bebas, yang sepenuhnya tergantung pada sumber limbah minyak dan lemak. Berdasarkan konten asam lemak bebas, limbah minyak dan lemak dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelompok utama, yaitu *yellow grease* (kurang dari 15% asam lemak bebas) dan *brown grease* (di atas 15% asam lemak bebas) (Canakci, 2007).

Limbah cair dari rumah makan biasanya mengandung konsentrasi minyak dan lemak yang cukup tinggi, dan di Indonesia masih ada beberapa rumah makan yang langsung membuang limbahnya langsung ke sungai padahal hal tersebut sudah dilarang oleh pemerintah. Sehingga limbah tersebut perlu diolah terlebih dahulu. Menurut X. He *et al.* (2011) Setelah mengalir ke sistem pengumpulan, minyak dan lemak dalam air limbah dapat menumpuk di dinding pipa, dan berpotensi membentuk endapan yang mengeras melalui reaksi kimia atau proses agregasi fisik.

Telah dilaporkan bahwa 47% penyumbatan dan 50-75% dari luapan saluran pembuangan disebabkan oleh minyak dan lemak yang menyebabkan kapasitas angkut yang berkurang (Wu *et al.*, 2018). Oleh karena itu, sebelum air limbah rumah makan dibuang ke sistem pengumpulan, *grease trap* biasanya dipasang di dalam

perusahaan layanan makanan untuk mengumpulkan limbah minyak dan lemak.

Grease traps biasanya digunakan oleh industri yang memproduksi minyak dan lemak untuk mengurangi konsentrasi minyak dan lemak yang masuk ke sistem pengumpulan dan perawatan. Grease trap biasanya berupa lemari besi yang terletak di bagian luar sebuah bangunan. Ini memungkinkan air limbah mendingin, sehingga minyak dan lemak membeku dan naik ke permukaan tempat minyak dan lemak terakumulasi sampai perangkap minyak sudah dibersihkan (Tang *et al.*, 2012). Menurut Kabouris *et al* (2009), minyak dan lemak pada *grease trap* mengandung pengotor dalam jumlah yang cukup besar, dan beberapa pengotor lain selain lemak merupakan karbohidrat (15% dari VS) dan protein (7% dari VS).

Menurut Maharani (2017), Minyak dan lemak dapat berbahaya bagi lingkungan apabila melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Minyak dan lemak yang terdapat di perairan akan berada di lapisan permukaan karena memiliki massa jenis yang lebih rendah dari air. Lapisan minyak dan lemak yang terakumulasi akan menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam air sehingga tumbuhan air tidak mampu melakukan fotosintesis. Selain itu, minyak dan lemak mampu mengikat oksigen yang dibutuhkan biota air untuk respirasi.

Kandungan lemak memiliki potensi gas metana yang cukup tinggi, yaitu sekitar $1014 \text{ L (kg VS)}^{-1}$. Angka tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan karbohidrat ($370 \text{ L (kg VS)}^{-1}$ untuk glukosa) dan protein ($740 \text{ L (kg VS)}^{-1}$) (Angelidaki dan Sanders, 2004 ; Wan *et al.*, 2011).

Limbah minyak dan lemak yang dikumpulkan dari industri jasa makanan telah dikutip mampu meningkatkan produksi biogas sebesar 30% atau lebih ketika ditambahkan secara langsung ke digester anaerob dan dapat memungkinkan pabrik pengolahan air limbah memenuhi lebih dari 50% dari kebutuhan listrik mereka melalui pembangkit *on site*. (Long *et al.*, 2012). Karakteristik dari limbah minyak dan lemak rumah makan dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Karakteristik Limbah Minyak dan Lemak Rumah Makan

COD (g/L)	pH	TS (g/L)	VS (g/L)	Ref
148	6	76,3	75,9	Sandriaty <i>et al.</i> , 2018
101,2	3,65	76,2	72,1	Wu <i>et al.</i> , 2011
120,2	4,11	83,5	55,9	Yalcinkaya dan Malina, 2015
-	4,2	32	30,1	Wan <i>et al.</i> , 2011

2.3.1 Pengolahan Limbah Minyak dan Lemak

Menurut Safitri (2016), jenis pengolahan limbah secara umum terdapat tiga macam yaitu secara fisik, kimia, dan biologi. Pemilihan jenis dari pengolahan didasari dari beberapa faktor yaitu (Metcalf dan Eddy, 2014):

- Kemampuan proses pengolahan
- Karakteristik influen air limbah
- Kondisi lingkungan pengolahan limbah
- Analisis siklus ekonomi
- Ketersediaan lahan

2.3.1.1 Pengolahan Fisik

Pengolahan fisik merupakan jenis pengolahan limbah dengan memanfaatkan aktivitas fisik. Pengolahan fisik bertujuan untuk menghilangkan partikel – partikel yang berukuran besar (Safitri, 2016). Berikut contoh dari pengolahan minyak dan lemak limbah industri rumah makan secara fisik:

- **Grease trap**

Grease trap merupakan alat yang telah cukup dikenal sebagai *pre-treatment*. Alat ini merupakan alat penahan minyak dan lemak dan mecegahnya sampai ke tempat pembuangan limbah. Penahan beroperasi dengan menggunakan sejumlah ruang penyekat untuk memperlambat aliran limbah saat melintasi alat ini. (Zaharah *et al.*, 2017).

- **Adsorpsi**

Adsorpsi merupakan proses fisika dan/atau proses kimia dimana substansi terakumulasi pada suatu lapisan permukaan zat yang menyerap (adsorben). Terdapat berbagai jenis adsorben yang dapat digunakan antara lain

karbon aktif, *fly ash*, serbuk kayu, ampas tebu, maupun kulit jagung (Abuzar *et al.*, 2012)

- **Flotasi**

Flotasi merupakan salah satu metode untuk memisahkan atau menghilangkan minyak teremulsikan pada air limbah. Tekanan udara dan reaksi dengan oksigen akan membuat minyak terflotasi. Penurunan konsentrasi minyak dan lemak akan berbanding terbalik dengan pertambahan waktu kontak (Suyasa dan Arsa, 2013).

2.3.1.2 Pengolahan Biologis

Pengolahan biologis merupakan pengolahan limbah dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme atau biologis. Metcalf dan Eddy (2014), mengatakan bahwa mikroorganisme mampu mengubah substrat organik menjadi gas yang terlepas ke atmosfer dan menjadi lumpur aktif. Berikut adalah contoh dari pengolahan minyak dan lemak limbah rumah makan secara biologis:

- **Anaerobic membran Bioreactor (AnMBR)**

Unit ini merupakan unit pengolahan dengan menggunakan penyaringan membran dalam kondisi anaerobik. Unit AnMBR memiliki kemampuan mengolah senyawa organik yang lambat terurai dengan bantuan biomassa sehingga kualitas effluennya baik. Selain itu AnMBR menghasilkan lumpur dalam jumlah yang relatif kecil (Diez *et al.*, 2012).

- **Anaerobic Co-Digestion**

Unit ini mampu mendegradasi komponen minyak dan lemak yang terdapat dalam limbah. Terjadi produksi biogas apabila menggunakan unit ini, untuk memperbanyak produk biogas yang dihasilkan perlu dilakukan *pre-treatment*.

2.3.1.3 Pengolahan Kimia

Pengolahan kimia adalah pengolahan limbah dengan menggunakan bahan kimia untuk menurunkan konsentrasi polutan. Salah satu contoh pengolahan minyak dan lemak secara kimia adalah koagulasi (Safitri, 2016). Koagulasi merupakan proses pengolahan yang dapat menstabilkan partikel-partikel koloid dengan cara membentuk partikel menjadi partikel yang

dapat diendapkan sehingga dapat dipisahkan. (Metcalf dan Eddy, 2014).

2.4 Pengolahan Secara Anaerobik

Pengendalian limbah organik secara biologis dapat dilakukan dengan proses aerob dan anaerob. Proses anaerob mampu merombak senyawa organik yang terkandung dalam limbah sampai batas tertentu yang dilanjutkan dengan proses aerob secara alami atau dengan bantuan mekanik. Perombakan senyawa organik tersebut akan menghasilkan gas metana, karbon dioksida yang merupakan hasil kerja dari mikroba asetonogenik dan metanogenik. Berbagai sistem dan jenis air buangan telah dikembangkan dan diteliti, yang semuanya bertujuan untuk memberi perlindungan terhadap lingkungan dan dari beberapa penelitian tersebut diketahui bahwa proses anaerobik memberikan hasil yang lebih baik untuk mengolah limbah dengan kadar COD yang lebih tinggi (Manurung, 2004).

Proses anaerob mempunyai banyak keunggulan bila dibandingkan dengan proses aerob antara lain tidak membutuhkan energi untuk aerasi, lumpur atau sludge yang dihasilkan sedikit, polutan yang berupa bahan organik hampir semuanya dikonversi ke bentuk biogas (gas metan) yang mempunyai nilai kalor cukup tinggi. Kelemahan proses degradasi ini adalah kemampuan pertumbuhan bakteri metan sangat rendah, membutuhkan waktu dua sampai lima hari untuk penggandaannya, sehingga membutuhkan reaktor yang bervolume cukup besar (Mahajoeno *et al.*, 2008).

Mikrobia merupakan salah satu faktor kunci yang ikut menentukan berhasil tidaknya suatu proses penanganan limbah cair organik secara biologi. Keberadaannya sangat diperlukan untuk berbagai tahapan dalam perombakan bahan organik. Efektifitas biodegradasi limbah organik menjadi metana membutuhkan aktifitas metabolik yang terkoordinasi dari populasi mikrobia yang berbeda-beda (Jenie dan Winiati, 1993).

Beberapa fungi (jamur) dan protozoa dapat ditemukan pada penguraian secara anaerobik, tetapi mikroorganisme yang paling dominan bekerja didalam proses penguraian secara anaerobik adalah bakteri. Sejumlah besar bakteri anaerobik dan fakultatif yang terlibat dalam proses hidrolisis dan fermentasi

senyawa organik antara lain adalah *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*. Bakteri asidogenik (pembentuk asam) seperti *Clostridium*, bakteri asetogenik (bakteri yang memproduksi asetat dan H₂) seperti *Syntrobacter wolinii* dan *Syntrophomonas wolfei*.

Penguraian senyawa organik seperti karbohidrat, lemak dan protein yang terdapat dalam limbah cair dengan proses anaerobik akan menghasilkan biogas yang mengandung metana (50-70%), CO₂ (25-45%) dan sejumlah kecil nitrogen, hidrogen dan hidrogen sulfida (Manurung, 2004).

Pembentukan asam dari senyawa organik sederhana (monomer) dilakukan oleh bakteri penghasil asam yang terdiri dari sub divisi acids/farming bacteria dan asetogenik bakteri. Asam propionat dan butirat diuraikan oleh asetogenik bakteri menjadi asam asetat. Pembentukan metana dilakukan oleh bakteri penghasil metana yang terdiri dari sub divisi asetoklastik methane *bacteria* yang menguraikan asam asetat menjadi metana dan karbon dioksida. Karbon dioksida dan hidrogen yang terbentuk dari reaksi penguraian di atas, disintesa oleh bakteri pembentuk metana menjadi metana dan air (Manurung, 2004).

Proses anaerobik sendiri dapat berlangsung dibawah kondisi lingkungan yang luas meskipun proses yang optimal terjadi pada kondisi yang terbatas. Kondisi pengoperasian perombakan anaerobik dapat dilihat pada Tabel 2.7.

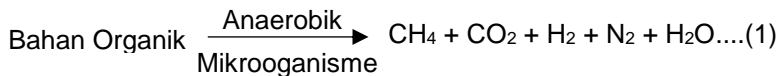
Tabel 2. 7 Kondisi Pengoperasian Proses Perombakan Anaerobik

Parameter	Nilai
Temperatur	
Mesofilik	30-35°C
Termofilik	54°C
pH	7-8
Alkalinitas	2500 mg/L minimum
Waktu retensi	10 - 30 hari
Laju terjenuhkan	0,15 - 0,35 kg VS/m ³ /hari
Hasil Biogas	4,5 - 11 m ³ kg VS
Kandungan Metana	60-70%

Sumber: Engler et al., (2000)

2.4.1 Prinsip Kerja Perombakan Anaerobik

Anaerobic digestion atau biasa dikenal dengan pengolahan anaerobik merupakan proses suatu proses biologis dengan menggunakan mikroorganisme yang bertujuan untuk menghasilkan biogas. Biogas biasanya terdiri dari gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Proses pengolahan ini disebut anaerobik karena mikroorganisme yang digunakan tidak memerlukan oksigen dalam proses pengolahan tersebut. Pengolahan anaerobik biasanya digunakan untuk mengolah limbah organik seperti makanan atau kotoran hewan. Reaksi sederhana yang terjadi selama proses pengolahan dengan menggunakan Pengolahan anaerobik dapat dilihat pada reaksi (1) (Manurung, 2004).

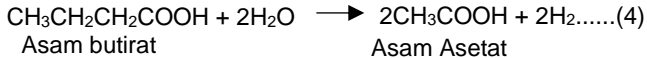
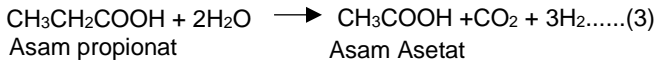


Menurut Adrianto (2003), biogas diproduksi dibawah kondisi dekomposisi anaerobik melalui tiga tahap :

1. **Hidrolisis** : Mikrobia hidrolitik mendegradasi senyawa organik kompleks yang berupa polimer (lemak, protein, dan karbohidrat) menjadi monomernya yang berupa senyawa tak terlarut dengan berat molekul yang lebih ringan. Proses hidrolisis membutuhkan mediasi *exo-enzim* yang dieksresi oleh bakteri fermentatif . Hidrolisis molekul kompleks dikatalisasi oleh enzim ekstra seluler seperti selulase, protease, dan lipase. Walaupun demikian proses penguraian anaerobik sangat lambat dan menjadi terbatas dalam penguraian limbah sellulolitik yang mengandung lignin (Munazah et al., 2008).
2. **Pembentukan asam (Asidogenesis)** : bakteri pembentuk asam yang merombak senyawa - senyawa organik menjadi senyawa-senyawa organik sederhana seperti asam lemak volatil, alkohol, asam laktat, senyawa - senyawa mineral seperti karbondioksida, hidrogen, amoniak, dan gas hidrogen sulfida.. Tahap ini dilakukan oleh berbagai kelompok bakteri,

mayoritasnya adalah bakteri obligat anaerob dan sebagian yang lain bakteri anaerob fakultatif.

3. **Asetagenesis** : Hasil asidogenesis dikonversi menjadi hasil akhir bagi produksi metana yang berupa asam asetat, hidrogen, dan karbondioksida. Pembentukan asam asetat kadang-kadang disertai dengan pembentukan gas karbondioksida atau hidrogen, tergantung kondisi oksidasi dari bahan organik aslinya. Etanol, asam propionat, dan asam butirat diubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetagenesis dengan reaksi sebagai berikut:

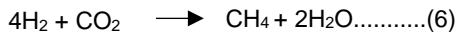


4. **Pembentukan metana (Metanogenesis)** : bakteri pembentuk metana memanfaatkan asam-asam ini untuk membentuk metana (CH₄) (Veziroglu, 1991). Bakteri tersebut hanya mengkonsumsi asam format, asam asetat, methanol, hidrogen dan karbondioksida sebagai substrat. Reaksi kimia pembentukan metana dari asam asetat dan reduksi CO₂ dapat dilihat pada persamaan reaksi berikut:

Asetotropik metanogenesis :



Hidrogenotropik metanogenesis :

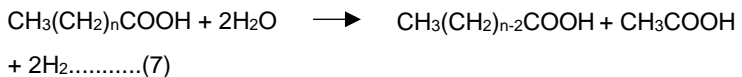


Tiga tahap di atas disebut sebagai fermentasi asam sedangkan tahap keempat disebut fermentasi metanogenesis.

Berbagai studi tentang digesti anaerob pada berbagai ekosistem menunjukkan bahwa 70 % atau lebih metana yang terbentuk diperoleh dari asetat (pers.5). Asetat merupakan intermediet kunci seluruh fermentasi pada berbagai ekosistem tersebut. Hanya sekitar 30 % bahan organik yang dikonversi menjadi metana melalui jalur hidrogenotropik dari reduksi CO₂ menggunakan H₂ (pers.6).(Maramba, 1978).

2.4.2 Proses Degradasi Limbah Minyak dan Lemak

Rantai lemak asam panjang merupakan komponen utama dari limbah minyak dan lemak, kemudian terdegradasi secara anaerob melalui jalur β-oksidasi ke asetat dan H₂, yang kemudian dikonversi menjadi metana. β-oksidasi dimulai ketika asam lemak diaktifkan dengan koenzim A dan oksidasi yang dihasilkan mengarah pada pelepasan *acetyl-CoA* dan pembentukan rantai asam lemak, yang disingkat oleh dua karbon. *acetyl-CoA* dioksidasi melalui siklus asam sitrat dan proses β-oksidasi diulangi. (Madigan *et al.*,2009). Menurut Kim *et al.* (2004), reaksi berikut ini mengungkapkan degradasi rantai panjang asam lemak melalui jalur β-oksidasi.



Sekitar 14 bakteri *syntrophic* telah diidentifikasi karena mampu mendegradasi asam lemak dalam kultur murni atau coculture dengan mikroorganisme pemakan hidrogen. Mikroorganismenya tersebut berasal dari *family Syntrophodonadaceae* dan *Syntrophaceae*. Hanya empat dari mikroorganismenya ini, *Syntrophomonas sapovorans*, *Syntrophomonas curvata*, *Syntrophomonas zehnderi*, dan *Thermosyntropha lipolytica* yang mampu mendegradasi rantai lemak asam panjang tak jenuh dengan lebih dari 12 karbon atom. (Long *et al.*, 2012). Diperlukan penelitian tambahan untuk mengarah ke peningkatan proses degradasi anaerobik dari asam lemak rantai panjang tak jenuh.

2.4.3 Faktor Yang Mempengaruhi Perombakan Anaerobik

Dalam pengolahan dengan menggunakan teknik perombakan anaerobik juga diperhatikan beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan. Faktor – faktor tersebut antara lain:

1. Suhu

Suhu sangat berpengaruh terhadap proses pengolahan karena mikroorganisme yang digunakan akan menghasilkan enzim yang lebih banyak pada suhu optimum sehingga keadaan suhu perlu dijaga dengan baik.

Suhu merupakan faktor penting yang mempengaruhi aktifitas mikroorganisme. Suhu optimal proses fermentasi anaerob dibedakan menjadi tiga yaitu suhu tinggi (45-60°C) untuk penghancuran cepat dan produksi tinggi (m³ gas/m³ bahan per hari) serta waktu retensi pendek dan bebas dari desinfektan, suhu sedang (27-40°C) (suhu kamar ruang/lingkungan), dan suhu rendah (<22°C) (banyak dipe ngaruhi udara musim sedang) (Metcalf & Eddy, 2003).

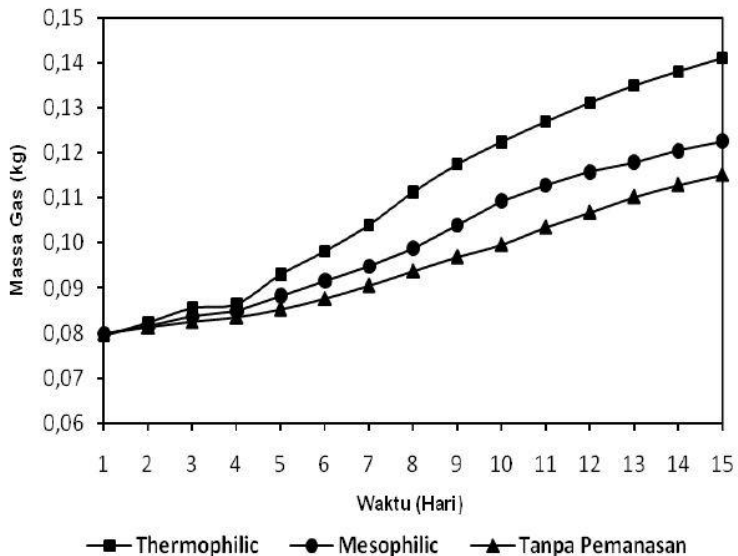
Menurut Manurung (2004), suhu yang baik dalam proses pengolahan anaerobik digestion yaitu berkisar antara 40 – 60°C. Namun hal ini juga perlu disesuaikan dengan mikroorganisme yang digunakan karena setiap mikroorganisme memiliki tingkat ketahanan yang berbeda – beda untuk suhu.

Menurut Gerardi (2003), suhu pada digester anaerob berbanding lurus dengan tingkat pencernaan anaerob dan hasil produksi metana. Oleh karena itu, tingkat pencernaan anaerob dan hasil produksi metana pada termofilik (43 – 55°C) lebih cepat dan tinggi dibandingkan dengan mesofilik (30 – 42°C). Akan tetapi, kinerja digester dapat terganggu oleh beberapa karakteristik mikrobiologi, seperti rendahnya jumlah populasi mikroba, tingginya tingkat kematian endogen mikroba, dan keberagaman mikroba yang terlalu sedikit.

Vindis *et al.* (2009), melakukan penelitian tentang produksi biogas pada kondisi *mesophilic* dan *thermophilic* anaerob digester dengan menggunakan bahan uji berupa sampah organik, penelitian dilaksanakan dengan membandingkan hasil produksi biogas pada kondisi *mesophilic* 35°C dan pada kondisi *thermophilic* 55°C dengan waktu tinggal selama 35 hari untuk masing – masing pengujian, dari hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi biogas pada kondisi *thermophilic* menghasilkan

produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil produksi biogas pada kondisi *mesophilic*, serta kandungan metana dari hasil kondisi *thermophilic* lebih besar 2% dibandingkan produksi biogas pada kondisi *mesophilic*.

Darmanto *et al.* (2012), juga melakukan penelitian tentang produksi biogas dengan 3 perlakuan yaitu kondisi tanpa pemanasan, mesofilik, dan termofilik dengan menggunakan substrat berupa kotoran kuda. Pada penelitiannya diketahui bahwa produksi biogas berbanding lurus dengan kenaikan suhu, sehingga pada kondisi termofilik digester memproduksi biogas lebih banyak dan kondisi tanpa pemanasan menghasilkan biogas dengan jumlah paling sedikit. Pada perlakuan mesofilik dapat menaikkan biogas sebesar 8-10% dari perlakuan dengan suhu normal. Hubungan antara suhu dan produksi biogas pada penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Darmanto *et al.*, 2012).



Gambar 2. 1 Grafik Akumulasi Produksi Biogas Berdasarkan Suhu

Costa (2011), menyatakan bahwa secara biologi proses fermentasi anaerobik sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu sebab anaerob sensitif terhadap operasi suhu dimana aktifitas bakteri atau mikroba bila diberi peningkatan suhu, bakteri akan aktif untuk berkembang biak dan mendegradasi substrat 2-3 kali lebih cepat dibandingkan dengan perkembangbiakan bakteri pada suhu ruang.

Beberapa keuntungan yang diperoleh dari proses termofil dibandingkan dengan proses mesofil adalah:

- a. Waktu tinggal organik dalam biodigester lebih singkat karena laju pertumbuhan bakteri termofil lebih tinggi dibandingkan dengan laju pertumbuhan bakteri mesofil.
- b. Penghilangan organisme patogen yang lebih baik
- c. Mampu meningkatkan kelarutan substrat
- d. Degradasi asam lemak rantai panjang yang lebih baik (Wellinger dan Lindeberg, 1999).

2. pH (Derajat keasaman)

Selain suhu faktor selanjutnya yang perlu diperhatikan yaitu pH. Tingkat keasaman juga mempengaruhi karena mikroorganisme yang dapat menghasilkan metana (CH_4) biasanya dapat bekerja optimal pada pH antara 6,4 – 7,4. Jika terjadi penurunan atau kenaikan pH yang cukup signifikan hal ini akan menyebabkan proses anaerobic digestion akan berjalan lebih lambat dari seharusnya (Purnomo, 2010). Menurut Indriyani (2009), Nilai pH di luar interval ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam proses fermentasi anaerob. Parameter pH berpengaruh pada pertumbuhan bakteri dan mempengaruhi disosiasi ammonia, sulfida dan asam-asam organik, yang merupakan senyawa penting untuk proses fermentasi anaerob.

Beberapa senyawa seperti asam organik dan karbon dioksida menyebabkan penurunan nilai pH, sebaliknya senyawa seperti ammonia akan meningkatkan nilai pH. Jika nilai pH menurun maka akumulasi asetat yang terbentuk selama proses perombakan tidak dapat diketahui. Pembentukan asetat berlangsung selama degradasi substrat dalam proses fermentasi anaerob (Reith *et al.*, 2002).

Ketika nilai pH turun, maka yang terjadi adalah perubahan substrat menjadi biogas terhambat sehingga mengakibatkan penurunan kuantitas biogas. Sedangkan jika nilai pH terlalu tinggi maka dapat menyebabkan produk akhir yang dihasilkan adalah CO₂ sebagai produk utama (Hermawan *et al.*, 2007).

3. Mikroorganisme dan Nutrien

Selain suhu dan pH, fermentasi anaerob juga dipengaruhi oleh kehidupan mikroorganisme yang ada dalam biodigester. Semua mikroorganisme memerlukan nutrien yang akan menyediakan: a) energi, biasanya diperoleh dari substansi yang mengandung karbon; b) nitrogen untuk sintesis protein; c) vitamin dan yang berkaitan dengan faktor pertumbuhan; dan d) mineral (Sherrington, 1981). Nutrien tersebut antara lain: a) Hidrogen (H), nitrogen (N), oksigen (O), dan karbon (C) sebagai bahan utama penyusun bahan organik; b) Sulfur, kebutuhan untuk sintesis asam amino; c) Fosfor, komponen penting dalam asam nukleat di kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan besi (Fe) dibutuhkan untuk aktifitas enzim dan komponen-komponen logam kompleks (Indriyani. 2009).

4. Pengadukan

Pengadukan dilakukan untuk mendapatkan campuran substrat yang homogen dengan ukuran partikel yang kecil. Pengadukan selama proses fermentasi bertujuan untuk mencegah adanya benda-benda mengapung pada permukaan cairan dan berfungsi mencampur metanogen dengan substrat. Pengadukan juga memberikan kondisi temperatur yang seragam dalam biodigester (Mayasari *et al.*, 2010).

5. Zat toksik

Ion mineral, logam berat, dan detergen adalah beberapa material racun yang mempengaruhi pertumbuhan normal bakteri patogeni dalam digester. Kandungan zat toksik dengan jumlah tertentu dalam bahan dapat merangsang pertumbuhan bakteri namun juga dapat bersifat racun apabila jumlahnya terlalu tinggi. Ion mineral seperti sodium, potasium, kalsium, amonium dan belerang dalam jumlah kecil dapat merangsang pertumbuhan bakteri. Contoh lain yang dapat diambil adalah NH₄ pada

konsentrasi 50 sampai 200 mg/l dapat merangsang pertumbuhan mikroba dan apabila konsentrasi melebihi 1500 mg/l akan bersifat racun (Wahyuni, 2013).

6. Biostarter

Pada proses perombakan anaerob juga digunakan inokulum sebagai starter. Menurut Mahajoeno *et al.* (2008), kelemahan proses degradasi anaerobik adalah kemampuan pertumbuhan bakteri metan sangat rendah, membutuhkan waktu dua sampai lima hari untuk penggandaannya. Sehingga starter diperlukan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik menjadi biogas, bisa digunakan lumpur aktif organik atau cairan isi rumen (Ginting, 2007).

Menurut Saputra (2016), *starter* diperlukan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik hingga menjadi biogas. Pengaruh *starter* juga penting dalam pembuatan biogas karena starter mengandung metanogen yang diperlukan untuk mempercepat proses fermentasi anaerob (Indriyani, 2009). Inokulum atau *starter* adalah salah satu bahan yang perlu ditambahkan ke dalam sistem digester biogas jika bahan baku (substrat) biogas belum mempunyai kandungan mikroorganisme pengurai (Wati dan Prasetyani, 2011).

Menurut Harahap (2007), *starter* yang dapat digunakan dikenal dengan tiga macam yaitu :

- a. *Starter* alami: yaitu apabila sumbernya dari alam yang diketahui mengandung kelompok bakteri metanogen seperti lumpur aktif, timbunan sampah lama, timbunan kotoran ruminansia, dan lain – lain.
- b. *Starter* semi buatan: yaitu apabila sumber berasal dari tabung pembuat biogas yang diharapkan kandungan bakteri metanogennya dalam stadium aktif
- c. *Starter* buatan: yaitu apabila sumbernya sengaja dibuat, baik dengan media alami maupun media buatan, sedangkan bakteri metanogennya dibiakkan secara laboratorium.

Biostarter yang umum digunakan untuk proses fermentasi anaerobik adalah kotoran dan/atau limbah ternak. Pancapalaga (2007), menjelaskan bahwa limbah ternak masih mengandung nutrisi atau zat zat padat yang potensial untuk mendorong

kehidupan jasad renik. Menurut Harahap *et al.*, (1980) bahwa kotoran hewan seperti kerbau, sapi, babi dan ayam telah diteliti untuk diproses dalam alat penghasil gas bio dan hasil yang diperoleh memuaskan. Sehingga kotoran ternak dapat digunakan sebagai alternatif biostarter pada digester biogas. Karakteristik dari inokulum berupa kotoran ternak dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Karakteristik Biostarter atau Inokulum Kotoran Ternak

Sumber	C (%)	N (%)	P (%)	Rasio C/N
kotoran domba	35,06	2,99	0,59	19
kotoran sapi	23,06	2,06	0,37	24
kotoran babi	39,74	2,05	2,05	18

Sumber : Vital et al., 2016.

Mahajoeno *et al.* (2008), menjelaskan bahwa fungsi penambahan starter adalah sebagai sumber metanogen sehingga proses fermentasi dan pembentukan biogas berjalan lebih cepat. Kondisi tersebut merupakan kombinasi perlakuan terbaik dibandingkan dengan kombinasi perlakuan lain yang menghasilkan volume biogas lebih sedikit.

2.4.4 Faktor ketidakseimbangan proses perombakan anaerobik

Proses perombakan anaerobik bergantung pada interaksi antara kelompok bakteri dan senyawa organik yang ada, sebagai sumber makanan diantara beberapa jenis mikroorganisme agar diperoleh hasil biogas yang optimal. Jika terjadi ketidakseimbangan selama proses perombakan maka fermentasi anaerob secara total dapat terhenti atau menurun (Werner *et al.*, 1989). Menurut Indriyani (2009), ketidakseimbangan dapat disebabkan karena beberapa faktor seperti berikut:

- **Beban hidraulik berlebih**

Hal ini terjadi jika waktu tinggal bakteri dalam biodigester lebih singkat dibandingkan laju pertumbuhannya. Bakteri tidak mendapatkan waktu yang cukup untuk tumbuh di dalam biodigester dan akan tercuci (*wash-out*). Beban hidraulik

berlebih dapat terjadi apa bila volume efektif digester menurun oleh karena terjadi beban substrat yang berlebih terhadap digester.

- **Beban organik berlebih**

Hal ini terjadi ketika biomassa dengan kandungan organik tinggi dimasukkan ke dalam digester secara berlebihan. Pada keadaan ini bakteri tidak mampu memecah senyawa organik yang ada sehingga proses fermentasi anaerob berjalan lambat.

- **Bahan racun**

Bahan racun pada proses perombakan anaerobik dapat berupa senyawa yang sudah ada dalam biomassa substrat atau senyawa yang dihasilkan selama proses fermentasi anaerob. Hal ini dapat terjadi jika biomassa yang kaya protein dicerna kemudian menghasilkan sejumlah besar ammonia berlebih yang dapat menghambat proses fermentasi. Fermentasi juga dapat terhambat jika biomassa yang tercerna mengandung konsentrasi tinggi lemak yang akan didegradasi menjadi senyawa beracun (asam lemak rantai panjang).

2.4.5 Tipe Digester

Menurut Purnama (2009), dari segi operasional yang digunakan, digester terbagi menjadi dua tipe yaitu:

1. **Tipe *Batch Digestion***

Pada tipe ini bahan baku dimasukkan ke dalam digester, kemudian dibiarkan bereaksi selama 6-8 minggu. Biogas yang dihasilkan ditampung dan disimpan dalam penampung gas. Setelah itu digester dikosongkan dan dibersihkan sehingga siap untuk dipakai lagi.

Kelebihan tipe ini adalah kualitas hasilnya bisa lebih stabil karena tidak ada gangguan selama reaksi berjalan. Namun untuk skala industri, tipe ini tidak efektif dan mahal karena membutuhkan minimal dua buah digester yang dipakai bergantian agar dapat memproduksi biogas secara kontinyu.

2. **Tipe *Continuous Digestion***

Pada tipe ini proses pemasukan bahan baku dan pengeluaran *slurry* sisa proses dilakukan secara berkala. Jumlah material yang masuk dan keluar harus diatur secara seimbang

sehingga jumlah material yang ada di dalam digester selalu tetap. Kekurangan dari tipe ini adalah membutuhkan pengoperasian dan pengawasan yang lebih ketat agar reaksi selalu berjalan dengan baik. Namun untuk skala industri, tipe ini lebih mudah untuk dimaksimalkan hasilnya dan lebih murah karena hanya membutuhkan satu buah digester untuk menghasilkan biogas secara kontinyu.

Purnama (2009), juga mengatakan bahwa berdasarkan jumlah tahap prosesnya digester dapat dibagi menjadi dua tipe yaitu:

1. **Single Stage (Satu tahap)**

Seluruh proses pembuatan biogas dilakukan hanya dalam satu digester saja.

2. **Multi Stage (Multi tahap)**

Proses dilakukan didalam dua buah digester yang bekerja secara seri. Pada digester pertama berlangsung reaksi hidrolisis, asetogenesis dan asido genesis.

2.5 **Co-Digestion**

Konsentrasi substrat atau ketersediaan nutrient untuk mikroorganisme yang digunakan sangat penting untuk perombakan anaerobik. Jika jumlah nutrient yang tersedia tidak sesuai dengan jumlah mikroorganisme yang ada maka dapat menyebabkan proses terjadi lebih lambat. Hal ini dapat terjadi karena banyak mikroorganisme yang mati selama proses disebabkan jumlah nutrient yang tidak mencukupi (Indriyani, 2009). Potensi biogas yang dihasilkan dari biodigester bergantung pada jenis substrat, kuantitas substrat, presentase kandungan bahan organik, dan total padatan (Werner *et al.*, 1989).

Secara teoritis setiap bahan organik dapat dicerna. Bahan baku untuk pencernaan anaerobik meliputi kotoran dan kotoran ternak, kotoran kambing, kotoran ayam, produk sampingan RPH (rumah potong hewan), limbah dapur, limbah pabrik pengolahan makanan, dan kotoran manusia. Pilihan bahan baku untuk pencernaan anaerob tergantung pada sejumlah faktor seperti suhu substrat dan ketersediaan bahan baku, tetapi alasan paling vital untuk suatu pilihan adalah ketersediaan bahan baku tersebut (Arthur, 2009).

Masalah umum yang biasanya ditemui dalam produksi biogas adalah potensi biogas yang rendah karena penggunaan bahan baku tunggal yang dapat bersifat sulit untuk dicerna terhadap proses pencernaan atau memiliki rasio C/N yang rendah atau tinggi. Selain itu, sebagian besar studi yang melibatkan perombakan anaerobik satu tahap telah diketahui menghasilkan konten CH₄ rendah dalam biogas. Batasan-batasan ini dapat diatasi dengan menggunakan *co-digestion* bahan baku substrat dan mengoptimalkan rasio C/N, kandungan padatan total (TS) dan konten padatan volatil (VS). Hal ini juga meningkatkan kecernaan bahan baku, sehingga meningkatkan produksi biogas (Mata-Alvarez et al., 2014).

Potensi biogas dari substrat juga tergantung pada potensi gas yang dihasilkan per kg dari total volatile solid (TVS). Potensi gas dan metana dari beberapa substrat dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Potensi Gas dan Metana Untuk Beberapa Substrat

Substrat	Potensi gas (mL/g VS)
Kotoran Babi	340 - 550
Sisa Sayuran	330 - 360
Lumpur limbah domestik	310 - 740
Kotoran Sapi	90 - 310
Limbah Minyak dan Lemak	1014 - 1050

Sumber: Germany Appropriate Technology Exchange, 2007; dan Zhu et al, 2011.

Meskipun limbah minyak dan lemak merupakan substrat yang menarik untuk diolah menggunakan *anaerobic digestion*, akan tetapi perombakan tunggal dari limbah minyak dan lemak pada konsentrasi limbah minyak dan lemak yang tinggi dapat menyebabkan penghambatan dan bahkan kegagalan proses pencernaan (Kabouris et al., 2008). Menurut Nakhla et al. (2003), penggunaan limbah minyak dan lemak untuk pencernaan anaerob, terutama sebagai substrat tunggal, bagaimanapun, telah diperumit oleh masalah seperti ketidakseimbangan nutrisi, pengasaman yang cepat, dan akumulasi senyawa penghambat. Sehingga

penggunaan limbah minyak dan lemak untuk *co-digestion* merupakan alternatif yang menarik untuk digunakan. Luostarinen et al. (2009), menunjukkan peningkatan konsentrasi yang tinggi dari limbah minyak (55-71% dari pakan VS) menghasilkan penurunan hasil metana dan peningkatan VS, COD dan total VFA dalam limbah.

Tabel 2. 10 Perombakan Anaerobik Limbah Minyak dan Lemak Rumah Makan

VS (g/L)	VS removal (%)	Metana (ml/g VS)
2,8	92	1150
5,5	90	1080
11	18	152
13,8	18	114
27,6	10	60

Sumber: Zhu et al, 2011

Menurut Mata-Alvarez et al.(2014), Limbah yang kaya lipid, biasanya dikenal sebagai lemak, minyak dan lemak (FOG), merupakan substrat yang sangat menarik untuk *co-digestion anaerobic* karena potensi metana yang tinggi, yang berkisar dari 0,70 hingga 1,43 m³CH₄ /kg Volatile Solids (VS). Menurut Sandriaty et al. (2018), *co-digestion* lainnya antara fraksi organik dari limbah padat domestik begitu juga dengan sampah makanan yang dikombinasikan dengan limbah minyak dan lemak juga menunjukkan bahwa ada peningkatan gas metana yang dihasilkan dengan penambahan limbah minyak dan lemak sekitar 46% dalam proses pencernaan anaerob dengan penambahan 15% limbah minyak berdasarkan nilai VS.

Kemudian, jenis substrat yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan produksi biogas dari limbah minyak dan lemak untuk *co-digestion* antara lain:

2.5.1 Sampah Organik

Sampah organik sayur, buah, dan sisa makanan adalah salah satu substrat terbaik untuk produksi biogas. Limbah sayuran sendiri dapat menghasilkan biogas delapan kali lebih banyak

dibandingkan limbah kotoran ternak (Haryati, 2006). Dari 1,5 kg limbah makanan dapat diproduksi 500 m³ gas metana dan reaksi ini berjalan sempurna dalam waktu 48 jam. Sedangkan dalam sistem biogas konvensional yang menggunakan kotoran hewan ternak atau kotoran manusia sebagai substratnya, dari 40 kg limbah kotoran dapat diproduksi jumlah gas metana yang sama, yaitu 500 m³ gas metana. (Kale and Mehetre, 2009).

Karakteristik bahan organik berpengaruh pada waktu dekomposisi bahan hingga menghasilkan gas metana. Karakteristik tersebut berupa kandungan lignin, hemiselulosa, lemak, protein, dan gula. Bahan organik berupa limbah sayur-sayuran yang mengandung selulosa dan lignin lebih lama mengalami dekomposisi dibandingkan dengan limbah kotoran ternak (Wahyuni, 2013).

Penggunaan sampah organik terutama sampah makanan untuk *co-digestion* bersamaan dengan limbah minyak dan lemak terbukti mampu meningkatkan produksi biogas dan potensi metana. Kemudian berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zhu *et al.* (2011), penggunaan sampah makanan untuk *co-digestion* dengan limbah minyak dan lemak mampu meningkatkan produksi biogas dengan penambahan konsentrasi (VS) limbah minyak dan lemak yang tinggi. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.11 (Zhu *et al.*, 2011). Sedangkan karakteristik dari sampah makanan dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2. 11 Co-Digestion Sampah Makanan dengan Limbah Minyak dan Lemak

Rasio VS (g/L)		VS Reduction (%)	Produksi Biogas (mL/g VS)
SM	ML		
1	1,5	5	80
1	2	25	230
1	4	54	632

SM : Sampah makanan; ML : Minyak dan Lemak

Tabel 2. 12 Karakteristik Sampah Makanan

Karakteristik	Li et al. (2018)	Yong et al. (2015)	Shi et al. (2018)
TS (%)	20	20,05	25,94
VS (%)	19,26	19,21	24,59
C/N	15,5	28,4	17,5
Protein (%)	24,1	14,03	15,1
Karbohidrat (%)	47,6	33,22	48

2.5.2 Lumpur limbah domestik

Menurut Mu *et al.* (2019), lumpur limbah domestik memiliki kandungan organik yang tinggi terutama pada kandungan VS. Namun lumpur limbah domestik mempunyai kandungan organik dengan *biodegradability* yang rendah, sehingga pencampuran substrat lumpur limbah domestik dan substrat lain merupakan strategi praktis untuk meningkatkan efisiensinya dalam menghasilkan biogas.

Menurut Mata-Alvarez *et al.* (2011), perombakan dari minyak dan lemak dengan lumpur dari limbah domestik pada rasio campuran yang optimal dapat mengencerkan zat-zat beracun atau penghambat dan menyeimbangkan parameter proses pencernaan anaerob yang kritis, seperti rasio karbon: nitrogen (C: N), alkalinitas, nitrogen amonia, dan asam volatil untuk perombakan yang lebih stabil.

Data kinerja yang diamati dalam beberapa studi sebelumnya menunjukkan bahwa perombakan anaerobik lumpur dari limbah domestik dengan limbah minyak dan lemak adalah pendekatan alternatif untuk mengintegrasikan limbah minyak dan lemak ke dalam pemulihan sumber daya dan meningkatkan produksi metana pada digester anaerob (Angelidaki and Ahring, 1992). Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian Luostarinen *et al.* (2009), yang menemukan bahwa pencernaan bersama limbah minyak dan lemak (dari industri daging) dan lumpur dari limbah domestik meningkatkan produksi biogas dan hasil metana pada konsentrasi minyak dan lemak rendah dan tinggi.

Penggunaan lumpur limbah domestik untuk *co-digestion* dengan limbah minyak dan lemak mampu meningkatkan produksi biogas dengan penambahan konsentrasi (VS) dapat dilihat pada Tabel 2.13 (Xu *et al.*, 2018; Yalcinkaya dan Malina, 2015).

Tabel 2. 13 Co-Digestion Sampah Makanan dengan Limbah Minyak dan Lemak

Rasio VS (g/L)		VS Reduction (%)	Produksi Biogas (mL/g VS)
LL	ML		
1	1,5	35	578
1	2	52	603
1	2,5	25	321

LL : Lumpur limbah domestik; ML : Minyak dan Lemak

Lumpur limbah domestik memiliki pH lebih rendah dari kisaran pH optimal untuk proses pencernaan anaerob. Namun konsentrasi alkalinitasnya berada dalam kisaran optimal yaitu sebesar 2000-4000 mg/L CaCO₃ sehingga keasamannya dapat dikompensasi. Karakteristik lumpur limbah domestik dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2. 14 Karakteristik Lumpur Limbah Domestik Berdasar Proxymate Analysis

<i>Proxymate analysis</i>	^a Shao et al. (2015)	^b Gebreeyessus et al. (2016)	^a Xiao et al. (2015)
C (%)	24,88	51,5	15,45
H (%)	3,73	7	2,96
O (%)	65,5	35,5	78,08
N (%)	5,27	4,5	2,74
S (%)	0,62	1,5	0,71

^a%konsentrasi berdasar berat kering; ^b%konsentrasi berdasar *volatile matter*

2.5.3 Kotoran ternak

Kotoran hewan lebih sering dipilih sebagai bahan pembuat biogas karena banyak tersedia dan mudah diperoleh. Bahan ini memiliki keseimbangan nutrisi, mudah diencerkan dan relatif dapat

diproses secara biologi. Selain itu kotoran yang masih segar lebih mudah diproses dibandingkan dengan kotoran yang lama dan telah mengering (Pambudi, A., 2008).

Kotoran sapi merupakan salah satu substrat yang paling cocok sebagai sumber penghasil biogas, karena telah mengandung bakteri penghasil gas metana yang terdapat dalam perut ruminansia. Bakteri tersebut membantu dalam proses fermentasi sehingga mempercepat proses pembentukan biogas (Sufyandi, A., 2001).

Selain kotoran sapi, kotoran kuda dapat digunakan sebagai substrat untuk memproduksi biogas. Substrat dalam kotoran kuda mengandung bakteri pembentuk metan yang juga terdapat dalam tubuh hewan seperti kerbau, sapi, rusa, domba, kambing dan hewan lainnya. Kotoran kuda mempunyai kandungan karbon dan nitrogen yang lebih tinggi daripada kandungan karbon dan nitrogen pada kotoran sapi yang merupakan sumber energi bagi mikroorganismenya. Selain itu kotoran kuda memiliki prosentase kandungan sellulosa, hemisellulosa, fosfat dan kalium yang lebih tinggi dibandingkan kandungan pada kotoran sapi, kecuali kandungan lignin pada kotoran sapi lebih tinggi dibandingkan kandungan lignin pada kotoran kuda (Darmanto *et al.*, 2012).

2.6 Produksi Biogas

Prinsip pembuatan biogas adalah adanya dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar berupa metana (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbondioksida. Proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganismenya, terutama bakteri metan. Suhu yang baik untuk proses fermentasi adalah 30 - 55°C. Pada suhu tersebut mikroorganismenya dapat bekerja secara optimal merombak bahan-bahan organik (Ginting, 2007).

Produksi biogas dipengaruhi oleh beberapa faktor. Menurut Polprasert (1996), faktor – faktor yang mempengaruhi produksi biogas antara lain: (1) komposisi bahan baku, (2) *organic loading* atau beban organik yaitu bahan organik yang merupakan makan bagi mikroorganismenya yang akan tereduksi jumlahnya selama berada didalam reaktor sesuai dengan HRT yang

ditentukan, (3) waktu dan suhu yang diperlukan supaya penguraian berlangsung optimal.

Menurut Purnomo (2010), Proses perombakan atau degradasi bahan organik dalam menghasilkan metana dan/atau biogas dapat dilihat dari perubahan karakter atau sifat outlet limbah (effluent), baik sifat fisik maupun kimia. Pengaruh beberapa parameter terhadap produksi biogas yaitu:

1. pH (Derajat Keasamaan)

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Purnomo (2010), Santoso (2010), dan Indriyani (2009), nilai pH akan mengalami kenaikan maupun penurunan selama proses perombakan anaerobik berlangsung. Diawal reaksi pembentukan biogas, bakteri penghasil asam akan aktif lebih dulu sehingga pH pada digester menjadi rendah, kemudian bakteri metanogen menggunakan asam tersebut sebagai substrat sehingga menaikkan nilai pH.

Kresnawaty, *et al.*, (2008) dalam penelitiannya juga mengatakan bahwa nilai pH pada awal proses menunjukkan penurunan karena terjadi hidrolisis yang umumnya terjadi dalam suasana asam, tetapi nilai ini cenderung stabil pada tahap selanjutnya, yaitu pada kisaran pH 6,7-7,7. Rentang pH ini mendekati kondisi ideal pertumbuhan metanogen, yaitu 6,8-7,2. Hal demikian terjadi karena asam-asam organik diuraikan menjadi metana dan karbondioksida dan kemungkinan terbentuknya NH_3 yang meningkatkan pH larutan.

Purnomo (2010), menjelaskan bahwa Pada umumnya, pH mulai menurun pada hari ke-15 dan pH naik pada hari ke-30 dan hari ke-45 (pH kembali netral). pH menurun disebabkan karena sedang terjadi proses asidifikasi (pembentukan asam). Setelah proses asidifikasi selesai, selanjutnya masuk pada tahap methanogenesis yaitu perubahan asam menjadi methana. Asam yang terbentuk pada tahap asidifikasi akan digunakan oleh bakteri methanogen sebagai substrat dalam pembentukan gas methan dan CO_2 sehingga pH kembali netral. Tingkat keasaman diatur oleh proses itu dengan sendirinya. Karbondioksida yang dihasilkan oleh bakteri larut dalam air untuk membentuk ion bikarbonat (HCO_3) yang menyebabkan larutan menjadi lebih alkali (kembali netral).

Namun apabila pH terus menurun menurut Ratnaningsih *et al.* (2009), pH yang terus menurun disebabkan proses metanogenesis tidak berjalan sempurna, bakteri penghasil asam tumbuh terlalu cepat sehingga asam yang dihasilkan akan lebih banyak dari jumlah yang dapat dikonsumsi oleh bakteri penghasil methan, akibatnya sistem akan terlalu asam.

Menurut Wan *et al.* (2011), pH dari substrat dapat kembali dengan sendirinya, tetapi pemulihan diri dari digester lambat dengan sejumlah kecil produksi biogas, dan sekitar 40 hari diperlukan untuk pemulihan penuh. Hasil ini sesuai dengan pemulihan diri yang diamati oleh Palatsi *et al.* (2009).

2. Reduksi COD

COD merupakan variabel terpenting yang menunjukkan berhasil atau tidaknya proses degradasi (Nugrahini *et al.*, 2008). Pengukuran COD mendeteksi keseluruhan senyawa organik, baik organik kompleks maupun organik sederhana (Syamsudin *et al.*, 2008). Konsentrasi COD yang tinggi dalam bahan baku mewakili potensi produksi metana yang tinggi, mengindikasikan lebih banyak metana kemungkinan dihasilkan dalam percobaan berkelanjutan (Wu *et al.*, 2018).

O'Flaherty *et al.* (2006), menyatakan bahwa pada proses anaerobik terjadi perombakan bahan-bahan organik menjadi asam, selanjutnya dirombak menjadi asam asetat, dan proses berlanjut membentuk gas metana dan CO₂, sehingga terjadi penurunan COD limbah. Menurut Kresnawaty *et al.* (2008), penurunan nilai COD dan BOD disebabkan karena telah terjadi proses hidrolisis. Pada tahap tersebut, bahan organik dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai nutrisi dan mengubahnya ke dalam bentuk senyawa yang lebih sederhana. Mikroorganisme dalam limbah terus menerus melakukan proses metabolisme sepanjang kebutuhan energinya terpenuhi dan akan menghasilkan senyawa-senyawa yang dapat memberikan dampak terhadap turun naiknya COD (Hanifah *et al.*, 2001).

Pada penelitiannya, Wu *et al.* (2018) menyatakan bahwa secara teori semakin banyak bahan organik yang terdegradasi, maka semakin banyak metana yang diproduksi, sementara di

dalam digester mengandung bahan organik yang lebih banyak ketika lebih sedikit metana yang diproduksi.

Pernyataan tersebut dibuktikan juga oleh percobaan yang dilakukan oleh Purnomo (2010), Dimana substrat dengan tingkat reduksi COD sebesar 85,2% menghasilkan biogas tertinggi yaitu sebanyak 40,81 L/45 hari dan biogas terendah (3,59 L/45 hari) dihasilkan oleh substrat dengan tingkat reduksi COD sebesar 14,3%. Penelitian yang dilakukan oleh Indriyani (2009), juga menyatakan bahwa jumlah gas yang terakumulasi sebanding dengan nilai reduksi dari COD. Menurut Jorgensen (2009), semakin besar reduksi COD, berarti bahan organik yang terdegradasi menjadi asam-asam organik juga semakin besar. Asam-asam organik inilah yang kemudian terkonversi menjadi biogas, maka jika reduksi COD semakin besar maka laju pembentukan biogas juga semakin besar.

3. Reduksi VS (Volatile Solid)

Dekomposisi bahan organik tergantung pada kelembaban atau kadar air yang mendukung aktifitas mikrobial. Parameter yang menunjukkan kelembaban dan kadar air bahan organik adalah *volatile solid* (Rukmini, 2016). Penghancuran kandungan VS pada substrat merupakan hal yang penting untuk pencernaan anaerob dan merupakan indikator langsung dari aktivitas metabolisme komunitas mikroorganisme (Davidsson *et al.*, 2008).

Mahajoeno *et al.* (2008), menjelaskan bahwa produksi biogas berkorelasi negatif dengan total padatan, padatan volatil, BOD dan COD yang artinya semakin rendah total padatan, padatan volatil, BOD dan COD semakin tinggi produksi biogas. Total gas dan produksi metana berhubungan secara langsung dengan besarnya dan kecepatan konversi bahan organik yang didegradasi dan diekspresikan sebagai *volatile solid*, yang secara spesifik diartikan sebagai *percentage of dry matter content* (Rukmini, 2016). Haryati (2006) menambahkan bahwa proses degradasi anaerobik dapat menurunkan nilai TS, VS, BOD dan COD.

Widarti *et al.* (2012), menyatakan dimana substrat dengan VS yang tinggi akan menghasilkan konsentrasi gas metana yang tinggi. Pengaruh *volatile solid* terhadap

pembentukan akumulasi volume biogas adalah pada *volatile solid* yang sama, tetapi kecenderungan dengan komposisi substrat yang lebih besar, maka akumulasi gas lebih banyak terbentuk (Rukmini, 2016).

4. Suhu

Menurut Vindis et al. (2009), telah diketahui bahwa ada tiga rentang suhu degradasi anaerob: degradasi pada suhu ruang (rentang psikrofilik), degradasi mesofilik pada 30-40°C dan degradasi termofilik pada 50-60°C. sudah menjadi ciri khas dari suatu kisaran suhu bahwa dekomposisi akan terjadi dengan cepat pada suhu yang lebih tinggi. Secara teknis hanya kisaran mesofilik dan termofilik yang menarik untuk digunakan, karena pada suhu kamar degradasi anaerob sangat lambat. Degradasi anaerobik termofilik juga hingga 8 kali lebih cepat dan lebih efisien daripada degradasi mesofil. Alasan mengapa tidak pernah digunakan adalah keyakinan bahwa terlalu banyak energi digunakan untuk mempertahankan suhu yang dibutuhkan. Pencernaan termofilik 4 kali lebih kuat, memiliki efisiensi penghilangan VSS yang lebih tinggi dan menghasilkan lebih banyak biogas.

Penelitian fermentasi lainnya menyatakan bahwa secara biologi proses fermentasi *anaerobic* sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu sebab *anaerob* sensitif terhadap operasi suhu dimana aktifitas bakteri atau mikroba bila diberi peningkatan suhu, bakteri akan aktif untuk berkembang biak dan mendegradasi substrat 2-3 kali lebih cepat dibandingkan dengan perkembangbiakan bakteri pada suhu ruang (Costa, 2011).

Menurut Costa (2011), proses fermentasi anaerobik akan terdegradasi 2-3 kali lebih cepat apabila dilakukan pada suhu termofilik. Kemudian berdasarkan studi Purnomo (2010), mengatakan bahwa perlakuan suhu termofilik akan meningkatkan produksi biogas sebesar 24% hingga 160%. Sedangkan berdasarkan penelitian Darmanto *et al.* (2012), suhu mesofilik meningkatkan produksi biogas sebesar 8% hingga 10% dibanding suhu ruang.

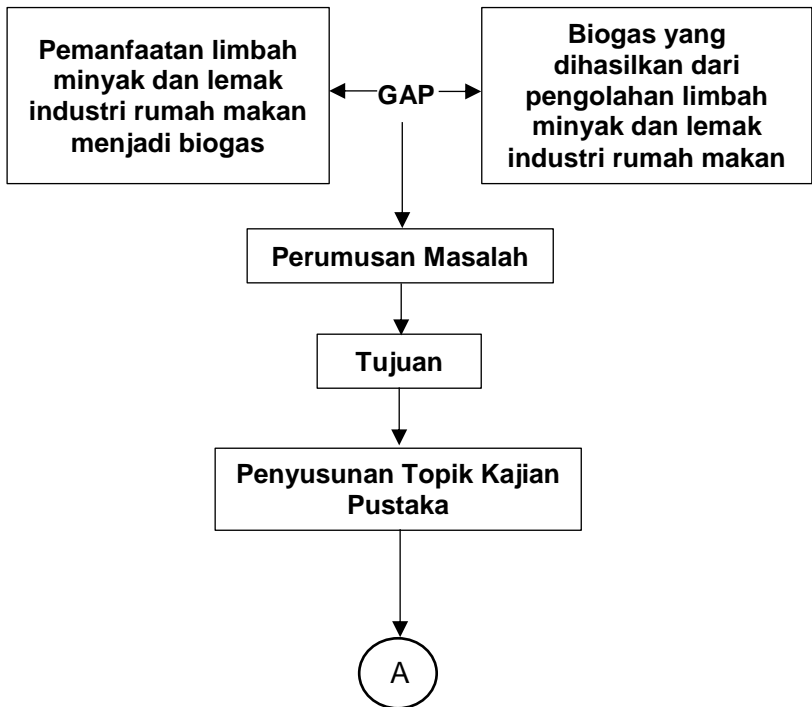
Metcalf & Eddy (2003) menyebutkan bahwa suhu termofilik digunakan untuk penghancuran cepat dan produksi

tinggi ($m^3 \text{ gas}/m^3 \text{ bahan per hari}$) serta waktu retensi pendek dan bebas dari desinfektan. Kondisi temperatur pada digester tidak hanya berpengaruh terhadap tingginya produksi biogas namun berpengaruh juga terhadap kecepatan waktu untuk menghasilkan produksi pada nilai optimum. Pada kondisi *thermophilic* produksi gas optimum diperoleh dalam waktu yang lebih singkat, sedangkan nilai optimum tekanan produksi gas pada kondisi *mesophilic* dan tanpa pemanasan membutuhkan waktu yang lebih lama beberapa hari dibandingkan dengan kondisi *thermophilic* (Darmanto *et al.*, 2012).

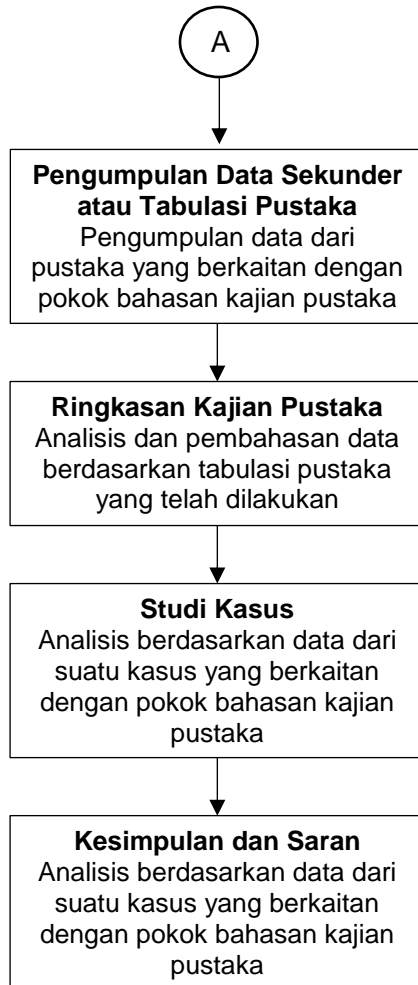
BAB 3 METODE PENULISAN

3.1 Kerangka Studi

Kerangka studi disusun untuk mengetahui tahapan pengerjaan dalam tugas akhir ini dalam mencapai tujuan studi secara sistematis. Tujuan pembuatan kerangka studi ini adalah sebagai acuan proses pengambilan jurnal dan artikel, sehingga proses pengerjaan akan berjalan sistematis dan terencana. Kerangka studi dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Kerangka Studi Literatur



Gambar 3.1 Kerangka Studi Literatur (Lanjutan)

3.2 Metode Studi

Dalam pelaksanaan studi literatur ini terdapat beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu kajian pustaka dan studi kasus yang berkaitan dengan produksi biogas. Berikut adalah tahap - tahap yang dilakukan dalam pelaksanaan tugas akhir ini:

3.2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan dengan mencari dan mempelajari berbagai pustaka atau literatur yang berkaitan dan mendukung pembahasan mengenai produksi biogas dari minyak dan lemak limbah rumah makan. Kemudian dari literatur tersebut, disusun dan ditulis kembali menggunakan bahasa penulis sendiri. Pustaka atau data yang dikumpulkan merupakan data sekunder seperti karakteristik limbah minyak dan lemak, pengaruh suhu dan variasi substrat, dan data lain yang diperlukan. Berikut adalah jenis atau sumber literatur yang digunakan, yaitu:

- Jurnal ilmiah
- Artikel
- Buku
- Laporan studi literatur atau penelitian tugas akhir terdahulu
- Peraturan dan dokumen pemerintah/perusahaan

Seluruh literatur yang digunakan pada studi literatur ini diperoleh melalui internet.

3.2.2 Studi Kasus

Studi kasus pada penulisan tugas akhir ini adalah produksi biogas dengan substrat berupa limbah minyak dan lemak industri rumah makan yang berasal dari beberapa literatur atau penelitian terdahulu. Data yang didapatkan kemudian akan dibahas dengan kajian pustaka atau literatur yang telah dipelajari.

3.3 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini merupakan rangkaian tahapan studi yang dilakukan hingga memperoleh kesimpulan serta saran. Sesuai dengan sistematika penulisan maka outline dari tugas akhir akan ditulis sebagai berikut:

a. Bab 1 Pendahuluan

Pada bab ini berisi uraian dari alasan atau latar belakang tugas akhir ini, kemudian dilanjutkan dengan rumusan

masalah dari tugas akhir, tujuan yang akan dicapai, ruang lingkup studi, serta manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari tugas akhir yang berupa studi literatur ini.

b. Bab 2 Kajian Pustaka

Bab ini berisi hasil dari studi literatur atau pustaka yang telah dilakukan terkait produksi biogas dan limbah minyak dan lemak dari industri rumah makan. Bab ini terdiri dari beberapa sub bab diantaranya:

- 2.1 Biogas
- 2.2 Limbah Rumah Makan
- 2.3 Limbah Minyak dan Lemak
- 2.4 Pengolahan Secara Anaerobik
- 2.5 Tipe Digester
- 2.6 *Co-digestion*

c. Bab 3 Metode Studi

Bab ini berisi rangkaian langkah-langkah studi yang akan dilakukan hingga mendapatkan kesimpulan. Metode studi dibuat agar pelaksanaan studi terarah dan dapat mencapai tujuan.

d. Bab 4 Studi Kasus

Studi kasus pada tugas akhir ini adalah produksi biogas dari minyak dan lemak limbah industri rumah makan. Terdapat dua variabel yang digunakan pada studi kasus ini, yaitu pengaruh suhu (termofilik dan mesofilik) dan variasi substrat yang digunakan pada digester. Data yang digunakan merupakan data sekunder, dengan karakteristik dari limbah minyak dan lemak rumah makan diidentifikasi terlebih dahulu. Kemudian dianalisa berdasarkan hasil dari studi literatur ini, untuk menganalisa faktor yang mempengaruhi produksi dari biogas tersebut.

e. Bab 5 Penutup

i. Kesimpulan

Kesimpulan merupakan jawaban atau hasil yang didapatkan dari tugas akhir ini dalam menjawab tujuan studi literatur

ii. Saran

Saran berisi hal-hal yang membantu untuk menunjang studi literatur kedepannya

BAB 4 STUDI KASUS

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan minyak dan lemak adalah substrat yang menarik untuk digunakan pada pencernaan anaerob. Minyak dan lemak biasanya mengacu pada bahan kaya *lipid* yang berasal dari produk sampingan hewan dan tumbuhan, yang biasanya dihasilkan di rumah makan dan pabrik pengolahan makanan. Limbah ini mempunyai konsentrasi COD dan VS yang tinggi, dan memiliki daya cerna dan hasil produksi biogas yang tinggi (Grosser *et al.*, 2017). Berdasarkan studi pengolahan limbah minyak dan lemak yang terbukti dapat menghasilkan biogas optimal dalam prosesnya adalah pengolahan secara co-anaerobik (*anaerobic co-digestion*).

4.1 Karakteristik Awal Limbah Minyak dan Lemak Rumah Makan

Konsentrasi dari parameter pada limbah minyak dan lemak satu dan yang lain bisa sangat berbeda. Perbedaan yang signifikan pada parameter tiap sumber dapat disebabkan oleh perbedaan pada sumber dan jenis pemrosesan makanannya (Sandriaty *et al.*, 2018). Menurut Salama *et al.* (2018), Karakteristik fisik - kimia dari minyak dan lemak dapat sangat bervariasi tergantung pada jenis dari minyak dan lemak itu sendiri dan sumber pengumpulannya. Selain itu

Limbah minyak dan lemak pada studi kasus ini diperoleh dari rumah makan, yg telah dipisahkan dengan unit grease trap dari limbah cair rumah makan tersebut. Biasanya, minyak dan lemak membentuk lapisan di cekungan grease trap dan bahan kaya lipid menumpuk di lapisan atas. Kemudian limbah minyak dan lemak tersebut dipisahkan dan dikumpulkan oleh pegawai komersil *cleaning service* pada rumah makan tersebut (Kobayashi *et al.*, 2014).

Untuk menentukan besarnya kandungan bahan organik pada limbah perlu diketahui karakteristiknya, parameter limbah minyak dan lemak berdasar studi pada umumnya antara lain: pH, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Solid*(TS), dan *volatil solid*

(VS). Karakteristik awal dari limbah minyak dan lemak dari rumah makan secara umum dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Karakteristik Awal Limbah Minyak dan Lemak Rumah Makan

Parameter	Karakteristik
COD (g/L)	64,5
pH	6,2
TS (g/L)	41,1
VS (g/L)	28,7

Sumber: Kobayashi et al., 2014.

4.2 Perlakuan Minyak dan Lemak Limbah Rumah Makan

Berdasarkan tujuan tugas akhir dan studi yang telah dilakukan, untuk mengoptimalkan produksi biogas dari limbah minyak dan lemak dapat ditentukan beberapa perlakuan, yaitu:

4.2.1 Perombakan Tunggal Limbah Minyak dan Lemak

Reaktor skala laboratorium disiapkan dengan ukuran 125 mL dengan volume efektif sebesar 100 mL dan ruang udara sebesar 25 mL. Berdasarkan studi literatur substrat tunggal minyak dan lemak dapat menghasilkan potensi biogas yang cukup tinggi namun dengan konsentrasi VS yang rendah, sehingga untuk perlakuan substrat tunggal limbah minyak dan lemak digunakan konsentrasi VS pada reaktor dengan konsentrasi VS sebesar 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L. Perlakuan reaktor dengan substrat tunggal minyak dan lemak dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Perlakuan reaktor dengan substrat tunggal minyak dan lemak

Substrat	Konsentrasi VS (g/L)	Suhu (°C)
M1	5	32
M2	10	32
M3	15	32

4.2.2 Pengaturan pH

Pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa pH dari limbah minyak dan lemak cukup asam. Mahajoeno *et al.*, (2008) menyatakan bahwa pH awal substrat 7 memberikan peningkatan laju produksi biogas lebih baik dibandingkan dengan perlakuan pH yang lain. Oleh karena itu menurut Ginting (2007), di awal penelitian substrat dapat dijadikan netral dengan penambahan 25 gram larutan berupa CaCO_3 dan NaOH . Menurut Girault *et al.* (2012), apabila inokulum memiliki Nilai pH dan alkalinitas yang cukup tinggi maka penambahan inokulum dapat digunakan untuk menaikkan pH campuran hingga kisaran yang diinginkan. Kadarwati (2003), menjelaskan bahwa nilai pH optimum dalam produksi biogas berkisar antara 6,8 - 8.

4.2.3 Penambahan Sampah Makanan dan/atau Lumpur Limbah Domestik

Untuk variabel variasi substrat yang digunakan untuk *co-digestion* pada studi kasus ini adalah menggunakan sampah makanan dan lumpur limbah domestik. Alasan penggunaan sampah makanan dan lumpur limbah domestik adalah sesuai studi yang telah dilakukan yaitu studi *co-digestion* terdahulu yang telah dilakukan antara fraksi organik dari limbah padat domestik begitu juga dengan sampah makanan yang dikombinasikan dengan limbah minyak dan lemak menunjukkan bahwa ada peningkatan gas metana yang dihasilkan sebesar 46% (Sandriaty *et al.*, 2018).

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, limbah minyak dan lemak dapat menghasilkan produksi biogas lebih banyak dengan rasio penambahan substrat yang tepat. Penambahan sampah makanan dan lumpur limbah domestik juga telah banyak diamati dan terbukti mampu meningkatkan potensi dari biogas. Perlakuan yang sama dilakukan terhadap *co-digestion* antara limbah minyak dan lemak dengan sampah makanan dan/atau lumpur limbah, yaitu pencampuran substrat dengan rasio konsentrasi VS sesuai penelitian terdahulu (Zhu *et al.*, 2011; Yalcinkaya dan Malina, 2015). Rasio tersebut (sampah makanan/lumpur limbah : minyak dan lemak) adalah 1:1,5; 1:2; 1:4. Perlakuan tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

1. **Co-Digestion dengan Sampah Makanan**

Sampah makanan dikumpulkan dari sisa – sisa makanan pada rumah makan. Sampah makanan yang dikumpulkan utamanya berupa sisa daging dan sisa sayur. Selanjutnya, sampah makanan dicacah dengan alat pencacah untuk mengurangi ukuran partikel sampah makanan menjadi kurang dari 5 mm untuk mempermudah perombakan. Kemudian dimasukkan kedalam tangki dan diencerkan dengan air ledeng dengan perbandingan berat 1: 1,4 (sampah makanan: air ledeng) dalam tangki. Suhu tangki dipertahankan sampai 4 °C kemudian diaduk dalam tangki untuk memastikan homogenitasnya. (Chowdhury *et al.*,2019). Kemudian sampah makanan dicampur dengan limbah minyak dan lemak pada reaktor anaerobik. Karakteristik dari sampah makanan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Karakteristik Awal Sampah Makanan

Parameter	Nilai	Satuan
pH	6,1	-
TS	23,3	(g/L)
VS	19	(g/L)
COD	44,8	(g/L)

Sumber: Chowdhury et al.,2019

2. **Co-Digestion dengan Lumpur Limbah Domestik**

Bahan lumpur limbah yang digunakan untuk pencernaan anaerob dalam penelitian ini diperoleh dari instalasi pengolahan air limbah. Sampel lumpur limbah diambil dari aliran lumpur pada unit flotasi yang diumpankan dengan lumpur primer dan sekunder. Bahan lumpur limbah kemudian disimpan pada suhu 4°C sebelum digunakan (Zhu *et al.*, 2011). Kemudian sampah makanan dicampur dengan limbah minyak dan lemak pada reaktor anaerobik sesuai perlakuan. Karakteristik dari lumpur limbah dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Karakteristik Awal Lumpur Limbah Domestik

Parameter	Nilai	Satuan
pH	5,15	-
TS	19,2	(g/L)
VS	17,4	(g/L)
COD	38,8	(g/L)

Sumber: Zhu et al., 2011

4.2.4 Pengaturan Suhu Mesofilik dan Termofilik

Banyak penelitian yang menunjukkan hasil bahwa perbedaan suhu pada proses perombakan anaerobik berpengaruh terhadap produksi biogas serta kandungan metananya. Karena pada suhu kamar degradasi anaerob sangat lambat, maka secara teknis hanya suhu kisaran mesofilik dan termofilik yang menarik untuk digunakan, (Vindis *et al.*, 2009). Berdasar studi literatur diketahui bahwa proses degradasi akan berjalan lebih optimal pada suhu yang lebih tinggi. Pencernaan pada suhu termofilik 4 kali lebih kuat, memiliki efisiensi penghilangan VS yang lebih tinggi dan menghasilkan lebih banyak biogas. Peningkatan produksi biogas pada perlakuan suhu dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Peningkatan Produksi Biogas Berdasarkan Suhu

Suhu	°C	Peningkatan Biogas (%)
Mesofilik	30 - 40	24 - 160
Termofilik	50 - 60	8 - 10

Sumber Darmanto et al., 2012; Purnomo, 2010

Kemudian setelah dilakukan beberapa perlakuan pada tiap reaktor dilihat karakteristik dari substrat anaerobik *co-digestion*. Tujuan dari karakterisasi adalah untuk melihat nilai efisiensi perombakan substrat limbah organik yang terjadi selama proses fermentasi terhadap beberapa sifat fisik, kimia, dan biologi dari limbah (Indriyani, 2009). Karakteristik dari tiap substrat dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4. 6 Karakteristik Substrat *Co-Digestion* dengan Sampah Makanan

Substrat	VS (g/L)		COD (g/L)	Suhu (°C)
	SM	ML		
S1	4	6	18,2	35 52
S2	4	8	20,2	35 52
S3	4	16	28,6	35 52

SM: Sampah Makanan; ML : Minyak dan Lemak

Tabel 4. 7 Karakteristik Substrat *Co-Digestion* dengan Lumpur Limbah Domestik

Substrat	VS (g/L)		COD (g/L)	Suhu (°C)
	LL	ML		
L1	4	6	16,4	35 52
L2	4	8	22,4	35 52
L3	4	16	30,4	35 52

LL: Lumpur Limbah Domestik; ML : Minyak dan Lemak

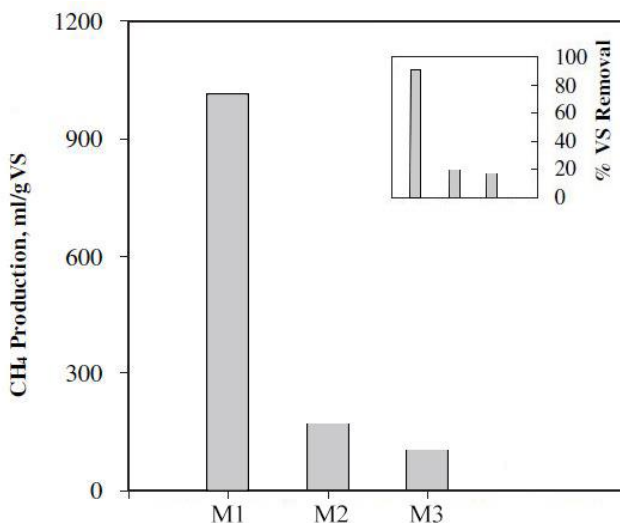
4.3 Produksi Biogas

Biogas merupakan gas produk akhir dari proses degradasi materi organik seperti karbohidrat, lemak, dan protein. Kecepatan dan efisiensi perombakan proses degradasi substrat tergantung pada bentuk secara fisik dan secara kimia (jenis substrat maupun inokulum). Selain jenis, konsentrasi juga sangat berperan dalam proses perombakan dan produksi biogas (Purnomo, 2010). berdasarkan hasil studi literatur terkait analisis akumulasi produksi

biogas yang telah dilakukan, maka hasil perombakan substrat tunggal dari minyak dan lemak dan *co-digestion* limbah minyak dan lemak dapat dilihat pada Tabel 4.8 hingga Tabel 4.10.

Tabel 4. 8 Produksi Biogas Pada Perombakan Anaerobik Substrat Tunggal Limbah Minyak Dan Lemak

Substrat	VS awal (g/L)	VS akhir (g/L)	VS removal (%)	Produksi Biogas (mL/g VS)
M1	5	0,47	90	1140
M2	10	8,02	20	160
M3	15	12,2	18	110



Gambar 4. 1 Grafik Produksi Biogas Substrat Tunggal Limbah Minyak Dan Lemak

Berdasarkan hasil dari perombakan tunggal minyak dan lemak pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.1, dapat diketahui bahwa perombakan anaerobik menggunakan substrat tunggal minyak dan lemak dengan konsentrasi VS sebesar 5 g/L menghasilkan

perombakan yang selesai karena mencapai VS *removal* sebesar ~90%. Kemudian hal tersebut juga ditunjukkan dengan dihasilkannya produksi biogas sebesar 1040 mL/g vS. Sedangkan perombakan anaerobik tunggal minyak dan lemak dengan konsentrasi VS sebesar 10 – 15 g/L menunjukkan adanya penghambatan pada proses perombakannya dengan VS *removal* yang hanya sebesar 18-20%, dengan produksi biogas yang rendah yaitu sebesar 160 mL/g VS.

Berdasar studi yang telah dilakukan hal ini dapat disebabkan karena komponen utama minyak dan lemak adalah rantai panjang asam lemak, yang pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan sifat toxic terhadap bakteri metanogen. Sehingga keadaan substrat terlalu asam karena tidak dapat diproses oleh bakteri metanogen pada tahap metanogenesis.

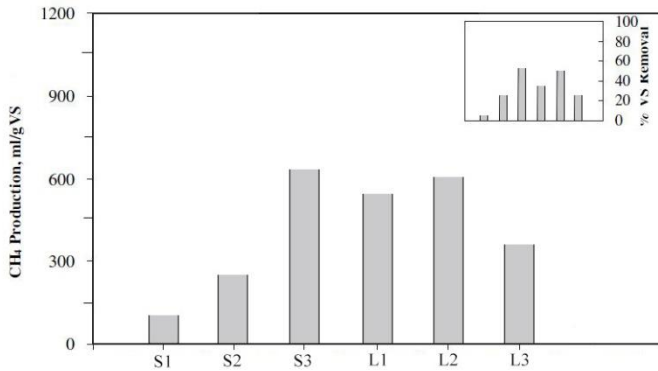
Tabel 4. 9 Produksi Biogas Pada Co-Digestion Limbah Minyak dan Lemak Suhu Mesofilik

Substrat	Suhu (°C)	VS Reduction (%)	COD Reduction (%)	Produksi Biogas (mL/g VS)
S1	35	5	30	82,2
S2	35	25	50	232
S3	35	54	75	630
L1	35	35	52	560,4
L2	35	50	70	608,7
L3	35	25	45	320

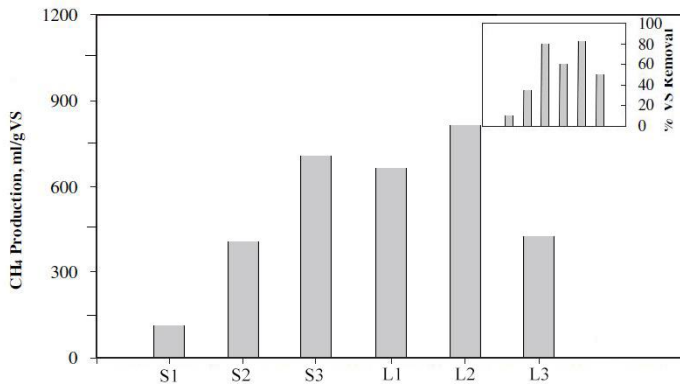
Tabel 4. 10 Produksi Biogas Pada Co-Digestion Limbah Minyak dan Lemak Suhu Termofilik

Substrat	Suhu (°C)	VS Reduction (%)	COD Reduction (%)	Produksi Biogas (mL/g VS)
S1	52	12	36	126,6
S2	52	35	58	420,4
S3	52	66	80	714,8

Substrat	Suhu (°C)	VS Reduction (%)	COD Reduction (%)	Produksi Biogas (mL/g VS)
L1	52	42	60	640
L2	52	68	82	824
L3	52	32	50	416,2



Gambar 4. 2 Grafik Produksi Biogas *Co-Digestion* pada Suhu Mesofilik



Gambar 4. 3 Grafik Produksi Biogas *Co-Digestion* pada Suhu Termofilik

Berdasarkan data studi kasus yang diperoleh, jumlah produksi biogas yang diperoleh berdasarkan variasi substrat menunjukkan hasil yang berbeda – beda. Berdasarkan data studi kasus yang diperoleh, pada suhu mesofilik (35 °C) produksi biogas tertinggi diperoleh dari reaktor S3 yaitu sebesar 630 mL/g VS dengan *co-digestion* limbah minyak dan lemak dengan sampah makanan yang mencapai angka *%removal* VS sebesar 54% dan produksi biogas terendah diperoleh dari reaktor S1 yaitu sebesar 82,2 mL/g VS dengan *co-digestion* limbah minyak dan lemak dengan sampah makanan yang mencapai angka *%removal* VS hanya sebesar 5%.

Pada suhu termofilik (52°C) produksi biogas tertinggi diperoleh dari reaktor L2 yaitu sebesar 824 mL/g VS dengan *co-digestion* limbah minyak dan lemak dengan sampah makanan yang mencapai angka *%removal* VS cukup tinggi yaitu sebesar 68% dan produksi biogas terendah diperoleh dari reaktor S1 yaitu sebesar 126,6 mL/g VS dengan *co-digestion* limbah minyak dan lemak dengan sampah makanan yang mencapai angka *%removal* VS hanya sebesar 12%.

Menurut studi literatur secara teori semakin banyak bahan organik yang terdegradasi, maka semakin banyak metana yang diproduksi. Nugrahini et al. (2008), menyebutkan bahwa tingkat reduksi yang tinggi akan menghasilkan jumlah akumulasi gas yang besar dan begitu juga sebaliknya. Berdasarkan studi kasus, dapat diketahui bahwa tingkat reduksi VS dan COD berbanding lurus dengan potensi metana pada *co-digestion* limbah minyak dan lemak.

Dari data studi kasus serta studi literatur tersebut, diketahui bahwa *co-digestion* antara minyak dan lemak dengan sampah makanan membutuhkan konsentrasi VS yang tinggi dari minyak dan lemak untuk memperoleh proses perombakan yang optimal dan produksi biogas yang tinggi. Berbeda dengan *co-digestion* antara minyak dan lemak dengan lumpur limbah domestik, dimana konsentrasi VS yang terlalu tinggi dari minyak dan lemak menghasilkan proses perombakan yang tidak optimal. Menurut Mu et al. (2019), hal ini dapat disebabkan karena sampah makanan mengandung lebih banyak kandungan organik yang mudah terurai yaitu protein (17,2%), karbohidrat (52,2%), dan lemak (23,9%) dibandingkan lumpur limbah domestik. Dimana

lumpur limbah domestik utamanya mengandung bahan organik yang berasal dari sel mikroba, dan protein adalah komponen utama. Komposisi organik yang berbeda dari kedua substrat akan menghasilkan produksi biogas yang berbeda dalam aplikasi praktiknya. Oleh karena itu Mu *et al.*, (2019) menyampaikan bahwa sampah makanan merupakan *co-substrat* yang lebih tepat untuk digunakan perihal pemanfaatannya sebagai biogas karena memiliki kandungan organik mudah terurai yang tinggi.

Akan tetapi konsentrasi VS minyak dan lemak yang kecil pada *co-digestion* antara minyak dan lemak dengan sampah makanan, menghasilkan perombakan anaerobik yang tidak optimal dengan angka *%removal* yang relatif rendah. Sedangkan *co-digestion* antara minyak dan lemak dengan lumpur limbah domestik dengan konsentrasi VS minyak dan lemak yang kecil, mampu memperoleh angka *%removal* VS sebesar 35% pada suhu mesofilik. Berdasarkan studi yang telah dilakukan sebelumnya, perombakan dari minyak dan lemak dengan lumpur dari limbah domestik dapat mengencerkan zat-zat beracun atau penghambat dan menyeimbangkan parameter proses pencernaan anaerob yang kritis, sehingga perombakan lebih stabil.

Pada studi kasus perlakuan suhu pada tiap digester adalah sekitar 35°C yaitu suhu mesofilik dan 52°C yaitu suhu termofilik. Kemudian dari data hasil studi kasus tersebut diketahui bahwa perlakuan dengan suhu termofilik mampu menghasilkan perombakan anaerobik yang lebih optimal dan produksi biogas yang tinggi. Temperatur berperan penting dalam mengatur jalannya reaksi metabolisme bagi bakteri, temperatur lingkungan yang berada lebih tinggi dari temperatur yang dapat ditoleransi akan menyebabkan protein dan komponen sel esensial lainnya sehingga sel akan mati. Demikian pula bila temperatur lingkungannya berada di bawah batas toleransi, transportasi nutrisi akan terhambat dan proses kehidupan sel akan terhenti, dengan demikian temperatur berpengaruh terhadap proses perombakan *anaerob* bahan organik dan produksi gas (Darmanto *et al.*, 2012).

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi literatur yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Substrat tunggal limbah minyak dan lemak rumah makan dengan konsentrasi VS sebesar 5–15 g/L dapat menghasilkan biogas sebesar 110 – 1140 ml/g VS.
2. Penambahan substrat berupa sampah makanan untuk *co-digestion* dengan limbah minyak dan lemak dengan konsentrasi VS yang semakin tinggi menunjukkan hasil yang lebih baik dengan rasio optimal pada rasio konsentrasi VS(g/L) 1:4 (sampah makanan : minyak dan lemak)
3. Penambahan substrat berupa lumpur limbah domestik untuk *co-digestion* dengan limbah minyak dan lemak dengan konsentrasi VS yang semakin tinggi menunjukkan hasil yang lebih baik dengan rasio optimal pada rasio konsentrasi VS(g/L) 1:2 (sampah makanan : minyak dan lemak)
4. Produksi biogas terbaik diperoleh pada perlakuan suhu termofilik (50-60°C) dengan produksi biogas tertinggi sebesar 824 mL/gVS dibandingkan dengan hasil produksi biogas tertinggi pada kondisi mesofilik (30-40°C) yaitu sebesar 630 mL/gVS.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Perlu melakukan validasi data terkait topik literatur yang diambil
2. Melakukan penelitian yang selanjutnya dapat dilakukan verifikasi pada uji laboratorium.

-Halaman Sengaja Dikosongkan-

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., Irwanto, A. K., Siregar, N., Agustina, E., Tambunan, A. H., Yasin, M., Hartulistiyoso, E., Purwanto, Y. A. 1991. *Energi dan Listrik Pertanian*. JICA-DGHE/IPB Project/ADAET, JTA-9a (132).
- Abuzar, S. S., Afrianita, R., Notrilauvia, N. 2012. Penyisihan Minyak dan Lemak Limbah Cair Hotel Menggunakan Serbuk Kulit Jagung. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 9(1), 13–25.
- Adrianto A. 2003. Penentuan parameter kinetika proses biodegradasi anaerob limbah cair pabrik kelapa sawit. Laboratorium Rekayasa Bioproses, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Riau : Pekanbaru. *Jurnal Natur Indonesia* 6(1):45-48.
- Alqaralleh, R.M., Kennedy, K., Delatolla, R. 2018. *Improving biogas production from anaerobic co-digestion of Thickened Waste Activated Sludge (TWAS) and fat, oil and grease (FOG) using a dual-stage hyper-thermophilic/thermophilic semi-continuous reactor*. Journal of Environmental Management. 217 : 416-428.
- Angelidaki, I., Ahring, B.K., 1992. *Effects of free long-chain fatty-acids on thermophilic anaerobic-digestion*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 37, 808–812.
- Angelidaki, I., Sanders, W., 2004. Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technol.* 3, 117-129.
- Arthur R. 2009. *Feasibility Study For Institutional Biogas Plant At KNUST Sewage Treatment Plant*. MSc. Thesis, Kwame Nkrumah University of Science and Technology.
- Arthur, S., Blanc, J., 2013. *Management and Recovery of FOG (Fats, Oils and Greases)*. Institute for Infrastructure and the Environment, Heriot-Watt University, Edinburgh, EH14 4AS, Scotland, UK. CREW project CD2013/6, Scotlands Centre of Expertise for Waters.
- Budiyono, G. Kaerunnisa, I. Rahmawati. 2013. Pengaruh PH dan Rasio COD:N Terhadap Biogas Dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol (Ninasse). *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol 11 No 1 : 1 – 6.

- Burke A.D. 2001. *Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook*. Environmental Energi Company : Olympia.
- Bitton, G. 1999. *Wastewater Microbiology*. 2nd ed. Wiley Liss Inc. New York.
- Canakci M . 2007. *The Potential Of Restaurant Waste Lipids As Biodiesel Feedstocks*. *Bioresour Technol*; 98 :183–90
- Costa J.d., 2011. Optimasi Produksi Biogas Pada Anaerobic Digester Biogas Type Horizontal Berbahan Baku Kotoran Sapi Dengan Pengaturan Suhu Dan Pengadukan. (Thesis) Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Chowdhurry, B., Lin, L., Dhar , B.R., Islam, M.N., McCartney, D., Kumar, A. 2019. *Enhance Biomethane Recovery From Fat, Oil, And Grease Through Co-Digestion With Food Waste And Addition Of Conductive Materials*. *Chemosphere* 236. 124362.
- Darmanto, A., Soeparman, S., Widhiyanuriawan. 2012. *Pengaruh Kondisi Temperatur Mesophilic (35°C) dan Thermophilic (55°C) Anaerob Digester Kotoran Kuda Terhadap Produksi Biogas*. *Rekayasa Mesin*, Vol.3 No.2 : 317-326.
- Davidsson, A., Lovstedt, C., Jansen, J.L., Gruvberger, C., Aspegren, H., 2008. *Codigestion of grease trap sludge and sewage sludge*. *Waste Manage.* 28, 986–992.
- Dewanto, E. 2008. *Pengolahan Limbah Tapioka Menjadi Biogas (Energi Alternatif) Melalui Penerapan Teknologi Bioproses*. Fakultas Pertanian. Universitas Soedirman. Purwokerto.
- Diez, V., Ramos, C., Cabezas, J. L. 2012. Treating Wastewater with High Oil and Grease Content Using An Anaerobic Membrane Bioreactor (AnMBR). *Filtration and Cleaning Assays. Water Science and Technology*, 65(10), 1847–1853.
- Engler, C.R., M.J. McFarland and R.D. Lacewell,. 2000. Economic and environmental impact of biogas production and use. <http://dallas.edu/biogas/eaai.html>.
- Ford, S. 2012. *Advances in Biogas*. Pira International Ltd:Leatherhead. (66).
- German Appropriate Technology Exchange (GATE) and German Agency for Technical Cooperation (GTZ). 2007. *Biogas*

- Digest Volume II: Application and Product Development, Frankfurt, Germany.
- Gebreyessus, G.D., Jenicek, P., 2016. *Thermophilic Versus Mesophilic Anaerobic Digestion Of Sewage Sludge: A Comparative Review*. Bioengineering (Basel) 3 (2), 1–14.
- Gerardi, M. H. 2003. *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. John Wiley & Sons, Inc:Pennsylvania. (188).
- Ginting, N. 2007. Penuntun Praktikum : *Teknologi Pengolahan Limbah Peternakan*. Departemen Peternakan Fakultas Pertanian : Universitas Sumatera Utara.
- Girault, R., Bridoux, G., Nauleau, F., Poullain, C., Buffet, J., Peu, P., Sadowski, A.G., Beline, F., 2012. *Anaerobic Co-Digestion Of Waste Activated Sludge And Greasy Sludge From Flotation Process: Batch Versus CSTR Experiments To Investigate Optimal Design*. Bioresource Technol. 105, 1–8.
- Grosser, A., 2017. *The Influence Of Decreased Hydraulic Retention Time On The Performance And Stability Of Co-Digestion Of Sewage Sludge With Grease Trap Sludge And Organic Fraction Of Municipal Waste*. J. Environ. Manag. 203, 1143–1157.
- Gunstone, F. D. 2004. *The Chemistry of Oils and Fats* (1st ed.). UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Hanifah, T.A; Christine, J; dan Titania, T.N. 2001. *Pengolahan limbah cair tapioka dengan teknologi EM (Effective Microorganisms)*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau. Jurnal Natur Indonesia III (2): 95-103 (2001).
- Harahap, I. V., 2007. *Uji Beda Komposisi Campuran Kotoran Sapi Dengan Beberapa Jenis Limbah Pertanian Terhadap Biogas Yang Dihasilkan*. Skripsi Departemen Teknologi Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Haryati, Tuti. 2006. *Biogas : Limbah peternakan yang menjadi sumber energi alternatif*. Jurnal Wartazoa. Vol 16 no 3 Th 2006. Balai Penelitian Ternak : Bogor.Kabouris et al., 2008).
- Herlina, N., Ginting, M. H. S. 2002. *Lemak dan Minyak*. Jurnal Fakultas Teknik.

- Hermawan. Beni., L. Qodriyah., dan C. Puspita. 2007. *Pemanfaatan Sampah Organik Sebagai Sumber Biogas Untuk Mengatasi Krisis Energi Dalam Negeri*. Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa. Universitas Lampung:Bandar Lampung
- Indriyani. 2009. *Pemanfaatan Limbah Rumah Makan dan Industri Gula (Molase) Untuk Produksi Biogas*. Skripsi Jurusan Biologi Universitas Sebelas Maret.
- Jenie, B.S.L. dan Winiati P.R. 1993. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Jorgensen, P.J. 2009. *Biogas-Green Energy*. Aarhus University. Aarhus. 36 hlm.
- Kabouris, J.C., Tezel, U., Pavlostathis, S.G., Englemann, M., Dulaney, J., Gillette, R.A., Todd, A.C., 2009. Methane recovery from the anaerobic codigestion of municipal sludge and FOG. *Bioresour. Technol.* 100 (15), 3701–3705.
- Kabouris, J.C., Tezel, U., Paviostathis, S.G., Englemann, M., Dulaney, J.A., Todd, A.C., Gillette, R.A. 2009. *Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion of Municipal Sludge and Fat, Oil, and Grease*. *Water Environment Research*. Volume 81 No.5.
- Kadarwati, Sri. 2003. *Studi Pembuatan Biogas dari Kotoran Kuda dan Sampah Organik Skala Laboratorium*. *Jurnal P3TEK Vol.2, No.1*
- Kadir, A. 1995. *Energi : Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*. Edisi Kedua. Jakarta : Universitas Indonesia (UI Press).
- Kale. S.P. and S.T. Mehetre. 2009. *Biogas Plant Based On Kitchen Waste*. Nuclear Agriculture and Biotechnology Division.
- Kapdi, S.S., Vijay V.K., Rajesh S.K., Prasad R. 2005. *Biogas Scrubbing, Compression and Storage: Perspective and Prospectus in Indian Context*. *Renewable Energy*, vol. 30, 1196 – 1199.
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan* (1st ed.). Jakarta: UI-Press.
- Khasristya Amaru. 2004. *Rancang Bangun dan Uji Kinerja Biodigester Plastik Polyethylene Skala Kecil (Studi Kasus*

- Ds. Cidatar Kec. Cisurupan, Kab. Garut*). [Tugas Akhir]. Fakultas Pertanian, UNPAD : Indonesia.
- Kim, S.H., Han, S.K., Shin, H.S., 2004. *Kinetics Of LCFA Inhibition On Acetoclastic Methanogenesis, Propionate Degradation And Beta-Oxidation*. J. Environ. Sci. Health A: Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng. 39 (4), 1025–1036.
- Kobayashi, T., Kuramochi, H., Maeda, K., Tsuji, T., Xu, K. 2014. *Dual-Fuel Production From Restaurant Grease Trap Waste: Bio-Fuel Oil Extraction And Anaerobic Methane Production From The Post-Extracted Residue*. Bioresource Technology 169: 134-142.
- Koopmans, A. 1998. *Trend in Energy Use*. Expert Consultation on Wood Energy, Climate and Health. 7-9 October, Phuket, Thailand.
- Kresnawaty, Irma., I. Susanti., Siswanto., dan Tri Panji. 2008. *Optimasi produksi biogas dari limbah lateks cair pekat dengan penambahan logam*. Jurnal Menara Perkebunan. Vol 76(1): 23-35.
- Lenny, H. W., dan Purnomo, C. W. 2015. *Peningkatan Produksi Biogas dari Stillage dengan Imobilisasi Bakteri Anaerobik pada Media Padatan Berpori*. Tesis Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada.
- Li, Y., Jin, Y., Li, H., Borrion, A., Yu, Z., Li, J., 2018. *Kinetic studies on organic degradation and its impacts on improving methane production during anaerobic digestion of food waste*. Appl. Energy 213, 136–147.
- Long, J.H., Aziz, T.N., Francis, L., Ducoste, J.J., 2012. Anaerobic co-digestion of fat, oil, and grease (FOG): a review of gas production and process limitations. Process Saf. Environ. Prot. 90 (3), 231–245.
- Luostarinen, S., Luste, S., Sillanpaa, M., 2009. *Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant*. Bioresource Technol. 100, 79–85.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Brock, T.D., 2006. *Brock Biology of Microorganisms*. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

- Mahajoeno, E., Lay W.B, Sutjahjo, H.S., Siswanto. 2008. *Potensi Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit untuk Produksi Biogas*. Biodiversitas (9): 48– 52.
- Maharani, V.S. 2017. *Studi Literatur: Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan, Fakultas teknik sipil dan perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Malakahmad A., Basri N.A., Zain S. Md. 2009. *An Application Of Anaerobic Baffled Reactor To Produce Biogas From Kitchen Waste*. Waste Management and the Environment IV. 655.
- Manurung, R. 2004. *Proses Anaerobik ebagai Alternatif Untuk Mengolah Limbah Sawit*. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Mao, C., Feng, Y., Wang, X., Ren, G., 2015. *Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion*. Renew. Sustain. Energy Rev. 45, 540e555.
- Maramba, Felix D., Sr. 1978. *Biogas and waste recycling: The Philippine experience*. Philippines: Metro Manila Maya Farms Division—Liberty Flour Mills.
- Mardianto, W., Apriani, I., Hayati, R. 2014. *Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menggunakan Sistem Kombinasi ABR Dan Wetland Dengan Sistem Kontinyu*. Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik. Universitas Tanjungpura, Pontianak
- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Macee, S., Astals, S., 2011. *Codigestion of solid wastes: a review of its uses and perspectives including modeling*. Crit. Rev. Biotechnol. 31, 99–111.
- Mayaari, H.D., Riftanto, I.M., Aini. L.N., Ariyanto, M.R. 2010. *Pembuatan Biodigester Dengan Uji Coba Kotoran Sapi Sebagai Bahan Baku*. Laporan Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret.
- Metcalf & Eddy . 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*, 4th ed., McGraw-Hill, Singapore.
- Mu L., L. Zhang, K. Zhu, J. Ma, M. Ifran, A. Li. 2019. Anaerobic co-digestion of sewage sludge, food waste and yard waste:

- Synergistic enhancement on process stability and biogas production, *Science of the Total Environment*.
- Munazah, A.R dan Prayatni Soewondo. 2008. *Penyisihan Organik Melalui Dua Tahap Pengolahan Dengan Modifikasi ABR Dan Constructed Wetland Pada Industri Rumah Tangga*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITB. Volume 4 No 4.
- Nakhla G, Al-Sabawi M, Bassi A, Liu V. 2003. *Anaerobic Treatability Of High Oil And Grease Rendering Wastewater*. *J Hazard Mater*;102:243e55.
- Nasir, M., dan Saputro, E. P. 2015. *Manajemen Pengelolaan Limbah Industri*. Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Surakarta. Volume 19, Nomor 2 : 143-149.
- Ngili, Y. 2009. *Biokimia Struktur dan Fungsi Biomolekul* (1st ed.). Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Nugrahini, Panca; T.M.Rizki Habibi; dan Anita Dwi Safitri. 2008. *Penentuan parameter kinetika proses anarobik campuran limbah cair industri menggunakan reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*. Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008, Universitas Lampung, 17-18 November 2008.
- Nugroho, A., R.P Djoko M. dan Danny S. 2007. *Cara Mengatasi Limbah Rumah Makan*. Teknik Kimia Universitas Diponegoro : Semarang.
- Nurhasanah, A., Teguh W.W., Ahmad A. dan Elita R. 2006. *Perkembangan Digester Biogas di Indonesia (Studi Kasus di Jawa Barat dan Jawa Tengah)*. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian : Serpong.
- O'Faherty V, Collins G, & M. Therese, 2006. *The Microbiology and Biodiversity of anaerobic bioreactor with relevance to domestics sewage treatment*, //http:www.development of biogas denmask, pdf. (9 Desember 2009)
- Palatsi, J., Lauren, M., Andrqs, M.V., Flotats, X., Nielsen, H.B., Angelidaki, I., 2009. *Strategies for recovering inhibition caused by long chain fatty acids on anaerobic thermophilic biogas reactors*. *Bioresource Technol*. 100 (20), 4588–4596.

- Pambudi, N.A. 2008. *Pemanfaatan biogas sebagai energi alternatif*. Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik:Universitas Gadjah Mada.
- Pancapalaga, Wehandaka 2007. *Evaluasi Briket Kotoran Sapi Dan Limbah Pertanian (Kosap Plus) Sebagai Bahan Bakar Alternatif. (Thesis)* Malang: UMM.
- Parry, D.L., Vandenburg, S., Salerno, M., 2008. *Making Methane: Co-Digestion Of Organic Waste With Wastewater Solids*. In: Proceedings of the Water Environment Federation, pp.1045–1062.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. 2013.
- Polprasert, C. 1996. *Organic Waste Management : Technology and Management*. Chichester, England.
- Purnomo, A. 2010. *Pengaruh Suhu dan Sumber Inokulum Terhadap Produksi Biogas dari Limbah Makanan pada Perombakan Anaerob*. Skripsi Jurusan Biologi. Universitas Sebelas Maret
- Ratnaningsih, Widyatmoko, H dan Yananto, T. 2009. *Potensi pembentukan biogas pada proses biodegradasi campuran sampah organik segar dan kotoran sapi dalam batch reaktor anaerob*. Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol 5(1): 20-26.
- Reith, J.H., H. den Uil, H. van Veen, W.T.A.M. de Laat, J.J. Niessen, E. de Jong, H.W. Elbersen, R. Weusthuis, J.P. van Dijken & L. Raamsdonk. 2002. *Co-Production Of Bio-Ethanol, Electricity And Heat From Biomass Residues*. Proceedings of the 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Amsterdam, The Netherlands. pp. 1118 - 1123.
- Rukmini, P. 2016. *Produksi Biogas dari Sampah Buah dan Sayur: Pengaruh Volatile Solid dan Limomen*. Konversi, Volume 5 No.2.
- Safitri, L. 2016. *Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menggunakan Filtrasi Membran Sintesis Zeolit dan Kitosan untuk Menurunkan Konsentrasi TSS dan Zat Organik*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik

- Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Salama, E., Saha, S., Kurade, M.B., Dev, S., Chang, S.W., Jeon, B. 2018. *Recent Trends In Anaerobic Co-Digestion: Fat, Oil, And Grease (FOG) For Enhanced Biomethanation*. Progress in Energy and Combustion Science. 70 :22-42.
- Sandriaty, R., Priadi, C., Kurnianingsih, S., Abdillah, A. 2018. *Potential Of Biogas Production From Anaerobic Co-Digestion Of Fat, Oil And Grease Waste And Food Waste*. E3s Web of Conferencces 67, 02047.
- Santoso, A. A. 2010. *Produksi Biogas Dari Limbah Rumah Makan Melalui Peningkatan Suhu dan Penambahan Urea Pada Perombakan Anaerob*. Skripsi Jurusan Biologi Universitas Sebelas Maret.
- Samudro, G., Mangkoedihardjo, S. 2010. *Review On Bod, Cod And Bod/Cod Ratio: A Triangle Zone For Toxic, Biodegradable And Stable Levels*. International Journal Of Academic Research. Vol.2 No.4.
- Saputra, P. 2016. *Potensi Campuran Limbah Cair Industri Tahu dan Kotoran Sapi Sebagai Substrat Penghasil Biogas*. Skripsi Jurusan Biologi Universitas Islam Negeri Malulana Malik Ibrahim.
- Sedghami M , Raeissi S , Attar F , Salimi M , Mehrabi K . *In-Situ Transesterification Of Residual Vegetable Oil In Spent Bleaching Clay With Alkali Catalysts Using CCD-RSM Design Of Experiment*. Fuel 2019; 237 :515–21
- Setiawan. 2004. *Industri Tapioka Penanganan Limbah Cair dan Padat*. Makalah pada Lokakarya Pemanfaatan Limbah Industri Tapioka, Bogor, 19-20 Juli.
- Shakourifar, N., Krisa, D., Eskicioglu, C. 2020. *Anaerobic Co-Digestion of Municipal Waste Sludge With Trap Waste Mixture: Point of Process Failure Determination*. Renewable Energy. 154 : 117-127.
- Shao, J., Yuan, X., Leng, L., Huang, H., Jiang, L., Wang, H., Chen, X., Zeng, G., 2015. *The Comparison Of The Migration And Transformation Behavior Of Heavy Metals During Pyrolysis And Liquefaction Of Municipal Sewage Sludge*,

- Paper Mill Sludge, And Slaughterhouse Sludge.* Bioresour. Technol. 198, 16–22.
- Shi, X., Guo, X., Zuo, J., Wang, Y., Zhang, M., 2018. *A comparative study of thermophilic and mesophilic anaerobic co-digestion of food waste and wheat straw: process stability and microbial community structure shifts.* Waste Manag. 75, 261–269.
- Sherrington, K.B. 1981. *Ilmu Pangan : Pengantar Ilmu Pangan Nutrisi dan Mikrobiologi.* Yogyakarta :UGM Press.
- Simamora, S. et al. 2006. *Membuat Biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak Dan Gas Dari Kotoran Ternak.* Jakarta: AgroMedia Pustaka
- SNI 06-6989.10-2004. 2004. *Air dan Air Limbah – Bagian 10: Cara Minyak dan Lemak Secara Gravimetri.* Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 06-6989.26:2005. 2005. *Air dan Air Limbah – Bagian 26: Cara Uji Kadar Padatan Total Secara Gravimetri.* Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 6989.57:2008. 2008. *Air dan Air Limbah – Bagian 57: Metoda Pengambilan Contoh Air Permukaan.* Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 6989.72:2009. 2009. *Air dan Air Limbah – Bagian 72: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Deman/BOD).* Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- Suastuti, N.G.A.M.D.A., Suprihatin, I.E., Sulihingtyas, W.D., Laksmiwati, A.A.I.A.M. 2018. *Rizodegradasi Untuk Minimalisasi BOD, COD, Kandungan Detergen dan Lemak Limbah Cair Rumah Makan.* Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Udayana, Bali.
- Sufyandi, A. 2011. *Informasi Teknologi Tepat guna Untuk Pedesaan Biogas.* Bandung.
- Suyasa, I. W. B., Arsa, I. M. 2013. Penurunan Konsentrasi Minyak dan COD Air Limbah Operasional Pembangkit Listrik dengan Flotasi dan Lumpur Aktif. *Jurnal Bumi Lestari*, 13(1), 98–105.
- Syamsudin; Purwati, S; dan Andri, T. R. 2008. *Efektivitas aplikasi enzim dalam sistem lumpur aktif pada pengolahan air limbah pulp dan kertas.* Balai Besar Pulp dan Kertas,

- Bandung. *Berita Selulosa* Vol. 43(2), hal 83-92, Desember 2008.
- Tang, H. L., Xie, F. Y., Chen, Y. 2012. *Use Of Bio-Amp, A Commercial Bio-Addictive For The Treatment Of Grease Trap Wastewater Containing Fat, Oil, and Grease*. *Bioresource Technology* (124) : 52 -58.
- Triakuntini, E., Sudarno, Sutrisno, E. 2013. *Pengaruh Pencemaran dan Pengadukan Pada Produksi Biogas Dari Limbah Rumah Makan Dengan Menggunakan Starter Ekstrak Rumen Sapi*. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- United Nations. 1980. *Guidebook on Biogas Development*. Energy Resources Development Series No. 21. Economic and Social Commission for Asia and The Pacific. Bangkok. Thailand.
- Unnithan, Chitra. 2008. *Compact 'biokitch' to help generate bio gas from kitchen waste*. <http://www.business-standard.com/india/>
- Veziroglu, T.N. 1991. Hydrogen Technology for Every Needs of Human Settlement. *Int. Journal Hydrogen Energy*, 12:99.
- Vindis, P. Mursec ., Janzekovic. M., Cus.F., 2009. *The Impact Of Mesophilic And Thermophilic Anaerobic Digestion On Biogas Production*, University of Maribor, Slovenia.
- Vital, V.D.S.J., Diane, K.N.S., Djisson, A.M.S., Apollinaire, M.G., Didier, F.E., 2016. *Effect of 5 Animal Manures (Pig, Poultry, Rabbit, Cattle, and Sheep) On Nutritional Quality of Earthworm Meal (Eiseniafetida) in Vermicompost*. *International Journal of Advanced Research*. 4(11), 1117-1122.
- Wahyuni, S. 2013. *Panduan Praktis Biogas*. Penebar Swadaya. Jakarta. 116 hlm.
- Wan, C., Zhou, Q., Fu, G., Li, Y., 2011. Semi-continuous anaerobic co-digestion of thickened waste activated sludge and fat, oil and grease. *Waste Manag.* 31, 1752-1758.
- Wati, D. A. T., dan Sugito. 2013. *Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair Pabrik Tahu Dengan Tinja Sapi*. *Jurnal Teknik WAKTU*, Volume 11, Nomor 02.
- Wati, D. S., dan Prasetyani, R., D. 2011. *Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair Industri Bioetanol melalui Proses Anaerob*

- (*Fermentasi*), Jurusan Teknik Kimia Fakultas Tekni. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Wellinger A, & A. Lindeberg 1999. *Biogas upgrading and utilization*. IEA Bioenergy Task 24: energy from biological conversion of organik wastes. 18p.
- Werner U., Stochr V. and N. Hees. 1989. *Biogas Plant in Animal Husbandry: Application of the Dutch Guesllechaft Fuer Technische Zusemmernarbeit (GTZ) GnbH*.
- Widarti, B.N., Syamsiah, S., Mulyono, P., 2012. *Degradasi Substrat Volatile Solid pada Produksi Biogas dari Limbah Pembuatan Tahu dan Kotoran Sapi*. Jurnal Rekayasa Proses. Vol.6, No.1.
- Widyaningsih, V., 2011. *Pengolahan Limbah Cair Kantin Yongma FISIP UI*. Skripsi Fakultas Teknik Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Indonesia.
- Wu, L.J., T. Kobayashi, H. Kuramochi, Y-Y. Li, K-Q. Xu, Y. Lv. 2018. *High loading anaerobic digestion of food waste and grease trap waste: Determination of the limit and lipid/long chain fatty acid conversion*. Chemical Engineering Journal. CEJ 18361
- X. He, M. Iasmin, L.O. Dean, S.E. Lappi, J.J. Ducoste, F.L. 2011. *de Los Reyes III, Evidence for fat, oil, and grease (FOG) deposit formation mechanisms in sewer lines*. Environmental Science and Technology 45 4385-4391.
- Xiao, Z., Yuan, X., Li, H., Jiang, L., Leng, L., Chen, X., Zeng, G., Li, F., Cao, L., 2015. *Chemical Speciation, Mobility And Phyto-Accessibility Of Heavy Metals In Fly Ash And Slag From Combustion Of Pelletized Municipal Sewage Sludge*. Sci. Total Environ. 536, 774–783.
- Yalcinkaya, S., Malina Jr, J.F. 2015. *Model development and Evaluation of Methane Potential From Anaerobic Co-Digestion of Municipal Wastewater Sludge and Undewatered Grease Trap Waste*. Waste Management. 40 : 53-62.
- Yapp, J., Rijk, A. 2005. *CDM Potential for the Commercialization of the Integrated Biogas*. Caleb Management Services Ltd. The Old Dairy, Woddend Farm, Wootton-under-Edge, Bristol, UK. GL12 8AA.

- Yong, Z., Dong, Y., Zhang, X., Tan, T., 2015. *Anaerobic co-digestion of food waste and straw for biogas production*. *Renew. Energy* 78, 527–530.
- Zaharah, T.A., Nurlina., Moelyani, R.R.E. 2017. *Reduksi Minyak, Lemak, dan Bahan Organik Limbah Rumah Makan Menggunakan Grease Trap Termodifikasi Karbon Aktif*. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*. 1(3) : 25-32.
- Zhu, Z.W., Hsueh, M.K., He, Q., 2011. *Enhancing biomethanation of municipal waste sludge with grease trap waste as a co-substrate*. *Renew Energy* 36, 1802–1807.

-Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Adam Fakhruallah adalah nama lengkap penulis Tugas akhir ini. Penulis dilahirkan di Bandung pada tanggal 2 Juni 1998. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SD Hj. Isriati Moenadi, melanjutkan ke SMP N 1 Ungaran, dan SMA N 1 Ungaran, dan sekarang menempuh masa kuliah di S1 Departemen Teknik Lingkungan terdaftar pada NRP 03211640000051 Fakultas

Teknik Sipil dan Kebumihan (FTSPK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis juga aktif di dunia organisasi semasa kuliah. Dalam organisasi lingkup mahasiswa penulis pernah menjadi staff Hubungan Luar, Staff Dewan Perwakilan Angkatan Teknik Lingkungan (DPA-TL). Berbagai pelatihan juga pernah ditempuh sebagai bentuk pengembangan diri sebagai mahasiswa. Penulis berharap Tugas akhir ini dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan tentang produksi biogas dari pemanfaatan minyak dan lemak limbah industri khususnya industri rumah makan dan dapat melakukan validasi data terkait literatur yang dikaji. Penulis dapat dihubungi via email adam.adyzi@gmail.com.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-





**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Adam Fakhruallah
NRP : 03211640000051
Judul : Studi Literatur Produksi Biogas dari Minyak dan Lemak Limbah Industri Rumah Makan

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	31/03/2020	Keberlanjutan TA dengan data sekunder dari literatur	
2	10/04/2020	Membuat matriks jurnal terkait data sekunder	
3	17/04/2020	Pembahasan tentang matriks jurnal dan progress TA	
4	25/04/2020	Pembahasan materi bab 4 hasil penelitian dan pembahasan	
5	02/05/2020	Progress TA	
6	07/05/2020	Pembahasan karakteristik limbah	

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
7	09/05/ 2020	Pembahasan terkait produksi biogas dari data sekunder	
8	12/05/ 2020	Koreksi terkait draft laporan TA	
9	16/05/ 2020	Saran dan perbaikan untuk bab 4, dan juga abstrak	
10	03/06/ 2020	Saran dan perbaikan untuk bab 4	
11	24/06/ 2020	Asistensi saran dan perbaikan dari dosen pengarah	
12	02/07/ 2020	Astensi saran dan perbaikan untuk draft TA	
13	03/08/ 2020	Asistensi saran dan perbaikan dari Pak Assom	

Surabaya, 4 Agustus 2020
Dosen Pembimbing



Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M., Ph.D

Saran Perbaikan Ujian Lisan TA Genap 2019/2020

Lisan Air

Lab Teknologi Pengolahan Air

Input NRP anda (tanpa spasi,format: 32xxxxxxxxxxx)

Adam Fakhrullah (3211640000051)

Dosen Pembimbing: Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSc., PhD

Saran:

Diskusikan dengan saya untuk masukan yang dari Bapak Assomadi

LULUS

Dosen Penguji 1: Dr. Ali Masduqi, ST., MT

Saran:

PERTANYAAN

1. Biogas itu apa?
 2. Limbah dengan karakteristik seperti apa yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas?
 3. Bagaimana proses pembentukan biogas? Apa syarat anaerobic process?
 4. Bagaimana memurnikan metana dari biogas?
 5. Apakah dari limbah rumah makan dapat dihasilkan biogas dengan layak? Komposisi limbahnya apa saja yang memungkinkan dapat dihasilkan biogas?
- LULUS

Dosen Penguji 2: Ir. Bowo Djoko Marsono, MEng

Saran:

1. Minyak dan lemak bahan dari apa? Bagaimana tingkat biodegradabelnya?
2. Analisis ratio BOD/COD bagaimana?
3. Apa arti ratio BOD/COD?
4. Biodegradasi Lemak dan minyak reaksi nya spt apa?
5. Siapa yang berperan dalam merubah minyak menjadi gas? Jenis bakterinya apa?
6. Berapa Kg biogas yang dihasilkan per Kg BOD?
7. Kesimpulan no 1 satuanya kurang tepat. Harusnya satuannya sama. Kesimpulan punya orng lain?
8. Kesimpulan no 2 ratio yang tepat berapa?
9. Pengaruh substrat dan pengaruh minyak dan lemak
10. Apa yang dimaksud VS, substrat?

Perbaikan:

1. Tambahkan analisa ratio BOD/COD
2. Kesimpulan diperbaiki (satuan, pengaruh)
3. Pembahasan pengaruh substrat dan minyak lemak.

LULUS

Dosen Penguji 3: Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT

Saran:

1. Abstrak dan Kesimpulan: pencampuran substrat limbah minyak dan lemak rumah

8/3/2020

Saran Perbaikan Ujian Lisan TA Genap 2019/2020 | Departemen Teknik Lingkungan

makan dengan sampah makanan dan/atau lumpur limbah domestik menghasilkan biogas sebesar 4,2 - 27,8 mL/hari

2.potensi metana sebesar 40 - 1050 ml/g.VS

3.Variasi substrat limbah minyak dan lemak dengan rasio penambahan co-substrat (sampah makanan atau lumpur limbah domestik) yang tepat akan menghasilkan biogas yang optimal

4.pengaruh reduksi COD, pengaruh reduksi VS, dan pengaruh dari perlakuan perbedaan suhu?

5.Selain itu dari studi literatur yang telah dilakukan produksi biogas terbaik dihasilkan pada kondisi suhu termofilik dibandingkan dengan kondisi mesofilik dan suhu ruang

6.Data sekunder digunakan utk apa? Dan tabel 4.6, 4.5, 4.4, 4.3 digunakan untuk apa dalam studi ini?

LULUS

Ok

SEARCH



Open Talk Program Pascasarjana Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan ITS (http://enviro.its.ac.id/?u_event=open-talk-program-pascasarjana-fakultas-teknik-sipil-perencanaan-dan-kebumihan-its)

13/06/2020

Guest Lecture Series 2019 #8-Pencapaian Pembangunan Sanitasi

enviro.its.ac.id/?page_id=3904#

3/12

-Halaman ini sengaja dikosongkan-