

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Minyak Kelapa Sawit

Industri minyak kelapa sawit merupakan salah satu industri strategis sektor pertanian yang banyak berkembang di negara-negara tropis seperti Indonesia, Malaysia dan Thailand. Hal ini memberikan manfaat bagi pertumbuhan ekonomi Indonesia dan menciptakan lapangan kerja bagi masyarakat Indonesia. Berikut data produksi minyak kelapa sawit pada beberapa negara tropis lainnya, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Produksi Minyak Kelapa Sawit Dunia per Negara (dalam Juta Metrik Ton)

Produsen	2012/2013	2013/2014	2014/2015	%Rata-rata Pertumbuhan
Indonesia	28,50	30,50	33,00	8,75
Malaysia	19,32	20,16	20,50	3,03
Thailand	2,14	2,15	2,25	5,41
Kolombia	1,14	1,04	1,11	11,10
Nigeria	0,91	0,93	0,93	2,31
Lainnya	4,48	4,63	4,65	4,59
Jumlah	56,49	59,41	62,44	6,18

Sumber: Buku Statistik Komoditas Kelapa Sawit terbitan Ditjen Perkebunan 2014

Tabel 1 menunjukkan tentang produksi minyak kelapa sawit dunia bahwa rata-rata pertumbuhan produksi minyak kelapa sawit di Indonesia sebesar 8,75% per tahun di atas rata-rata total pertumbuhan produksi minyak kelapa sawit dunia. Pertumbuhan produksi minyak kelapa sawit dunia yakni 6,18%. Negara Malaysia merupakan produsen minyak kelapa sawit kedua terbesar di dunia yakni 20,50 juta metrik ton pada periode 2014/2015 dengan rata-rata pertumbuhan produksi 3,03% per tahun. Pertumbuhan produksi minyak kelapa sawit Malaysia berada di bawah rata-rata total pertumbuhan produksi minyak kelapa sawit dunia.

Provinsi Riau pada Tahun 2014 dengan luas areal seluas 2,30 juta Ha merupakan provinsi yang mempunyai perkebunan kelapa sawit terluas disusul berturut-turut Provinsi Sumatera Utara seluas 1,39 juta Ha, Provinsi Kalimantan Tengah seluas 1,16 juta Ha dan Sumatera Selatan dengan luas 1,11 juta Ha serta provinsi-provinsi lainnya. Berikut data sebaran kelapa sawit menurut provinsi di Indonesia, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Data sebaran kelapa sawit menurut provinsi di Indonesia

Provinsi	Luas (Ha)	Produksi (juta ton)
Riau	2.296.849	7.037.636
Sumatera Utara	1.392.532	4.753.488
Kalimantan Tengah	1.156.653	3.312.408
Sumatera Selatan	1.111.050	2.852.988
Kalimantan Barat	959.226	1.898.871
Kalimantan Timur	856.091	1.599.895
Jambi	688.810	1.875.260
Kalimantan Tengah	499.873	1.316.224
Aceh	413.873	853.855
Sumatera Barat	381.754	1.082.823
Bengkulu	304.339	833.410
Kep. Bangka Belitung	211.237	538.724
Lampung	165.251	447.978
Sulawesi Tengah	147.757	259.361
Sulawesi Barat	101.001	300.396
Jumlah	10.956.231	29.344.479

Sumber: Buku Statistik Komoditas Kelapa Sawit terbitan Ditjen Perkebunan 2014

Tabel 2 Menunjukkan bahwa 70% perkebunan kelapa sawit terletak di Sumatera, sebagian besar dari sisanya berada di pulau Kalimantan. Oleh sebab itu, sebagian besar industri-industri pengolahan kelapa sawit atau pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) berada di Sumatera dan Kalimantan, diantaranya : PT. Mitra Ogan, PT. Minanga Ogan, PT. Hindoli, PT. *Smart Tbk.*, PT. Harapan Sawit Lestari, dll.

Tahapan proses yang harus dilakukan untuk dapat memproduksi minyak kelapa sawit kasar atau *Crude Palm Oil* (CPO) dari tandan buah segar kelapa sawit meliputi beberapa bagian proses yaitu pengangkutan buah ke pabrik, perebusan buah (sterilisasi), perontokan buah dari tandan (*stripping*), pelumatan buah (*digesting*), pengeluaran minyak (*pressing*), penyaringan (*filtering*), pemurnian (*purification*) dan penjernihan minyak (klarifikasi) serta tahapan pengolahan biji (Agustine, 2011). Hal ini dikarenakan buah kelapa sawit terdiri dari beberapa bagian yaitu sabut, tempurung dan inti buah (kernel). Pada proses pengolahan tandan buah segar, PMKS hanya menghasilkan 25 – 30% produk utama berupa 20 – 23% *crude palm oil* (CPO) dan 5 - 7% inti buah (kernel). Sementara sisanya sebanyak 70 - 75% adalah residu hasil pengolahan berupa limbah (William, 2011).

Limbah pada dasarnya adalah suatu bahan yang terbuang atau dibuang yang telah mengalami suatu proses produksi sebagai hasil dari aktivitas manusia, maupun proses alam yang tidak atau belum mempunyai nilai ekonomi. Adanya batasan kadar dan jumlah bahan beracun dan berbahaya pada suatu ruang dan waktu tertentu dikenal dengan istilah nilai ambang batas, yang artinya dalam jumlah demikian masih dapat ditoleransi oleh lingkungan sehingga tidak membahayakan lingkungan ataupun pemakai.

Aktivitas pengolahan pada pabrik minyak kelapa sawit menghasilkan dua jenis limbah, antara lain limbah padat dan limbah cair. Menurut Ponten (1996), limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik pengolah kelapa sawit ialah tandan kosong, serat dan tempurung. Limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) didapatkan dari tiga sumber yaitu air kondensat dari proses sterilisasi, *sludge* dan kotoran, serta air cucian hidrosiklon. Limbah pada pabrik kelapa sawit terdiri dari limbah padat, cair dan gas. Limbah cair yang dihasilkan pabrik pengolah kelapa sawit ialah air kondensat, air cucian pabrik, air *hydrocyclone* atau *claybath*.

Air buangan dari separator yang terdiri atas *sludge* dan kotoran dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: a) Jumlah air pengencer yang digunakan pada *vibrating screen* atau pada *screw press*. b) Sistem dan instalasi yang digunakan dalam stasiun klarifikasi yaitu klarifikasi yang menggunakan *decanter* menghasilkan air limbah yang kecil. c) Efisiensi pemisahan minyak dari air limbah yang rendah akan dapat mempengaruhi karakteristik limbah cair yang dihasilkan (Hasanah, 2011).

2.2 *Palm Oil Mill Effluent* (POME)

Palm Oil Mill Effluent (POME) atau limbah cair industri minyak kelapa sawit merupakan salah satu limbah agroindustri yang paling sering menyebabkan polusi dan merupakan limbah terbesar dari proses pengolahan kelapa sawit. Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik minyak kelapa sawit berasal dari air kondensat pada proses sterilisasi, air dari proses klarifikasi, air *hydrocyclone* (*claybath*) dan air pencucian pabrik (Femeh, 2010), yang terdiri dari suspensi koloid yang mengandung 95- 96% air, minyak 0,6-0,7% dan 4-5% total padatan termasuk 2-4% padatan tersuspensi (Azmi dkk, 2013). Berikut ini merupakan Tabel 3 Karakteristik *Palm Oil Mill Effluent* (POME).

Tabel 3 Karakteristik *Palm Oil Mill Effluent* (POME) Tanpa Perlakuan

parameter	Konsentrasi
Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	80 – 90
BOD 3 hari, 30°C	25.000
COD	50.000
<i>Total Solid</i>	40.500
<i>Suspended Solids</i>	18.000
<i>Total Volatile Solids</i>	34.000
Total Nitrogen	750
Ph	4,7
Phosporus	18
Potassium	2.270
Magnesium	615
Kalsium	439
Boron	7,6
Iron	46,5
Manganese	2,0
Zinc	2,3

Seluruh parameter dalam mg/L kecuali pH dan temperatur ($^{\circ}\text{C}$) Sumber : Lang, 2007

Karakteristik *Palm Oil Mill Effluent* (POME) ini umumnya memiliki temperatur yang tinggi yaitu $80\text{-}90^{\circ}\text{C}$, berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada temperatur 30°C sebesar 25.000 mg/L dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 50.000 mg/L, untuk nilai pH pada *Palm Oil Mill Effluent* (POME) yaitu sebesar 4,7.

Menurut Zahara (2014), limbah cair dari industri minyak kelapa sawit umumnya memiliki temperatur yang tinggi kisaran $70\text{-}80^{\circ}\text{C}$, berwarna coklat pekat, mengandung padatan terlarut yang tersuspensi berupa koloid dan residu minyak, sehingga memiliki nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang cenderung tinggi.

Limbah dengan kandungan COD dan BOD yang tinggi dibuang langsung ke perairan, maka dapat mencemari lingkungan karena dapat menimbulkan kekeruhan dan akan menghasilkan bau yang tajam yang dapat merusak ekosistem perairan dikarenakan proses penguraiannya yang lama dan cenderung akan mengkonsumsi oksigen terlarut dalam jumlah yang banyak. Limbah cair pabrik kelapa sawit dihasilkan dari tiga tahapan proses, yaitu:

1. Proses sterilisasi, untuk mempermudah perontokan buah dari tandannya, mengurangi kadar air dan untuk menginaktivasi enzim lipase dan oksidase.
2. Proses ekstraksi untuk memisahkan minyak daging buah dari bagian lainnya.
3. Proses pemurnian (klarifikasi) untuk membersihkan minyak dari kotoran lain. (Departemen Pertanian, 1998).

2.2.1 Spesifikasi Limbah Pabrik Kelapa Sawit

a. Spesifikasi Limbah Cair Mentah

Limbah cair yang berasal dari stasiun rebusan, klarifikasi, cucian lantai dialirkan ke *fatpit / sludge recovery tank* untuk pengutipan minyak. Karakteristik limbah yang masuk ke kolam pengendalian limbah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Spesifikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

No.	Parameter	Unit	Rentang POME tanpa diolah*	Baku mutu sesuai peraturan
1.	BOD	mg/l	8.200 – 35.000	100
2.	COD	mg/l	15.103 – 65.100	350
3.	TSS	mg/l	1.330 – 50.700	250
4.	Minyak & Lemak	mg/l	190 – 14.720	25
5.	NH ₃ – N	mg/l	12 – 126	50**
6.	pH	-	3,3 – 4,6	6 – 9
7.	Temperatur	°C	90 – 140	

*Sumber: *pengelolaan limbah industri sawit, departemen pertanian 2006, permen LH nomor 3 tahun 2010*

**Sumber : *keputusan Meneg LH No. 51/1995, Lampiran B.IV*

b. Baku Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Limbah cair yang akan dibuang ke badan penerima harus memenuhi baku mutu limbah yang telah dipersyaratkan oleh peraturan pemerintah yang berlaku Peraturan Gubernur Sumsel No. 8 Tahun 2012 tanggal 15 Februari 2012, dapat dilihat pada Tabel 5

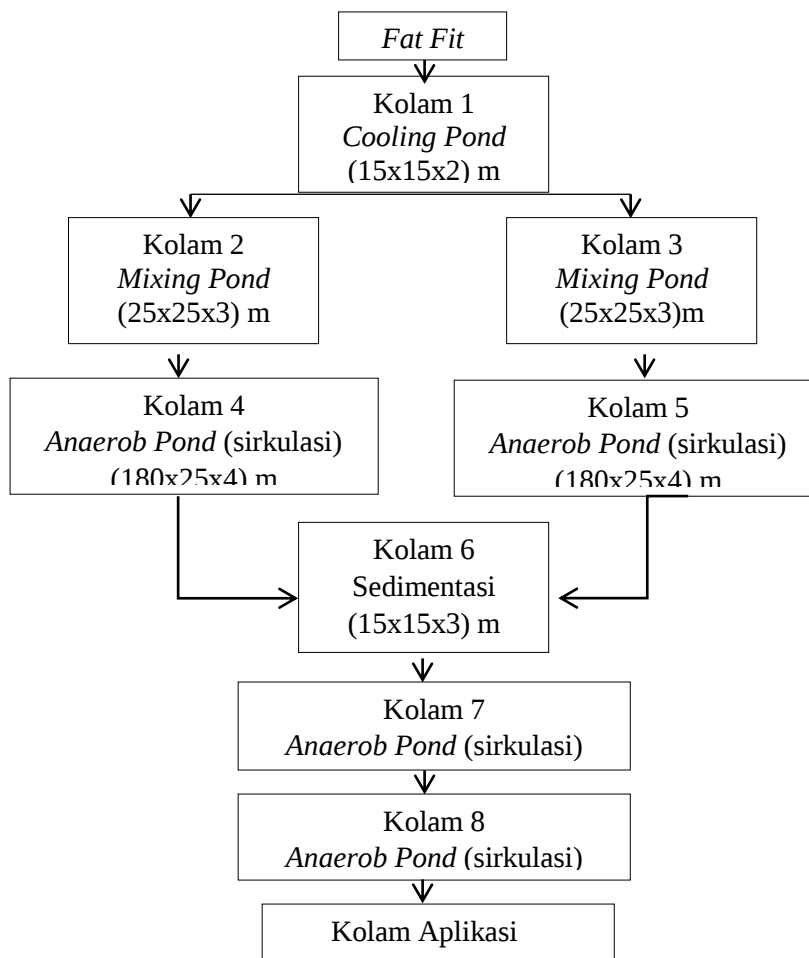
Tabel 5 Baku Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

No.	Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)	Badan Pencemaran Maksimum (kg/ton)
1.	BOD	100	0,250
2.	COD	350	0,880
3.	TSS	250	0,630
4.	Minyak dan Lemak	25	0,063
5.	Nitrogen Total (N)	50	0,125
6.	pH	6,0 – 9,0	
7.	Debit Limbah Maksimum	2,5 m ³ per ton produk minyak sawit (CPO)	

Sumber: Peraturan Gubernur Sumsel No.8 Tahun 2012

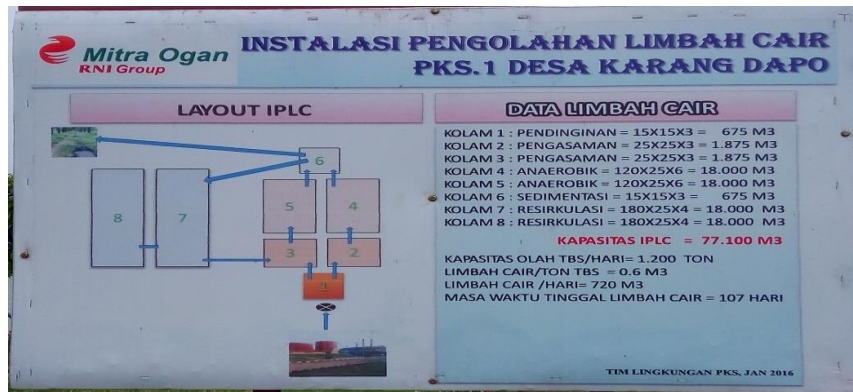
2.2.2 Prosedur Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Berikut merupakan diagram alir kolam pengolahan limbah cair kelapa sawit industri PT Perkebunan Mitra Ogan, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Kolam Pengolahan Limbah pada PT Perkebunan Mitra Ogan

Berdasarkan data yang didapat dari PT Perkebunan Mitra Ogan (2017), fungsi dari setiap kolam pengolahan limbah pada pabrik kelapa sawit, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Instalasi Pengolahan Limbah Cair

1. Fat Pit

Limbah dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) dialirkan masuk kedalam *fat pit*. Kolam *fat pit* digunakan untuk menampung cairan – cairan yang masih mengandung minyak yang berasal dari air kondensat dan stasiun klarifikasi. Pada *fat pit* ini terjadi pemanasan dengan menggunakan *steam* dengan temperatur 60-80°C. Pemanasan ini diperlukan untuk memudahkan pemisahan minyak dengan *sludge*. Limbah dari *fat pit* ini kemudian dialirkan ke kolam *cooling pond* yang berguna untuk mendinginkan limbah yang telah dipanaskan (Wibisono, 2013). *Fat pit* dapat dilihat pada Gambar 3.



Sumber : Laporan Akhir Triadi Hutomo, 2016

Gambar 3 *Fat Pit* pada PT Perkebunan Mitra Ogan

2. Kolam Pendinginan (*Cooling Pond*)

Limbah cair yang telah dikutip minyaknya pada *oil trap* (*fat pit*) mempunyai karakteristik pH 4 – 4,5 dengan temperatur 60 – 80°C sebelum limbah dialirkan ke kolam pengasaman (*acidifaction pond*) temperaturnya diturunkan menjadi 40 – 45°C agar bakteri *mesophilik* dapat berkembang dengan baik. Maka kolam ini bertujuan Selain untuk mendinginkan limbah, *cooling pond* juga berfungsi untuk mengendapkan *sludge*. *Cooling pond* dapat dilihat pada Gambar 4.



Sumber : Laporan Akhir Triadi Hutomo, 2016

Gambar 4. *Cooling Pond* pada PT Perkebunan Mitra Ogan

3. Kolam Pengasaman (*Acidifaction Pond*)

Setelah dari kolam pendingin, limbah mengalir ke kolam pengasaman yang berfungsi sebagai proses pra kondisi bagi limbah sebelum masuk ke kolam anaerobik. Pada kolam ini, limbah akan dirombak menjadi *volatile fatty acid* (VFA). Kolam Pengasaman dapat dilihat pada Gambar 5.



Sumber : Laporan Akhir Triadi Hutomo, 2016

Gambar 5 *Acidifaction Pond* pada PT Perkebunan Mitra Ogan

4. Kolam Anaerobik

Pada kolam anaerobik ini terjadi perlakuan biologis terhadap limbah dengan menggunakan bakteri metagonik yang telah ada di kolam. Unsur organik yang terdapat dalam limbah cair digunakan bakteri sebagai makanan dalam proses mengubahnya menjadi bahan yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Ketebalan *scum* pada kolam anaerobik tidak boleh lebih dari 25 cm, jika ketebalannya telah melebihi 25 cm maka itu merupakan tanda bahwa bakteri sudah kurang berfungsi. Kolam anaerobik dapat dilihat pada gambar 6.



Sumber : Laporan Akhir Triadi Hutomo, 2016

Gambar 6 *Anaerob Pond* pada PT Perkebunan Mitra Ogan

Gambar 6 menunjukkan kolam anaerobik pada PT. Perkebunan Mitra Ogan. Industri minyak kelapa sawit biasanya memiliki 2 kolam anaerobik yaitu kolam anaerobik primer dan kolam anaerobik sekunder. Limbah dari kolam pengasaman akan mengalir ke kolam anaerobik primer. Karena pH dari kolam pengasaman yang masih rendah, maka limbah harus dinetralkan dengan cara mencampurkannya dengan limbah keluaran (pipa *outlet*) dari kolam anaerobik. Bersamaan dengan ini, bakteri anaerobik yang aktif akan membentuk asam organik dan CO₂. Selanjutnya bakteri metana (*Methanogenic Bacteria*) akan merubah asam organik menjadi *methane* dan CO₂. BOD limbah pada kolam anaerobik primer masih cukup tinggi, maka limbah harus diproses lebih lanjut pada kolam anaerobik sekunder, dimana kolam ini dapat dikatakan beroperasi dengan baik apabila nilai parameter utamanya berada pada tetapan sebagai berikut:

pH	6 - 8
<i>Volatile fatty acid</i> (VFA)	< 300 mg/l
Alkalinitas	< 2.000 mg/l

BOD limbah setelah keluar dari kolam anaerobik sekunder maksimal ialah 3000 mg/l dengan pH minimal 6,0.

5. Kolam Resirkulasi

Kolam resirkulasi dilakukan dengan mengalirkan cairan dari kolam anaerobik yang terakhir ke saluran masuk kolam pengasaman yang bertujuan untuk menaikkan pH dan membantu pendinginan. Kolam resirkulasi dapat dilihat pada gambar 7.



Sumber : Laporan Akhir Triadi Hutomo, 2016

Gambar 7. Kolam resirkulasi pada PT Perkebunan Mitra Ogan

Gambar 7 menunjukkan setelah dari kolam anaerobik, limbah masuk ke kolam resirkulasi yang berfungsi untuk pematangan limbah serta menaikkan pH dan menurunkan BOD. Kegunaan sirkulasi adalah untuk membantu menurunkan temperatur dan menaikkan pH di kolam anaerobik 1 dan 2.

6. Kolam Fakultatif

Kolam fakultatif adalah kolam peralihan dari kolam anaerobik menjadi aerobik atau dapat disebut proses penon-aktifan bakteri anaerob dan pra kondisi dari proses aerobik. Karakteristik limbah pada kolam fakultatif yaitu pH 7,6 – 7,8. *Biological Oxygen Demand* (BOD) 600-800 ppm, *Chemical Oxygen Demand* (COD) 1250-1750 ppm. Aktivitas ini dapat diketahui dengan indikasi pada permukaan kolam yang tidak dijumpai *scum* dan cairan tampak kehijau-hijauan. Proses fakultatif ini dilakukan di dalam kolam sedimentasi, *sedimentation pond* dapat dilihat pada Gambar 8.



Sumber : Laporan Akhir Triadi Hutomo, 2016

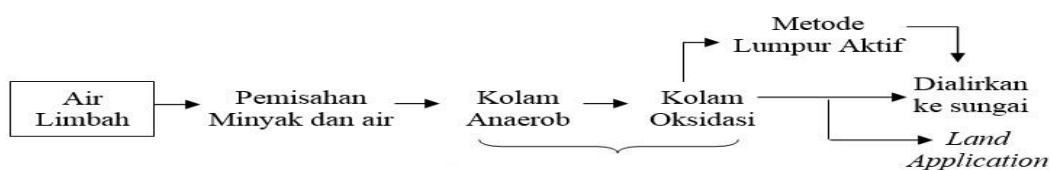
Gambar 8 *Sedimentation Pond* pada PT Perkebunan Mitra Ogan

7. Kolam Pembiakan Bakteri

Kolam pembiakan bakteri dibuat untuk membiakkan bakteri pada awal pengoperasian pengendalian limbah. Kolam pembiakan bakteri memiliki kondisi yang disesuaikan agar bakteri dapat tumbuh dengan baik. Kondisi yang optimum untuk kolam ini adalah pH 7.0, temperatur 30 – 40°C untuk bakteri *mesophyl*, kedalaman kolam 5-6 m dan ukuran kolam diupayakan dapat menampung air limbah 2 hari olah atau setara 400 m³ untuk pabrik kelapa sawit (PKS) kapasitas 30 ton TBS/jam.

8. *Land Application*

Teknik pengolahan limbah cair yang biasanya diterapkan pada pabrik kelapa sawit sebelum dialirkan ke sungai atau direduksi ke kebun kelapa sawit sebagai *land application* ditunjukkan pada Gambar 9.



Sumber: Studi Kebijakan Bersama Indonesia dan Jepang, 2013

Gambar 9 Alur Pengolahan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit Secara Umum

Gambar 9 menunjukkan alur pengolahan limbah secara umum, *land application* ini merupakan tempat pembuangan terakhir limbah, dari seluruh rangkaian proses tersebut, masa tinggal limbah selama proses berlangsung mulai dari kolam pendinginan hingga air dibuang ke badan penerima membutuhkan masa waktu tinggal selama kurang lebih 120 – 150 hari. *Land application* dapat dilihat pada Gambar 10.



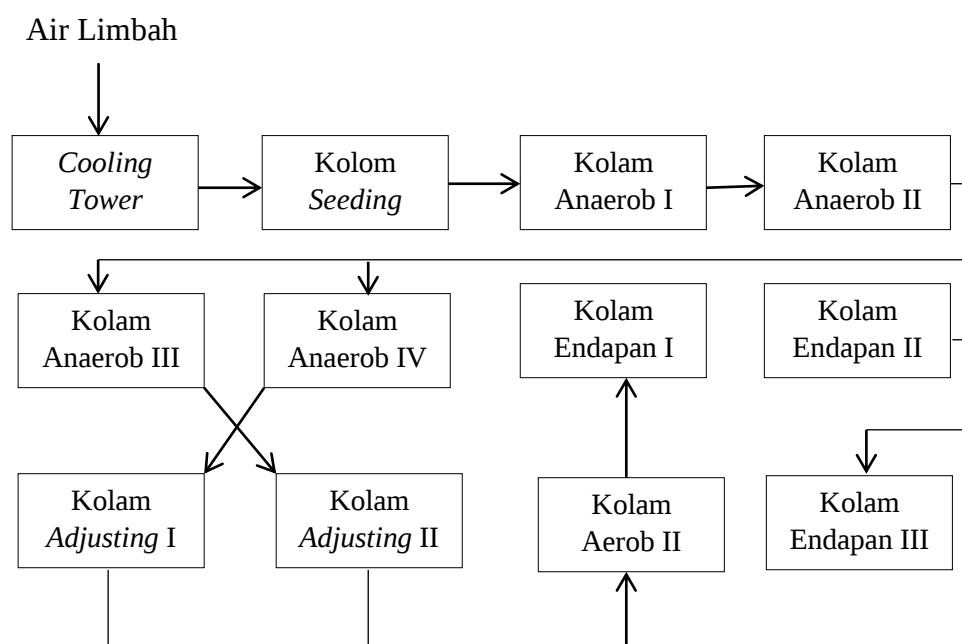
Sumber : Laporan Akhir Triadi Hutomo, 2016

Gambar 10 *Land Application* pada PT Perkebunan Mitra Ogan

Gambar 10 menunjukkan *Land application* dimana Proses yang terjadi pada kolam ini adalah proses penon-aktifan bakteri *anaerobic* dan prakondisi proses *aerobic*. Aktivitas ini dapat diketahui dengan indikasi pada permukaan kolam tidak dijumpai *scum* dan cairan tampak kehijau-hijauan.

2.2.3 Pengolahan Metode Kolam Stabil Biologis

Teknik pengolahan yang dipakai pada umumnya adalah pengolahan memakai metoda kolam stabil biologis, sistem *lagoon*. Teknik-teknik ini memakai beberapa kolam dengan luas lebih dari 1 hektar, kedalaman 3-5 meter. Contoh alur metoda kolam stabil biologis yang menggunakan prinsip *open ponds*, dapat dilihat pada Gambar 11.



Sumber : Studi Kebijakan Bersama Indonesia dan Jepang, 2013

Gambar 11 Contoh Alur Pengolahan Kolam Stabil Biologis yang Aktual

Pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah cair dapat diatasi dengan cara mengendalikan limbah cair tersebut secara biologis. Pengendalian secara biologis tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan bakteri anaerob (Agustine, 2011). Golongan parameter yang dapat digunakan sebagai parameter penilaian kualitas air, yaitu:

1. *Biological oxygen demand* (BOD) yang merupakan kadar senyawa organik yang dapat dibiodegradasi dalam limbah cair.
2. *Chemical oxygen demand* (COD) yang merupakan ukuran untuk senyawa organik yang dapat dibiodegradasi atau tidak.
3. *Total organic carbon* (TOC) dan *total oxygen demand* (TOD) yang merupakan ukuran untuk kandungan senyawa organik keseluruhan
4. Padatan tersuspensi dan teruapkan (suspended dan volatile solids).
5. Kandungan padatan keseluruhan.
6. pH alkalinitas dan keasaman.
7. Kandungan nitrogen dan fosfor, dan
8. Kandungan logam berat.

Hasil penelitian komposisi limbah menyebutkan bahwa 76% *Biological Oxygen Demand* (BOD) berasal dari padatan tersuspensi dan hanya 22,4% dari padatan terlarut. Maka banyak tidaknya padatan yang terdapat dalam limbah terutama padatan tersuspensi mempengaruhi tinggi rendahnya nilai BOD.

2.3 Kotoran Sapi

Kotoran ternak, tersimpan suatu energi baru alternatif yang dapat dimanfaatkan oleh manusia sebagai ganti bahan bakar fosil untuk kehidupan sehari-hari. Dengan menggunakan biogas, masyarakat dapat menghemat biaya pembelian LPG.

Kotoran ternak merupakan bahan baku yang potensial dalam proses produksi biogas karena mengandung pati dan lignoselulosa. Biasanya, kotoran ternak dimanfaatkan sebagai pupuk dan sisanya digunakan untuk memproduksi gas metana menggunakan proses anaerob. Salah satu ternak yang kotorannya biasa dimanfaatkan sebagai pupuk dan bahan baku biogas adalah sapi (Agustine, 2014). Biomassa yang mengandung karbohidrat tinggi akan menghasilkan gas

metana yang rendah dan CO₂ yang tinggi, jika dibandingkan dengan biomassa yang mengandung protein dan lemak dalam jumlah yang tinggi.

Produksi metana yang dihasilkan dari karbohidrat, protein dan lemak berturut-turut adalah 0,37; 1,0; 0,58 m³ CH₄/kg bahan kering organik. Kotoran sapi mengandung ketiga unsur bahan organik tersebut sehingga dinilai lebih efektif untuk dikonversi menjadi gas metana (Drapcho dkk, 2008). Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada keadaan tingkat produksinya, jenis, jumlah konsumsi pakan, serta individu ternak sendiri (Abdulgani, 1988). Kandungan hara beberapa jenis kotoran hewan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Kandungan Hara Beberapa Jenis Kotoran Hewan

Sumber	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
Sapi Perah	0,53	0,35	0,41	0,28	0,11	0,05	0,004
Sapi Daging	0,65	0,15	0,30	0,12	0,10	0,09	0,004
Kuda	0,70	0,10	0,58	0,79	0,14	0,07	0,010
Unggas	1,50	0,77	0,89	0,30	0,88	0,00	0,100
Domba	1,28	0,19	0,93	0,59	0,19	0,09	0,020

Sumber: Aminah (2011)

Tabel 6 menunjukkan kandungan unsur hara kotoran hewan ternak, seperti pada sapi perah terdiri dari atas N (0,53%), P (0,35%) dan K (0,41%) (Aminah, 2011). Kotoran sapi yang tinggi kandungan hara dan energinya berpotensi untuk dijadikan bahan baku penghasil biogas (Sucipto, 2009). Sumber energi biogas yang utama yaitu dapat diperoleh dari sampah organik dari pasar, air buangan rumah tangga, serta terdapat pada kotoran ternak sapi, kerbau, kuda dan lainnya. Dengan mengolah limbah dari kotoran hewan ternak untuk menghasilkan biogas, maka diperoleh sejumlah limbah sisa kotoran ternak yang telah hilang gasnya (slurry), dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik yang sangat kaya nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Sehingga masyarakat mendapatkan manfaat yang ganda dari kotoran ternaknya.

2.4 Biogas

Biogas terbentuk secara alami ketika mikroorganisme khususnya bakteri menurunkan kadar zat organik limbah cair kelapa sawit (POME) pada kondisi

ananaerob (tanpa oksigen). Biogas berada pada campuran gas-gas dari biomassa (bahan-bahan organik) termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah organik (limbah rumah tangga), sampah *biodegradable* yang dihasilkan dengan menggunakan bakteri melalui proses fermentasi bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen. 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. Biogas dapat dikategorikan sebagai solusi perencanaan energi terbarukan yang cukup baik dalam mengurangi emisi gas rumah kaca.

Menurut Siallagan (2010), biogas adalah gas produk akhir pencernaan atau degradasi anaerobik dari bahan-bahan organik oleh bakteri anaerobik dalam lingkungan bebas oksigen atau udara. Komponen penyusun biogas secara umum dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Komponen Penyusun Biogas	
Jenis Gas	Jumlah (%)
Metana (CH ₄)	50 – 75
Karbondioksida (CO ₂)	25 – 45
Hidrogen (H ₂)	0,1 – 1
Oksigen (O ₂)	1 – 2
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	0 – 2
Uap Air (H ₂ O)	2 – 7
Nitrogen (N ₂)	0 – 2

Sumber: Juanga, 2007

Tabel 7 menunjukkan biogas secara rata-rata terdiri dari 50 sampai 75 persen gas CH₄ (metana), 25 sampai 45 persen gas CO₂ (karbon dioksida) dan sejumlah kecil gas lainnya. Biogas memiliki sifat tidak berbau dan tidak berwarna yang apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG dengan nilai kalor gas metana adalah sebesar 20 MJ/m³. Dalam skala besar, biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik, sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan.

Proses produksi biogas memanfaatkan kemampuan alami mikroorganisme untuk menguraikan limbah organik. Proses penguraian menghasilkan biogas dan residu kaya nutrisi yang cocok untuk digunakan sebagai pupuk. Limbah organik berfungsi sebagai substrat atau media tumbuh organisme. Setiap zat organik yang

bisa didegradasi secara biologis dapat berfungsi sebagai bahan untuk menghasilkan biogas. Biogas adalah energi bersih dan terbarukan yang dapat dijadikan alternatif dari sumber energi konvensional yang dapat menyebabkan masalah bagi lingkungan dan meningkatkan laju penipisan energi dalam waktu yang lama. Biogas adalah gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari proses anaerobik pada temperatur rendah dan tanpa oksigen (Agustine, 2011). Biogas dapat dijadikan sebagai bahan bakar karena mengandung gas metana (CH_4) dalam persentase yang cukup tinggi.

Gas metana dalam biogas bila terbakar relatif akan lebih bersih dari pada batubara dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbondioksida yang lebih sedikit. Menurut Agustine (2011), produk 1 m^3 biogas setara dengan elpiji 0,16 kg, atau setara dengan minyak tanah 0,62 liter dan bahkan setiap 1 m^3 biogas setara dengan kayu bakar 3,5 kg. Kesetaraan produk 1 m^3 biogas dibandingkan dengan sumber-sumber energi lain dapat dilihat pada Tabel 8.

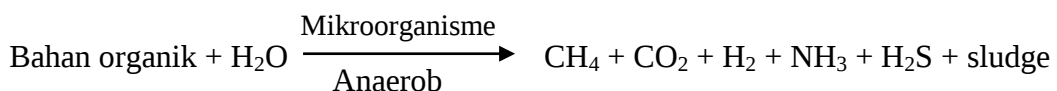
Tabel 8 Kesetaraan 1 m^3 Biogas dengan Sumber Bahan Bakar Lain

Bahan Bakar	Jumlah
Elpiji	0,16 kg
Minyak Tanah	0,62 liter
Solar	0,52 liter
Bensin	0,80 liter
Kayu Bakar	3,50 kg

Sumber: Agustine, 2011

2.5 Proses Pembentukan Biogas

Proses pembentukan biogas dilakukan secara anaerob. Bakteri merombak bahan organik menjadi biogas dan pupuk organik. Proses pelapukan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi anaerob (Polpresert, 1980). Reaksi pembentukan biogas adalah sebagai berikut.

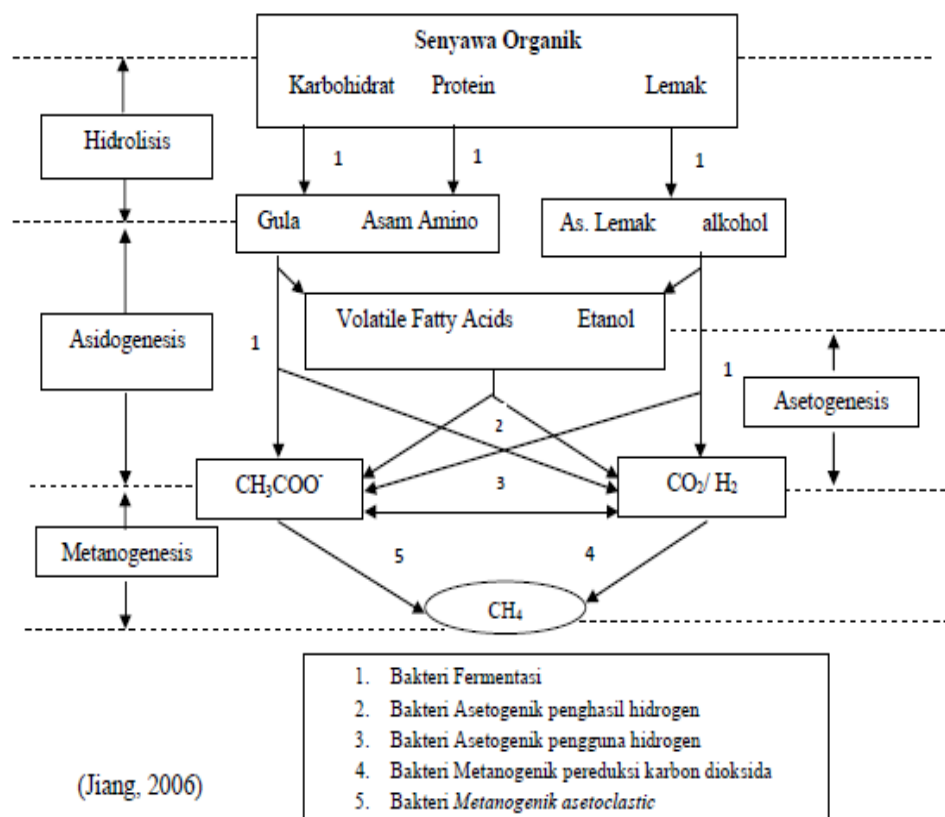


Proses pembentukan biogas ini memerlukan instalasi khusus yang disebut digester, fungsinya adalah agar perombakan secara anaerobik dapat berlangsung dengan baik. Terdapat tiga keuntungan dari instalansi penghasil biogas, yaitu: (1)

penggunaan bahan bakar lebih efisien, (2) menambah nilai pupuk, dan (3) menyehatkan lingkungan. Selain itu, teknologi biogas memiliki beberapa keuntungan, antara lain: (1) sebagai sumber energi yang aman, (2) stabilisasi limbah, (3) meningkatkan unsur hara, dan (4) menginaktifkan bakteri patogen (Polprasert, 1980).

Proses anaerobik merupakan proses yang dapat terjadi secara alami yang melibatkan beberapa jenis mikroorganisme yang berperan dalam proses tersebut. Proses yang terjadi pada pengolahan secara anaerobik ini adalah hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis. Beberapa jenis bakteri bersama-sama secara bertahap mendegradasi bahan-bahan organik dari limbah cair (Deublein dan Steinhäuser, 2008).

Proses perombakan bahan organik secara anaerob yang terjadi di dalam digester, terdiri atas empat tahapan proses yaitu hidrolisis, fermentasi (asidogenesis), asetogenesis dan metanogenesis. Proses konversi bahan organik menjadi metan secara anaerobik dapat dilihat pada Gambar 12.

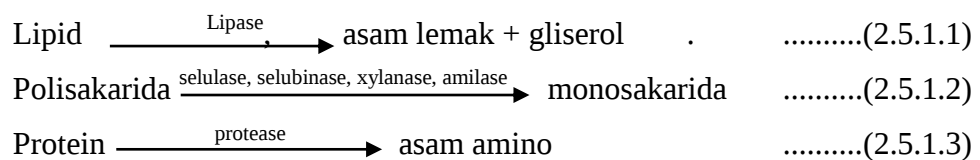


Gambar 12 Konversi Bahan Organik Menjadi Metan Secara Anaerobik

Gambar 12 menunjukkan pada pengolahan secara anaerobik ini bakteri yang berperan adalah bakteri fermentasi, bakteri asetogenik dan bakteri metanogenik yang memiliki peranan masing-masing dalam mendegradasi senyawa organik menjadi produk akhir berupa gas metan. Tiap fase dari proses fermentasi metan melibatkan mikroorganisme yang spesifik dan memerlukan kondisi hidup yang berbeda-beda. Bakteri pembentuk gas metan merupakan bakteri yang tidak memerlukan oksigen bebas dalam metabolismenya, bahkan adanya oksigen bebas dapat menjadi racun atau mempengaruhi metabolisme bakteri tersebut (Deublein dan Steinhauser, 2008).

2.5.1 Hidrolisis

Hidrolisis merupakan langkah pertama pada proses anaerobik, dimana bahan organik yang kompleks (polimer) terdekomposisi menjadi unit yang lebih kecil (mono-dan oligomer). Selama proses hidrolisis, polimer seperti karbohidrat, lipid, asam nukleat dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, purin dan piridine. Mikroorganisme hidrolitik mengeskresi enzim hidrolitik, mengkonversi biopolimer menjadi senyawa sederhana dan mudah larut seperti yang ditunjukkan di bawah ini:



Senyawa tidak larut, seperti selulosa, protein, dan lemak dipecah menjadi senyawa monomer (partikel yang larut dalam air) oleh *exo-enzyme* (enzim ekstraselular) secara fakultatif oleh bakteri anaerob. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.5.1.1 dimana lipid diurai oleh enzim lipase membentuk asam lemak dan gliserol sedangkan polisakarida diurai menjadi monosakarida seperti pada persamaan 2.5.1.2 Dan seperti pada persamaan 2.5.1.3 protein diurai oleh protease membentuk asam amino. Produk yang dihasilkan dari hidrolisis diuraikan lagi oleh mikroorganisme yang ada dan digunakan untuk proses metabolisme mereka sendiri. Hidrolisis karbohidrat dapat terjadi dalam beberapa jam sedangkan hidrolisis protein dan lipid terjadi dalam beberapa hari. Sedangkan lignoselulosa dan lignin terdegradasi secara perlahan-lahan dan tidak sempurna.

Mikroorganisme anaerob fakultatif mengambil oksigen terlarut yang terdapat dalam air sehingga untuk mikroorganisme anaerobik diperlukan potensial redoks yang rendah. Solubilisasi melibatkan proses hidrolisis di mana senyawa-senyawa organik kompleks dihidrolisis menjadi monomer-monomer. Sebagai contoh, polisakarida diubah menjadi monosakarida. Protein dibagi menjadi peptida dan asam amino. Lemak dihidrolisis menjadi asam-asam lemak gliserol (Deublein dan Steinhauster, 2008). Adapun jenis bakteri pada hidrolisis dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Klasifikasi Bakteri Hidrolisis Berdasarkan Substrat yang Diolah

Bakteri	Substrat yang Dihidrolisis
<i>Acetivibrio</i>	Karbohidrat/ Polisakarida
<i>Peptostreptococcus</i> dan <i>Bifidobacterium</i>	Protein
<i>Clostridium</i>	Lemak

Sumber: Deublein dan Steinhauster, 2008

2.5.2 Asedogenesis

Selama proses asidogenesis, produk yang dihasilkan dari proses hidrolisis akan dikonversi oleh bakteri *acidogenic* (fermentasi) menjadi substrat bagi bakteri *methanogenic*. Bakteri yang terlibat dalam asidifikasi ini merupakan bakteri yang bersifat anaerobik dan merupakan penghasil asam. Bakteri penghasil asam menciptakan suatu kondisi anaerobik yang penting bagi mikroorganisme penghasil metan (Deublein dan Steinhauster, 2008). Degradasi Senyawa pada tahap asetogenesis dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Degradasi Senyawa pada Tahap Asetogenesis

Substrat	Reaksi
Asam Propionat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$
Asam Butirat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Asam Kapronik	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH} + 4\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 5\text{H}_2$
Karbon dioksida/ hidrogen	$2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$
Gliserin	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 3\text{H}_2 + \text{CO}_2$
Asam Laktat	$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Etanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2$

Sumber: Deublein dan Steinhauster, 2008

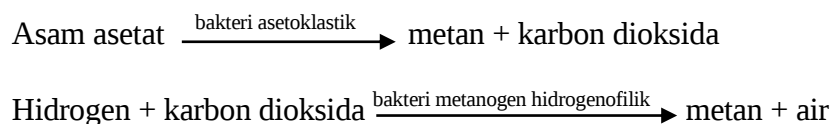
2.5.3 Asetogenesis

Produk dari proses asidogenesis yang tidak dapat langsung diubah menjadi metan oleh bakteri *methanogenic*, akan dikonversi menjadi substrat bagi *methanogenic* pada proses asetogenesis. VFA yang memiliki rantai karbon lebih dari dua dan alkohol yang rantai karbonnya lebih dari satu akan teroksidasi menjadi asetat dan hidrogen. Pada fase metanogenesis, hidrogen akan dikonversi menjadi metan (Seadi dkk, 2008).

Bakteri *asetogenic* adalah penghasil H_2 . Pembentukan asetat melalui oksidasi asam lemak rantai panjang (seperti asam propionat atau butirat) akan berjalan sendiri dan hanya mungkin terjadi dengan tekanan hidrogen parsial yang sangat rendah. Bakteri *asetogenic* bisa mendapatkan energi yang diperlukan untuk kelangsungan hidup dan untuk pertumbuhan hanya pada konsentrasi H_2 yang sangat rendah. Mikroorganisme *asetogenic* dan *methanogenic* hidup dalam simbiosis yang saling memerlukan. Organisme *methanogenic* dapat bertahan hidup dengan tekanan hidrogen parsial yang lebih tinggi. Maka harus terus-menerus mengeluarkan produk-produk dari metabolisme bakteri *acetogenic* dari substrat untuk menjaga tekanan parsial hidrogen pada tingkat yang rendah sehingga cocok untuk bakteri *acetogenic* (Deublein dan Steinhauster, 2008).

2.5.4 Metanogenesis

Produksi metan dan karbon dioksida dilakukan oleh bakteri *methanogenic*. Sebanyak 70% dari metan yang terbentuk berasal dari asetat, sedangkan sisanya 30% dihasilkan dari konversi hidrogen (H) dan karbon dioksida (CO_2), menurut persamaan berikut:



Selama tahap metanogenesis, metana dibentuk melalui dua rute utama, pada rute primer, fermentasi produk utama yang berasal dari tahap pembentukan asam yakni asam asetat diubah menjadi metana dan karbon dioksida. Bakteri yang mengubah asam asetat adalah bakteri asetoklastik (atau asetofilik). Rute sekunder menggunakan hidrogen untuk mengurangi karbon dioksida sehingga menghasilkan metana dengan bakteri metanogen hidrogenofilik. Hanya sejumlah senyawa dalam

jumlah terbatas yang dapat digunakan sebagai substrat dalam metanogenesis yakni asetat, H_2 , CO_2 , metanol, dan format. Berdasarkan stoikiometri, para ahli memperkirakan bahwa sekitar 70% dari metana dihasilkan dari asetat, sedangkan 30% sisanya dihasilkan dari H_2 dan CO_2 .

Metanogenesis sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi. Komposisi bahan baku, laju pengumpanan, temperatur, dan pH adalah faktor yang mempengaruhi proses metanogenesis. *Overloading* pada *digester*, perubahan temperatur atau masuknya oksigen dalam jumlah besar dapat mengakibatkan penghentian produksi metan (Seadi dkk, 2008).

2.6 Nilai pH

Konsentrasi ion - hidrogen merupakan kualitas parameter yang penting di dalam limbah cair. Konsentrasi pH dapat diartikan sebagai eksistensi dari kehidupan mikroba didalam limbah cair (biasanya pH diantara 6 – 9). Limbah cair mempunyai konsentrasi pH yang sulit diatur karena adanya proses pengasaman pada limbah cair. pH mempunyai arti yang sangat penting didalam pengolahan limbah cair karena dari pH kita dapat mengetahui kondisi mikroba yang ada didalam limbah cair. *Methanogenicarchea* dapat berfungsi dalam batas interval dari 5,5 - 8,5 dengan range optimal 6,5 - 8,0. Bakteri fermentatif dapat berfungsi pada rentang yang luas dari 8,5 menurun hingga pH 4 (Zahara, 2014)

2.7 Temperatur

Temperatur merupakan salah satu faktor yang menentukan keberlangsungan hidup mikroorganisme anaerobik. Temperatur tidak terlalu berpengaruh pada terjadinya proses hidrolisis. Hal ini karena bakteri pada proses hidrolisis tidak terlalu peka terhadap perubahan temperatur (Gerardi, 2003). Temperatur optimal untuk bakteri pembentuk asam yaitu 32-42°C (*mesophilik*) dan 48-55°C (*thermophilik*), sedangkan bakteri metanogenik kebanyakan hidup pada temperatur mesofil dan sebagian kecil lainnya hidup pada temperatur termofil. Selain itu, terdapat beberapa bakteri yang mampu memproduksi metana pada temperatur rendah (0,6–1,2°C). Bakteri metanogenik sangat sensitif terhadap perubahan temperatur. Bakteri metanogenik yang hidup pada temperatur termofil

lebih sensitif terhadap perubahan temperatur jika dibandingkan dengan bakteri metanogenik mesophil. Oleh karena itu, temperatur harus dijaga tidak lebih dari 2°C (Deublein dkk, 2008). Penjagaan temperatur *digester* agar tetap konstan ini didukung oleh pernyataan Price dan Cheremisinoff (1981) yang menyebutkan bahwa produksi gas pada proses perombakan secara anaerobik dapat berlangsung pada kisaran suhu 4-60°C jika temperatur konstan dan apabila terjadi fluktuasi temperatur maka proses akan terganggu. Selanjutnya Price dan Cheremisinoff (1981) berpendapat bahwa, walaupun *digester* yang lama dari *digester* dengan temperatur mesofil, namun produksi gas, kualitas, dan parameter lain dari kestabilan proses dinilai menguntungkan. Selain itu, *digester* dengan temperatur rendah ini dapat dijadikan alternatif pembuatan biogas di daerah beriklim tropis.

Temperatur tidak hanya mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk metana tetapi juga mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk asam volatile. Fluktuasi temperatur dapat menguntungkan salah satu kelompok bakteri, namun merugikan bakteri kelompok lain. Contohnya, peningkatan temperatur sebesar 10°C dapat menghentikan produksi metana atau aktivitas bakteri pembentuk metana selama 12 jam, sedangkan pada kondisi yang sama terjadi peningkatan asam volatil. Perubahan aktivitas pada bakteri pembentuk asam volatil akan berpengaruh pada jumlah asam organik dan alkohol yang dihasilkan pada proses fermentasi. Asam organik dan alkohol ini digunakan sebagai substrat bagi bakteri pembentuk metana, sehingga akan mempengaruhi performa dari *digester* (Gerardi, 2003).

2.8 Rasio C/N

Sumber C dan N diperlukan mikroba yang berperan dalam proses secara anaerobik sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan dan perkembangan mikroba tersebut. Apabila kandungan N di dalam substrat terlalu sedikit, maka bakteri tidak dapat memproduksi enzim yang dibutuhkan untuk mensintesis senyawa (substrat) yang mengandung karbon. Sementara itu apabila substrat terlalu banyak mengandung N, pertumbuhan bakteri akan terhambat akibat terdapat ammonia dalam jumlah besar (Yani dan Darwis, 1990). Proses anaerobik akan optimal bila diberikan bahan makanan yang mengandung karbon dan nitrogen secara bersamaan.