

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Minyak Kelapa Sawit

Industri kelapa sawit merupakan salah satu industri strategis sektor pertanian yang banyak berkembang di negara-negara tropis seperti Indonesia, Malaysia dan Thailand. Menurut data dari *United State Department of Agriculture* (2014), Indonesia merupakan produsen terbesar minyak kelapa sawit di dunia dengan hasil produksi 33 juta metrik ton (MT) pada periode 2014/15. Hal ini memberikan manfaat bagi pertumbuhan ekonomi Indonesia dan menciptakan lapangan kerja bagi masyarakat Indonesia. Berikut data produksi minyak 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: *FAS Statistics, "Oil Seeds : World Market and Trade" Palm Oil : World Supply and Distribution 2015*

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.

Tanaman kelapa sawit tersebar di 32 provinsi di Indonesia. 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. Cargill Group, 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 menghasilkan biomassa produk samping dalam jumlah yang besar. 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 *hidrocyclone* 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)

Limbah cair pabrik kelapa sawit yang juga dikenal dengan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan hasil samping dari pengolahan tandan buah segar

kelapa sawit menjadi minyak sawit kasar. POME adalah air limbah industri minyak kelapa sawit yang merupakan salah satu limbah agroindustri yang menyebabkan polusi terbesar. Limbah cair kelapa sawit merupakan nutrisi yang kaya akan senyawa organik dan karbon, dekomposisi dari senyawa-senyawa organik oleh bakteri anaerob dapat menghasilkan biogas (Deublein dan Steinhauser, 2008). Jika gas-gas tersebut tidak dikelola dan dibiarkan lepas ke udara bebas maka dapat menjadi salah satu penyebab pemanasan global karena gas metan dan karbon dioksida yang dilepaskan adalah termasuk gas rumah kaca yang disebut-sebut sebagai sumber pemanasan global saat ini. Emisi gas metan 21 kali lebih berbahaya dari CO₂ dan metan merupakan salah satu penyumbang gas rumah kaca terbesar (Sumirat dan Solehudin, 2009).

Menurut Zahara (2014), dalam industri minyak kelapa sawit, cairan keluaran umumnya dihasilkan dari proses sterilisasi dan klarifikasi yang dalam jumlah besar berasal dari *steam* dan air panas yang digunakan. Produksi minyak kelapa sawit membutuhkan air dalam jumlah besar. Satu ton minyak kelapa sawit menghasilkan 2,5 ton limbah cair, yaitu berupa limbah organik berasal dari input air pada proses separasi, klarifikasi dan sterilisasi. Limbah cair dari industri minyak kelapa sawit umumnya memiliki suhu yang tinggi kisaran 70-80 °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. Sebelum limbah cair ini dibuang ke lingkungan terlebih dahulu diberi perlakuan khusus tentang penanganan limbah sehingga dapat diolah agar sesuai dengan baku mutu limbah yang telah ditetapkan oleh badan lingkungan hidup. Limbah cair pabrik kelapa sawit dihasilkan dari tiga tahapan proses, yaitu:

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

Karakteristik POME dapat dilihat pada Tabel 3.

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
Amonical-Nitrogen	35
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

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.	Suhu	°C	90 – 140	

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

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

b. Spesifikasi Limbah Cair untuk *Land Application* (Aplikasi Lahan)

Mutu limbah cair setelah mengalami proses pengolahan pada kolam-kolam utama seperti kolam pendinginan, kolam pengasaman dan kolam anaerobik dapat disalurkan untuk aplikasi lahan sebagai pupuk pada areal tanaman kelapa sawit. Baku mutu limbah cair pabrik kelapa sawit untuk aplikasi lahan, dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Baku Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit untuk Aplikasi Lahan

No.	Parameter	Satuan	Kisaran
1.	BOD	mg/l (ppm)	5000
2.	Minyak dan Lemak	mg/l (ppm)	< 6000
3.	pH		6 – 9

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

c. 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 6.

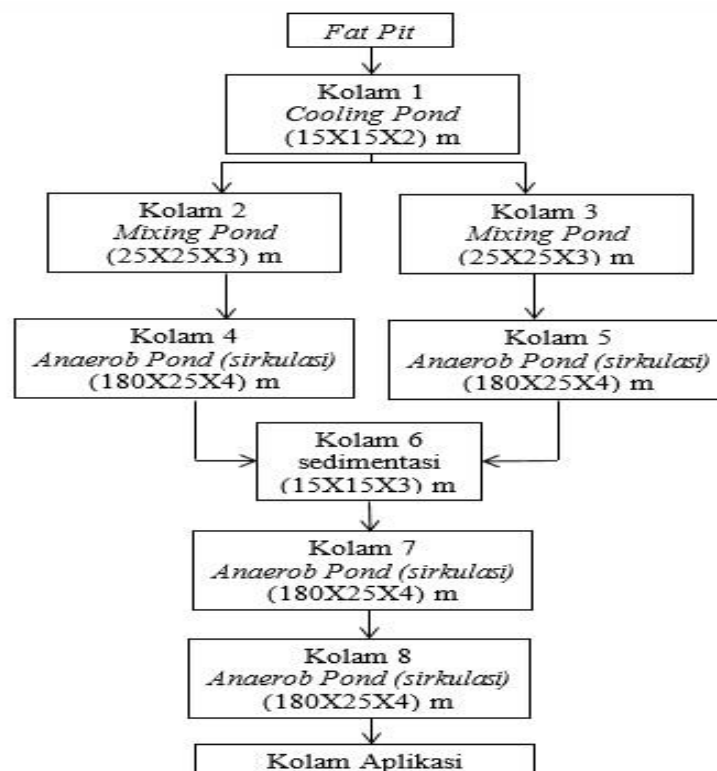
Tabel 6. Baku Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

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

Limbah cair yang dihasilkan tersebut harus dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dibuat tindakan pengendalian limbah cair melalui sistem kolam yang kemudian diaplikasikan ke lahan. Berikut merupakan diagram alir kolam pengolahan limbah cair kelapa sawit pada 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 (2016), 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 suhu 60-80°C. Pemanasan ini diperlukan untuk memudahkan pemisahan minyak dengan *sludge*, sebab pada *fat pit* ini masih dimungkinkan untuk melakukan pengutipan minyak dengan menggunakan *skimmer*. 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.



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 suhu 60 – 80°C sebelum limbah dialirkan ke kolam pengasaman (*acidifaction pond*) suhunya 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.



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.



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. Pada kolam anaerobik terjadi penurunan BOD dan kenaikan pH minimal 6. 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.



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.



Gambar 7. Kolam resirkulasi pada PT Perkebunan Mitra Ogan

Gambar 7. menunjukkan Setelah dari kolam *anaerobic*, limbah masuk ke kolam Resirkulasi yang berfungsi untuk pematangan limbah serta menaikkan pH dan menurunkan BOD. Kegunaan sirkulasi adalah untuk membantu menurunkan suhu dan menaikkan pH di kolam *anaerobic* 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 *aerobic*. 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.



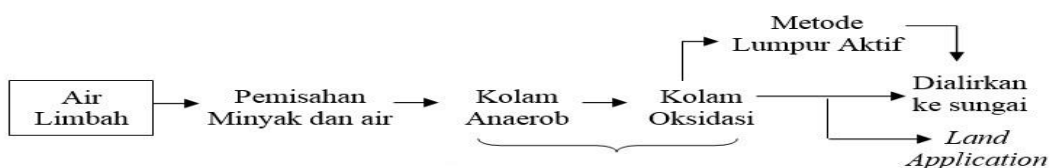
Gambar 8. *Sedimentation Pond* pada PT Perkebunan Mitra Ogan

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, suhu 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.



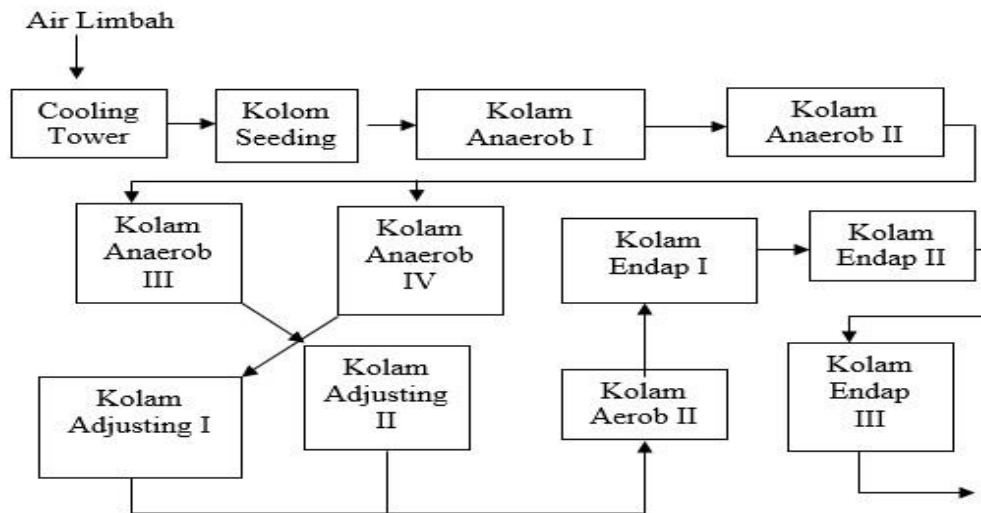
Gambar 10. *Land Application* pada PT Perkebunan Mitra Ogan

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. Secara sekilas, air limbah dengan kadar minyak tinggi dari pabrik kelapa sawit (PKS) diarahkan mengalir ke kolam anaerob. Bagian dalam kolam anaerob berada pada kondisi anaerob, fermentasi metan akan terjadi. Sebagai hasilnya, zat organik diuraikan menjadi gas karbon dan metan, sehingga konsentrasi zat organik di dalam air limbah turun sampai level tertentu. Setelah itu, mengalirkan air luapan yang mengandung *suspended solid* dari kolam oksida ke kolam endap, kemudian mengendapkan kandungan *suspended solid* dan akhirnya mengalirkan ke sungai.

Di sebagian pabrik, air luapan kolam oksida diolah pada tangki lumpur aktif, lalu dialirkan ke sungai. 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). Menurut Apriani (2009), limbah cair industri pengolahan kelapa sawit memiliki potensi sebagai pencemar lingkungan karena mengandung parameter bermakna yang cukup tinggi. Golongan parameter yang dapat digunakan sebagai parameter penilaian kualitas air, yaitu:

1. *Biologica loxygen 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 organik 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 *biological oxygen demand* (BOD).

2.3 Kotoran Sapi

Didalam 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). Kotoran sapi adalah limbah dari usaha peternakan sapi yang bersifat padat dan dalam proses pembuangannya sering bercampur dengan urin dan gas, seperti metana dan amoniak. 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 7.

Tabel 7. 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 7 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 bahkan dari kotoran manusia dan campurannya. 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 ananerob (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 8.

Tabel 8. 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 8 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 (CH₄) 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 m³ biogas setara dengan elpiji 0,16 kg, atau setara dengan minyak tanah 0,62 liter dan bahkan setiap 1 m³ biogas setara dengan kayu bakar 3,5 kg. Kesetaraan produk 1 m³ biogas dibandingkan dengan sumber-sumber energi lain dapat dilihat pada Tabel 9.

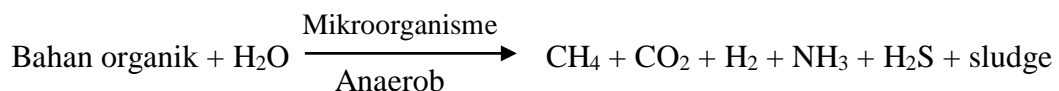
Tabel 9. Kesetaraan 1 m³ Biogas dengan Sumber Bahan Bakar Lain

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.

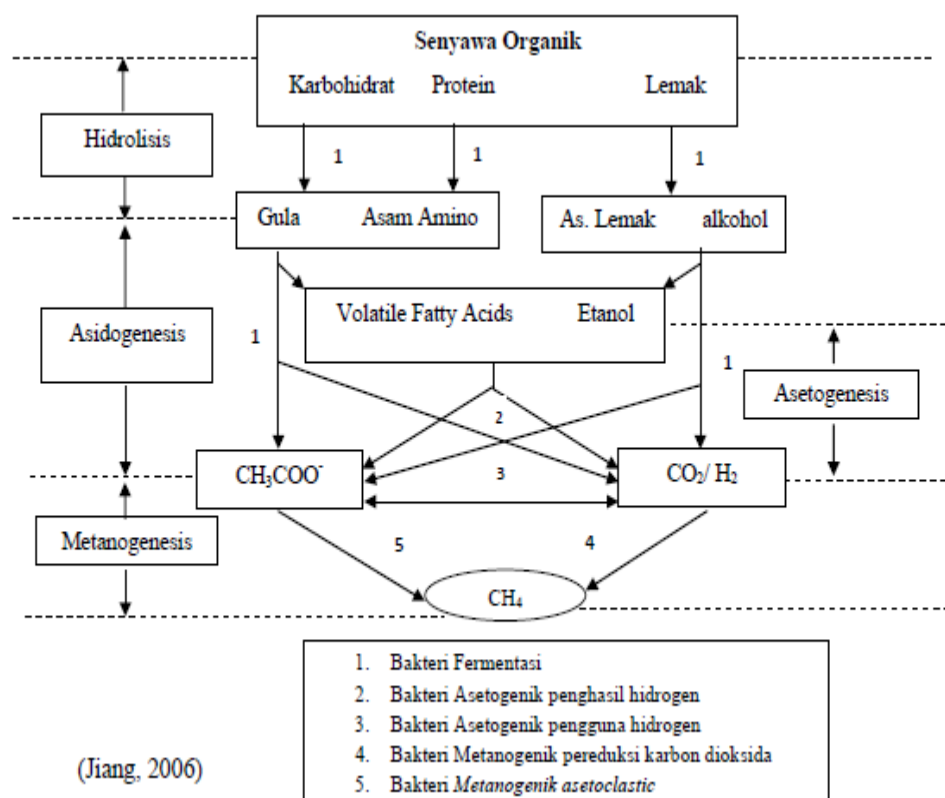


Proses pembentukan biogas ini memerlukan instalasi khusus yang disebut digester, fungsinya adalah agar perombakan secara anaerobic dapat berlangsung dengan baik. Terdapat tiga keuntungan dari instalansi penghasil biogas, yaitu: (1) penggunaan bahan bakar lebih efisien, (2) menambah nilai pupuk, dan (3) 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,

asidogenik dan metanogenesis. Beberapa jenis bakteri bersama-sama secara bertahap mendegradasi bahan-bahan organik dari limbah cair (Deublein dan Steinhauster, 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.



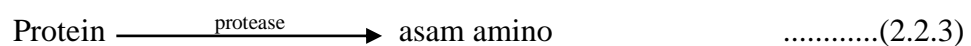
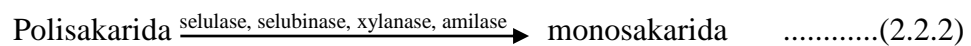
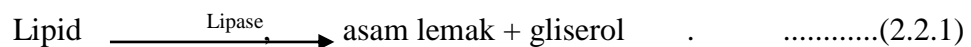
Gambar 12. Konversi Bahan Organik Menjadi Metan Secara Anaerobik

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, di mana 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-enzime* (enzim ekstraselular) secara fakultatif oleh bakteri anaerob. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.2.1 di mana lipid diurai oleh enzim lipase membentuk asam lemak dan gliserol sedangkan polisakarida diurai menjadi monosakarida seperti pada persamaan 2.2.2. Dan seperti pada persamaan 2.2.3 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).

Tahap pertama ini sangat penting karena molekul organik besar yang terlalu besar untuk langsung diserap dan digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber substrat atau makanan, untuk menghasilkan waktu pencernaan yang lebih pendek dan memberikan hasil metana yang lebih tinggi (Verma, 2002). Adapun jenis bakteri pada hidrolisis dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Klasifikasi Bakteri Hidrolisis Berdasarkan Substrat yang Diolah

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

2.5.2 Asidogenesis

Selama proses asidogenesis, produk yang dihasilkan dari proses hidrolisis akan dikonversi oleh bakteri *acidogenic* (fermentasi) menjadi substrat bagi bakteri *methanogenic*. Gula sederhana, asam amino dan asam lemak terdegradasi menjadi asetat, karbon dioksida dan hidrogen (70%) juga menjadi asam lemak volatil (VFA) dan alkohol (30%) (Seadi dkk, 2008). Asam amino terdegradasi melalui reaksi Stickland oleh *Clostridium botulinum* yaitu reaksi reduksi oksidasi yang melibatkan dua asam amino pada waktu yang sama, satu sebagai pendonor hidrogen dan yang satu lagi sebagai akseptor. (Deublein dan Steinhauster, 2008).

Produk akhir dari aktivitas metabolisme bakteri tergantung dari substrat awalnya dan pada kondisi lingkungannya. 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 11.

Tabel 11. 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

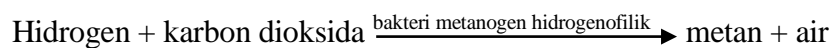
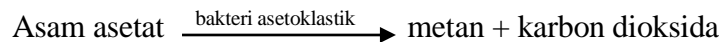
2.5.3 Asetogenesis

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 *asetogenic* dari substrat untuk menjaga tekanan parsial hidrogen pada tingkat yang rendah sehingga cocok untuk bakteri *asetogenic* (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 (CO₂), 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, H₂, CO₂, metanol, dan format. Berdasarkan stoikiometri, para ahli memperkirakan bahwa sekitar 70% dari metana dihasilkan dari asetat, sedangkan 30% sisanya dihasilkan dari H₂ dan CO₂.

Metanogenesis merupakan langkah penting dalam proses pengolahan anaerobik secara keseluruhan, karena proses ini adalah yang paling lambat pada proses reaksi biokimia. Metanogenesis sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi. Komposisi bahan baku, laju pengumpanan, suhu, dan pH adalah faktor yang mempengaruhi proses metanogenesis. Overloading pada digester, perubahan suhu atau masuknya oksigen dalam jumlah besar dapat mengakibatkan penghentian produksi metan (Seadi dkk, 2008).

Dalam teknologi pengolahan air limbah, simbiosis dapat terjadi dengan mikroorganisme pengurai sulfat menjadi hidrogen sulfide. Sehingga kadang terjadi persaingan dalam penggunaan hidrogen. Metanogen dan asidogen membentuk suatu hubungan yang saling menguntungkan di mana metanogen mengubah hasil dari proses asidogen seperti hidrogen, asam format dan asetat menjadi metan dan karbon dioksida. Mikroorganisme yang membentuk metan diklasifikasikan sebagai archaea

yang bekerja tanpa adanya oksigen. Mikroorganisme non metanogenik yang berperan dalam hidrolisis dan fermentasi merupakan bakteri fakultatif (Deublein dan Steinhauser, 2008).

Pengolahan secara anaerobik dalam reaktor dapat diaplikasikan untuk mengolah limbah cair dalam jumlah yang besar karena menggunakan reaktor tertutup dan waktu tinggal cairan limbah saat ini bisa lebih singkat dengan menggunakan sistem termofilik, maka kebutuhan lahan yang luas untuk mengolah limbah cair dapat dikurangi. Selain itu pengolahan limbah cair secara anaerobik juga dapat memberikan sumber energi berupa gas metan yang merupakan produk akhir dari proses anaerobik ini. Gas metan yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar yang relatif terhadap ramah lingkungan.

Pengolahan anaerobik untuk menghasilkan biogas ini sangat bermanfaat dalam mengurangi limbah biomassa organik namun tahap awal pembangunan reaktornya membutuhkan biaya yang lebih besar jika dibandingkan dengan pengolahan secara aerobik. Pengolahan secara anaerobik adalah metode yang paling sesuai untuk mengolah buangan industri yang mengandung karbon atau senyawa organik yang tinggi (Bocher dan Angler, 2008). Pengolahan POME dengan menggunakan reaktor anaerobik dilakukan dengan mensubstitusi proses yang terjadi di kolam anaerobik pada sistem konvensional ke dalam tangki digester.

Selain menghasilkan biogas, pengolahan limbah cair dengan proses anaerobik dapat dilakukan pada lahan yang sempit dan memberi keuntungan berupa penurunan jumlah padatan organik, jumlah mikroba pembusuk yang tidak diinginkan, serta kandungan racun dalam limbah (Speece, 1996). Disamping itu buangan dari proses fermentasi anaerobik dapat menjadi pupuk karena kandungan nitrogennya yang tinggi (Weiland, 2010).

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 di dalam 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 (Zahara, 2014). Tingkat pH memberikan pengaruh terhadap aktivitas enzim didalam mikroorganisme, setiap enzim hanya dapat aktif pada rentang pH tertentu dan mempunyai aktivitas maksimum pada pH optimal. Setiap kelompok mikroorganisme mempunyai perbedaan rentang pH optimal. *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).

Untuk mendapatkan kondisi optimum pada produksi biogas, dimana bakteri yang berperan adalah penghasil metan, nilai pH untuk campuran umpan di dalam digester harus diantara 6 dan 7. Setelah stabilisasi dari proses fermentasi pada kondisi anaerobik, nilai pH akhir harus diantara 7,2 dan 8,2. Untuk memberikan efek penyangga dari penambahan konsentrasi ammonium. Ketika jumlah asam organik yang diproduksi besar pada permulaan fermentasi, pH di dalam digester mungkin menurun sampai 5. Saat digester mempunyai konsentrasi asam volatil yang tinggi, proses fermentasi metan akan terhambat bahkan terhenti. pH yang rendah (dibawah 6,5) akan memberikan efek racun pada bakteri metanogenik (Zahara, 2014). Oleh karena itu, perlu adanya penambahan natrium bikarbonat (NaHCO_3) yang berfungsi untuk menyangga pH.

2.7 Suhu

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

terhadap perubahan suhu jika dibandingkan dengan bakteri metanogenik mesophil. Oleh karena itu, suhu harus dijaga tidak lebih dari 2°C (Deublein dkk, 2008). Penjagaan suhu 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 suhu konstan dan apabila terjadi fluktuasi suhu maka proses akan terganggu. Selanjutnya Price dan Cheremisinoff (1981) berpendapat bahwa, walaupun digester yang lama dari digester dengan suhu mesofil, namun produksi gas, kualitas, dan parameter lain dari kestabilan proses dinilai menguntungkan. Selain itu, digester dengan suhu rendah ini dapat dijadikan alternatif pembuatan biogas di daerah beriklim tropis.

Suhu tidak hanya mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk metana tetapi juga mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk asam volatile. Fluktuasi suhu dapat menguntungkan salah satu kelompok bakteri, namun merugikan bakteri kelompok lain. Contohnya, peningkatan suhu 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 Pupuk Organik Cair

Pupuk organik cair merupakan pupuk organik dalam bentuk cair dan pada umumnya merupakan bahan organik yang dilarutkan dengan pelarut seperti air (Irawati, 2003). Pupuk organik cair dapat dibuat dari bahan- bahan organik berbentuk cair dengan cara mengomposkan dan memberi aktivator pengomposan sehingga dapat dihasilkan pupuk organik cair yang stabil dan mengandung unsur hara lengkap, pupuk cair dapat diproduksi dari limbah industri peternakan (limbah cair dan setengah padat atau *slurry*) yaitu melalui pengomposan dan aerasi (Haga, 1999).

Tiga cara umum pemberian pupuk cair menurut Zaitun (1999) sebagai berikut: (a) pemberian langsung pada tanah; (b) pemberian melalui irigasi; dan (c) penyemprotan pada tanaman. Penggunaan pupuk cair banyak digunakan berdasarkan pada alasan ekonomis dan karena kemudahannya dalam penggunaan. Kebanyakan dari pupuk organik mempunyai kandungan nutrisi yang rendah jika dibandingkan dengan pupuk anorganik (terutama unsur N, P dan K) tetapi mempunyai efek yang menguntungkan bagi tanah diantaranya dapat memperbaiki kondisi tanah hingga tanah dapat menahan air lebih banyak dan menggemburkan tanah. Zat-zat unsur hara di dalam pupuk cair tersedia bagi tanaman, sebagian langsung dapat diserap, sebagian lagi dengan cepat dapat diurai sehingga cepat juga dapat diserap.

Kelebihan pupuk organik cair dibandingkan dengan pupuk organik cair yaitu dapat secara cepat mengatasi defisiensi hara, tidak bermasalah dalam pencucian hara serta mampu menyediakan hara secara tetap. Kendala yang dihadapi dalam penggunaan pupuk kimia anorganik cair antara lain kurang efisien, karena pupuk ini tidak memiliki bahan pengikat sehingga saat diaplikasikan di lapangan banyak yang terbuang. Larutan pupuk anorganik yang jatuh ke permukaan tanah akan larut tercuci saat hujan dan N akan cepat menguap pada suhu cukup tinggi (Mulyani, 1994).

Pupuk cair juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya adalah tidak semua pupuk dalam bentuk cair bersifat organik. Pupuk anorganik dalam bentuk cair bila digunakan untuk tanaman yang langsung dikonsumsi seperti sayuran dan buah berkulit tipis, akan mempengaruhi rasa dan kandungan sayuran atau buah tersebut (Mulyani, 1994). Selain itu penggunaan yang berlebihan dan terus menerus dapat merusak tanaman dan tanah.

2.9 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. CN ratio menunjukkan perbandingan jumlah dari kedua elemen tersebut. Pada bahan yang memiliki jumlah karbon 15 kali dari jumlah nitrogen akan memiliki C/N ratio 15 berbanding 1. C/N ratio dengan nilai 30 ($C/N = 30/1$ atau karbon 30 kali dari umlah nitrogen) akan menciptakan proses pencernaan pada tingkat yang optimal, bila kondisi lain juga memungkinkan. Bila terlalu banyak karbon, maka nitrogen akan habis terlebih dahulu. Hal ini akan menyebabkan proses berjalan dengan lambat. Bila nitrogen terlalu banyak, maka karbon akan habis lebih dulu dan proses fermentasi berhenti.

Populasi mikroba pada proses perombakan bahan organik secara anaerob memerlukan nutrisi untuk tumbuh dan berkembang biak. Rasio C/N merupakan nilai perbandingan antara karbon dan nitrogen yang terdapat pada substrat. Substrat dengan rasio C/N yang terlalu rendah akan mengakibatkan peningkatan kadar ammonia yang dapat menghambat produksi metana. Sebaliknya, jika rasio C/N terlalu tinggi mengindikasikan terjadinya kekurangan nitrogen pada substrat, dimana hal ini membawa dampak buruk pada pembentukan protein yang diperlukan mikroba untuk tumbuh. Maka, diperlukan keseimbangan rasio C/N agar produksi gas lebih optimal (Deublein, 2008). Apabila rasio C/N tidak dikontrol dengan cermat, maka terdapat kemungkinan adanya nitrogen berlebih (terutama dalam bentuk amonia) yang dapat menghambat pertumbuhan dan aktivitas bakteri, (Beni Hermawan, 2007).

2.10 Digester Berbentuk Limas dan Balok

Pada industri kelapa sawit, air limbah yang dihasilkan akan diolah di kolam pengolahan dengan sistem kolam terbuka untuk mengolah air limbah industri minyak kelapa sawit atau Palm Oil Mill Effluent (POME). Meskipun sistem kolam ekonomis, namun sistem ini membutuhkan lahan yang lebih luas, memakan waktu dan melepas metana langsung ke atmosfer dari penguraian zat organik yang terjadi

di kolam *anaerobic*. Pelepasan metana dari sistem pengolahan POME menyumbang hingga 70% dari total emisi gas rumah kaca dalam keseluruhan proses produksi CPO (Agustine, 2011). Sehingga senyawa metana dan karbon dioksida dalam jumlah yang besar dilepaskan ke atmosfer yang dapat menyebabkan efek rumah kaca atau pemanasan global. Mengacu pada kondisi ini, maka dibuat modifikasi peralatan digester.

Digester berfungsi menggantikan kolam anaerobik pada sistem konvensional yang dibantu dengan pemakaian bakteri mesophilic dan thermophilic (naibaho, 1996). Modifikasi *digester* merupakan digester yang telah dimodifikasi bentuknya merujuk pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan pada tahun lalu. Namun pada rancangan sebelumnya masih belum efisien, karena masing masing tangki memiliki saluran penghubung tangki dengan letak posisi pipa yang tinggi menyebabkan setiap proses pengaliran umpan ke setiap tangki menggunakan pompa sentrifugal. Hal tersebut dinilai tidak efisien karena berdasarkan dari pengamatan bahwa saluran penghubung dapat dibuat dengan memanfaatkan sistem gravitasi. Pengaliran umpan dapat memanfaatkan perpindahan cairan dari letak posisi yang lebih tinggi menuju ke letak posisi yang lebih rendah.

Modifikasi *digester* dilakukan pada perubahan bentuk dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan pada tahun lalu, Menurut laporan akhir yang ditulis oleh Sari (2015) “Perbandingan *Design* Alat Sedimentasi yang Berbentuk Balok dan Limas pada Pengolahan Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit”. Hasil dari penelitian tersebut didapat perbandingan efisiensi antara *design* tangki sedimentasi balok dan *design* tangki sedimentasi limas untuk 3 variasi laju alir 2 L/m, 3 L/min, dan 4 L/min. Pada design balok efisiensi berturut-turut yaitu 8,3 , 10 dan 13,9. Sedangkan design limas efisiensi berturut-turut yaitu 13,9 , 15 dan 15,6 . Maka *design* alat yang berbentuk limas telah terbukti bahwa proses pengendapannya lebih cepat dibandingkan dengan alat *design* balok, sehingga dapat meminimalisir kegagalan dalam pengolahan air limbah.

Menurut laporan akhir yang ditulis oleh Fahlevi (2015) “Pengaruh Laju Alir Terhadap Waktu Tinggal Pada Digester Berbentuk Limas Secara Batch Dalam Mengolah Air Limbah Industri Kelapa Sawit Menjadi Biogas”. Hasil dari penelitian

tersebut pada tangki fermentasi balok didapat persen mol CH_4 untuk volume starter 20% dalam waktu 4 hari yaitu 2,0607% dan untuk volume starter 30% dalam waktu 4 hari yaitu 7,3564%. Sedangkan pada tangki fermentasi limas didapat mol CH_4 untuk volume starter 20% dalam waktu 4 hari yaitu 1,4938% dan untuk volume starter 30% dalam waktu 4 hari yaitu 6,439%. Maka *design* alat yang berbentuk balok telah terbukti bahwa proses fermentasinya lebih bagus dibandingkan dengan alat *design* limas.

Berdasarkan hal tersebut, penulis melakukan penelitian terhadap proses pengolahan air limbah industri minyak kelapa sawit dengan memodifikasi *digester* dengan tangki sedimentasi berbentuk limas yang diharapkan dapat memberi keuntungan untuk dapat mengendapkan lumpur yang terkandung dalam air limbah kelapa sawit dengan cepat, sedangkan *digester* untuk tangki fermentasi dengan bentuk balok yang dapat menangkap gas metana dan mengubah air limbah tersebut menjadi lebih bermanfaat dengan sistem pengolahan secara anaerobik. Selain itu, modifikasi desain ini diharapkan mampu menjadi penerapan pada kolam air limbah industri untuk dapat menggunakan sistem kontinyu untuk memanfaatkan potensi gas metana yang ada pada air limbah industri kelapa sawit (POME) agar tidak terbuang dengan sia-sia. Pengolahan air limbah industri minyak kelapa sawit pada tahap sedimentasi dan fermentasi dengan menggunakan alat *design* modifikasi *digester* ini merupakan salah satu cara yang lebih efektif dan efisien dari segi tempat, waktu, dan biaya pengolahannya.