

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Minyak Kelapa Sawit

Industri minyak sawit merupakan industri berbasis sektor pertanian yang memproduksi *crude palm oil* (CPO) yang dapat digunakan untuk berbagai variasi makanan, kosmetik, produk kebersihan, dan juga bisa digunakan sebagai sumber *biofuel* atau biodiesel. Komoditi minyak kelapa sawit memiliki prospek cerah dalam perdagangan minyak nabati dunia karena minyak kelapa sawit merupakan salah satu minyak yang paling banyak dikonsumsi di dunia. Hal ini mendorong pemerintah untuk memacu pengembangan areal perkebunan kelapa sawit yang dapat menjadi sumber penghasil devisa non migas bagi negara (Priyambada dkk., 2014).

Menurut data dari *United States Department of Agriculture*, Indonesia adalah produsen dan eksportir minyak sawit terbesar di seluruh dunia yang menghasilkan 85-90% dari total produksi minyak sawit dunia. Hal ini didukung oleh jumlah total luas area perkebunan sawit di Indonesia yang mencapai 8 juta hektar dan direncanakan akan meningkat menjadi 13 juta hektar pada tahun 2020 (Priyambada dkk., 2014). Berikut data total produksi minyak sawit dari beberapa negara tropis lainnya, dapat dilihat pada tabel.

Tabel 1. Produksi Minyak Kelapa Sawit

No	Negara	Total Produksi (Ton)
1	Indonesia	33,500,000
2	Malaysia	20,350,000
3	Thailand	2,250,000
4	Kolombia	1,025,000
5	Nigeria	930,000

Sumber: United States Department of Agriculture, 2014

Permintaan dunia dalam jangka panjang akan minyak sawit semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah populasi dunia. Oleh sebab itu, budidaya kelapa sawit semakin ditingkatkan secara signifikan baik oleh petani kecil maupun para pengusaha besar di Indonesia. Sebagian besar produksi minyak kelapa sawit Indonesia diekspor ke negara Republik Rakyat Tiongkok, India, Malaysia, Singapura, dan Belanda (Priyambada dkk., 2014). Ekspor minyak

kelapa sawit adalah penghasil devisa negara dan yang terpenting industri ini memberikan kesempatan kerja bagi jutaan orang Indonesia. Berikut data produksi dan ekspor minyak kelapa sawit:

Tabel 2. Produksi dan Ekspor Minyak Kelapa Sawit Indonesia

Tahun	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Produksi (Juta Ton)	16.8	19.2	19.4	21.8	23.5	26.5	27.0	31.0
Ekspor (Juta Ton)	-	14.2	15.5	15.6	16.5	18.1	21.2	20.0
Ekspor (US\$ Milyar)	-	15.6	10.0	16.4	20.2	21.6	19.0	18.4

Sumber: *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Indonesian Palm Oil Producers Association (Gapki) and Indonesian Ministry of Agriculture, 2014.*

Data Kementerian Pertanian Indonesia 2014, 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.

Pada proses pengolahan tandan buah segar kelapa sawit, pabrik minyak kelapa sawit (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 sawit (kernel). Sementara sisanya sebanyak 70-75% adalah residu hasil pengolahan berupa limbah (William, 2011). Dimana limbah tersebut terdiri tiga jenis limbah, yaitu sebagai berikut:

a. Limbah padat

Limbah padat industri minyak kelapa sawit diperoleh dari proses perontokan buah, pengepresan pada saat pengolahan minyak dari daging buah, dan pemurnian minyak. Sehingga dihasilkan produk samping berupa: tandan kosong, cangkang kelapa sawit, serabut, dan *wet decanter solid* (Kurniati, 2008). Namun, limbah-limbah tersebut masih dapat dimanfaatkan (tabel 2.3) sebagai biomassa seperti: pupuk kompos, pakan ternak, papan partikel, energi, karbon aktif, dll.

b. Limbah cair

Limbah cair pada proses produksi minyak kelapa sawit dimulai dari proses perebusan, pemisahan minyak dari biji, dan pemurnian yang dalam bentuk kondensat dan lumpur. Lumpur yang berasal dari proses klarifikasi disebut lumpur primer, sementara lumpur yang telah mengalami proses sedimentasi disebut lumpur sekunder (Kurniati, 2008). Seperti halnya limbah padat, limbah cair juga dapat dimanfaatkan sebagai biomassa, seperti pupuk dan biogas.

c. Limbah gas

Limbah gas juga dihasilkan dari industri minyak kelapa sawit, yaitu gas cerobong dan uap air buangan pabrik kelapa sawit yang berasal dari proses pembakaran, perebusan, pemurnian, dan pengeringan (Kurniati, 2008).

Tabel 3. Jenis, Potensi, dan Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit

Jenis	Potensi per ton TBS (%)	Manfaat
Tandan Kosong	23,0	Pupuk kompos, <i>pulp</i> kertas, papan partikel, energi
<i>Wet Decanter</i>	4,0	<i>Solid</i> pupuk, kompos, makanan ternak
Cangkang	6,5	Arang, karbon aktif, papan partikel.
Serabut (<i>fiber</i>)	13,0	Energi, <i>pulp</i> kertas, papan partikel
Air Limbah	50,0	Pupuk, air irigasi
Air kondensat		Air umpan boiler

Sumber: Tim PT. SP (2000)

2.2 Air Limbah Industri Minyak Kelapa sawit (*Palm Oil Mill Effluent*)

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan limbah terbesar yang dihasilkan dari proses produksi minyak kelapa sawit (Apriani dalam Ahmad, 2004). Rata-rata pabrik minyak kelapa sawit mengolah setiap ton tandan buah segar (TBS) menjadi 200-250 kg minyak mentah, 230-250 kg tandan kosong kelapa sawit (TKKS), 130-150 kg serat, 60-65 kg cangkang, 55-60 kg kernel, dan air limbah 0,7 m³ (Yuliasari dkk., 2001). Air limbah industri minyak kelapa sawit yang terdiri dari *sludge*, air kondensat, air cucian pabrik, air *hydroclone*, dan sebagainya yang berasal dari stasiun perebusan/sterilisasi dan klarifikasi yang

dialirkan ke *fat pit/sludge recovery tank* untuk pengutipan minyak (Kardila, 2011).

POME memiliki konsentrasi yang tinggi dan berwarna coklat pekat serta sering menimbulkan polusi. Berikut karakteristik POME:

Tabel 4. Karakteristik *Palm Oil Mill Effluent* yang Masuk ke Kolam Pengendalian Limbah

No.	Parameter	Satuan	Kisaran
1.	BOD	mg/l (ppm)	20.000 – 30.000
2.	COD	mg/l (ppm)	40.000 – 60.000
3.	<i>Suspended solid</i>	mg/l (ppm)	15.000 – 40.000
4.	<i>Total solid</i>	mg/l (ppm)	30.000 – 70.000
5.	Minyak dan lemak	mg/l (ppm)	5.000 – 7.000
6.	N – NH ₃	mg/l (ppm)	30 – 40
7.	Total N	mg/l (ppm)	500 – 800
8.	pH	-	4 – 5
9.	Suhu	°C	90 – 140

Sumber: Meilian, 2013

Tabel 2.4 menunjukkan bahwa air limbah industri minyak kelapa sawit dari PT. Mitra Ogan mengandung bahan organik yang sangat tinggi yaitu BOD 20.000 – 30.000 mg/l dan COD 40.000 – 60.000 mg/l, sehingga kadar bahan pencemaran akan semakin tinggi. Oleh sebab itu, untuk menurunkan kandungan kadar bahan pencemaran diperlukan degradasi bahan organik. Secara umum dampak yang ditimbulkan oleh air limbah industri kelapa sawit adalah tercemarnya badan air penerima yang umumnya sungai karena hampir setiap industri minyak kelapa sawit berlokasi didekat sungai. Air limbah industri kelapa sawit bila dibiarkan tanpa diolah lebih lanjut akan terbentuk ammonia, hal ini disebabkan oleh bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tersebut terurai dan membentuk ammonia. Terbentuk ammonia ini akan mempengaruhi kehidupan biota air dan dapat menimbulkan bau busuk (Azwir dalam Adrianto, 2011).

Air limbah dari pabrik minyak kelapa sawit ini bersuhu tinggi, yaitu 90 – 140 °C, berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid serta residu minyak dengan *biological oxygen demand* (BOD) dan *chemical oxygen demand* (COD) yang tinggi. Apabila air limbah ini langsung

dibuang ke perairan dapat mencemari lingkungan, karena akan mengendap, terurai secara perlahan, mengkonsumsi oksigen terlarut, menimbulkan kekeruhan, mengeluarkan bau yang tajam dan dapat merusak ekosistem perairan. Sebelum air limbah ini dapat dibuang ke lingkungan terlebih dahulu harus diolah agar sesuai dengan baku mutu limbah yang telah ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah yang berlaku (Kep. MENLH NO. Kep-51/MENLH/10/1995 tanggal 23 Oktober 1995, yaitu sebagai berikut:

Tabel 5. Baku Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

No.	Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)	Badan Pencemaran Maksimum kg/ton
1	B O D	250	1,5
2	C O D	500	3,0
3	T S S	300	1,8
4	Minyak dan lemak	30	0,18
5	Amoniak Total (NH ₃)	20	0,12
6	pH	6,0 – 9,0	
7	Debit limbah maksimum	2,5 m ³ /ton produk minyak (CPO)	

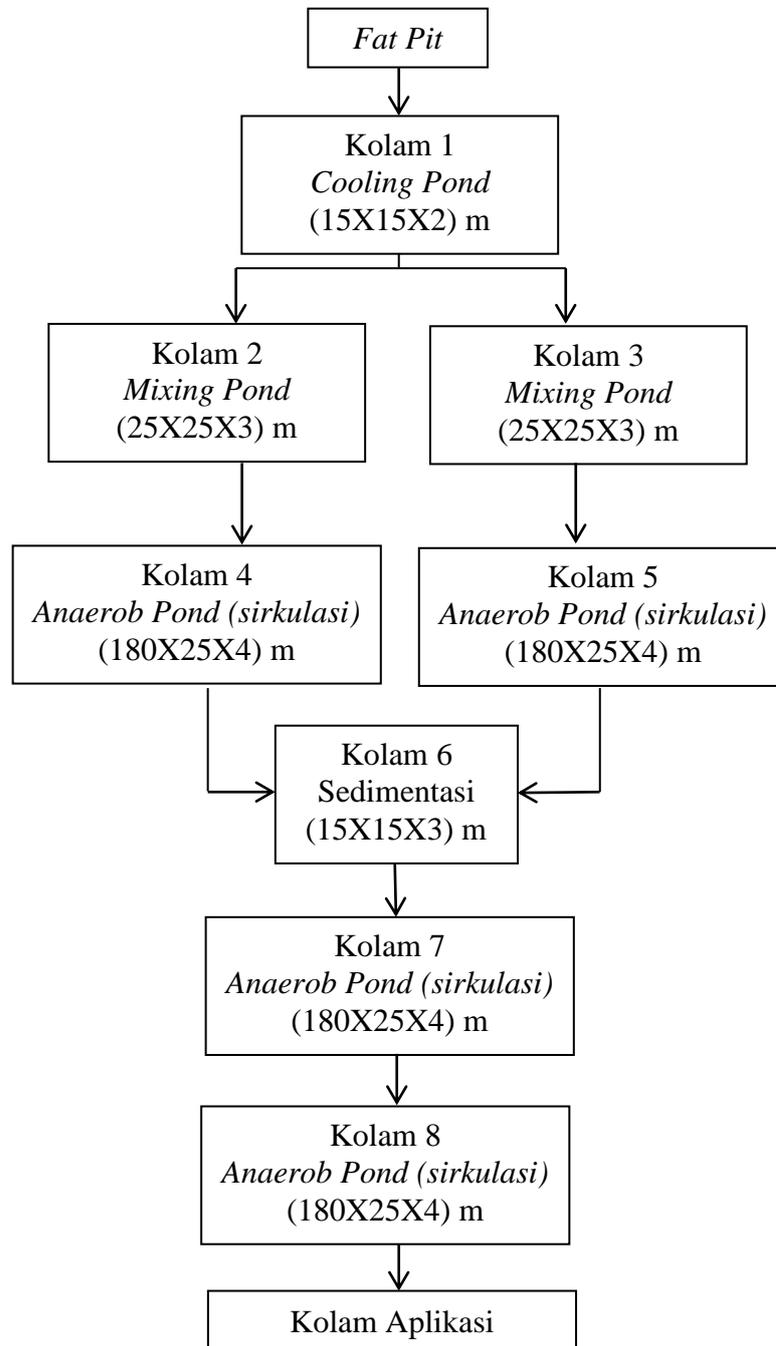
Sumber: Kep. MENLH NO. Kep-51/MENLH/10/1995

Air limbah industri minyak kelapa sawit dapat menyebabkan pemanasan global jika tidak dikelola dengan baik, karena melepaskan gas metan (CH₄) dan CO₂. Hal ini karena air limbah tersebut merupakan nutrisi yang kaya akan senyawa organik dan karbon, dekomposisi dari senyawa-senyawa organik oleh bakteri anaerob dapat menghasilkan biogas. Gas metan merupakan penyumbang gas rumah kaca terbesar dan 21 kali lebih berbahaya dari CO₂ (Sumirat dan Solehudin, 2009).

2.2.1 Pengolahan Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit

Air limbah industri minyak kelapa sawit sebelum dibuang ke sungai, terlebih dahulu diolah secara sederhana yaitu melalui kolam-kolam penampungan. Pengolahan ini dilakukan untuk memenuhi syarat baku mutu limbah, sehingga air limbah yang dialirkan ke sungai memenuhi persyaratan sebagai air bersih (Meilian, 2013). Pengolahan limbah cair dengan sistem kolam memerlukan lahan yang luas untuk proses pengolahan, yang terdiri 4 jenis kolam, yaitu *cooling pond*,

mixing pond, anaerob pond, dan kolam sedimentasi. Berikut skema pengolahan limbah pada pada industri minyak kelapa sawit.



Sumber: Meilian, 2013

Gambar 1. Alur Proses Pengolahan Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit

a. *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 dalam William, 2011).

b. *Cooling Pond*

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



Sumber: Meilian, 2013

Gambar 2. *Cooling Pond*

c. *Mixing Pond*

Pada *mixing pond*, terjadi proses pengasaman, dimana setelah limbah melalui kolam pendingin. Pengasaman berfungsi sebagai proses pra kondisi bagi limbah sebelum masuk ke kolam anaerobic. Pada kolam ini, limbah akan mengalami perombakan.

e. Kolam Sedimentasi

Pemisahan padatan dan cairan merupakan bagian paling penting dalam pengolahan air limbah, pemisahan tersebut dilakukan dalam kolam pengendapan (sedimentasi) yang berfungsi untuk mengendapkan lumpur-lumpur yang terdapat dalam limbah cair. Waktu pengendapan limbah pada kolam ini selama 1 hari jika proses produksi minyak sawit hanya 1 kali dalam 24 jam. Kolam pengendapan merupakan pengolahan terakhir sebelum limbah dialirkan ke badan air dan diharapkan pada kolam ini limbah sudah memenuhi standar baku mutu air sungai.

Kolam sedimentasi pada PT. Mitra Ogan berukuran $5 \text{ m}^3 \times 15 \text{ m}^3 \times 3 \text{ m}^3$ (750 m^3), dan produksi air limbah dalam 1 hari yaitu 750 m^3 untuk satu kali produksi. Namun produksi air limbah tersebut tidak dapat dipastikan, tergantung dengan permintaan *crude palm oil* (CPO) (Meilian, 2013).

Kolam sedimentasi ini dilakukan secara alami yang dibangun di lubang biasa. Pada pengolahan ini substansi suspensi yang terbentuk dari pengolahan biologi anerob dan aerob dialirkan pada kolam, didiamkan, lalu akan terpisah melalui pengendapan (Tsurusaki dalam Rahardjo, 2006).

Rahardjo (2006) mengatakan bahwa pengendapan yang optimal dalam kolam sedimentasi yaitu selama 4 hari. Namun, kolam sedimentasi kedua masih diperlukan untuk memperoleh hasil optimal dalam proses pengendapan. Selain itu, proses pengendapan diperlukan juga pada tahap sebelum proses anaerob yang bertujuan untuk memisahkan pengotor yang masih teremulsi dalam cairan agar tidak terikut dalam kolam tersebut. Berikut gambar kolam sedimentasi pada PT. Mitra Ogan.



Sumber: Meilian, 2013

Gambar 5. Kolam Sedimentasi

f. *Land Application*

Kolam ini merupakan tempat pembuangan terakhir limbah, 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.



Sumber: Meilian, 2013

Gambar 6. *Land Application*

2.2.2 Analisa Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit

1. pH

Pada limbah cair kelapa sawit pHnya bersifat asam berkisar 4,5 dan apabila tidak diolah lebih lanjut akan mengakibatkan pencemaran lingkungan (Ambarlina, 2012). Menurut Ahmad (2004) air limbah pabrik minyak kelapa sawit bersifat asam dengan pH 3,5-5. Menurut Adrianto dkk. (2011), pH air limbah industri minyak sawit sebesar 5,6. Berdasarkan hal tersebut, kadar pH air limbah industri minyak kelapa sawit belum memenuhi baku mutu air limbah industri minyak sawit yang bersumber dari keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 1995, pH maksimum limbah cair kelapa sawit berkisar 6,0 – 9,0. Sehingga air limbah industri minyak kelapa sawit harus dilakukan pengolahan agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.

2. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada dalam air

dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Menurut Ambarlina (2012) jumlah COD limbah cair kelapa sawit yang belum diolah sebesar 1910,4 mg/l. Menurut Adrianto dkk. (2011) COD limbah cair minyak sawit sebesar 60000 mg/l. Menurut Kasnawati dalam Edwi (2008) dari hasil penelitiannya bahwa air limbah pabrik minyak kelapa sawit mengandung COD 13344 mg/l. Menurut Azwir dalam Adrianto (2011) air limbah industri minyak kelapa sawit mengandung COD 48.000 mg/l. Kadar COD air limbah industri minyak kelapa sawit dapat dilihat mempunyai nilai yang berbeda-beda tergantung dari sumber minyak sawit dan bahan yang digunakan dalam pembuatannya. Namun, berdasarkan baku mutu

air limbah untuk industri minyak sawit yang bersumber dari keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 1995, kadar maksimum COD air limbah pabrik minyak kelapa sawit berkisar 350 mg/l. Sehingga limbah tersebut harus diolah agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.

3. Biological Oxygen Demand (BOD)

Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air. Menurut Kasnawati dalam Kardila (2011) dari hasil penelitiannya bahwa air limbah pabrik minyak kelapa sawit mengandung BOD 5540 mg/l. Menurut Ahmad (2004), air limbah industri minyak kelapa sawit mengandung BOD 25.500 mg/l. Kadar air limbah industri minyak kelapa sawit dapat dilihat mempunyai nilai yang berbeda-beda tergantung dari sumber minyak sawit dan bahan yang digunakan dalam pembuatannya. Namun, berdasarkan baku mutu limbah cair untuk industri minyak sawit yang bersumber dari keputusan Menteri Negara lingkungan hidup nomor 51 tahun 1995, kadar maksimum BOD limbah cair kelapa sawit berkisar 250 mg/l. Sehingga air limbah industri minyak kelapa sawit harus dilakukan pengolahan agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.

4. *Total Suspended Solid* (TSS)

TSS adalah jumlah berat dalam mg/l kering lumpur yang ada dalam limbah setelah mengalami pengeringan. Penentuan zat padat tersuspensi (TSS) berguna untuk mengetahui kekuatan pencemaran air limbah *domestic*, dan juga berguna untuk penentuan efisiensi unit pengolahan air (BAPPEDA dalam Krisnawati dkk., 1998). Menurut Ambarlina (2012) jumlah TSS air limbah industri minyak kelapa sawit yang belum diolah sebesar 259 mg/l. Menurut Kasnawati dalam Kardila (2011) dari hasil penelitiannya bahwa air limbah industri minyak kelapa sawit diperoleh nilai TSS 10418 mg/l. Namun, berdasarkan baku mutu limbah cair untuk industriminyak sawit yang bersumber dari keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 1995, kadar maksimum TSS air limbah industri minyak kelapa sawit 250 mg/l.

2.2.3 Pemanfaat Hasil Pengolahan Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit

1. Potensi Air Limbah Industri Kelapa Sawit (POME) sebagai Biogas

Biogas merupakan gas campuran yang terutama terdiri dari metana dan karbondioksida. Biogas diproduksi secara anaerob melalui tiga tahap yakni hidrolisis, asitogenesis, dan metanogenesis. Dalam produksi biogas, semua jenis limbah organik dapat digunakan sebagai substrat seperti air limbah industri minyak kelapa sawit, limbah dapur, kebun, kotoran sapi dan buangan domestik. Biogas yang dihasilkan dari sampah-sampah organik tersebut adalah gas yang mudah terbakar (*flammable*). Gas ini dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi tanpa udara). Umumnya, semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan biogas. Tetapi hanya bahan organik homogen, baik padat maupun cair yang cocok untuk sistem biogas sederhana seperti sampah-sampah organik dan air limbah industri minyak kelapa sawit. Bila bahan-bahan organik tersebut membusuk, akan dihasilkan gas metana (CH₄) dan karbondioksida (CO₂). Tapi, hanya CH₄ yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar (Werner dkk. dalam William, 2011).

Umumnya kandungan metana dalam reaktor sampah organik berbeda –beda, banyak para ahli yang memiliki perbedaan kadar gas metana yang dapat menyebabkan biogas bisa terbakar. Seperti menurut Smirat dan Solehudin (2009), Biogas dapat terbakar apabila terdapat kadar metana minimal 57%. Sedangkan menurut Deublein dan Steinhauster (2008) biogas dapat terbakar jika kandungan metana minimal 60%. Biogas dengan kandungan metana 65-70% memiliki nilai kalor sama dengan 5200-5900 Kkal/m³ energi panas yang setara 1,25 KWJ listrik. Sedangkan untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 Kkal/m³ Namun, secara umum komposisi biogas adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Komposisi Biogas

Komponen	%
Metana (CH ₄)	55-75
Karbon dioksida (CO ₂)	25-45
Nitrogen (N ₂)	0-0,3
Hidrogen (H ₂)	1-5
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	0-3
Oksigen (O ₂)	0,1-0,5

Sumber: Deublein dan Steinhauster, 2008

Air limbah industri kelapa sawit (POME) merupakan nutrien yang kaya akan senyawa organik dan karbon, dekomposisi dari senyawa-senyawa organik tersebut oleh bakteri anaerob dapat menghasilkan biogas (Deublein dan Steinhauster, 2008). Berdasarkan dari hasil penelitian, Paepatung dalam Rahardjo (2006) mengatakan bahwa produksi 1 m³ air limbah industri kelapa sawit menghasilkan 20-28 m³ biogas. Potensi produksi biogas dapat mencapai > 35 kali lipat dari jumlah air limbah industri kelapa sawit atau 1 m³ air limbah industri kelapa sawit dapat dikonversi menjadi 38,69 m³ biogas. Dengan demikian, selain berpotensi sebagai bahan pencemar yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan perairan, berdasarkan dari komposisinya, air limbah ini secara biokimiawi berpotensi ekonomis sehingga perlu diupayakan peningkatan pengelolaan agar lebih berdaya guna.

Penggunaan biogas sebagai energi alternatif relatif lebih sedikit menghasilkan polusi, disamping berguna menyehatkan lingkungan karena mencegah penumpukan limbah sebagai sumber penyakit, bakteri, dan polusi

udara. Keunggulan biogas adalah dapat menghasilkan lumpur kompos maupun pupuk cair (Abdullah, 1991). Sistem produksi biogas juga mempunyai beberapa keuntungan seperti (a) mengurangi pengaruh gas rumah kaca, (b) mengurangi.

A. Proses 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 mikroorganisme, terutama *Arkhaea Metan*. Suhu yang baik untuk proses fermentasi adalah 30-55 °C. Pada suhu tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara optimal merombak bahan-bahan organik

Proses produksi biogas, terjadi dua tahap yaitu penyiapan bahan baku dan proses penguraian anaerobik oleh mikroorganisme untuk menghasilkan gas metana. Proses perombakan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi, yaitu *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Escherichia*, dan *Aerobacter* (Seadi, 2008). Proses kerja daripada bakteri-bakteri ini dapat dibagi dalam tiga tahapan yaitu tahap pemecahan polimer (hidrolisis), tahap pembentuka asam organik (*asitogenesis*) dan tahap produksi metana (*metanogenesis*). Berikut tahapan-tahapannya:

a. Hidrolisis

Tahap ini merupakan proses perombakan bahan organik yang kompleks (polimer) menjadi unit yang lebih kecil (*mono-* dan *oligomer*). Selama proses hidrolisis, polimer seperti karbohidrat, *lipid*, asam nukleat, dan protein dirubah menjadi glukosa, gliserol, *purin*, dan *piridine*.

Mikroorganisme hidrolitik mengekskresi enzim hidrolitik, mengkonversi biopolimer menjadi senyawa sederhana dan mudah larut seperti berikut:

Lipid $\xrightarrow{\text{lipase}}$ asam lemak, gliserol ... (1)

Polisakarida $\xrightarrow{\text{selulase, selubinase, xylanase}}$ monosakarida ... (2)

Protein $\xrightarrow{\text{protease}}$ asam amino ... (3)

Senyawa tidak larut, seperti selulosa, protein, dan lemak dipecah menjadi senyawa monomer (partikel yang larut dalam air) oleh *exo-enzyme* (enzim ekstraseluler) secara fakultatif oleh bakteri anaerob. *Lipid* diurai oleh enzim *lipase* membentuk asam lemak dan giserol, sedangkan polisakarida diurai menjadi monosakarida, Serta protein diurai oleh *protease* menjadi asam amino (Seadi dkk., 2008).

Produk yang dihasilkan oleh hidrolisis, diuraikan lagi oleh mikroorganisme yang ada dan digunakan untuk proses metabolisme mereka sendiri (Seadi dkk., 2008). Hidrolisis karbohidrat dapat terjadi dalam beberapa jam, sedangkan hidrolisis protein dan lipid dapat terjadi dalam beberapa hari. Sedangkan lignoselulosa dan lignin terdegradasi secara perlahan-lahan dan tidak sempurna. Mikroorganisme anaerob fakultatif mengambil oksigen terlarut yang terdapat di dalam air sehingga untuk mikroorganisme anaerobik diperlukan potensial *redoks* yang rendah (Deublein dan Steinhauser, 2008).

b. Pembentukan asam organik (*asetogenesis*)

Tahap pembentukan asam (*asetogenesis*) yaitu hasil dari tahap hidrolisis dikonversi menjadi hasil akhir bagi produksi metana, yaitu berupa asetat, hidrogen, dan karbondioksida yang dilakukan oleh mikrobia asetogenik. Pembentukan asam asetat kadang-kadang disertai dengan pembentukan karbondioksida atau hidrogen, tergantung kondisi oksidasi dari bahan organik aslinya (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 lainnya sebagai akseptor (Deublein dan Steinhauser, 2008).

Produk akhir dari aktivitas metabolisme bakteri ini tergantung dari substrat awalnya dan pada kondisi lingkungannya. Bakteri yang terlibat dalam asidifikasi ini merupakan bakteri yang bersifat anaerobik dan merupakan penghasil asam yang dapat tumbuh pada kondisi asam. Bakteri penghasil asam menciptakan suatu kondisi anaerobik yang penting bagi mikroorganisme penghasil metan

(Dublein dan Steinhauster, 2008). Berikut tabel degradasi senyawa pada tahap asetogenesis.

Tabel 7. Degradasi Asetogenesis

Substrat	Reaksi
Asam propionat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$
Asam butirat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Asam kapronik	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 5\text{H}_2$
Karbon dioksida/hidrogen	$2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$
Gliserin	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 3\text{H}_2 + \text{CO}_2$
Asam laktat	$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Etanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2$

Sumber: Deublein dan Steinhauster, 2008

c. Metanogenesis

Tahap produksi metan biasa disebut dengan tahap metanogenesis. Pada tahap ini terbentuk metana dan karbondioksida oleh adanya aktivitas metanogenik. Metana dihasilkan dari asetat atau dari reduksi karbondioksida oleh mikrobia asetogenik dengan menggunakan hidrogen. Pada digester, beberapa jenis mikroorganisme metanogenik dapat melakukan sintesis gas hidrogen dan CO_2 menjadi gas metana. Mikrobia metana yang bersifat anaerob tersebut akan membentuk CH_4 dan CO_2 melalui fermentasi asam asetat atau mereduksi gas CO_2 dengan cara menggunakan hidrogen yang merupakan produk mikrobia lain (Seadi dkk., 2008).

Bakteri metanogenesis sangat peka terhadap lingkungan, dikarenakan bakteri ini harus dalam keadaan anaerob, sehingga sejumlah kecil oksigen dapat menghalangi pertumbuhannya. Tidak hanya itu, bakteri ini juga kekal terhadap senyawa yang memiliki tingkat oksidasi tinggi seperti nitrit dan nitrat. Bakteri ini juga peka terhadap perubahan pH, kisaran pH optimal untuk memproduksi metana adalah 7,0-7,2, namun gas masih terproduksi dalam kisaran 6,6-7,6. Jika pH dibawah 6,6 akan menjadi faktor pembatas bagi bakteri dan pH dibawah 6,2 akan menghilangkan kemampuan bakteri metanogenik. Namun, dalam keadaan demikian bakteri metanogenik tetap aktif hingga pH 4,5-5,0, sehingga diperlukan *buffer* untuk menetralkan pH.

Beberapa senyawa racun bagi bakteri metanogenik, seperti ammonia (lebih dari 1500-3000 mg/l) dari total ammonia nitrogen pada pH diatas 7,4, ion ammonium (lebih dari 3000 mg/l dari total ammonia nitrogen pada sembarang pH), sulfida terlarut (lebih dari 5-100 mg/l), serta larutan garam dari beberapa logam seperti tembaga, seng, dan nikel.

Pada tahap ini, gas metana yang dihasilkan kisaran 70% CH₄, 30% CO₂, sedikit H₂ dan H₂S. Berikut reaksi pembentukan gas metan:



Asam asetat gas metan gas karbon dioksida

2. Pemanfaatan Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit sebagai Pupuk Alternatif

Hasil penelitian Rahardjo (2006) menunjukkan bahwa aplikasi hasil olahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit secara nyata memberikan respon yang relatif sama baiknya dengan aplikasi pupuk anorganik terhadap status hara daun. Menurut Loebis dan Tobing (1989) limbah cair pabrik pengolahan kelapa sawit mengandung unsur hara yang tinggi seperti N (nitrogen), P (phospat), K (kalium), Mg (magnesium), dan Ca (kalsium), sehingga limbah cair tersebut berpeluang untuk digunakan sebagai sumber hara bagi tanaman kelapa sawit, di samping memberikan kelembaban tanah, juga dapat meningkatkan sifat fisik-kimia tanah, serta dapat meningkatkan status hara tanah. Keuntungan penggunaan limbah cair untuk pertanian dan perkebunan antara lain mencegah pencemaran sungai, memberikan unsur pupuk pada tanaman, dapat memperbaiki struktur tanah (*soil conditioning*), dan dapat dimanfaatkan untuk lahan yang cukup luas.

2.3 Definisi dan Proses Sedimentasi

Sedimentasi adalah pemisahan suatu suspensi (campuran padat air) menjadi jernih (cairan bening) dan suspensi yang lebih padat (*sludge*). Sedimentasi merupakan salah satu cara yang paling ekonomis untuk memisahkan padatan dari suspensi, bubur atau *slurry* (Brown dalam Ezat, 2013).

Proses sedimentasi memisahkan partikel dari *fluida* oleh gaya aksi gravitasi partikel. Pada beberapa proses, pemisahan serta sedimentasi partikel dan pengendapan bertujuan untuk memisahkan partikel dari *fluida* sehingga *fluida* bebas dari konsentrasi partikel (Geankoplis dalam Ezat, 2013).

Sedimentasi merupakan peristiwa turunnya partikel padat yang semula tersebar merata dalam cairan karena adanya gaya berat, kemudian setelah terjadi pengendapan cairan jernih dapat dipisahkan dari zat padat yang menumpuk di dasar (endapan). Menurut Geankoplis dalam Ezat (2013), selama proses sedimentasi berlangsung, terdapat tiga buah gaya, yaitu:

1. Gaya gravitasi

Gaya ini terjadi apabila berat jenis larutan lebih kecil dari berat jenis partikel, sehingga partikel lain lebih cepat mengendap. Gaya ini biasa dilihat pada saat terjadi endapan atau mulai turunnya partikel padatan menuju ke dasar tabung untuk membentuk endapan.

2. Gaya apung atau melayang

Gaya ini terjadi jika massa jenis partikel lebih kecil dari pada massa jenis *fluida*, sehingga padatan berada pada permukaan cairan.

3. Gaya Dorong

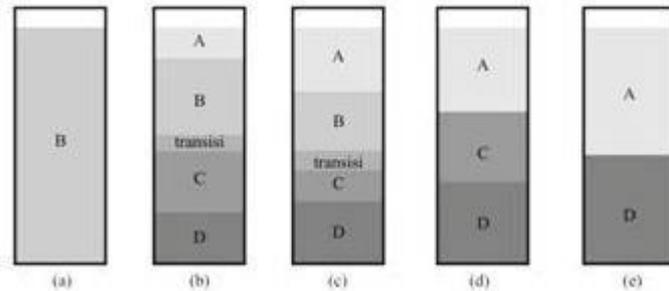
Gaya dorong terjadi pada saat larutan dipompakan kedalam tabung *klarifier*. Gaya dorong dapat juga dilihat pada saat mulai turunnya partikel padatan karena adanya gaya gravitasi, maka *fluida* akan memberikan gaya yang besarnya sama dengan berat padatan itu sendiri.

Menurut Foust dalam Budi (2011), proses sedimentasi dapat berlangsung dengan 3 cara, yaitu:

1. Sedimentasi *batch*

Sedimentasi ini merupakan salah satu cara yang paling ekonomis untuk memisahkan padatan dari suatu suspensi, bubur atau *slurry*. Operasi ini banyak digunakan pada proses-proses untuk mengurangi polusi dari limbah industri. Suatu suspensi yang mempunyai ukuran partikelnya hampir seragam dimasukkan dalam tabung gelas yang berdiri tegak.

Sedimentasi *batch* umumnya digunakan untuk skala laboratorium, karena sedimentasi *batch* paling mudah dilakukan, pengamatan penurunan ketinggian mudah. Berikut Mekanisme sedimentasi *batch* pada suatu silinder/tabung.



Sumber: Foust dalam Budi, 2013

Gambar 7. Mekanisme Sedimentasi *Batch*

Keterangan:

A = cairan bening

B = zona konsentrasi seragam

C = zona ukuran butir tidak seragam

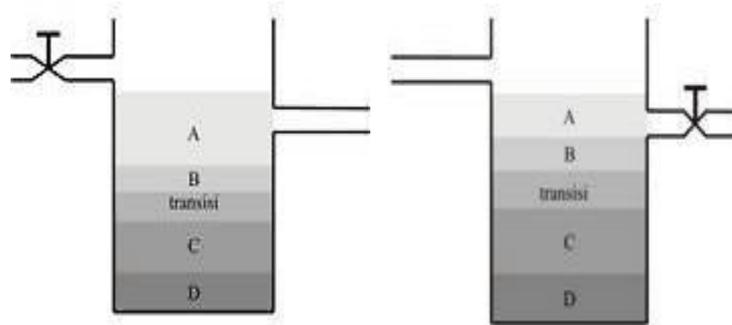
D = zona partikel padat terendapkan

Gambar mekanisme sedimentasi *batch* menunjukkan *slurry* awal yang memiliki konsentrasi seragam dengan partikel padatan di dalam tabung (zona B). Partikel mulai mengendap dan diasumsikan mencapai kecepatan maksimum dengan cepat. Zona D yang terbentuk terdiri dari partikel lebih berat sehingga lebih cepat mengendap. Pada zona transisi, fluida mengalir ke atas karena tekanan dari zona D. Zona C adalah daerah dengan distribusi ukuran yang berbeda-beda dan konsentrasi tidak seragam. Zona B adalah daerah konsentrasi seragam, dengan konsentrasi dan distribusi sama dengan keadaan awal. Di atas zona B, adalah zona A yang merupakan cairan bening.

Selama sedimentasi berlangsung, tinggi masing-masing zona berubah. Zona A dan D bertambah, sedang zona B berkurang. Akhirnya zona B, C dan transisi hilang, semua padatan berada di zona D. Saat ini disebut *critical settling point*, yaitu saat terbentuknya batas tunggal antara cairan bening dan endapan (Foust dalam Budi, 2011).

2. Sedimentasi semi *batch*

Pada sedimentasi *semi-batch*, hanya ada cairan keluar saja, atau cairan masuk saja. Jadi, kemungkinan yang ada bisa berupa *slurry* yang masuk atau cairan bening yang keluar. Berikut gambar mekanisme sedimentasi *semi-batch* (Foust dalam Budi, 2011).



Sumber: Sumber: Foust dalam Budi, 2013

Gambar 8. Mekanisme Sedimentasi Semi *Batch*

Keterangan:

A = cairan bening

B = zona konsentrasi seragam

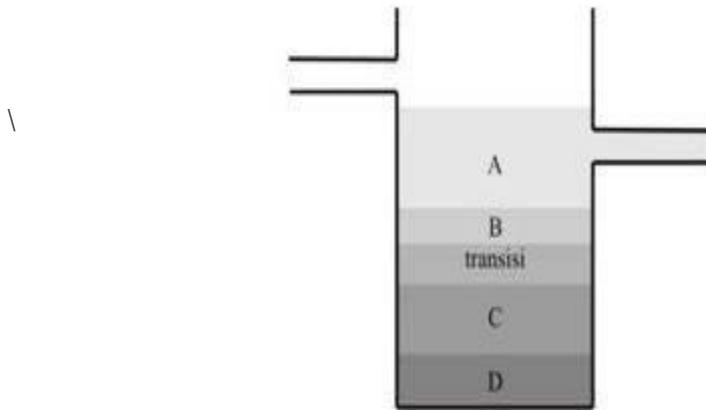
C = zona ukuran butir tidak seragam

D = zona partikel padat terendapkan

3. Sedimentasi kontinyu

Operasi sedimentasi pada industri sering dijalankan dalam proses kontinyu yang disebut *thickener*. *Thickener* kontinyu memiliki diameter besar, tangki dangkal dengan putaran hambatan untuk mengeluarkan *sludge*, *slurry* diumpankan ke tengah tangki, sekitar tepi puncak tangki adalah suatu *clear liquid overflow*, yaitu untuk garukan *sludge* ke arah pusat *bottom*, sehingga dapat mengalirkannya keluar (Brown dalam Ezat, 2013).

Pada sedimentasi kontinyu, ada cairan *slurry* yang masuk dan beningan yang dikeluarkan secara kontinyu. Saat *steady state*, ketinggian tiap zona akan konstan. Berikut gambar mekanisme sedimentasi kontinyu.



Sumber: *Sumber: Foust dalam Budi, 2013*

Gambar 9. Mekanisme Sedimentasi Kontinyu

Keterangan:

A = cairan bening

B = zona konsentrasi seragam

C = zona ukuran butir tidak seragam

D = zona partikel padat terendapkan

Proses pengendapan meliputi pembentukan endapan, yaitu suspensi partikel-partikel padat dalam cairan produk yang tidak larut dalam reaksi kimia, ditolak dari larutan, dan menjadi endapan padat (Cheremissinoff dalam Ezat, 2013).

Sedimentasi dalam proses industri dilaksanakan dalam skala besar dengan menggunakan alat yang disebut kolom pengendap. Untuk partikel-partikel yang mengendap dengan cepat, tangki pengendap tampak atau kerucut, pengendap kontinyu biasanya cukup memadai. Akan tetapi, untuk berbagai tugas lain diperlukan alat penebal atau kolom pengendap yang diaduk secara mekanik.

Alat ini bisa dsar yang datar dan bisa pula berbentuk kerucut dangkal. Bubur umpan yang encer mengalir melalui suatu palung miring atau meja cuci masuk di tengah-tengah alat kolom pengendap. Cairan ini mengalir secara radial dengan kecepatan yang semakin berkurang, sehingga memungkinkan zat padat itu mengendap di dasar tangki (Mc Cabe dalam Ezat, 2013).

Pengendapan partikel terdiri dari empat kelas yang didasarkan pada konsentrasi dan partikel yang saling berhubungan, empat jenis pengendapan tersebut adalah:

1. *Discrete settling*

Discrete settling adalah pengendapan yang memerlukan konsentrasi suspensi *solid* yang paling rendah, sehingga analisisnya menjadi yang paling sederhana. Partikel mengendap dengan bebas dengan kata lain tidak mempengaruhi pengendapan partikel lain.

2. *Flocculant settling*

Pada jenis *flocculant settling*, konsentrasi partikel cukup tinggi, dan terjadi pada saat penggumpalan meningkat. Peningkatan massa menyebabkan partikel jatuh lebih cepat.

3. *Hindered settling*

Dalam jenis *hindered settling*, konsentrasi partikel pada tidak terlalu tinggi, partikel akan bercampur dengan partikel lainnya dan akan jatuh bersama-sama.

4. *Compression settling*

Pada jenis *compression settling* partikel berada pada konsentrasi yang paling tinggi dan terjadi pada jangkauan yang paling rendah dari *clarifiers*. (Anonim, 2008).

Kecepatan sedimentasi didefinisikan sebagai laju pengurangan atau penurunan ketinggian daerah batas antara *slurry* (endapan) dan *supernatant* (beningan) pada suhu seragam untuk memecah pergeseran fluida karena konveksi (Brown dalam Budi, 2011)

Konsentrasi *slurry* pada keadaan awal seragam di seluruh bagian tabung, kecepatan sedimentasi konstan. Periode ini disebut *free settling*, dimana padatan bergerak turun hanya karena gaya gravitasi. Kecepatan yang konstan ini disebabkan oleh konsentrasi di lapisan batas yang relatif masih kecil, sehingga pengaruh gaya tarik-menarik antar partikel, gaya gesek dan gaya tumbukan antar partikel dapat diabaikan. Partikel yang berukuran besar akan turun lebih cepat, menyebabkan tekanan ke atas oleh cairan bertambah, sehingga mengurangi kecepatan turunnya padatan yang lebih besar. Hal ini membuat kecepatan

penurunan semua partikel (baik yang kecil maupun yang besar) relatif sama atau konstan.

Semakin banyak partikel yang mengendap, konsentrasi menjadi tidak seragam dengan bagian bawah *slurry* menjadi lebih pekat. Konsentrasi pada bagian batas bertambah, gerak partikel semakin sukar dan kecepatan turunnya partikel berkurang, kondisi ini disebut *hindered settling* (Brown dalam Budi, 2011)