

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Industri Minyak Kelapa Sawit

Industri kelapa sawit merupakan salah satu industri strategis sektor pertanian (*agro-based industry*) yang banyak berkembang di negara-negara tropis seperti Indonesia, Malaysia dan Thailand. Prospek perkembangan industri kelapa sawit saat ini sangat pesat, karena terjadi peningkatan jumlah produksi kelapa sawit seiring meningkatnya kebutuhan masyarakat.

Kebun dan industri kelapa sawit menyerap lebih dari 4,5 juta petani dan tenaga kerja dan menyumbang sekitar 4,5 persen dari total nilai ekspor nasional (Suharto, 2007). 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 dengan total produksi mencapai 33.500.000 ton. 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). Kemudian diikuti oleh negara-negara lainnya seperti Malaysia, Thailand, Kolombia dan Nigeria. Berikut data total produksi minyak sawit dari beberapa negara tropis lainnya, dapat dilihat pada Tabel 1.

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

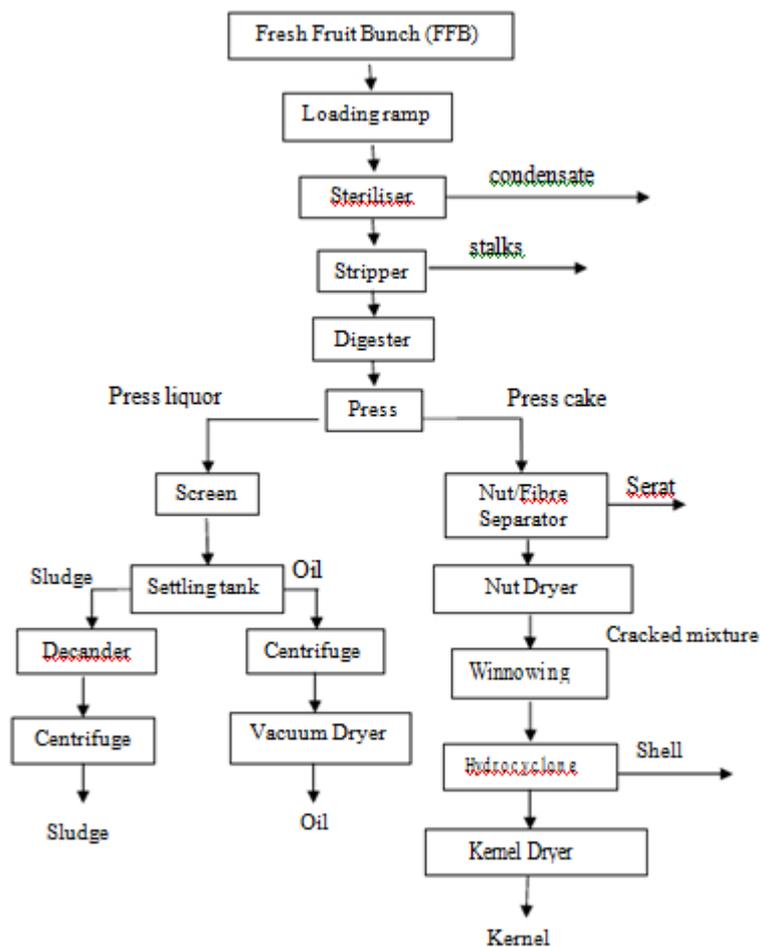
Sumber: United States Department of Agriculture, 2014

Berdasarkan buku statistik komoditas kelapa sawit terbitan Ditjen Perkebunan, 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.

2.2. Pengolahan Minyak Kelapa Sawit

Salah satu Industri minyak kelapa sawit yang terdapat di pulau Sumatera khususnya di Provinsi Sumatera Selatan adalah PT. Perkebunan Mitra Ogan. Perusahaan ini memiliki 2 (dua) pabrik kelapa sawit dengan kapasitas pengolahan sebesar 90 ton tandan buah segar per jam. Produk utamanya antara lain Minyak Kelapa Sawit (CPO), inti kelapa sawit dan latek.



Gambar 1. Diagram Proses Produksi Minyak Kelapa Sawit (Lang, 2007)

Pengolahan minyak kelapa sawit melalui beberapa tahapan (Gambar 1). Tahapan produksi minyak kelapa sawit secara berurutan terdiri atas pengangkutan

buah ke pabrik, perebusan buah (sterilisasi), pelepasan buah dari tandan (*striping*), pelumatan buah (*digesting*), pengeluaran minyak (pengepresan), penyaringan, pemurnian dan penjernihan minyak (klarifikasi), dan pengolahan biji. Minyak kelapa sawit mentah diturunkan dari *mesocarpus* tandan buah segar. Pemanasan (steam-heat) TBS dilakukan menggunakan sterilizers horizontal pada tekanan 3 kg/cm² dan suhu 140°C selama 75-90 menit (Lang, 2007). Setelah dilakukan sterilisasi, tandan buah segar dimasukkan ke dalam *rotary drum-stripper* dimana tandan buah segar dipisahkan dari spikelet (tandan kosong). Tandan buah segar kemudian dilumatkan dalam digester di bawah kondisi pemanasan uap dengan kisaran suhu 90°C. Baling-baling kembar penekan (*twin screw presses*) biasanya digunakan untuk mengeluarkan minyak dari buah yang telah dilumatkan di bawah tekanan tinggi. Proses ekstraksi minyak yang tidak lengkap dapat meningkatkan *effluent chemical oxygen demand* (COD). Minyak kelapa sawit mentah secara langsung dibawa ke tangki pemurni (*clarification tank*) dan suhu dipertahankan sekitar 90°C untuk memperbesar pemisahan minyak. Minyak yang sudah dimurnikan selanjutnya dilewatkan melalui pemusing (*centrifuge*) berkecepatan tinggi dan vakum pengering (*vacuum dryer*) sebelum penyimpanan.

Minyak berserat dan biji dari pengepresan (*press cake*) dibawa ke pemisah biji dan serat dengan arus udara kuat disebabkan oleh kipas penghisap (*suction fan*). Kemudian, biji dibawa ke *nut cracker* dan selanjutnya ke *hydrocyclone* untuk memisahkan cangkang dari kernel. Kernel tersebut dikeringkan sampai kelembabannya di bawah 7% untuk mencegah pertumbuhan kapang sehingga dapat memperpanjang waktu simpan (Lang, 2007).

2.3. Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit

Limbah adalah kotoran atau buangan yang merupakan komponen pencemaran yang terdiri dari zat atau bahan yang tidak mempunyai kegunaan lagi bagi masyarakat. Dalam prosesnya, industri kelapa sawit menghasilkan beberapa residu yang dianggap sebagai limbah yang memang berpotensi menjadi beban pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik.

Selain menghasilkan CPO, industri kelapa sawit juga menghasilkan limbah. Limbah yang keluar dari PKS berbentuk padatan, gas, dan cair.

2.3.1. Limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik pengolah kelapa sawit ialah tandan kosong, serat dan tempurung. Limbah padat yang dihasilkan pada proses pengolahan kelapa sawit dari setiap ton tandan buah segar menghasilkan cangkang dan fiber/serabut mencapai 190 kg. Fiber dan cangkang biasanya digunakan sebagai bahan bakar boiler. Uap dari boiler dimanfaatkan untuk merebus tandan buah segar dan sebagai penghasil tenaga listrik didalam pabrik. Limbah padat lainya yang jumlahnya sangat besar dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang mencapai 230 kg, jumlah dari TKKS ini sangat besar di pabrik-pabrik kelapa sawit, pada saat ini pabrik kelapa sawit tealah melakukan pencacahan terhadap TKKS yang dihasilkan untuk mempermudah pengolahan lebih lanjut (Pardamean, 2014).

2.3.2. Limbah Cair

Limbah cair dari pengolahan tandan buah segar kelapa sawit yaitu suspensi koloid yang mengandung 95%-96% air, 4%-5%, minyak dan lemak, limbah cair kelapa sawit dikeluarkan dari pabrik pengolahan kelapa sawit berupa cairan coklat dengan suhu debit antara 80°C-90°C dan cukup asam dengan pH 4-5. Limbah cair mengandung *Biological Oxygen Demand* (BOD) berkisar antara 25.000 mg/l-35.000 mg/l dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) berkisar antara 15.103 mg/l-65.100 mg/l yang akan menjadi bahan pencemar apa bila langsung dibuang ke perairan bebas (Departemen Pertanian, 2006).

2.3.3. Limbah Gas

Selain dari limbah padat dan limbah cair pabrik pengolahan kelapa sawit juga menghasilkan limbah gas yang berasal dari cerobong asap dan uap air buangan yang dialirkan melalui cerobong asap setinggi 25 meter dari permukaan tanah (Fauzi, Widyaastuti, Satyawibawa, Paeru, 2012).

2.4 *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. 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. Hal ini menyebabkan jumlah limbah cair yang dihasilkan juga besar. Jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik minyak kelapa sawit berkisar antara 600-700 liter/ton tandan buah segar (TBS). Saat ini diperkirakan jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh PMKS di Indonesia mencapai 28,7 juta ton.

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.

Tabel 2. Karakteristik Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit dan Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Limbah Cair	Baku Mutu Limbah
pH	4,6	6–9
BOD (mg/L)	255.000	100
COD m(g/L)	480.000	350
TSS (mg/L)	290.000	250
Kandungan Nitrogen Total (mg/L)	-	50
<i>Oil and grease</i> (mg/L)	5000	25

Sumber: Loebis dan Tobing (1989)

Kementerian Negara Lingkungan Hidup secara khusus telah menerbitkan 2 (dua) Keputusan Menteri yang menyangkut pemanfaatan air limbah industri minyak kelapa sawit yaitu Kepmen LH Nomor 28 Tahun 2003 tentang Pedoman Teknis Pengkajian dan Pemanfaatan Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit pada Tanah di Perkebunan Kelapa Sawit dan Kepmen LH Nomor 29 Tahun 2003 tentang Tata Cara Perizinan Pemanfaatan Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit pada Tanah di Perkebunan Kelapa Sawit.

Berdasarkan data (Tabel 2), diketahui bahwa semua parameter limbah cair pabrik minyak kelapa sawit berada di atas batas maksimum baku mutu limbah

yang diperbolehkan. Pada parameter pH diketahui bahwa Limbah cair yang dihasilkan dari suatu pabrik kelapa sawit berada pada 4,6. Sedangkan pH baku mutu limbah yang diperbolehkan yaitu 6-9. Hal ini menunjukkan bahwa limbah tersebut bersifat asam. Selain itu, nilai BOD, COD dan TSS yang tinggi sangat berpengaruh terhadap lingkungan apabila dilepas begitu saja ke badan air. Jika tidak dilakukan pencegahan dan pengolahan limbah, maka akan berdampak negatif terhadap lingkungan seperti pencemaran air yang mengganggu bahkan meracuni biota perairan, menimbulkan bau, dan menghasilkan gas metan dan CO₂ yang merupakan emisi gas penyebab efek rumah kaca yang berbahaya bagi lingkungan.

2.4.1 Spesifikasi Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit

a. Spesifikasi Limbah Cair Mentah

Limbah cair yang berasal dari air kondensat pada proses sterilisasi, air dari proses klarifikasi, air *hydrocyclone* (*claybath*) dan air pncucian pabrik. Karakteristik limbah yang masuk ke kolam pengendalian limbah adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Spesifikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

No.	Parameter	Satuan	Kisaran
1.	BOD	mg/l (ppm)	20.000–30.000
2.	COD	mg/l (ppm)	40.000–70.000
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: PT Perkebunan Mitra Ogan, (2015)

Berdasarkan referensi sumber pada Tabel 3 diketahui bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit memiliki kadar BOD yang sangat tinggi rata-rata berkisar 20.000–30.000 ppm. Hal ini telah merubah keadaan normal air dan untuk pengembalian ke badan penerima harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Parameter kunci untuk pemeriksaan air limbah adalah

kandungan oksigen yang terlarut didalam air, dengan uji nilai BOD dan COD akan dapat diketahui apakah air tersebut sudah tercemar. Hasil penelitian komposisi limbah menyebutkan bahwa 76% BOD berasal dari padatan tersuspensi dan hanya 24,4% dari padatan terlarut. Maka banyak tidaknya padatan yang terdapat dalam limbah terutama padatan tersuspensi mempengaruhi rendahnya BOD (Apriani, 2009). Kadar nitrogen dalam limbah dapat mempengaruhi kinerja dari bakteri pada saat fermentasi anaerob dalam digester. Nitrogen sebagai unsur nutrisi bagi bakteri. Begitu juga dengan suhu pada saat fermentasi. Suhu pada limbah cair tanpa perlakuan mencapai 90-140°C. Hal ini tidak dapat dibiarkan karena pada saat fermentasi anaerob suhu yang disarankan antara 25-30.

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

Pemanfaatan buangan akhir dari pengolahan limbah cair ke *Land Application* adalah upaya untuk menjadikan program produksi bersih yang meniadakan buangan akhir limbah cair ke badan air yang dapat mengakibatkan pencemaran terhadap lingkungan. Untuk penampungan limbah di lahan kebun harus disediakan parit-parit penampung yang disebut *trenches*. Program ini dilakukan harus mendapatkan izin dari pemerintah sesuai peraturan yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup. Adapun persyaratan minimal yang wajib dipenuhi dalam hal pengujian izin pemanfaatan air limbah industri sawit pada tanah perkebunan kelapa sawit, yaitu:

1. BOD tidak boleh melebihi 5000 mg/l
2. Nilai pH berkisar 6-9
3. Dilakukan pada lahan selain lahan gambut
4. Dilakukan pada lahan selain lahan dengan permeabilitas lebih besar 15 cm/jam
5. Dilakukan pada lahan selain lahan dengan permeabilitas kurang dari 1,5 cm/jam
6. Tidak boleh dilaksanakan pada lahan dengan keadaan air tanah kurang dari 2 meter

7. Pembuatan sumur pantau

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 Kep. MENLH No. Kep-51/MENLH/10/1995 tanggal 23 Oktober 1995 (Tabel 4).

Pada penentuan baku mutu air limbah ini terdapat dua istilah yaitu kadar maksimum dan beban pencemaran maksimum. Kadar maksimum merupakan kadar tertinggi yang masih diperbolehkan dibuang ke lingkungan hidup. Sedangkan Beban pencemaran maksimum merupakan beban pencemaran tertinggi yang masih diperbolehkan dibuang ke lingkungan hidup.

Tabel 4. Baku Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

No.	Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)	Beban Pencemaran Maksimum (kg/ton)
1.	BOD	250	0,25
2.	COD	350	0,88
3.	TSS	250	0,63
4.	Minyak dan Lemak	25	0,063
5.	Amoniak Total (NH ₃)	50	0,125
6.	pH	6,0–9,0	

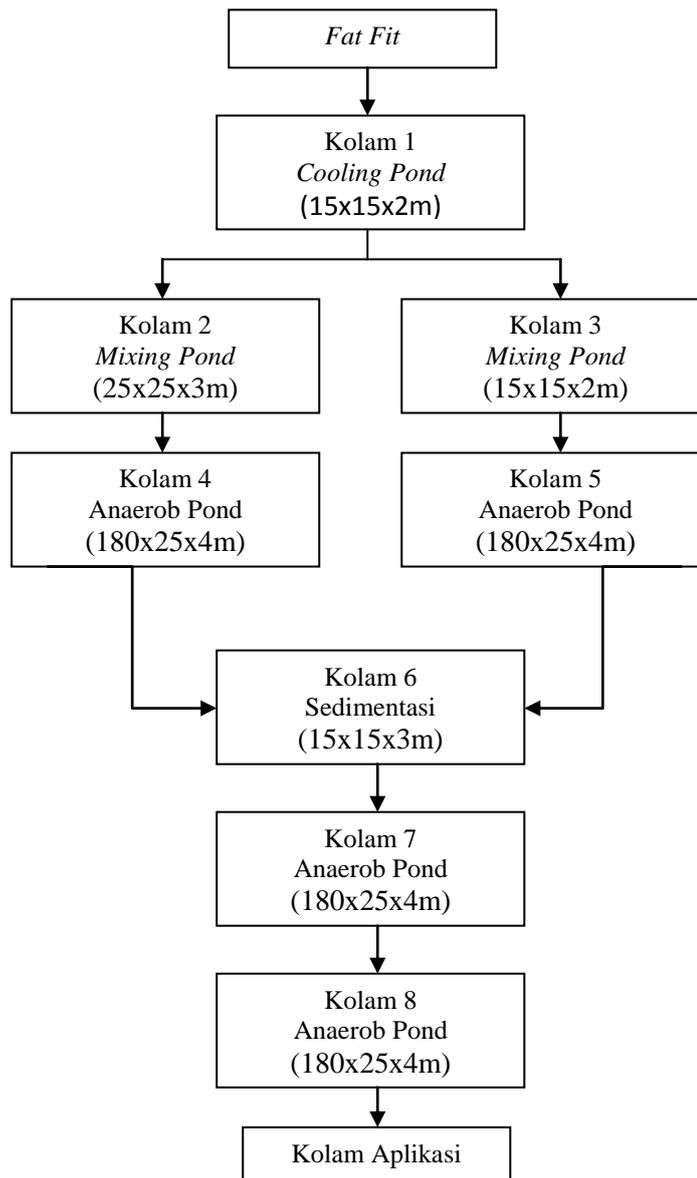
Sumber: Kep Men LH No.51, 1995

Pada data diatas diketahui bahwa kadar maksimum untuk parameter BOD sebesar 250 mg/l sedangkan nilai BOD limbah cair kelapa sawit yang belum diolah berada pada kisaran 20.000-30.000 mg/l. Begitu juga dengan parameter yang lain seperti COD, TSS, pH dan total nitrogen. Pengolahan untuk limbah cair kelapa sawit ini sangat diperlukan untuk menurunkan kadar pencemaran terhadap lingkungan. Pengolahan secara anaerobik sangat dianjurkan karena cukup efektif dan kemampuannya unruk mengolah air limbah sampai mencapai nilai baku mutu yang ditetapkan.

2.4.2 Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit

Pengolahan limbah PT Perkebunan Mitra Ogan dilakukan menggunakan

sistem kolam. Limbah cair yang dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar kelapa sawit menjadi CPO dan *Palm Kernel Oil* (KPO) langsung dialirkan menuju ke tempat pengolahan limbah. Berikut merupakan diagram alir kolam pengolahan limbah cair kelapa sawit pada industri PT Perkebunan Mitra Ogan.



Gambar 2. Kolam Pengolahan Limbah pada PT. Perkebunan Mitra Ogan

Secara garis besar alur proses pengolahan limbah di PT Perkebunan Mitra Ogan adalah sebagai berikut:

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).

2. Kolam Pendinginan

Selain untuk mendinginkan limbah, *cooling pond* juga berfungsi untuk mengendapkan *sludge*. Setelah dari *cooling pond* I limbah kemudian masuk ke *cooling pond* II untuk dilakukan proses pendinginan yang sama dengan *cooling pond* I. Limbah dari *cooling pond* II kemudian dialirkan ke kolam *anaerobic* 1, 2, 3. Limbah cair yang telah dikutip minyaknya pada *oil trap (fatpit)* 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.

3. Kolam Pengasaman

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).

4. Kolam Resirkulasi

Resirkulasi dilakukan dengan mengalirkan cairan dari kolam anaerobik yang terakhir ke saluran masuk kolam pengasaman yang bertujuan untuk menaikkan pH dan membantu pendinginan.

5. 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, 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.

6. Kolam Anaerobik

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	< 2000 mg/l

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

7. Kolam Fakultatif

Kolam ini 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. BOD 600-800 ppm, COD 1250-1750 ppm. Aktivitas ini dapat diketahui dengan indikasi pada permukaan kolam yang tidak dijumpai scum dan cairan tampak kehijau-hijauan.

8. Kolam Aerasi

Kolam aerasi dibuat untuk pemberian oksigen yang dilakukan secara difusi dengan tujuan agar apat berlangsung reaksi oksidasi dengan baik. Kolam

ini dibuat dengan kedalaman 3m dan ditempatkan alat yang dapat meningkatkan jumlah oksigen terlarut dalam air serta dilengkapi dengan dua unit alat aerator.

9. Kolam Aerobik

Proses yang terjadi pada kolam anaerobik adalah proses *aerobic*. Pada kolam ini, telah tumbuh ganggang dan mikroba heterotrof yang berbentuk *flocs*. Hal ini merupakan proses penyediaan oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba dalam kolam.

10. 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

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.

2.5. Kotoran Sapi

Kotoran ternak merupakan bahan baku potensial dalam pembuatan biogas karena mengandung pati dan ligniselulosa (Dublein dkk, 2008). 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. Di Indonesia sapi potong sangat potensial dan banyak dipelihara oleh petani peternak, sebagai sumber tenaga kerja, daging dan modal uang (Apandi, 1979).

Kotoran (feses) lebih sering dipilih sebagai bahan pembuat gas bio karena ketersediaannya yang sangat besar di seluruh dunia. Bahan ini memiliki keseimbangan nutrisi, mudah diencerkan dan relatif dapat diproses secara biologi. Kotoran sapi merupakan substrat yang dianggap paling cocok sebagai sumber pembuat gas bio karena kotoran sapi mengandung sisa pakan yang tidak dicerna dinding sel bakteri dari saluran pencernaan sebelumnya, serta sel-sel mikrobial

yang berasal dari sekum (usus buntu) dan usus besar meskipun konsentrasi mikrobiana berbeda dengan yang ada pada rumen (Givens dkk., 2000). Selain itu, kotoran sapi telah mengandung mikrobia penghasil gas metan yang terdapat dalam rumen (Dhanoa dkk., 2004).

Komposisi hara dari setiap masing-masing kotoran hewan berbeda, tergantung pada jumlah dan jenis makanannya. Secara umum, kandungan hara dalam kotoran hewan jauh lebih rendah daripada pupuk kimia sehingga takaran penggunaannya juga akan lebih tinggi. Kandungan unsur hara dari setiap masing-masing kotoran hewan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. 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)

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. Secara teori, 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 unsur hara kotoran sapi, terdiri dari atas nitrogen (0,29%), P₂O₅ (0,17%) dan K₂O (0,35%) (Aminah,

2011). Kotoran sapi yang tinggi kandungan hara dan energinya berpotensi untuk dijadikan bahan baku penghasil biogas (Sucipto, 2009).

2.6. Biogas

Biogas adalah suatu campuran gas-gas yang dihasilkan dalam suatu proses pengomposan bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen anaerob. Definisi lain menyebutkan biogas adalah campuran beberapa gas yang tergolong bahan bakar hasil fermentasi dari bahan organik dalam kondisi anaerob dan gas yang dominan adalah metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2) (Simamora dkk, 2006).

Tabel 6. Komponen Penyusun Biogas

Jenis Gas	Jumlah (%)
Metana (CH_4)	50–70
Nitrogen (N_2)	0–0,3
Karbondioksida (CO_2)	25–45
Hidrogen (H_2)	1–5
Oksigen (O_2)	0,1–0,5
Hidrogen Sulfida (H_2S)	0–3

Sumber: Juanga, 2007

Biogas mempunyai sifat mudah terbakar dan dapat menyala dengan sendirinya pada suhu 650-750°C. Panas pembakaran yang dihasilkan berkisar antara 19,7 sampai dengan 23 Mega Joule (MJ)/m³. Energi yang dihasilkan setaraf dengan 21,5 MJ atau 563 Btu/ft³. Kerapatan relatif sekitar 80% dari kerapatan udara dan 120% kerapatan metan (Yani dan Darwis, 1990). 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. Komposisi biogas yang dihasilkan terdiri atas metana (50-70%), karbondioksida (25-45%), hidrogen, nitrogen, dan hidrogen sulfida dalam jumlah yang sedikit (Tabel 6).

Proses pembuatan biogas dilakukan secara fermentasi yaitu proses terbentuknya gas metana dalam kondisi anaerob dengan bantuan bakteri anaerob di dalam suatu digester sehingga akan dihasilkan gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2) yang volumenya lebih besar dari gas hidrogen (H_2), gas nitrogen (N_2) dan gas hydrogen sulfida (H_2S). Proses fermentasi memerlukan waktu 7 sampai 10 hari untuk menghasilkan biogas dengan suhu optimum 35°C dan pH optimum pada range 6,4–7,9. Bakteri pembentuk biogas yang digunakan yaitu bakteri anaerob seperti *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus* dan *Methanosarcina* (Price dan Paul, 1981).

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 20MJ/m^3 . Dalam skala besar, biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik, sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan.

Tabel 7. Kesetaraan Biogas dengan Sumber Bahan Bakar Lain

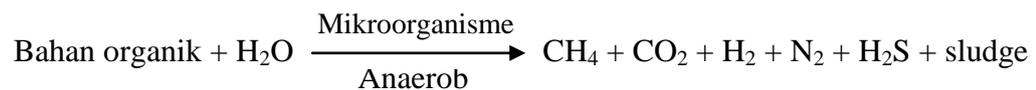
Bahan Bakar	Jumlah
Elpiji	0,16 kg
Minyak Tanah	0,62 liter
Solar	0,52 liter
Bensin	0,80 liter
Kayu Bakar	3,50 kg

Sumber: Agustine, 2011

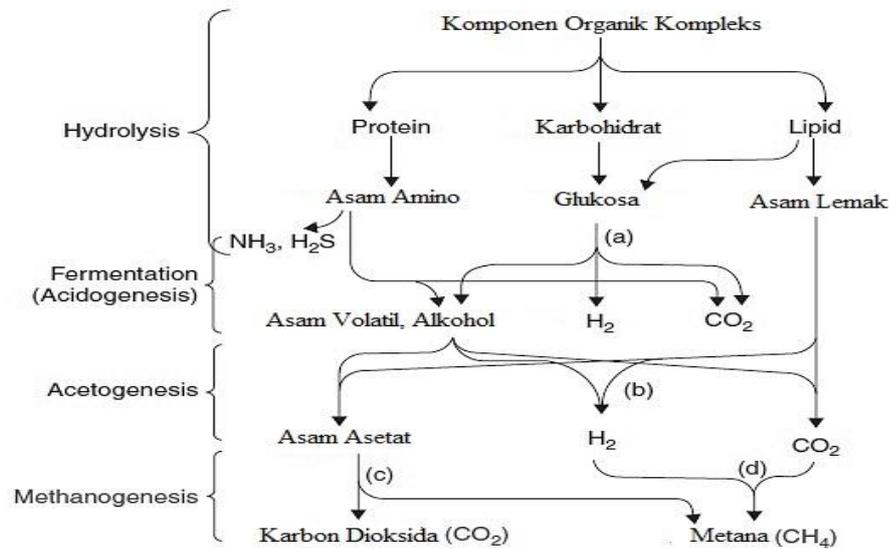
Biogas dapat dijadikan sebagai bahan bakar karena mengandung gas metana (CH_4) dalam persentase yang cukup tinggi. Gas metana dalam biogas bila terbakar relatif akan lebih bersih daripada batubara dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbondioksida yang lebih sedikit. Sedangkan kesetaraan produk biogas yang dihasilkan dalam 1 m^3 jika dibandingkan dengan sumber-sumber energi lain dapat dilihat pada Tabel 7. Bila dimanfaatkan dengan baik penggunaan biogas dapat menggantikan penggunaan kayu bakar sebagai sumber bahan bakar yang lebih efektif.

2.7. Proses Pembentukan Biogas

Proses pembentukan biogas dilakukan secara anaerob. Proses pembentukan biogas dipengaruhi oleh keberadaan jenis mikroba dan kondisi fermentasi anaerobik. Jenis mikroba yang digunakan dalam proses fermentasi anaerobik ini adalah bakteri methanogen. Pertumbuhan bakteri *methanogen* ini akan terhambat dalam konsentrasi oksigen terlarut 0,01 mg/L, sehingga kondisi proses tidak memperbolehkan adanya oksigen. Bakteri ini banyak ditemukan di dalam feses sapi, dasar danau, dan perairan payau (Yani dan Darwis, 1990). Bakteri merombak bahan organik menjadi biogas dan pupuk organik. Proses pelapukan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi anaerob (Polpresert, 1980). Keseluruhan reaksi yang terjadi sering disederhanakan sebagai berikut :



Reaksi pembentukan gas metana melalui fermentasi anaerobik dilakukan oleh berbagai aktivitas mikroorganisme. Reaksi fermentasi ini memiliki jalur metabolik yang cukup kompleks, terutama pada tahap asidogenesis. Tahap fermentasi anaerobik dapat digolongkan menjadi empat tahapan reaksi, yaitu tahap hidrolisis, tahap pembentukan asam (*asidogenesis*), tahap pembentukan asetat (*asetogenesis*) dan tahap pembentukan gas metana (*metanogenesis*). Proses hidrolisis berupa proses dekomposisi biomassa kompleks menjadi glukosa sederhana memakai enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme sebagai katalis. Hasilnya biomassa menjadi dapat larut dalam air dan mempunyai bentuk yang lebih sederhana. Proses *asidogenesis* merupakan proses perombakan monomer dan oligomer menjadi asam asetat, CO₂, dan asam lemak rantai pendek, serta alkohol. Proses *asetogenesis* menghasilkan asam asetat, CO₂, dan H₂. Sementara proses *methanogenesis* merupakan perubahan senyawa-senyawa menjadi gas metana yang dilakukan oleh bakteri methanogenik (Gijzen, 1987). Skema reaksi fermentasi anaerobik disederhanakan pada Gambar 3.



Sumber: Graddy dkk, 1999

Gambar 3. Skema Proses Perombakan secara Anaerob

2.7.1. Hidrolisis

Hidrolisis merupakan langkah awal untuk hampir semua proses penguraian dimana bahan organik dipecah menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga dapat diurai oleh bakteri pada proses fermentasi (Deublein dkk, 2008). Dalam proses hidrolisis, molekul-molekul kompleks seperti karbohidrat, lemak, dan protein dihidrolisis menjadi gula, asam lemak dan asam amino oleh enzim ekstraselular dari bakteri fermentatif (Ahmad dkk, 2004).

Tahap pertama ini sangat penting karena molekul organik besar yang terlalu besar untuk langsung diserap dan digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber substrat atau makanan (Schnurer dkk, 2010). Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti karbohidrat dan asam lemak. Tahap pelarutan berlangsung pada suhu 25°C . Polisakarida dihidrolisis menjadi glukosa oleh enzim selulase dan hemiselulase, protein dan lemak dihidrolisis menjadi asam amino dan asam lemak rantai panjang oleh protease dan lipase (Drapcho, 2008). Bakteri yang berperan dalam tahap hidrolisis ini adalah sekelompok bakteri anaerobik, seperti *Bactericides* dan *Clostridia* maupun anaerobik fakultatif, seperti *Streptococci sp* (Yadvika dkk, 2004).

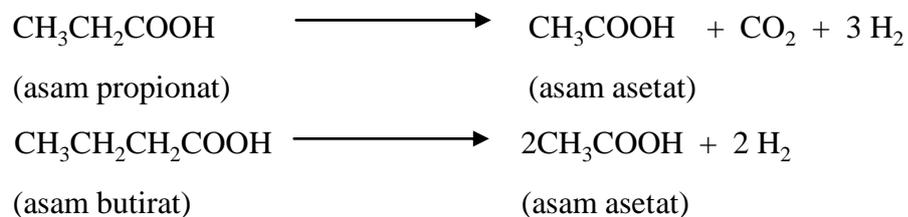
(glukosa)

(asam propionat)

Pembentukan asam organik tersebut terjadi dengan bantuan bakteri, seperti *Pseudomonas*, *Eschericia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes* (Hambali dkk, 2007).

2.7.3 Asetogenesis

Produk yang terbentuk selama asetogenesis disebabkan oleh sejumlah mikroba yang berbeda, misalnya, *Syntrophobacter wolinii* dekomposer propionat dan *Wolfei syntrophomonos* dekomposer butirrat dan pembentuk asam lainnya adalah *Clostridium sp*, *Peptococcus anerobus*, *Lactobacillus*, dan *Actinomyces* (Verma,2007). Asam lemak volatil dengan empat atau lebih rantai karbon tidak dapat digunakan secara langsung oleh metanogen. Asam-asam organik ini dioksidasi terlebih dahulu menjadi asam asetat dan hidrogen oleh bakteri asetogenik penghasil hidrogen melalui proses yang disebut asetogenesis. Asetogenesis juga termasuk pada produksi asetat dari hidrogen dan karbon dioksida oleh asetogen dan homoasetogen. Kadang-kadang proses asidogenesis dan asetogenesis dikombinasikan sebagai satu tahapan saja. Reaksi asetogenesis dapat dilihat di bawah ini (Lang, 2007).



Pada tahap *asetogenesis*, sebagian besar hasil fermentasi asam harus dioksidasi di bawah kondisi anaerobik menjadi asam asetat, CO₂, dan hidrogen yang akan menjadi substrat bakteri metanogen. Bakteri pembentuk oksidasi ini adalah bakteri *syntrofik* atau bakteri *asetogen* atau mikroba obligat pereduksi proton. Salah satunya adalah asam propionat akan dioksidasi oleh bakteri *Syntrophobacter wolinii* menjadi produk yang digunakan oleh bakteri metanogen dalam pembentukan gas metana. Saat bakteri *asetogen* memproduksi asetat, hidrogen akan ikut terbentuk. Jika terjadi akumulasi pembentukan hidrogen dan tekanan hidrogen, hal ini akan mengganggu aktivitas bakteri *asetogen* dan kehilangan produksi asetat dalam jumlah besar. Oleh karena itu, bakteri *asetogen*

mempunyai hubungan simbiosis dengan bakteri pembentuk metana yang menggunakan hidrogen untuk memproduksi metana. Hubungan simbiosis ini akan mempertahankan konsentrasi hidrogen pada tahap ini tetap rendah, sehingga bakteri asetogen dapat bertahan (Broughton, 2009).

2.7.4 Metanogenesis

Metanogenesis ialah proses pembentukan gas metan dengan bantuan bakteri pembentuk metan seperti *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanosarcina*, dan *Methanococcus*. Tahap ini mengubah asam-asam lemak rantai pendek menjadi H_2 , CO_2 , dan asetat. Asetat akan mengalami dekarboksilasi dan reduksi CO_2 , kemudian bersama-sama dengan H_2 dan CO_2 menghasilkan produk akhir, yaitu metan (CH_4) dan karbondioksida (CO_2). Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu $25^\circ C$ di dalam digester. Pada proses ini akan dihasilkan 70% CH_4 , 30 % CO_2 , sedikit H_2 dan H_2S .

Metanogenesis merupakan proses reaksi biokimia yang paling lambat. Metanogenesis ini sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi. Komposisi bahan baku, laju umpan, temperatur, dan pH adalah contoh faktor yang mempengaruhi proses pembentukan gas metan.

Pada akhirnya gas metana diproduksi dengan dua cara. Pertama adalah mengkonversikan asetat menjadi karbon dioksida dan metana oleh organisme asetotropik dan cara lainnya adalah dengan mereduksi karbon dioksida dengan hidrogen oleh organisme hidrogenotropik. Berikut ini adalah reaksi utama (reaksi metanogenesis) yang terlibat dalam konversi substrat menjadi metana.



Substrat metanogen termasuk asetat, metanol, hidrogen, karbon dioksida, format, metanol, karbon monoksida, methylamines, metil merkaptan, dan logam berkurang. Dalam kebanyakan ekosistem non-gastrointestinal 70% atau lebih dari metana yang terbentuk berasal dari asetat, tergantung dari jenis organik dan 30% oleh mengkonsumsi hidrogen (Broughton, 2009).

Hanya ada dua kelompok yang dikenal metanogen yang memecah asetat: *Methanosaeta* dan *Methanosarcina*, sementara ada banyak kelompok yang berbeda dari metanogen yang menggunakan gas hidrogen, termasuk *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanogenium* dan *Methanobrevibacter*. *Methanosaeta* dan *Methanosarcina* memiliki tingkat pertumbuhan yang berbeda dan juga berbeda mengenai kemampuan mereka untuk memanfaatkan asetat. *Methanosarcina* tumbuh lebih cepat, tetapi menemukan kesulitan untuk menggunakan asetat pada konsentrasi rendah, dibanding *Methanosaeta*.

2.8. Faktor Pembentuk Biogas

Biogas merupakan suatu gas metan yang terbentuk karena proses fermentasi secara anaerobik (tanpa udara) oleh bakteri metan atau *Methanobacterium* disebut juga bakteri anaerobic. Proses pembentukan biogas dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Temperatur/Suhu

Suhu udara maupun suhu di dalam tangki pencerna mempunyai andil besar di dalam memproduksi biogas. Suhu udara secara tidak langsung mempengaruhi suhu di dalam tangki pencerna, artinya penurunan suhu udara akan menurunkan suhu di dalam tangki pencerna. Peranan suhu udara berhubungan dengan proses dekomposisi anaerobik.

Suhu merupakan salah satu faktor yang menentukan keberlangsungan hidup mikroorganisme anaerobik. Suhu optimal untuk bakteri pembentuk asam yaitu 32-42°C (*mesophilik*) dan 48-55°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°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).

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. Derajat Keasaman (pH)

Peranan pH berhubungan dengan media untuk aktivitas mikroorganisme. Bakteri-bakteri anaerob membutuhkan pH optimal antara 6,2–7,6, tetapi yang baik adalah 6,6–7,5. Pada awalnya media mempunyai pH \pm 6 selanjutnya naik sampai 7,5. Tangki pencerna dapat dikatakan stabil apabila larutannya mempunyai pH 7,5–8,5. Batas bawah pH adalah 6,2, dibawah pH tersebut larutan sudah toxic, maksudnya bakteri pembentuk biogas tidak aktif. Pengontrolan pH secara alamiah dilakukan oleh ion NH_4^+ dan HCO_3^- . Ion-ion ini akan menentukan besarnya pH.

Tingkat pH memberikan pengaruh terhadap aktivitas enzim di dalam 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. *Methanogenic archaea* 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).

3. Ketersediaan Unsur Hara.

Bakteri anaerobik membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi yang mengandung nitrogen, fosfor, magnesium, sodium, mangan, kalsium dan kobalt . Level nutrisi harus sekurang-kurangnya lebih dari konsentrasi optimum yang dibutuhkan oleh bakteri metanogenik, karena apabila terjadi kekurangan nutrisi akan menjadi penghambat bagi pertumbuhan bakteri. Penambahan nutrisi dengan bahan yang

sederhana seperti glukosa, buangan industri, dan sisa-sisa tanaman terkadang diberikan dengan tujuan menambah pertumbuhan di dalam digester.

4. Rasio Carbon Nitrogen (C/N).

Proses anaerobik akan optimal bila diberikan bahan makanan yang mengandung karbon dan nitrogen secara bersamaan. Faktor rasio C/N sangat menentukan besarnya produksi gas metana karena kebutuhan unsur C (Carbon) dapat dipenuhi dari karbohidrat, lemak, dan asam-asam organik, sedangkan kebutuhan N (Nitrogen) dapat dipenuhi dari protein, amoniak dan nitrat. Apabila C/N tinggi berarti kadar C sangat berlebihan, yang berakibat mikrobia yang menggunakan bahan tersebut kekurangan unsur N untuk metabolisme berlangsung lambat. Lambatnya perkembangan jumlah mikrobia, berakibat menurunnya produksi gas metana pada digester. Sebaliknya apabila bahan organik mempunyai C/N rendah, misalnya pemberian pakan yang mengandung protein tinggi atau penambahan urea maka unsur karbon habis setelah fermentasi, sehingga sisa nitrogen yang ada pada bahan akan hilang sebagai gas amoniak (NH_3). Perbandingan rasio C/N substrat yang ideal untuk proses dekomposisi anaerob pembentukan gas metana berkisar antara 25 sampai 35 dengan perbandingan terbaik adalah 30 (Basuki, 1985).

2.9. Konversi Limbah Cair Menjadi Biogas

Berbagai penelitian mengenai produksi biogas dari limbah cair industri minyak kelapa sawit sebelumnya telah pernah dilakukan. Penelitian Mahajoeno (2008) mengenai potensi biogas dari limbah cair pabrik sawit sumber kolam anaerob I dan II pabrik CPO dengan penambahan inokulum kotoran sapi. Hasilnya menunjukkan bahwa kedua sumber limbah berpotensi menghasilkan biogas.

Setelah itu Agustine (2011) pernah meneliti perbandingan yang baik untuk POME dan aktivator kotoran sapi pada produksi biogas. Ternyata perbandingan 90%:10% POME terhadap kotoran sapi menghasilkan biogas paling banyak di antara yang lain, sedangkan 70%:30% lebih bagus dibandingkan 80%:20%. Sehingga pada penelitian ini akan meneliti perbandingan yang baik antara limbah

cair dan activator kotoran sapi untuk biogas dalam digester limas terpancung dengan menggunakan sistem *fed batch*.

2.10. Digester Berbentuk Limas dengan Sistem *Fed Batch*

Pada industri kelapa sawit, limbah cair yang dihasilkan akan diolah di kolam pengolahan dengan sistem terbuka. 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, dibuat peralatan digester berbentuk limas yang diharapkan dapat memberi keuntungan untuk dapat menangkap gas metana dan mengubah air limbah tersebut menjadi lebih bermanfaat dengan sistem pengolahan secara anaerobik. Selain itu, 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 saitt (POME) agar tidak terbuang dengan sia-sia.

Fermentasi anaerobik untuk menghasilkan biogas umumnya menggunakan *continuously stirred tank reactor* (CSTR) dan *plug-flow reactor* (Wilkie dkk, 2004). Pengoperasian CSTR konvensional secara satu-tahap lebih sederhana tetapi kurang efisien dalam menghasilkan sludge yang berkualitas dibandingkan dengan konfigurasi reaktor lain seperti *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) *reactor* atau sistem reaktor dua-tahap (Kaparaju dkk., 2009).

Organisme pada tahapan *asidogenesis* dan *metanogenesis* mempunyai perbedaan dalam kondisi pH optimum, tingkat pertumbuhan, dan kinetika konsumsi nutrient. Perbedaan keadaan optimum tersebut menunjukkan bahwa sistem reaktor dua-tahap lebih unggul digunakan dalam CSTR (Drapcho, 2008). Pada sistem reaktor dua-tahap, tahap singkat *asidogenesis* terjadi pada digester pertama dan diikuti oleh tahap panjang *metanogenesis* pada digester kedua (Demirel dan Yenigun, 2002).

Pada penelitian Boe (2006), menggunakan digester bertahap dengan prosentase volume 90/10 atau 80/20 antara dua reaktor menunjukkan peningkatan produksi biogas sebesar 11% dibandingkan penggunaan tradisional CSTR satu-

tahap. Selain itu, hasil pemodelan dari penelitian menyatakan bahwa semakin lama waktu retensi pada digester kedua, semakin tinggi metana yang dihasilkan dari keseluruhan tahap digester (Boe dan Batstone, 2005). Maka dari itu, pada digester limas terpancung ini terdapat dua buah digester untuk proses fermentasi dan satu digester tempat proses sedimentasi bahan baku awal sebelum memasuki digester fermentasi.