

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2. 1     Limbah Pabrik Kelapa Sawit**

Limbah adalah kotoran atau buangan yang merupakan komponen yang terdiri dari zat atau bahan yang tidak mempunyai kegunaan lagi bagi masyarakat. Limbah industri dapat digolongkan ke dalam tiga golongan yaitu limbah padat, limbah cair, dan limbah gas yang dapat mencemari lingkungan. Limbah ini merupakan sumber pencemaran yang potensial bagi manusia dan lingkungan, sehingga pabrik dituntut untuk mengolah limbah tersebut.

Aktivitas pengolahan pada pabrik kelapa sawit menghasilkan limbah pabrik kelapa sawit terdiri dari limbah padat dan limbah cair. Limbah padat berupa cangkang dan serat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi dalam pabrik kelapa sawit. Cangkang, batang, pelepah serat dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk memenuhi kebutuhan *steam* (uap panas) dan listrik. Sementara abu TKKS hanya ditumpuk dan ditaburkan di sekeliling tanaman sawit dengan menjadikannya sebagai pupuk, sedangkan limbah cair pabrik kelapa sawit merupakan limbah terbesar yang dihasilkan dari proses ekstraksi minyak kelapa sawit (Apriani, 2009). Limbah cair yang dihasilkan berupa POME yang didapatkan dari tiga sumber, yaitu air kondensat dari proses sterilisasi, *sludge*, kotoran dan air *hydrocyclone* (*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 (Naibaho, 1998) dalam Hasanah (2011).

Menurut Djajadiningrat dan Femiola (2004) dari 1 ton Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit dapat dihasilkan 600-700 kg limbah cair. Ketersediaan limbah

itu merupakan potensi yang sangat besar jika dikelola dan dimanfaatkan dengan baik. Namun sebaliknya akan menimbulkan bencana bagi lingkungan dan manusia jika pengolahannya tidak dilakukan dengan baik dan profesional.

## 2. 2 *Palm Oil Mill Effluent (POME)*

POME atau limbah cair pabrik kelapa sawit merupakan salah satu limbah agroindustri yang paling sering menyebabkan polusi. Limbah ini memiliki konsentrasi yang tinggi dan berwarna coklat pekat. POME adalah suspensi koloid yang mengandung 95-96% air; 0,6-0,7% minyak dan 4-5% lemak dan padatan total. 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 ( $\text{CH}_4$ ) 21 kali lebih berbahaya dari  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$  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 pabrik minyak kelapa sawit ini umumnya bersuhu tinggi  $70\text{-}80^\circ\text{C}$ , berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi. Apabila limbah cair ini langsung dibuang ke perairan dapat mencemari lingkungan. Jika limbah tersebut langsung dibuang ke perairan, maka sebagian akan mengendap, terurai secara perlahan, mengkonsumsi oksigen terlarut, menimbulkan kekeruhan, mengeluarkan bau yang tajam dan dapat

merusak ekosistem perairan dikarenakan proses penguraiannya yang lama dan cenderung akan mengkonsumsi O<sub>2</sub> terlarut dalam jumlah yang banyak. Sebelum limbah cair ini dapat dibuang ke lingkungan terlebih dahulu harus diolah agar sesuai dengan baku mutu limbah yang telah ditetapkan oleh badan lingkungan hidup. Limbah cair pabrik minyak kelapa sawit dihasilkan dari tiga tahap proses, yaitu :

1. Proses sterilisasi (pengukusan) untuk mempermudah perontokan buah dari tandannya, mengurangi kadar air, dan untuk inaktivasi enzim lipase dan oksidasi.
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).

## 2. 2. 1 Spesifikasi Limbah Pabrik Kelapa Sawit

### a. Spesifikasi Limbah Cair Mentah

Air limbah industri minyak kelapa sawit yang terdiri dari *sludge*, air kondensat, air cucian pabrik, dan air *hydroclone* yang berasal dari stasiun perebusan/sterilisasi dan klarifikasi yang dialirkan ke *fat pit/sludge recovery tank* untuk pengutipan minyak. POME memiliki konsentrasi yang tinggi dan berwarna coklat pekat serta sering menimbulkan polusi. Berikut karakteristik POME dilampirkan pada tabel 1:

Tabel 1. Spesifikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

No.	Parameters	Satuan	Kisaran
1.	BOD	mg/L (ppm)	20.000 – 30.000
2.	COD	mg/L (ppm)	40.000 – 60.000
3.	<i>Total Suspend Solid</i> (TSS)	mg/L (ppm)	15.000 – 40.000
4.	<i>Total Dissolv Solid</i> (TDS)	mg/L (ppm)	30.000 – 70.000
5.	Minyak dan Lemak	mg/L (ppm)	5.000 – 7.000
6.	N – NH <sub>3</sub>	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

Tabel 1 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.

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 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit untuk Aplikasi Lahan

No.	Parameter	Satuan	Kisaran
1.	BOD	mg/L (ppm)	3000 - 5000
2.	Minyak dan Lemak	mg/L (ppm)	< 6000
3.	pH	-	< 6,0

Sumber : PT Perkebunan Mitra Ogan, 2015

Dari Tabel 2 kandungan BOD yang digunakan untuk aplikasi lahan di antara 3000 – 5000 mg/L. Tanaman kelapa sawit masih kekurangan hara N dan K untuk mencukupi kebutuhan atau dengan menaikkan nilai BOD mendekati max 5000 mg/L. Dengan menaikkan nilai BOD akan menaikkan nilai nutrisi dari limbah yang bersangkutan dan lamanya degradasi limbah juga diturunkan, karena nutrisi yang ada akan dimakan oleh mikroba untuk hidup dan berkembang.

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 antara lain sebagai berikut:

Tabel 3. Baku Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

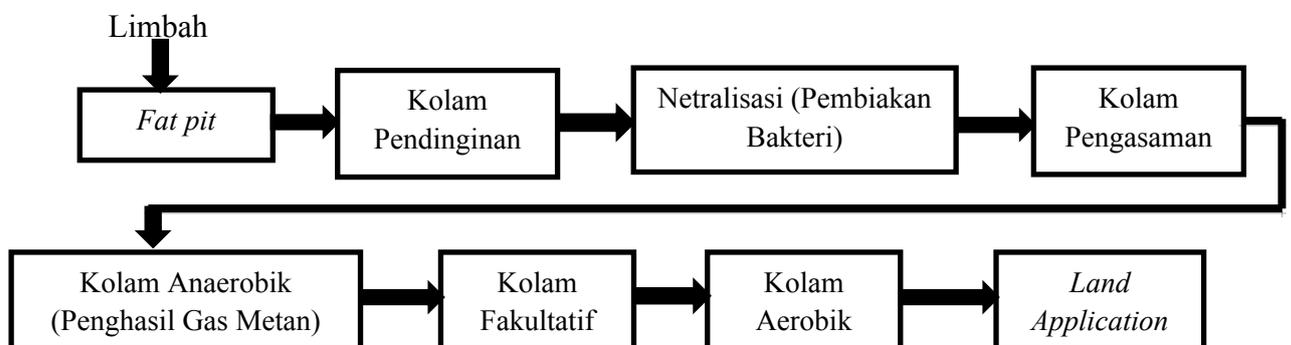
No.	Parameter	Maximum levels (mg/L)	Badan Pencemaran Maksimum (kg/ton)
1.	BOD	250	1,5
2.	COD	500	3,0
3.	TSS	300	1,8
4.	Minyak dan Lemak	30	0,18
5.	Amoniak Total (NH <sub>3</sub> )	20	0,12
6.	pH	6,0 – 9,0	

Sumber : Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor:Kep-51/Menlh/10/1995

Seperti yang diketahui pada Tabel 3 semua industri minyak kelapa sawit harus mengikuti standar yang ditetapkan berdasarkan parameter-parameter diatas agar limbah cair yang akan dibuang ke perairan tidak meracuni biota yang hidup di dalam air dan tidak mencemari lingkungan sekitar.

### 2. 2. 2 Prosedur pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Dalam pemanfaatan air limbah Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS) yang diaplikasikan pada lahan perkebunan kelapa sawit haruslah terlebih dahulu dilakukannya pengolahan terlebih dahulu, dimana biasanya limbah cair PMKS mempunyai konsentrasi BOD yang relatif tinggi rata-rata 30.000 mg/L – 50.000 mg/L sedangkan yang boleh diaplikasikan pada lahan perkebunan minimal < 5000 mg/L dengan PH 6-9 artinya limbah cair ini harus dilakukan pengolahan dengan rangkaian pengolahan yang dapat dilihat pada Gambar 1:



Gambar 1. Skema Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Berikut adalah fungsi dari setiap kolam pengolahan limbah pada pabrik kelapa sawit, yaitu:

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°C–80°C. Pemanasan ini diperlukan untuk memudahkan pemisahan minyak dengan *sludge*, sebab pada *fat pit* 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 (*Cooling Pond*)

Proses pendinginan bertujuan untuk mengurangi kadar minyak masuk ke dalam kolam pengasaman, kelebihan konsentrasi minyak dapat membuat kesulitan dalam pengoperasian selanjutnya.

Limbah cair yang dikutip minyaknya pada *fat pit* mempunyai karakteristik pH 4-4,5 dengan suhu 60°C–80°C sebelum limbah dialirkan ke kolam pengasaman (*acidifaction pond*) suhunya diturunkan menjadi 40°C–45°C agar bakteri *mesophilik* dapat berkembang dengan baik. Maka tujuan kolam pendingin ini selain untuk mendinginkan limbah, kolam pendingin juga berfungsi untuk mengendapkan *sludge*.

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).

Limbah yang segar mengandung senyawa organik yang mudah dihidrolisa dan menghasilkan senyawa asam. Agar senyawa ini tidak mengganggu proses pengendalian limbah maka dilakukan pengasaman. Dalam kolam pengasaman pH

limbah umumnya berkisar 3–4, dan kemudian pH nya akan naik setelah asam – asam organik terurai kembali oleh proses hidrolisa yang berlanjut.

#### 4. Kolam Anaerobik

Pada kolam anaerobik ini terjadi perlakuan biologis terhadap limbah dengan menggunakan bakteri anaerobik 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 melebihi dari 25 cm, jika ketebalannya telah melebihi 25 cm maka ini merupakan tanda bahwa bakteri sudah kurang berfungsi.

Kolam Anaerobik pada PT. 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 menuju 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 CO<sub>2</sub>. Selanjutnya bakteri metana (*Methanogenic Bacteria*) akan merubah asam organik menjadi CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>. BOD limbah pada kolam anaerobik primer masih cukup tinggi, maka limbah harus diproses lebih lanjut pada kolam anaerobik, dimana kolam ini dapat dikatakan beroperasi dengan baik apabila nilai parameter utamanya berada pada tetapan sebagai berikut :

pH	6 – 8
VFA	< 300 mg/L
Alkalinitas	< 2.000 mg/L

BOD limbah setelah keluaran dari kolam anaerobik sekunder minimal ialah 3000 mg/L dengan pH minimal 6,0.

## 5. Kolam Fakultatif

Mekanisme kerja dalam pengolahan limbah yaitu bahan baku berupa limbah organik difermentasi pertama kali pada kolam anaerob dengan penambahan lumpur aktif yang akan membantu proses degradasi limbah. *Effluent* kemudian dialirkan pada kolam fakultatif dimana pada kolam ini mikroalga mulai banyak berperan sebagai agen *phycoremediasi*. Proses fakultatif ini dilakukan di dalam kolam sedimentasi.

Kolam fakultatif adalah kolam peralihan dari kolam anaerobik menjadi aerobik atau dapat disebut proses penon-aktifan bakteri *anaerob* dan pra kondisi proses aerobik. 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.

## 6. Kolam Aerobik

Proses yang terjadi pada kolam aerobik adalah proses aerobik. Pada kolam ini telah tumbuh ganggang dan mikro *heterotrof*, yang membentuk *flocs*. Hal ini merupakan proses penyediaan oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba, dalam kolam metode pengadaaan oksigen dapat dilakukan secara alami dan atau menggunakan aerator.

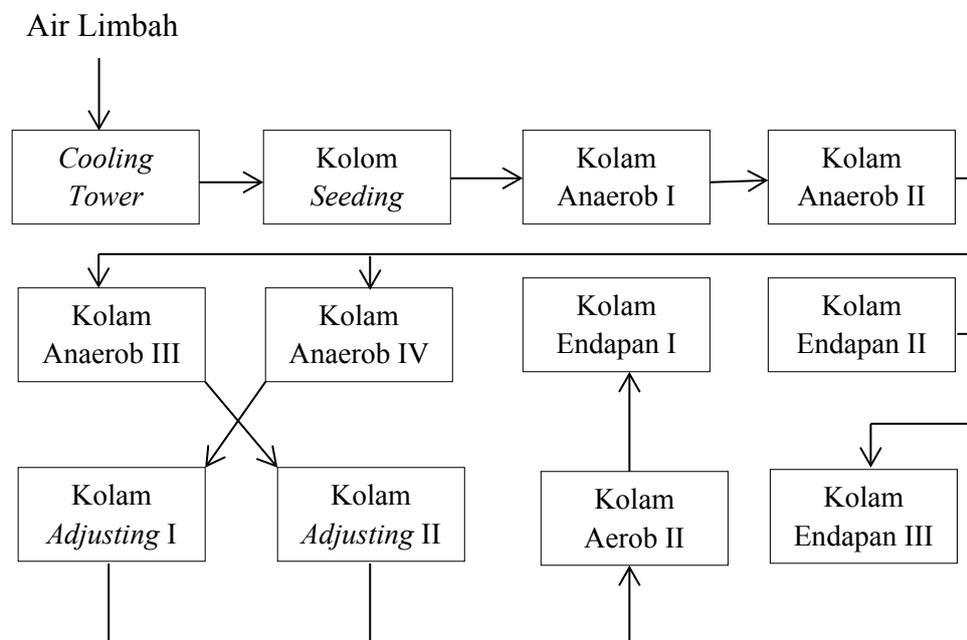
## 7. *Land Application*

Kolam ini merupakan tempat pembuangan terakhir limbah, dimana proses yang terjadi pada kolam ini adalah penon-aktifan bakteri anaerobik dan prakondisi proses aerobik. Aktivitas ini dapat diketahui pada permukaan kolam tidak dijumpai *scum* dan cairan tampak kehijau-hijauan.

Dari seluruh rangkaian proses, masa tinggal limbah selama proses berlangsung mulai dari pendinginan hingga air dibuang ke badan penerima membutuhkan masa waktu tinggal kurang lebih 120 – 150 hari.

### 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 dan kedalaman 3-5 meter. Secara sekilas, air limbah dengan kadar minyak tinggi dari pabrik kelapa sawit 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 luapan yang mengandung *suspended solid* dari kolam oksida ke kolam endap, kemudian mengendapkan kandungan *suspended solid* dan akhirnya akan mengalir ke sungai. Di sebagian pabrik, air luapan kolam oksida diolah pada tangki lumpur aktif, lalu dialirkan ke sungai. Sebagai alur metoda kolam stabil biologis yang menggunakan prinsip *open ponds*, dapat dilihat pada Gambar 2.



Sumber: Studi Kebijakan Bersama Indonesia dan Jepang, 2013

Gambar 2. Contoh Alur Pengolahan Kolam Stabil Biogas 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. BOD yang merupakan kadar senyawa organik yang dapat di biodegradasi dalam limbah cair.
2. COD yang merupakan ukuran untuk senyawa organik yang dapat di biodegradasi atau tidak.
3. *Total Organic Carbon (TOC)* dan *Total Oxygen Demand (TOD)* yang merupakan ukuran untuk kandungan senyawa organik keseluruhan.
4. Padatan tersuspensi dan teruapkan (*Suspended and Volatile Solids*).
5. Kandungan padatan keseluruhan.
6. pH Alkalinitas dan keasaman.
7. Kandungan nitrogen dan fosfor.
8. Kandungan logam berat.

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

### **2. 3 Kotoran Sapi**

Kotoran ternak merupakan bahan baku potensial dalam pembuatan biogas karena mengandung pati dan lignoselulosa (Deublein dan Steinhauster, 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. Kotoran sapi adalah biomassa yang mengandung karbohidrat, protein, dan lemak. Drapcho, dkk (2008) berpendapat bahwa biomassa yang

mengandung karbohidrat tinggi akan menghasilkan gas metana yang rendah dan CO<sub>2</sub> 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 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> /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 amoniak dan metana. 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. 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 merupakan produk akhir dari degradasi anaerobik bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerobik dalam lingkungan dengan sedikit oksigen. Komponen terbesar yang terkandung dalam biogas adalah CH<sub>4</sub> 55–70% dan CO<sub>2</sub> 30–45% serta sejumlah kecil, N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S (Deublein dan Steinhauster, 2008). Apabila kandungan gas CH<sub>4</sub> dalam biogas lebih dari 50% maka biogas tersebut telah layak digunakan sebagai bahan bakar.

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 dapat dikategorikan sebagai solusi perencanaan energi terbarukan yang cukup baik dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Biogas adalah gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari proses anaerobik pada temperatur rendah dan

tanpa oksigen (Sahidu, 1983). Pada literatur lain komposisi biogas secara umum ditampilkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Komponen Penyusun Biogas

Jenis Gas	Jumlah (%)
Metana (CH <sub>4</sub> )	50 – 75
Karbondioksida (CO <sub>2</sub> )	25 – 45
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	0,1 – 1
Oksigen (O <sub>2</sub> )	1 – 2
Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S)	0 – 2
Uap Air (H <sub>2</sub> O)	2 – 7
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	0 – 2

*Sumber: Juangan, 2007*

Tabel 4 menunjukkan biogas secara rata – rata terdiri dari 50 sampai 75 persen gas CH<sub>4</sub>, 25 sampai 45 persen gas CO<sub>2</sub> 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 CH<sub>4</sub> adalah sebesar 20 MJ/m<sup>3</sup>. Dalam skala besar, biogas sebagai pembangkit energi listrik, sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan.

Kandungan yang terdapat dalam biogas dapat mempengaruhi sifat dan kualitas biogas sebagai bahan bakar. Kandungan yang terdapat dalam biogas merupakan hasil dari proses metabolisme mikroorganisme. Biogas yang kandungan CH<sub>4</sub> lebih dari 45% bersifat mudah terbakar dan merupakan bahan bakar yang cukup baik karena memiliki nilai kalor bakar yang tinggi. Tetapi jika kandungan CO<sub>2</sub> dalam biogas sebesar 25–50% maka dapat mengurangi nilai kalor bakar dari biogas tersebut. Sedangkan kandungan H<sub>2</sub>S dalam biogas dapat menyebabkan korosi pada peralatan dan perpipaan dan N<sub>2</sub> dalam biogas juga dapat mengurangi nilai kalor bakar biogas tersebut. Selain itu juga terdapat uap air yang juga dapat menyebabkan kerusakan pada pembangkit yang digunakan (Deublein dan Steinhauster, 2008).

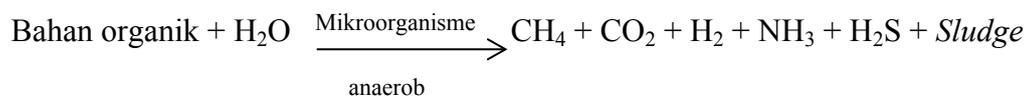
Proses produksi biogas memanfaatkan kemampuan alami mikroorganisme untuk menguraikan limbah organik. Proses penguraian

menghasilkan biogas dan residu kaya nutrisi yang cocok untuk digunakan sebagai pupuk. Sumber energi biogas utama yaitu dapat diperoleh dari air buangan rumah tangga, sampah organik dari pasar, serta terdapat pada kotoran ternak sapi, kerbau, kuda dan lainnya. Gas CH<sub>4</sub> dalam biogas bila terbakar relatif akan lebih bersih dari pada batubara dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi CO<sub>2</sub> yang lebih sedikit.

## 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 (Polprasert, 1980).

Reaksi pembentukan biogas adalah sebagai berikut:

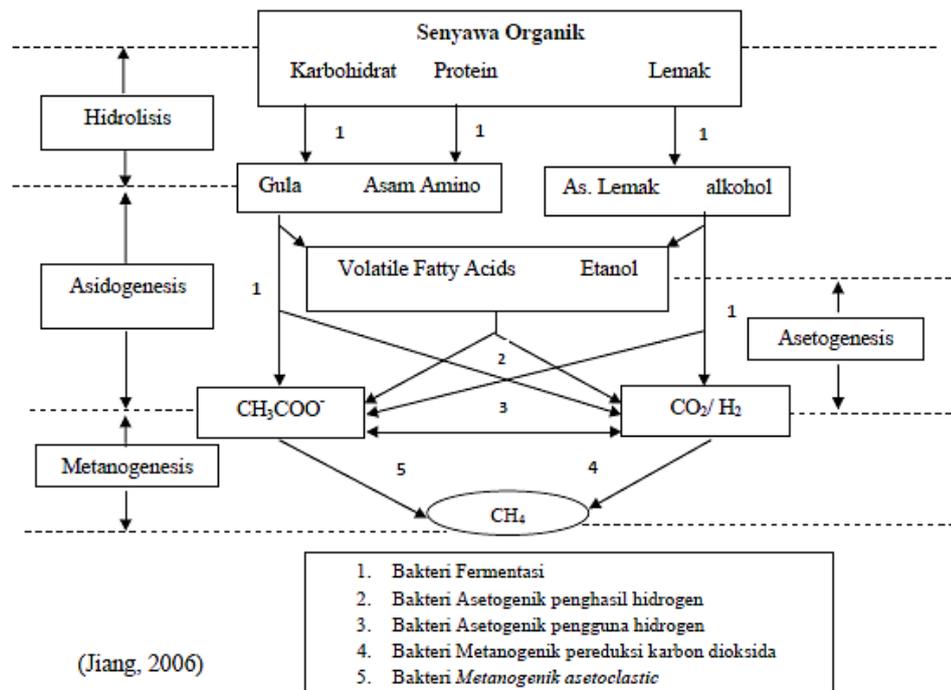


Proses pembentukan biogas ini memerlukan instalasi khusus yang disebut *digester* agar perombakan secara anaerob dapat berlangsung dengan baik. Barnett, dkk (1978) menyatakan bahwa terdapat tiga keuntungan dari instalasi penghasil biogas, yaitu : (1) penggunaan bahan bakar lebih efisien, (2) menambah 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, asedogenik, asetogenik dan metanogenesis. Beberapa jenis bakteri bersama-sama secara bertahap mendegradasi bahan-bahan organik dari limbah cair (Deublein dan Steinhauser, 2008).

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 Steinhauer, 2008).

Proses Anaerobik dapat dilihat di Gambar 3:



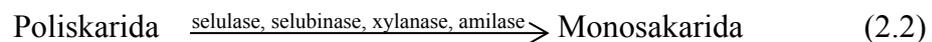
Gambar 3. Konversi Bahan Organik Menjadi Metan Secara Anaerob

Gambar 3 menjelaskan bahwa proses perombakan bahan organik secara anaerob terdiri atas empat tahapan proses yaitu hidrolisis, fermentasi (acidogenesis), asetogenesis dan metanogenesis. 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 menjadikan racun atau mempengaruhi metabolisme bakteri tersebut (Doublein dan Steinhauster, 2008).

### 2. 5. 1 Hidrolisis

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



Senyawa tidak larut, seperti selulosa, protein, dan lemak dipecah menjadi senyawa monomer (partikel yang larut dalam air) oleh *exo-enzyme* (enzim ekstraselular) secara fakultatif oleh bakteri anaerob. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.1 di mana lipid diurai oleh enzim lipase membentuk asam lemak dan gliserol sedangkan poliskarida diurai menjadi monosakarida seperti pada persamaan 2.2. Dan 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 (Seadi dkk, 2008).

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 dimana 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 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 5 berikut:

Tabel 5. Klasifikasi Bakteri Hidrolisis Berdasarkan Substrat yang Diolah

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

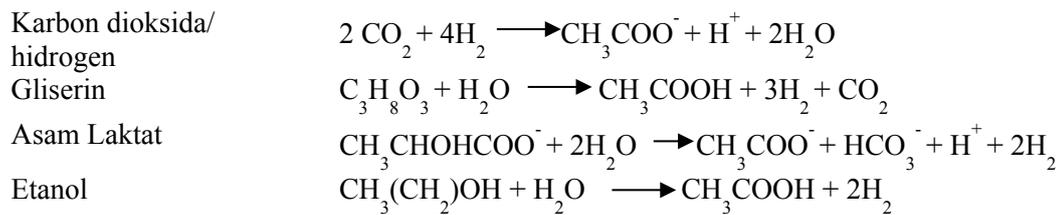
## 2. 5. 2 Asedogenesis

Selama proses asedogenesis, 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).

Tabel 6. 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	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH} + 4\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 5\text{H}_2$



Sumber : Deublein dan Steinhauster, 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 (Deublein dan Steinhauster, 2008).

### 2. 5. 3 Asetogenesis

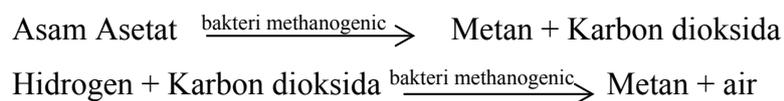
Produk dari proses asidogenesis yang tidak dapat langsung diubah menjadi metan oleh bakteri *methanogenic*, akan dikonversi menjadi substrat bagi *methanogenic* pada proses asetogenesis. VFA yang memiliki rantai karbon lebih dari dua dan alkohol yang rantai karbonnya lebih dari satu akan teroksidasi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

Bakteri *asetogenic* adalah penghasil  $\text{H}_2$ . 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 *acetogenic* bisa mendapatkan energi yang diperlukan untuk kelangsungan hidup dan untuk pertumbuhan hanya pada konsentrasi  $\text{H}_2$  yang sangat rendah. Mikroorganisme *acetogenic* dan *methanogenic* hidup dalam simbiosis yang saling memerlukan. Organisme *methanogenic* dapat bertahan hidup dengan tekanan hidrogen parsial yang lebih tinggi. Maka harus terus-menerus mengeluarkan produk-produk dari metabolisme bakteri *acetogenic* dari substrat untuk menjaga tekanan parsial hidrogen pada tingkat yang rendah sehingga cocok untuk bakteri *acetogenic* (Deublein dan Steinhauster, 2008).

#### 2. 5. 4 Methanogenesis

Tahap dominasi perkembangan sel mikroorganisme dengan spesies tertentu yang menghasilkan gas metan sebagai komponen utama biogas. Bakteri yang berperan dalam proses ini, antara lain *Methanococcus*, *Methanobacillus*, *Methanobacterium*, dan *Methanosarcina*. Terbentuknya gas metan terjadi karena adanya reaksi dekarboksilasi asetat dan reduksi CO<sub>2</sub> (Deublein & Steinhausher, 2008).

Produksi CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> dilakukan oleh bakteri *methanogenic*. Sebanyak 70% dari CH<sub>4</sub> yang terbentuk berasal dari asetat, sedangkan sisanya 30% dihasilkan dari konversi Hidrogen dan karbon dioksida, menurut persamaan berikut:



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).

Pada dasarnya efisiensi produksi biogas sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor meliputi: suhu, pH, konsentrasi asam – asam lemak volatil, nutrisi (terutama nisbah karbon dan nitrogen), zat racun, waktu etensi hidrolis, kecepatan bahan organik, dan konsentrasi ammonia. Dari berbagai penelitian yang diperoleh, dapat dirangkum beberapa kondisi optimum sebagai berikut:

Tabel 7. Kondisi Optimum Produksi Biogas

Parameter	Kondisi Optimum
Suhu	35°C
pH	7 – 7,2
Nutrien Utama	Karbon dan Nitrogen
Nisbah Karbon dan Nitrogen	20/L sampai 30/L
Sulfida	< 200 mg/L

Logam – logam Berat Terlarut	< 1 mg/L
Sodium	< 5000 mg/L
Kalsium	< 2000 mg/L
Magnesium	< 1200 mg/L
Ammonia	< 1700 mg/L

Parameter pada Tabel 7 harus dikontrol dengan cermat supaya proses pencernaan anaerobik dapat berlangsung secara optimal. Sebagai contoh pada pH, pH harus dijaga pada kondisi optimum yaitu antara 7 - 7,2. Hal ini disebabkan apabila pH turun akan menyebabkan perubahan substrat menjadi biogas terhambat sehingga mengakibatkan penurunan kuantitas biogas. Nilai pH yang terlalu tinggi pun harus dihindari, karena akan menyebabkan produk akhir yang dihasilkan adalah CO<sub>2</sub> sebagai produk utama. Begitu pula dengan nutrisi, apabila rasio C/N tidak dikontrol cermat, maka terdapat kemungkinan adanya nitrogen berlebih (terutama dalam bentuk amonia) yang dapat menghambat dan aktivitas bakteri (Hermawan, dkk, 2005).

Barnett, dkk (1978) menyatakan bahwa terdapat tiga keuntungan dari instalasi penghasil biogas, yaitu penggunaan bahan bakar lebih efisien, menambah nilai pupuk dan menyehatkan lingkungan. Selain itu, teknologi biogas memiliki beberapa keuntungan, antara lain sebagai sumber energi yang aman, stabilisasi limbah, meningkatkan unsur hara dan menginaktifkan bakteri patogen (Polprasert, 1980).

Keuntungan utama yang diperoleh dari fermentasi anaerob bahan organik buangan adalah konservasi. Kurang lebih 99% nitrogen masih terdapat di dalam *sludge*, sedangkan sisanya hilang sebagai gas ammonia selama proses berlangsung. Kelebihan fermentasi anaerob dibandingkan fermentasi aerob kotoran ternak atau bahan buangan yaitu ammonia yang terbentuk mudah menguap sekitar 84,1% (Fauziah, 1998).

## 2. 6 Agitasi (Pengadukan)

Pada dasarnya setiap limbah cair atau bahan organik yang digunakan untuk pembuatan biogas memiliki kandungan *sludge* atau kotoran seperti halnya lumpur. Dan hal ini merupakan salah satu hal yang mempengaruhi saat proses

pembuatan biogas di dalam bioreaktor. Seperti yang telah diketahui proses pembuatan biogas berlangsung dalam waktu yang cukup lama. Permasalahan ini bisa dengan mudah diatasi jika proses berlangsung pada bioreaktor yang memiliki pengaduk baik proses secara *batch*, semi *batch* maupun proses kontinyu. Pengadukan berfungsi untuk mengurangi pengendapan, karena limbah yang berdiam diri dalam bioreaktor dengan waktu yang cukup lama akan terjadi pengendapan (Yuwono dan Soehartanto, 2013).

Perlakuan pengadukan pada *digester* biogas dilakukan agar bahan organik dalam *digester* dapat homogen dan lebih mudah dicerna oleh mikroorganisme karena terjadi kontak langsung antara bahan organik pada setiap bagian dalam *digester* secara merata. Apabila bahan organik dalam *digester* homogen, maka mikroorganisme akan lebih mudah dalam memanfaatkan bahan organik sebagai nutrisi untuk menghasilkan metan sehingga produksi metan yang dihasilkan dapat optimal. Selain itu, pengadukan juga dapat menciptakan kondisi yang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme perombak. Menurut Anggakara, dkk (2013), Pengadukan sangat penting dilakukan dalam pembuatan biogas, untuk menghindari pembentukan endapan pada *digester* yang dapat menghambat produksi biogas. Selain itu, pengadukan menyebabkan proses berjalan lebih cepat, karena kontak antara substrat dengan mikroorganisme menjadi lebih efektif. Sama halnya menurut Veenstra dan Polpraset (1985) yang menyatakan bahwa dengan pengadukan membuat kondisi menjadi baik bagi pertumbuhan mikroorganisme karena dengan pengadukan lebih memungkinkan terjadinya kontak antara mikroorganisme dengan penyediaan makanan, sehingga produksi biogas dapat meningkat (Veenstra dan Polpraset 1985). Hal penting yang harus diperhatikan dari tangki berpengaduk dalam penggunaannya diantaranya seperti bentuk dan ukuran tangki, *baffle* yang mempengaruhi aliran dalam tangki, selain itu terdapat saluran *inlet* yaitu lubang untuk pemasukannya dan *outlet* untuk pembuangan *sludge* pada bagian bawah. Begitu juga dengan pengaduk yang digunakan atau yang disebut sebagai agitator umumnya terdiri dari rangkaian motor sebagai penggerak padel dan propeller atau *blade*, yang disesuaikan dengan jenis limbah atau bahan organik yang digunakan. Untuk bioreaktor yang berukuran kecil,

agitator dengan dengan satu *blade* saja sudah cukup yang diletakkan di bagian dasar tangki. Perlu diingat dalam hal ini pengadukan berfungsi untuk mengurangi pengendapan, karena limbah yang berdiam diri dalam bioreaktor dengan waktu yang cukup lama akan terjadi pengendapan.

## 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°C (mesofilik) dan 48-55°C (thermophilik), sedangkan bakteri metanogenik kebanyakan hidup pada suhu mesofil dan sebagian kecil lainnya hidup pada suhu thermofil. 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 thermofil lebih sensitif terhadap perubahan suhu jika dibandingkan dengan bakteri metanogenik mesofil. Oleh karena itu, suhu harus dijaga tidak lebih dari  $\pm 2$  °C (Deublein dan Steinhauser, 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 memiliki suhu yang rendah (20-25 °C) membutuhkan waktu retensi dua kali lebih 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 dingin. Suhu tidak hanya mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk metana, tetapi juga mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk asam volatil. 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 dari proses fermentasi. Asam organik dan alkohol ini digunakan sebagai substrat bagi bakteri pembentuk metana, sehingga akan mempengaruhi keseluruhan performa *digester* (Gerardi, 2003).

## 2. 8 Nilai pH

Nilai pH merupakan ukuran dari keasaman/kebasaan suatu larutan (campuran dari substrat). Nilai pH dari substrat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme *methanogenic* dan mempengaruhi disosiasi beberapa senyawa penting untuk proses anaerobik. Pembentukan metan terjadi pada interval pH yang relatif sempit, dari sekitar 5,5 sampai 8,5, dengan interval optimal antara 7,0 - 8,0 untuk bakteri metanogen pada umumnya. Interval pH optimum untuk proses mesofilik adalah antara 6,5 dan 8,0 dan proses ini akan terhambat jika nilai pH menurun hingga di bawah 6,0 atau naik di atas 8,3. Nilai pH dalam reaktor anaerobik umumnya dikendalikan oleh sistem *buffer* bikarbonat. Oleh karena itu, nilai pH di dalam *digester* tergantung pada konsentrasi komponen alkali dan asam dalam fase cair. Jika akumulasi basa atau asam terjadi, kapasitas *buffer* akan menetralkan perubahan pH, sampai tingkat tertentu (Seadi dkk, 2008).

Untuk mendapatkan kondisi optimum pada produksi biogas, dimana bakteri yang berperan adalah penghasil metan, nilai pH untuk campuran umpan di dalam *digester* harus diantar 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 ( $\text{NaHCO}_3$ ) yang berfungsi untuk menyangga pH.

## 2. 9 Rasio C/N

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. Kisaran rasio C/N yang optimal menurut Deublein & Steinhauser. (2008) adalah 16:1 – 25:1 dan 20:1 - 30:1 menurut Stafford dkk, (1980).

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 dan Steinhauser., 2008).

## 2. 10 *Digester* Berbentuk Limas dan Balok

Pada industri kelapa sawit, air limbah 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 pemanas global. *Digester* berfungsi menggantikan kolam anaerobik pada sistem konvensional yang dibantu dengan pemakaian bakteri mesophilik dan thermophilik (naibaho, 1996). Mengacu pada kondisi ini, maka dibuat modifikasi peralatan *digester* dengan tangki sedimentasi berbentuk limas yang diharapkan dapat memberikan keuntungan untuk dapat mengendapkan lumpur yang terkandung dalam air limbah kelapa sawit dengan cepat. Sedangkan *digester* untuk tangki fermentasi dengan penambahan agitator yang berbentuk balok yang dapat menangkap gas metana dan mengubah air limbah tersebut menjadi lebih bermanfaat dengan sistem pengolahan secara anaerobik.

Menurut laporan akhir yang ditulis Sari, (2015) bahwa perbandingan efisiensi antara *design* tangki sedimentasi balok dan *design* tangki sedimentasi limas untuk laju alir 6 L/min sangatlah berbeda. Pada *design* balok efisiensi proses sedimentasi mencapai 13,9 %. Sedangkan *design* limas efisiensinya lebih tinggi yaitu mencapai 15,6%. *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.

Saputri (2015) memperoleh hasil dari penelitian pada tangki fermentasi balok didapat %mol CH<sub>4</sub> untuk volume starter 30% dalam waktu 4 hari yaitu 7,3564% mol. Sedangkan Fahlevi (2015) memperoleh hasil pada tangki fermentasi limas didapat %mol CH<sub>4</sub> untuk volume starter 30% dalam waktu 4 hari yaitu 6,439%mol. Maka *design* alat yang berbentuk balok telah terbukti bahwa proses fermentasinya lebih bagus dibandingkan dengan alat *design* limas.

Produksi biogas pada penelitian Hutomo (2016) dengan modifikasi digester limas dan balok pada hari ke-10 menghasilkan 9,8% gas CH<sub>4</sub> dan hasil yang optimal terjadi pada hari ke-30 yaitu menghasilkan 33,1 % mol gas CH<sub>4</sub> yang di dapat dari proses fermentasi secara *batch* dengan konsentrasi substrat 30:70 %. Tetapi pada hari ke-40 dihasilkan gas CH<sub>4</sub> hanya sebesar 6,73%. Karena produksi biogas dengan sistem *batch* dalam waktu fermentasi panjang akan mengalami penurunan dikarenakan substrat yang mulai habis. Sedangkan hasil produksi biogas pada penelitian Harsyah (2016) dengan modifikasi limas dan balok pada hari ke-10 menghasilkan 10,88 % gas CH<sub>4</sub> dan produksi biogas akan meningkat secara terus menerus, karena proses fermentasi dilakukan secara *fed-batch*. *Fed batch* merupakan proses penambahan substrat secara teratur sehingga dihasilkan produksi biogas yang lebih banyak dibanding dengan sistem *batch* tanpa ada penurunan hasil biogas.

Berdasarkan hal tersebut, penulis melakukan penelitian terhadap proses pengolahan air limbah industri minyak kelapa sawit dengan memodifikasi alat *digester* dengan tangki sedimentasi berbentuk limas dan tangki fermentasi berbentuk balok sehingga diharapkan dengan tangki sedimentasi berbentuk limas memiliki proses pengendapannya lebih cepat sedangkan dengan

menggunakan tangki fermentasi berbentuk balok dengan penambahan agitasi akan menghasilkan produksi biogas yang lebih optimal. Pengolahan air limbah industri minyak kelapa sawit pada tahap sedimentasi dan fermentasi dengan menggunakan alat modifikasi *digester* ini merupakan salah satu cara yang optimal dari segi tempat, waktu, dan biaya pengolahannya.