

## **BAB II** **TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Limbah Pabrik Kelapa Sawit**

Limbah pada dasarnya adalah suatu bahan yang terbuang atau dibuang yang telah mengalami suatu proses produksi sebagai hasil dari aktivitas manusia, maupun proses alam yang tidak atau belum mempunyai nilai ekonomi. Aktivitas pengolahan pada pabrik minyak kelapa sawit menghasilkan dua jenis limbah, antara lain limbah padat dan limbah cair. Menurut Naibaho (1998), limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik pengolah kelapa sawit ialah tandan kosong, serat dan tempurung. Limbah POME didapatkan dari tiga sumber yaitu air kondensat dari proses sterilisasi, *sludge* dan kotoran, serta air cucian hidrosiklon. Limbah pada pabrik kelapa sawit terdiri dari limbah padat, cair dan gas. Limbah cair yang dihasilkan pabrik pengolah kelapa sawit ialah air kondensat, air cucian pabrik, air *hidrocyclone* atau *claybath*. Jumlah air buangan tergantung pada sistem pengolahan, kapasitas olah dan keadaan peralatan klarifikasi.

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

### **2.2 Palm Oil Mill Effluent (POME)**

Limbah cair pabrik kelapa sawit yang juga dikenal dengan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan hasil samping dari pengolahan tandan buah segar kelapa sawit menjadi minyak sawit kasar. POME adalah air limbah industri minyak kelapa sawit yang merupakan salah satu limbah agroindustri yang menyebabkan polusi terbesar. Menurut Zahara (2014), dalam industri minyak kelapa sawit, cairan keluaran umumnya dihasilkan dari proses sterilisasi dan

klarifikasi yang dalam jumlah besar berasal dari *steam* dan air panas yang digunakan. Produksi minyak kelapa sawit membutuhkan air dalam jumlah besar. Satu ton minyak kelapa sawit menghasilkan 2,5 ton limbah cair, yaitu berupa limbah organik berasal dari input air pada proses separasi, klarifikasi dan sterilisasi. Limbah cair dari industri minyak kelapa sawit umumnya memiliki suhu yang tinggi kisaran 70-80 °C, berwarna coklat pekat, mengandung padatan terlarut yang tersuspensi berupa koloid dan residu minyak, sehingga memiliki nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang cenderung tinggi. Jika limbah tersebut dibuang langsung ke perairan, maka dapat mencemari lingkungan karena dapat menimbulkan kekeruhan dan akan menghasilkan bau yang tajam yang dapat merusak ekosistem perairan dikarenakan proses penguraiannya yang lama dan cenderung akan mengkonsumsi oksigen terlarut dalam jumlah yang banyak. Sebelum limbah cair ini dibuang ke lingkungan terlebih dahulu diberi perlakuan khusus tentang penanganan limbah sehingga dapat diolah agar sesuai dengan baku mutu limbah yang telah ditetapkan oleh badan lingkungan hidup. Karakteristik POME dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik POME Tanpa Perlakuan

Parameter	Satuan	Konsentrasi
Ph	-	4,7
Temperatur	°C	80-90
BOD 3 hari, 30 <sup>0</sup> C	mg/L	25.000
COD	mg/L	50.000
<i>Total Solid</i>	mg/L	40.500
<i>Suspended Solids</i>	mg/L	18.000
<i>Total Volatile Solids</i>	mg/L	34.000
Amonical-Nitrogen	mg/L	35
Total Nitrogen	mg/L	750
Phosporus	mg/L	18
Potassium	mg/L	2.270
Magnesium	mg/L	615
Kalsium	mg/L	439
Boron	mg/L	7,6
Iron	mg/L	46,5
Manganese	mg/L	2,0
Zinc	mg/L	2,3

Sumber : Lang, 2007

Tabel 1 merupakan tabel karakteristik air limbah cair kelapa sawit yang belum diolah (tanpa perlakuan). Tabel 1 digunakan untuk melihat karakteristik dari POME sebelum mengalami perlakuan. Jika air limbah industri minyak kelapa sawit ini dibuang secara langsung ke lingkungan akan menyebabkan pencemaran lingkungan karena nilai COD yang terkandung dalam limbah POME melebihi standar yang diizinkan oleh pemerintah yaitu maksimal 500 mg/liter untuk COD dan maksimal 250 mg/liter untuk BOD berdasarkan atasan Keputusan Menteri LH No. Kep.51/MENLH/10/1995.

Pengolahan tandan buah segar menghasilkan dua bentuk limbah cair, yaitu air kondensat dan *effluent*. Air kondensat biasa digunakan sebagai umpan boiler untuk mengoperasikan mesin pengolahan kelapa sawit. *Effluent* yang banyak mengandung unsur hara dimanfaatkan sebagai bahan pengganti pupuk anorganik. Limbah cair pabrik kelapa sawit dihasilkan dari tiga tahapan proses, yaitu :

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

### **2.3 Spesifikasi Limbah Pabrik Kelapa Sawit**

#### **a. Spesifikasi Limbah Cair Mentah**

Limbah cair yang berasal dari stasiun rebusan, klarifikasi, cucian lantai dialirkan ke *fatpit / sludge recovery tank* untuk pengutipan minyak. Karakteristik limbah yang masuk ke kolam pengendalian limbah dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. 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 <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 2 menunjukkan bahwa air limbah industri minyak kelapa sawit dari PT Perkebunan Mitra Ogan mengandung bahan organik yang sangat tinggi yaitu BOD 20.000 –30.000 mg/l dan COD 40.000 –70.000 mg/l, sehingga kadar bahan pencemaran akan semakin tinggi. 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 (Adrianto, 2011).

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

Mutu limbah cair setelah mengalami proses pengolahan pada kolam-kolam utama seperti kolam pendinginan, kolam pengasaman dan kolam *anaerobik* dapat disalurkan untuk aplikasi lahan sebagai pupuk pada areal tanaman kelapa sawit. Baku mutu limbah cair pabrik kelapa sawit untuk aplikasi lahan dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Baku Mutu 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	mg/l (ppm)	< 6,0

Sumber: PT Perkebunan Mitra Ogan, 2015

Tabel 3 menunjukkan spesifikasi dari jumlah bahan yang dibutuhkan untuk aplikasi lahan. 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 5000mg/l. dengan menaikkan nilai BOD akan menaikkan nilai nutrisi dari limbah yang bersangkutan dan lamanya degradasi limbah juga di turunkan, 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 4. Baku Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

No.	Parameter	Kadar Maksimum (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: PT Perkebunan Mitra Ogan, 2015

Tabel 4 menunjukkan baku mutu dari air limbah industri pabrik kelapa sawit yang memuat spesifikasi dari jumlah bahan pencemar yang boleh dibuang.

Industri minyak kelapa sawit harus mengikuti baku mutu yang telah ditetapkan agar air limbah industri minyak kelapa sawit yang akan dibuang ke perairan tidak merusak biota yang hidup di air dan tidak meracuni lingkungan sekitarnya.

#### **2.4 Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit**

Limbah cair yang dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit menjadi *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Palm Kernel Oil* (KPO) langsung dialirkan menuju tempat pengolahan limbah. Berdasarkan data yang didapat dari PT Perkebunan Mitra Ogan (2015), 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 60-80 °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**

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.



Gambar 1. *Cooling Pond* pada PT Perkebunan Mitra Ogan

Gambar 1 merupakan gambar pengambilan bahan baku berupa air limbah kelapa sawit yang terletak di *cooling pond*. Pada Gambar 1, 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. pendinginan penting dalam mempersiapkan kondisi kehidupan bakteri mesofilik. Dengan temperatur sekitar 38 °C maka bakteri akan berkembang dengan baik, dengan lama penahan limbah  $\pm$  5 hari, bagian minyak yang terapung diatas permukaan dikembalikan ke bagian produksi untuk diolah lanjut, kolam ini biasanya berukuran lebar dan dangkal.

### 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)*. Kolam pengasaman pada pabrik kelapa sawit, dilampirkan pada gambar berikut.



Gambar 2. *Acidifaction Pond* pada PT Perkebunan Mitra Ogan

Gambar 2 merupakan kolam pengasaman dimana limbah yang segar mengandung senyawa organik yang mudah dihidrolisa dan menghasilkan senyawa asam. Agar senyawa ini tidak mengganggu proses pengendalian limbah maka dilakukan pengasaman (*acidification*). Dalam kolam ini pH limbah umumnya berkisar 3 – 4, dan kemudian pH nya naik setelah asam – asam organik terurai kembali oleh proses hidrolisa yang berlanjut.

#### 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 7.0 , suhu 30 – 40 °C untuk bakteri *mesophyl*, kedalaman kolam 5-6 m dan ukuran kolam diupayakan dapat menampung air limbah 2 hari olah atau setara 400 m<sup>3</sup> untuk pabrik kelapa sawit (PKS) kapasitas 30 tonTBS/jam.

#### 6. Kolam *Anaerobik*

Limbah dari kolam pengasaman akan mengalir ke kolam *anaerobik* primer. BOD limbah setelah keluar dari kolam *anaerobik* sekunder maksimal ialah 3000 mg/l dengan pH minimal 6,0. Kolam *anaerobik* dapat dilihat pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. *Anaerob Pond* pada PT Perkebunan Mitra Ogan

Pada Gambar 3 diatas, pH dari kolam pengasaman masih sangat 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 methane dan CO<sub>2</sub>. 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

#### 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. *Biological Oxygen Demand* (BOD) 600-800ppm, *Chemical Oxygen Demand* (COD)1250-1750 ppm. Aktivitas ini dapat diketahui dengan indikasi pada permukaan kolam yang tidak dijumpai scum dan cairan tampak kehijau-hijauan. Proses fakultatif ini dilakukan di dalam kolam sedimentasi yang terlihat pada gambar berikut.



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

Gambar 4 merupakan kolam peralihan dari kolam *anaerobik* menjadi aerobik atau dapat disebut proses penon-aktifan bakteri *anaerob* dan pra kondisi dari proses aerobik. Karakteristik limbah pada kolam fakultatif yaitu pH 7,6 – 7,8. BOD 600-800ppm, 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 dapat 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 uni talat 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.



Gambar 5. *Anaerob Pond* (sirk) pada PT Perkebunan Mitra Ogan

Gambar 5 menunjukkan bahwa kolam *Anaerob* ini berfungsi untuk menurunkan BOD, dan COD serta minyak dan lemak dari limbah pabrik sawit. Ciri utama kolam *anaerobik* adalah permukaan kolam tertutup oleh jenis khamir sehingga ketersediaan oksigen dan cahaya matahari sangat rendah di dalam kolam yang mengaktifkan kinerja bakteri anerob dalam mengurai limbah

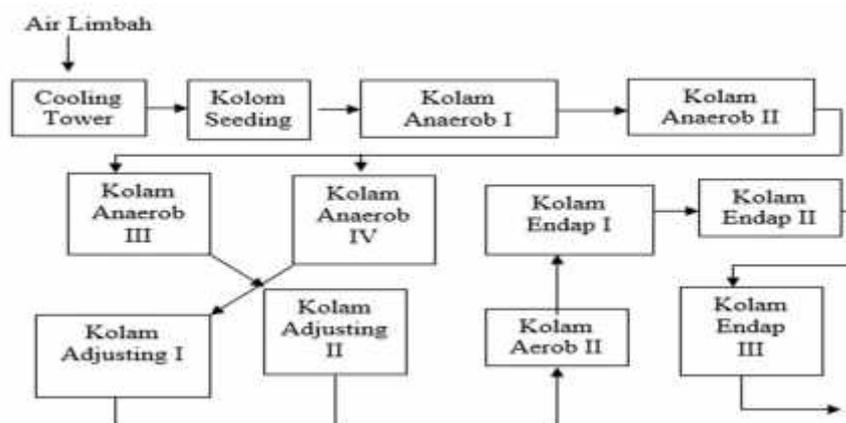
## 10. *Land Application*

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

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

## 2.5 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 1- beberapa hektar, kedalaamn 3-5 meter. 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 bakterianaerob (Agustine, 2011). Contoh alur metoda kolam stabil biologis yang aktual diperlihatkan pada Gambar 6:



Sumber : Studi Kebijakan Bersama Indonesia dan Jepang, 2013

Gambar 6. Contoh Alur Pengolahan Kolam Stabil Biologis yang Aktual

Pada gambar 6 Secara sekilas, air limbah dengan kadar minyak tinggi dari pabrik kelapa sawit (PKS) diarahkan mengalir ke kolam *anaerob*. Bagian dalam

kolam *anaerob* berada pada kondisi *anaerob*, fermentasi metan akan terjadi. Sebagai hasilnya, zat organik diuraikan menjadi gas karbon dan metan, sehingga konsentrasi zat organik di dalam air limbah turun sampai level tertentu. Setelah itu, mengalirkan air luapan yang mengandung *suspended solid* dari kolam oksida ke kolam endap, kemudian mengendapkan kandungan *suspended solid* dan akhirnya mengalirkan ke sungai. Di sebagian pabrik, air luapan kolam oksida diolah pada tangki lumpur aktif, lalu dialirkan ke sungai

Menurut Apriani dalam Agustine (2011), 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. *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang merupakan kadar senyawa organik yang dapat dibiodegradasi dalam limbah cair.
2. *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang merupakan ukuran untuk senyawa organik yang dapat dibiodegradasi atau tidak.
3. *Total organik carbon* (TOC) dan *total oxygen demand* (TOD) yang merupakan ukuran untuk kandungan senyawa organik keseluruhan
4. Padatan tersuspensi dan teruapkan (*suspended dan volatile solids*).
5. Kandungan padatan keseluruhan.
6. pH alkalinitas dan keasaman.
7. Kandungan nitrogen dan fosfor, dan
8. Kandungan logam berat.

Hasil penelitian komposisi limbah menyebutkan bahwa 76% *biological oxygen demand* (BOD) berasal dari padatan tersuspensi dan hanya 22,4% dari padatan terlarut. Maka banyak tidaknya padatan yang terdapat dalam limbah terutama padatan tersuspensi mempengaruhi tinggi rendahnya nilai *biological oxygen demand* (BOD) (Apriani, 2009).

## 2.6 Kotoran Sapi

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

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

Dari Tabel 5 diketahui kandungan unsur hara dalam kotoran hewan bervariasi tergantung pada keadaan tingkat produksinya, jenis, jumlah konsumsi pakan, serta individu ternak sendiri (Abdulgani, 1988). Kandungan unsur hara kotoran sapi perah, terdiri dari atas nitrogen (0,53%), P (0,35%) dan K (0,41%)

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

## 2.7 Biogas

Biogas berada pada campuran gas-gas dari biomassa (bahan-bahan organik) termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah organik (limbah rumah tangga), sampah *biodegradable* yang dihasilkan dengan menggunakan bakteri melalui proses fermentasi bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen. Biogas dapat dibakar seperti elpiji dan dalam skala besar, biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Biogas dapat dikategorikan sebagai solusi perencanaan energi terbarukan yang cukup baik dalam mengurangi emisi gas rumah kaca.

Menurut Siallagan (2010), biogas adalah gas produk akhir pencernaan atau degradasi *anaerobik* dari bahan-bahan organik oleh bakteri *anaerobik* dalam lingkungan bebas oksigen atau udara. Komponen terbesar biogas adalah Methana ( $\text{CH}_4$ , 54 - 70%-vol) dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ , 20 - 45%-vol) serta sejumlah kecil  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$ . Pada literatur lain komposisi biogas secara umum ditampilkan dalam Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Komponen Penyusun Biogas

Jenis Gas	Jumlah (%)
Metana ( $\text{CH}_4$ )	50 – 70
Nitrogen ( $\text{N}_2$ )	0 – 0,3
Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ )	25 – 45
Hidrogen ( $\text{H}_2$ )	1 – 5
Oksigen ( $\text{O}_2$ )	0,1 – 0,5
Hidrogen Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0 – 3

Sumber: Juanga, 2007

Dari Tabel 6 dapat diketahui umumnya biogas terdiri dari 50 sampai 70 persen gas CH<sub>4</sub> (metana), 25 sampai 45 persen gas CO<sub>2</sub> (karbon dioksida) serta 5 sampai 10 persen campuran gas N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S. Biogas memiliki sifat tidak berbau dan tidak berwarna yang apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG dengan nilai kalor gas metana adalah sebesar 20 MJ/m<sup>3</sup>. Dalam skala besar, biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik, sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan.

Biogas adalah energi bersih dan terbarukan yang dapat dijadikan alternatif dari sumber energi konvensional yang dapat menyebabkan masalah bagi lingkungan dan meningkatkan laju penipisan energi dalam waktu yang lama. Biogas adalah gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari proses *anaerobik* pada temperatur rendah dan tanpa oksigen (Agustine, 2011).

Sumber energi biogas yang utama yaitu dapat diperoleh dari air buangan rumah tangga, sampah organik dari pasar, serta terdapat pada kotoran ternak sapi, kerbau, kuda dan lainnya. Gas metana dalam biogas bila terbakar relatif akan lebih bersih dari pada batubara dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbondioksida yang lebih sedikit. Sedangkan kesetaraan produk biogas yang dihasilkan dalam 1m<sup>3</sup> jika dibandingkan dengan sumber-sumber energi lain ditunjukkan pada Tabel 7 sebagai berikut:

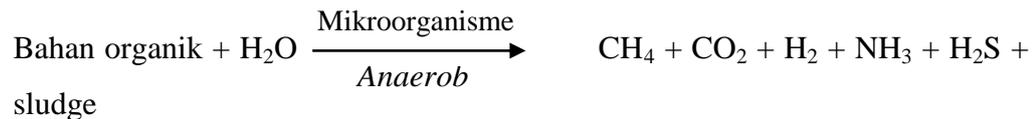
Tabel 7. Kesetaraan Biogas dengan Sumber Bahan Bakar Lain

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

## 2.8 Proses Pembentukan Biogas

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



Proses pembentukan biogas ini memerlukan instalasi khusus yang disebut digester, fungsinya adalah agar perombakan secara *anaerobic* dapat berlangsung dengan baik. Terdapat tiga keuntungan dari instalansi penghasil biogas, yaitu: (1) penggunaan bahan bakar lebih efisien, (2) menambah nilai pupuk, dan (3) menyehatkan lingkungan. Selain itu, teknologi biogas memiliki beberapa keuntungan, antara lain: (1) sebagai sumber energi yang aman, (2) stabilisasi limbah, (3) meningkatkan unsur hara, dan (4) menginaktifkan bakteri patogen (Polprasert, 1980).

Proses perombakan bahan organik secara *anaerob* yang terjadi di dalam digester, terdiri atas empat tahapan proses yaitu hidrolisis, fermentasi (asidogenesis), asetogenesis dan metanogenesis.

## 2.9 Pupuk Organik Cair

Pupuk organik cair merupakan pupuk organik dalam bentuk cair dan pada umumnya merupakan bahan organik yang dilarutkan dengan pelarut seperti air (Dewi, dkk. 2007). Pupuk organik cair dapat dibuat dari bahan- bahan organik berbentuk cair dengan cara mengomposkan dan memberi aktivator pengomposan sehingga dapat dihasilkan pupuk organik cair yang stabil dan mengandung unsur hara lengkap, pupuk cair dapat diproduksi dari limbah industri peternakan (limbah cair dan setengah padat atau *slurry*) yaitu melalui pengomposan dan aerasi (Haga, 1999).

Tiga cara umum pemberian pupuk cair menurut Zaitun (1999) sebagai berikut: (a) pemberian langsung pada tanah; (b) pemberian melalui irigasi; dan (c)

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

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

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

Pupuk organik cair haruslah memenuhi persyaratan teknis minimal pupuk organik cair yang dapat dilihat pada Tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8. Standar mutu pupuk organik (Peraturan Menteri Pertanian No.28/Permentan/OT.140/2/2009)

No.	Parameter	Satuan	Persyaratan teknis		
			Murni	Diperkaya mikroba	Cair/pasta
1.	C-Organik	%	> 12	> 12	> 4
2.	C/N rasio		15-25	15-25	
3.	Bahan ikutan	%	< 2	< 2	< 2
4.	Kadar air	%	4-15*)	10-20*)	10-20*)
5.	Kadar logam berat:				
	As	ppm	10	10	2,5
	Hg	ppm	1	1	0,25
	Pb	ppm	50	50	12,5
	Cd	ppm	10	10	2,5
6.	pH		4-8	4-8	4-8
7.	Kadar Total:				
	N	%	< 6***	< 6***	< 2
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	< 6**	< 6**	< 2
	K <sub>2</sub> O	%	< 6**	< 6**	< 2
8.	Mikroba patogen ( <i>E.coli</i> , <i>Sallmonella</i> )	Cfu/g;	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>
9.	Mikroba fungsional	Cfu/g;	-	>10 <sup>3</sup>	-
10.	Ukuran butiran	mm	2-5	2-5	
11.	Unsur mikro:				
	Fe	ppm	Min 0, maks 8000	Min 0, maks 8000	Min 0, maks 8000
	Mn	ppm	Min 0, maks 5000	Min 0, maks 5000	Min 0, maks 5000
	Cu	ppm	Min 0, maks 5000	Min 0, maks 5000	Min 0, maks 5000
	Zn	ppm	Min 0, maks 5000	Min 0, maks 5000	Min 0, maks 5000
	B	ppm	Min 0, maks 2500	Min 0, maks 2500	Min 0, maks 2500
	Co	ppm	Min 0, maks 20	Min 0, maks 20	Min 0, maks 20

Sumber :Mulyaningsih,2013

Tabel 8 merupakan standar kualitas unsur makro pupuk organik berdasarkan Peraturan Menteri Pertanian No.28/Permentan/OT.140/2/2009. Pupuk organik cair yang dihasilkan hendaknya harus mengikuti standar tersebut agar unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dapat terpenuhi disamping itu juga agar pupuk organik cair yang dihasilkan tidak mengakibatkan dampak pencemaran dan juga kerusakan pada lingkungan.

### 2.10 Effluent Biogas

Biogas adalah suatu campuran gas-gas yang dihasilkan dari suatu proses pengomposan bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen (*anaerobic process*) (Sahidu, 1983). Proses perombakan bahan organik pembentuk biogas secara *anaerob* menurut *Food and Agriculture Organization* (1997), terdapat tiga tahap, yaitu tahap hidrolisis bahan organik, tahap asidifikasi, dan tahap metanisasi. Proses pengomposan atau pelapukan bahan organik secara *anaerob* dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi (Polprasert, 1980). Kandungan unsur hara yang terdapat dari limbah biogas dapat dilihat pada Tabel 9 dibawah ini.

Tabel 9. Kandungan Unsur Hara Limbah Biogas

Bahan	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Padat	0,64	0,22	0,24
Cair	1,00	0,02	1,08

Sumber : Junus, 1998

Tabel 9 menunjukkan kandungan unsur hara keluaran dari instalasi biogas yang merupakan *by product* dari sistem pengomposan *anaerob* yang bebas bakteri patogen dan dapat digunakan sebagai pupuk untuk menjaga kesuburan tanah dan meningkatkan produksi tanaman (*Food and Agriculture Organization*, 1997). *Effluent* mengandung unsur makro yang penting untuk pertumbuhan tanaman seperti unsur N, P, K, dan unsur mikro yaitu Cu, Fe, Mg, S, dan Zn (Suzuki, dkk., 2001). Park (1984) menyatakan bahwa *effluent* dari biogas jika dimanfaatkan sebagai pupuk untuk tanaman dapat meningkatkan hasil pertanian dan dapat memperbaiki kesuburan tanah.

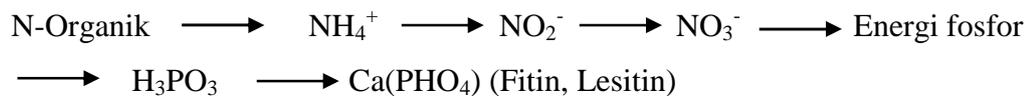
### 2.11 Proses Pembuatan Pupuk Organik Cair

Fermentasi adalah suatu proses dimana komponen-komponen kimiawi dihasilkan sebagai akibat adanya pertumbuhan maupun metabolisme mikroba. Pengertian ini mencakup fermentasi aerob dan anaerob (Satiawiharja, 1992).

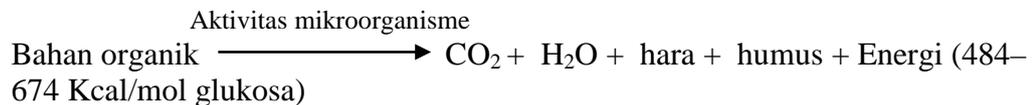
Proses fermentasi dapat dipercepat dengan penambahan bioaktivator yang merupakan sumber mikroorganisme. Aktivitas mikroorganisme dipengaruhi oleh

Konsentrasi gula, karena sukrosa yang terkandung dalam larutan gula merupakan substrat yang mudah dicerna dan dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroorganismenya. Pembuatan pupuk organik cair dengan proses fermentasi keberhasilannya ditandai dengan adanya lapisan putih pada permukaan, bau yang khas, dan warna berubah dari hijau menjadi coklat dan pupuk yang dihasilkan berwarna kuning kecoklatan. Lapisan putih pada permukaan pupuk merupakan *actinomyces*, yaitu jenis jamur tumbuh setelah terbentuknya pupuk (Sundari, dkk., 2012).

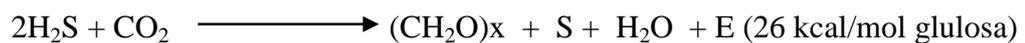
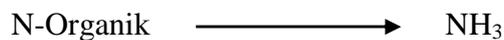
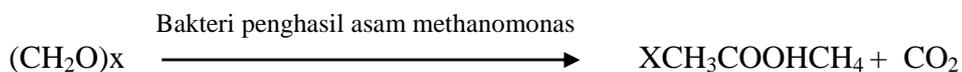
Pembuatan pupuk dapat berlangsung dalam kondisi aerob maupun *anaerob*. Reaksi yang terjadi pada perombakan sistem aerobik adalah :



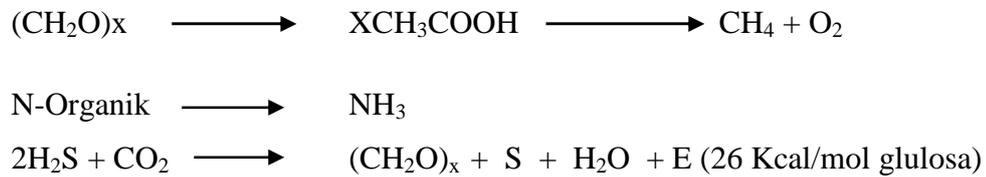
Reaksi Utuh:



Kondisi *anaerob* diartikan sebagai proses dekomposisi bahan organik tanpa menggunakan  $\text{O}_2$ . Reaksi yang terjadi pada perombakan sistem *anaerob*:



### Bakteri penghasil asam methanomonas



## 2.12 Aktivator

Seperti yang sudah diceritakan pada sub.bab sebelumnya dalam pembuatan pupuk organik diperlukan aktivator yang dapat menambah mikroorganisme pada pupuk. Dalam proses pembuatan pupuk ada yang mempergunakan bahan aktivator untuk mempercepat proses fermentasi, Beberapa bahan aktivator yang dikenal dan beredar di pasaran antara lain:

1. *OrgaDec*
2. *Stardec*
3. EM-4
4. *Fix-up plus*, dan lain-lain

Proses pembuatan pupuk yang dilakukan mempergunakan larutan *effective microorganism* 4 yang disingkat EM 4. EM 4 pertama kali ditemukan oleh Prof. Teruo Higa dari Universitas Ryukyus. Jepang. Dalam EM 4 ini terdapat sekitar 80 genus mikroorganisme fermentor. Mikroorganisme ini dipilih yang dapat bekerja secara efektif dalam memfermentasikan bahan organik. Secara global terdapat 5 golongan yang pokok yaitu:

1. Bakteri fotosintetik
2. *Lactobacillus sp*
3. *Streptomyces sp*
4. Ragi (*yeast*)
5. *Actinomycetes*

#### a. Bakteri fotosintetik

Bakteri ini merupakan bakteri bebas yang dapat mensintesis senyawa nitrogen, gula, dan substansi bioaktif lainnya. Hasil metabolir yang diproduksi dapat

diserap secara langsung oleh tanaman dan tersedia sebagai substrat untuk perkembangbiakan mikroorganisme yang menguntungkan.

*b. Lactobacillus sp.*

Bakteri yang memproduksi asam laktat sebagai hasil penguaraian gula dan karbohidrat lain yang bekerjasama dengan bakteri fotosintesis dan ragi. Asam laktat ini merupakan bahan sterilisasi yang kuat yang dapat menekan mikroorganisme berbahaya dan dapat menguraikan bahan organik dengan cepat.

*c. Streptomyces sp.*

*Streptomyces sp.* mengeluarkan enzim streptomisin yang bersifat racun terhadap hama dan penyakit yang merugikan.

*d. Ragi (yeast)*

Ragi memproduksi substansi yang berguna bagi tanaman dengan cara fermentasi. Substansi bioaktif yang dihasilkan oleh ragi berguna untuk pertumbuhan sel dan pembelahan akar. Ragi ini juga berperan dalam perkembangan atau pembelahan mikroorganisme menguntungkan lain seperti *Actinomycetes* dan bakteri asam laktat.

*e. Actinomycetes*

*Actinomycetes* merupakan organisme peralihan antara bakteri dan jamur yang mengambil asam amino dan zat serupa yang diproduksi bakteri fotosintesis dan merubahnya menjadi antibiotik untuk mengendalikan patogen, menekan jamur dan bakteri berbahaya dengan cara menghancurkan *khitin* yaitu zat esensial untuk pertumbuhannya. *Actinomycetes* juga dapat menciptakan kondisi yang baik bagi perkembangan mikroorganisme lain.

EM4 banyak digunakan untuk mempercepat pembusukan/ proses fermentasi. Memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi kimia. Menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dan menjaga kestabilan produksi.

### **2.13 Unsur Nitrogen**

Nitrogen (N) merupakan unsur hara makro esensial yang sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Menurut Manan (2006), unsur N pada alam

ditemukan di atmosfer bumi (78% volume) sebagai gas diatom dengan rumus molekul  $N_2$ , tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak dapat dibakar, sangat sedikit larut dalam air dan bersifat tidak reaktif kecuali pada suhu tinggi. Nitrogen dalam keadaan cair diperoleh secara komersial melalui distilasi bertingkat udara cair. Kegunaan unsur N adalah untuk pembuatan amoniak.

Kekurangan unsur N selama pertumbuhan dapat menyebabkan tanaman menjadi kerdil, perakaran terbatas, daun menjadi berwarna kuning, tetapi pemberian N secara berlebihan juga akan mengakibatkan pertumbuhan vegetatif sangat pesat, warna daun menjadi hijau tua dan tanaman menjadi lebih subur (Prawiranata dan Tjondronegoro, 1992), sehingga tanaman menjadi mudah terserang hama dan penyakit.

#### **2.14 Unsur Phospor**

Phospor (P) merupakan unsur yang sangat penting bagi kehidupan, dapat menimbulkan eutrofikasi di danau, sungai, dan perairan lain. Unsur P juga merupakan zat yang sangat penting tetapi selalu dalam keadaan kurang dalam tanah (Manan, 2006). Unsur P sangat penting sebagai sumber energi (ATP). Oleh karena itu, kekurangan P dapat menghambat pertumbuhan maupun reaksi-reaksi metabolisme tanaman. Unsur P pada tanaman berfungsi dalam pembentukan bunga, buah, dan biji serta mempercepat pematangan buah. Pemberian unsur P dalam jumlah yang memadai dapat meningkatkan mutu benih yang meliputi potensi perkecambahan dan vigor bibit (Mugnisjah dan Setiawan, 1995).

#### **2.15 Unsur Kalium**

Kalium (K) berperan dalam pembentukan protein dan karbohidrat, penguatan bagian kayu dari tanaman, peningkatan resistensi tanaman terhadap penyakit, dan peningkatan kualitas biji dan buah. Unsur K diserap dalam bentuk  $K^+$ , terutama pada tanaman muda (Mulyani, 1994). Tanaman yang kekurangan unsur K akan mengalami gejala kekeringan pada ujung daun, terutama daun tua. Ujung yang kering akan semakin menjalar hingga ke pangkal daun. Kadang-kadang terlihat seperti tanaman yang kekurangan air.

Kekurangan unsur K pada tanaman buah- buahan mempengaruhi rasa manis buah (Winata, 1998).

## 2.16 Nilai pH

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

Untuk mendapatkan kondisi optimum pada produksi biogas, dimana bakteri yang berperan adalah penghasil metan, nilai pH untuk campuran umpan di dalam digester harus diantara 6 dan 7. Setelah stabilisasi dari proses fermentasi pada kondisi *anaerobik*, nilai pH akhir harus diantara 7,2 dan 8,2. Untuk memberikan efek penyangga dari penambahan konsentrasi ammonium. Ketika jumlah asam organik yang diproduksi besar pada permulaan fermentasi, pH di dalam digester mungkin menurun sampai 5. Saat digester mempunyai konsentrasi asam volatil yang tinggi, proses fermentasi metan akan terhambat bahkan terhenti. pH yang rendah (dibawah 6,5) akan memberikan efek racun pada bakteri metanogenik (Zahara, 2014). Oleh karena itu, perlu adanya penambahan natrium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) yang berfungsi untuk menyangga pH.