

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. Adanya batasan kadar dan jumlah bahan beracun dan berbahaya pada suatu ruang dan waktu tertentu dikenal dengan istilah nilai ambang batas, yang artinya dalam jumlah demikian masih dapat ditoleransi oleh lingkungan sehingga tidak membahayakan lingkungan ataupun pemakai. Karena itu untuk tiap jenis bahan beracun dan berbahaya telah ditetapkan nilai ambang batasnya.

Aktivitas pengolahan pada pabrik minyak kelapa sawit menghasilkan dua jenis limbah, antara lain limbah padat dan limbah cair. Menurut Ponten (1996), limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik pengolah kelapa sawit ialah tandan kosong, serat dan tempurung. Limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) didapatkan dari tiga sumber yaitu air kondensat dari proses sterilisasi, *sludge* dan kotoran, serta air cucian hidrosiklon. Limbah pada pabrik kelapa sawit terdiri dari limbah padat, cair dan gas. Limbah cair yang dihasilkan pabrik pengolah kelapa sawit ialah air kondensat, air cucian pabrik, air *hidrocyclone* atau *claybath*.

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

2.2 Palm Oil Mill Effluent (POME)

Limbah cair pabrik kelapa sawit yang juga dikenal dengan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan hasil samping dari pengolahan tandan buah segar kelapa sawit menjadi minyak sawit kasar. POME adalah air limbah industri minyak kelapa sawit yang merupakan salah satu limbah agroindustri yang menyebabkan polusi

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

Menurut Zahara (2014), dalam industri minyak kelapa sawit, cairan keluaran umumnya dihasilkan dari proses sterilisasi dan klarifikasi yang dalam jumlah besar berasal dari *steam* dan air panas yang digunakan. Produksi minyak kelapa sawit membutuhkan air dalam jumlah besar. Satu ton minyak kelapa sawit menghasilkan 2,5 ton limbah cair, yaitu berupa limbah organik berasal dari input air pada proses separasi, klarifikasi dan sterilisasi. Limbah cair dari industri minyak kelapa sawit umumnya memiliki suhu yang tinggi kisaran 70-80 °C, berwarna coklat pekat, mengandung padatan terlarut yang tersuspensi berupa koloid dan residu minyak, sehingga memiliki nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang cenderung tinggi. 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. Limbah cair pabrik kelapa sawit dihasilkan dari tiga tahapan proses, yaitu:

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

(Departemen Pertanian, 1998).

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, air *hydroclone* yang berasal dari stasiun perebusan/sterilisasi dan klarifikasi yang dialirkan ke *fat pit/sludge recovery tank* untuk pengutipan minyak (Kardila, 2011). POME memiliki konsentrasi yang tinggi dan berwarna coklat pekat serta sering menimbulkan polusi. Berikut karakteristik POME dilampirkan pada Tabel 1:

Tabel 1. 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)

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. Secara umum dampak yang ditimbulkan oleh air limbah industri kelapa sawit adalah tercemarnya badan air penerima yang umumnya sungai karena hampir setiap industri minyak kelapa sawit berlokasi didekat sungai. Air limbah industri kelapa sawit bila dibiarkan tanpa diolah lebih lanjut akan terbentuk ammonia, hal ini disebabkan oleh bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tersebut terurai dan membentuk ammonia. Terbentuk ammonia ini akan mempengaruhi kehidupan biota air dan dapat menimbulkan bau busuk (Azwir dalam Adrianto, 2011).

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. 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

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 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 (Jones dkk, 1991)

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	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 ₃)	20	0,12
6.	pH	6,0 – 9,0	

Sumber: PT Perkebunan Mitra Ogan, 2015

Seperti yang diketahui pada Tabel 3 semua industry minyak kelapa sawit harus mengikuti standar yang ditetapkan berdasarkan parameter-parameter diatas agar

limbah cair yang akan di buang 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

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

Proses pendinginan bertujuan untuk mengurangi kadar minyak masuk kedalam kolam pengasaman, kelebihan konsentarsi minyak dapat membuat kesulitan dalam pengoperasian selanjutnya. Kolam pendinginan dapat kita liat pada Gambar 1 dibawah ini:



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

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 kondisikehidupan bakteri mesofilik. Dengan temperatur sekitar 38 °C maka bakteri akan berkembang dengan baik, dengan lama penahan limbah ± 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 yaitu 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 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 memiliki 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

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. Efluen kemudian dialirkan ke kolam fakultatif dimana pada kolam ini mikroalga mulai banyak berperan sebagai agen phycoremediasi. Proses fakultatif ini dilakukan di dalam kolam sedimentasi yang terlihat pada Gambar 4:



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

Gambar 4 adalah 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. 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.

6. 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 Mengefektifkan Kinerja Bakteri Anerob Dalam Mengurai Limbah

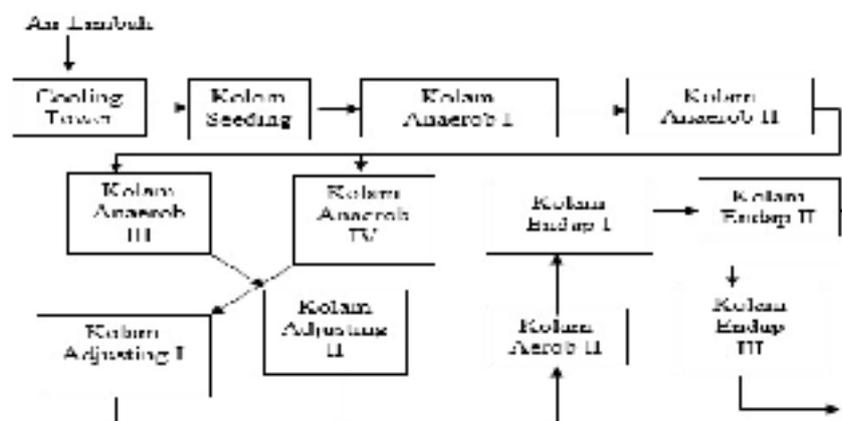
7. *Land Application*

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. Teknik pengolahan limbah cair yang biasanya diterapkan pada pabrik kelapa sawit sebelum dialirkan ke sungai atau direduksi ke kebun kelapa sawit sebagai *land application*

2.3.3 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 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 organic 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).

2.3 Kotoran Sapi

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

Kotoran ternak merupakan bahan baku yang potensial dalam proses produksi biogas karena mengandung pati dan lignoselulosa. Biasanya, kotoran ternak dimanfaatkan sebagai pupuk dan sisanya digunakan untuk memproduksi gas metana menggunakan proses anaerob. Salah satu ternak yang kotorannya biasa dimanfaatkan sebagai pupuk dan bahan baku biogas adalah sapi (Agustine, 2014). Biomassa yang mengandung karbohidrat tinggi akan menghasilkan gas metana yang rendah dan CO₂ yang tinggi, jika dibandingkan dengan biomassa yang mengandung protein dan lemak dalam jumlah yang tinggi. 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.

Tabel 4. 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 Table 4 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.

2.4 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.

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). Pada literatur lain komposisi biogas secara umum ditampilkan dalam Tabel 5:

Tabel 5. 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 ₂ S)	0 – 3

Sumber: Juanga, 2007

Pada Tabel 5 diketahui umumnya biogas secara rata-rata terdiri dari 50 sampai 70 persen gas CH₄ (metana), 25 sampai 45 persen gas CO₂ (karbon dioksida) serta 5

sampai 10 persen campuran gas N₂, O₂, H₂ dan H₂S. Biogas memiliki sifat tidak berbau dan tidak berwarna yang apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG dengan nilai kalor gas metana adalah sebesar 20 MJ/m³. Dalam skala besar, biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik, sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan.

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 1m³ jika dibandingkan dengan sumber-sumber energi lain adalah sebagai berikut:

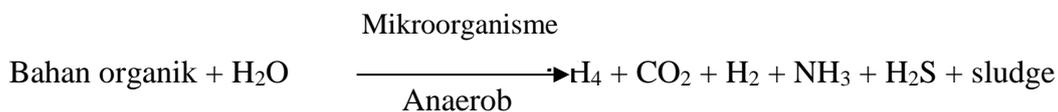
Tabel 6. Kesetaraan Biogas dengan Sumber Bahan Bakar Lain

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

2.5 Proses Pembentukan Biogas

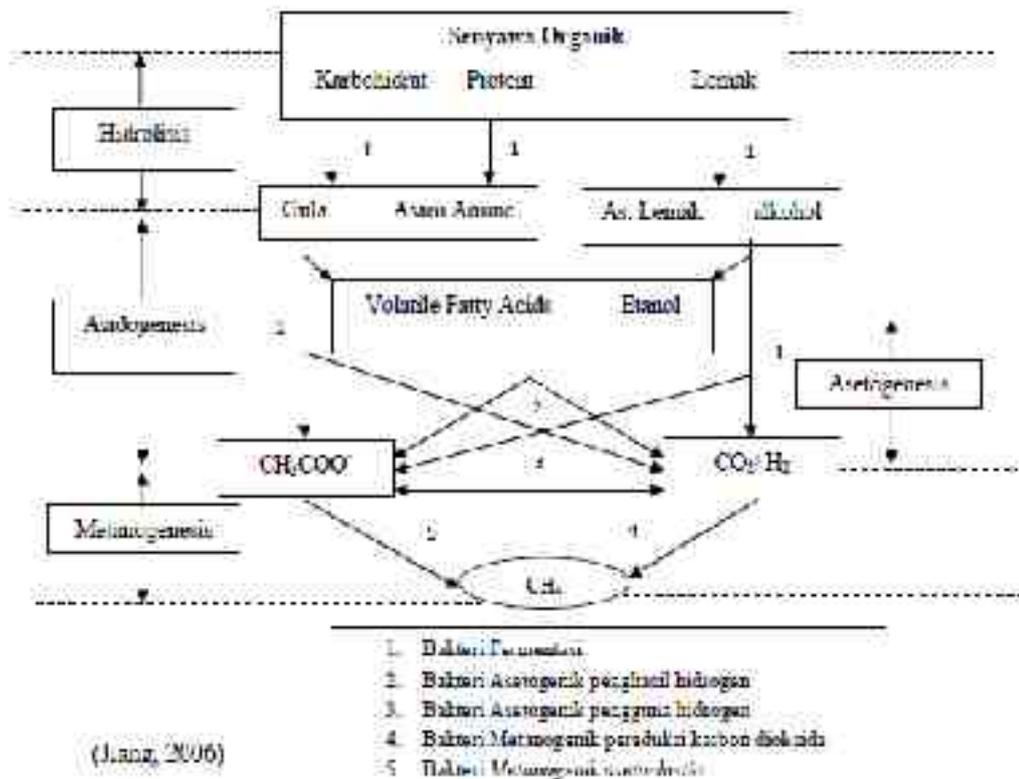
Proses pembentukan biogas dilakukan secara anaerob. Bakteri merombak bahan organik menjadi biogas dan pupuk organik. Proses pelapukan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi anaerob (Polpresert, 1980). Reaksi pembentukan biogas adalah sebagai berikut.



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

sumber energi yang aman, (2) stabilisasi limbah, (3) meningkatkan unsur hara, dan (4) menginaktivkan bakteri patogen (Polprasert, 1980).

Proses anaerobik merupakan proses yang dapat terjadi secara alami yang melibatkan beberapa jenis mikroorganisme yang berperan dalam proses tersebut. Proses Anaerobik dapat dilihat pada Gambar 7:

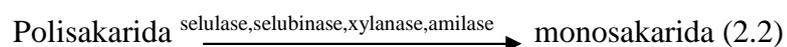
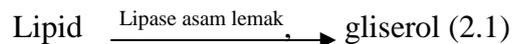


Gambar 7. Konversi Bahan Organik Menjadi Metan Secara Anaerobik

Gambar 7 menjelaskan bahwa Proses perombakan bahan organik secara anaerob terdiri atas empat tahapan proses yaitu hidrolisis, fermentasi (asidogenesis), 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 menjadi racun atau mempengaruhi metabolisme bakteri tersebut (Deublein dan Steinhauster, 2008).

2.5.1 Hidrolisis

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



Senyawa tidak larut, seperti selulosa, protein, dan lemak dipecah menjadi senyawa monomer (partikel yang larut dalam air) oleh *exo-enzime* (enzim ekstraselular) secara fakultatif oleh bakteri anaerob. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.1 di mana lipid diurai oleh enzim lipase membentuk asam lemak dan gliserol sedangkan polisakarida 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. Hidrolisis karbohidrat dapat terjadi dalam beberapa jam sedangkan hidrolisis protein dan lipid terjadi dalam beberapa hari. Sedangkan lignoselulosa dan lignin terdegradasi secara perlahan-lahan dan tidak sempurna.

Mikroorganisme anaerob fakultatif mengambil oksigen terlarut yang terdapat dalam air sehingga untuk mikroorganisme anaerobik diperlukan potensial redoks yang rendah. Solubilisasi melibatkan proses hidrolisis di mana senyawa-senyawa organik kompleks dihidrolisis menjadi monomer-monomer. Sebagai contoh, polisakarida diubah menjadi monosakarida. Protein dibagi menjadi peptida dan asam amino. Lemak dihidrolisis menjadi asam-asam lemak gliserol (Deublein dan Steinhauster, 2008).

Tahap pertama ini sangat penting karena molekul organik besar yang terlalu besar untuk langsung diserap dan digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber substrat atau makanan, untuk menghasilkan waktu pencernaan yang lebih pendek dan memberikan hasil metana yang lebih tinggi (Verma, 2002). Adapun jenis bakteri pada hidrolisis dapat dilihat pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Klasifikasi Bakteri Hidrolisis Berdasarkan Substrat yang Diolah

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

2.5.2 Asidogenesis

Selama proses asidogenesis, produk yang dihasilkan dari proses hidrolisis akan dikonversi oleh bakteri acidogenic (fermentasi) menjadi substrat bagi bakteri methanogenic. Gula sederhana, asam amino dan asam lemak terdegradasi menjadi asetat, karbon dioksida dan hidrogen (70%) juga menjadi asam lemak volatil (VFA) dan alkohol (30%) (Seadi dkk, 2008).

Asam amino terdegradasi melalui reaksi Stickland oleh *Clostridium botulinum* yaitu reaksi reduksi oksidasi yang melibatkan dua asam amino pada waktu yang sama, satu sebagai pendonor hidrogen dan yang satu lagi sebagai akseptor. (Deublein dan Steinhauster, 2008).

Produk akhir dari aktivitas metabolisme bakteri 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).

Tabel 8 memperlihatkan degradasi senyawa pada tahap asetogenesis

Tabel 8. Degradasi Senyawa pada Tahap Asetogenesis

Substrat	Reaksi
Asam Propionat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$
Asam Butirat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Asam Kapronik	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH} + 4\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 5\text{H}_2$
Karbon dioksida/ hidrogen	$2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$
Gliserin	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 3\text{H}_2 + \text{CO}_2$
Asam Laktat	$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Etanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2$

Sumber: Deublein dan Steinhauster, 2008

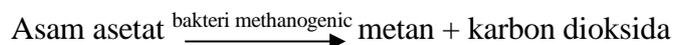
2.5.3 Asetogenesis

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

Bakteri asetogenic adalah penghasil H₂. Pembentukan asetat melalui oksidasi asam lemak rantai panjang (seperti asam propionat atau butirrat) akan berjalan sendiri dan hanya mungkin terjadi dengan tekanan hidrogen parsial yang sangat rendah. Bakteri asetogenic bisa mendapatkan energi yang diperlukan untuk kelangsungan hidup dan untuk pertumbuhan hanya pada konsentrasi H₂ yang sangat rendah. Mikroorganisme asetogenic dan methanogenic hidup dalam simbiosis yang saling memerlukan. Organisme methanogenic dapat bertahan hidup dengan tekanan hidrogen parsial yang lebih tinggi. Maka harus terus-menerus mengeluarkan produk-produk dari metabolisme bakteri asetogenic dari substrat untuk menjaga tekanan parsial hidrogen pada tingkat yang rendah sehingga cocok untuk bakteri asetogenic (Deublein dan Steinhauster, 2008).

2.5.4 Metanogenesis

Produksi metan dan karbon dioksida dilakukan oleh bakteri methanogenic. Sebanyak 70% dari metan yang terbentuk berasal dari asetat, sedangkan sisanya 30% dihasilkan dari konversi hidrogen (H) dan karbon dioksida (CO₂), menurut persamaan berikut:



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, derajat keasaman (pH), konsentrasi asam-asam lemak volatil, nutrisi (terutama nisbah karbon dan nitrogen), zat racun, waktu retensi hidrolitik, kecepatan bahan organik, dan konsentrasi ammonia. Dari berbagai penelitian yang diperoleh, dapat dirangkum beberapa kondisi optimum sebagai berikut :

Tabel 9. Kondisi optimum produksi biogas

Parameter	Kondisi optimum
Suhu	35°C
Derajat Keasaman	7-7,2
Nutrien Utama	Karbon dan Nitrogen
Nisbah Karbon dan Nitrogen	20/1 sampai 30/1
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 9 harus dikontrol dengan cermat supaya proses pencernaan anaerobik dapat berlangsung secara optimal. Sebagai contoh pada derajat keasaman (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 CO₂ sebagai produk utama. Begitu pula dengan nutrisi, apabila rasio C/N tidak dikontrol dengan cermat, maka terdapat kemungkinan adanya nitrogen berlebih (terutama dalam bentuk amonia) yang dapat menghambat pertumbuhan dan aktivitas bakteri, (Beni Hermawan, 2007).

Nilai pH

Konsentrasi ion - hidrogen merupakan kualitas parameter yang penting di dalam limbah cair. Konsentrasi pH dapat diartikan sebagai eksistensi dari kehidupan mikroba didalam limbah cair (biasanya pH diantara 6 – 9). Limbah cair mempunyai konsentrasi pH yang sulit diatur karena adanya proses pengasaman pada limbah cair. pH

mempunyai arti yang sangat penting didalam pengolahan limbah cair karena dari pH kita dapat mengetahui kondisi mikroba yang ada didalam limbah cair (Zahara, 2014). Tingkat pH memberikan pengaruh terhadap aktivitas enzim didalam mikroorganisme, setiap enzim hanya dapat aktif pada rentang pH tertentu dan mempunyai aktivitas maksimum pada pH optimal. Setiap kelompok mikroorganisme mempunyai perbedaan rentang pH optimal. *Methanogenicarchea* dapat berfungsi dalam batas interval dari 5,5 - 8,5 dengan range optimal 6,5 - 8,0. Bakteri fermentatif dapat berfungsi pada rentang yang luas dari 8,5 menurun hingga pH 4 (Zahara, 2014).

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

2.6 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 (*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). Penjagaan suhu

digester agar tetap konstan ini didukung oleh pernyataan Price dan Cheremisinoff (1981) yang menyebutkan bahwa produksi gas pada proses perombakan secara anaerobik dapat berlangsung pada kisaran suhu 4-60°C jika suhu konstan dan apabila terjadi fluktuasi suhu maka proses akan terganggu. Selanjutnya Price dan Cheremisinoff (1981) berpendapat bahwa, walaupun digester yang lama dari digester dengan suhu mesofil, namun produksi gas, kualitas, dan parameter lain dari kestabilan proses dinilai menguntungkan. Selain itu, digester dengan suhu rendah ini dapat dijadikan alternatif pembuatan biogas di daerah beriklim tropis.

Suhu tidak hanya mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk metana tetapi juga mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk asam volatile. Fluktuasi suhu dapat menguntungkan salah satu kelompok bakteri, namun merugikan bakteri kelompok lain. Contohnya, peningkatan suhu sebesar 10°C dapat menghentikan produksi metana atau aktivitas bakteri pembentuk metana selama 12 jam, sedangkan pada kondisi yang sama terjadi peningkatan asam volatil. Perubahan aktivitas pada bakteri pembentuk asam volatil akan berpengaruh pada jumlah asam organik dan alkohol yang dihasilkan pada proses fermentasi. Asam organik dan alkohol ini digunakan sebagai substrat bagi bakteri pembentuk metana, sehingga akan mempengaruhi performa dari digester (Gerardi, 2003).

2.8 Pupuk Organik Cair

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

Tiga cara umum pemberian pupuk cair menurut Zaitun (1999) sebagai berikut: (a) pemberian langsung pada tanah; (b) pemberian melalui irigasi; dan (c) penyemprotan pada tanaman. Penggunaan pupuk cair banyak digunakan berdasarkan pada alasan ekonomis dan karena kemudahannya dalam penggunaan. Kebanyakan dari pupuk organik mempunyai kandungan nutrisi yang rendah jika dibandingkan dengan

pupuk anorganik (terutama unsur N, P dan K) tetapi mempunyai efek yang menguntungkan bagi tanah diantaranya dapat memperbaiki kondisi tanah hingga tanah dapat menahan air lebih banyak dan menggemburkan tanah. Zat- zat unsur hara di dalam pupuk cair tersedia bagi tanaman, sebagian langsung dapat diserap, sebagian lagi dengan cepat dapat diurai sehingga cepat juga dapat diserap.

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

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

2.9 Unsur Nitrogen

Nitrogen (N) merupakan unsur hara makro esensial yang sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Unsur N juga merupakan salah satu unsur penyusun protein sebagai pembentuk jaringan dalam tubuh makhluk hidup, dan di dalam tanah unsur N sangat menentukan pertumbuhan tanaman. Perilaku unsur N di dalam tanah sukar untuk diperkirakan, hal ini disebabkan transformasi N di dalam tanah sangat kompleks. Lebih dari 98% N di dalam tanah tidak tersedia untuk diambil tanaman pada saat tertentu karena terakumulasi dalam bahan organik atau terjerat dalam mineral liat. Nitrogen dalam bentuk bahan organik dapat mengalami transformasi menjadi pupuk tersedia bagi tanaman (Sutanto, 2006).

Jumlah N dalam tanah sedikit sedangkan yang diangkut oleh tanaman tiap tahunnya sangat banyak. Nitrogen pada saat- saat tertentu sangat larut dan pada saat yang lain mudah hilang dalam penguapan atau sama sekali tidak tersedia bagi tanaman

(Soepardi, 1983). Suplai unsur N melalui penumpukan lebih diutamakan untuk tanaman karena N merupakan unsur yang paling banyak dihilangkan dari lahan pertanian melalui pemanenan (Goh dan Haynes, 1986).

Tanaman yang mengalami kekurangan N akan tetap kecil dan secara cepat berubah menjadi kuning, karena N yang tersedia tidak cukup untuk membentuk protein dan klorofil, oleh karena itu akibat dari kekurangan klorofil akan menyebabkan kemampuan tanaman dan produksi karbohidratnya menjadi berkurang (Jacob dan Uexkull, 1960), tetapi pemberian nitrogen secara berlebihan juga mengakibatkan pertumbuhan vegetatif yang sangat pesat, warna dan menjadi hijau tua dan tanaman dan dibutuhkan dalam jumlah relatif besar. Unsur ini berpengaruh dalam sintesis asam amino, protein, asam nukleat dan koenzim. Protein mempunyai fungsi penting dalam pertumbuhan sel vegetatif tanaman, sebagai katalisator dan pengatur metabolisme.

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 pemanasan global. Mengacu pada kondisi ini, maka dibuat modifikasi peralatan digester dengan tangki Sedimentasi berbentuk limas yang diharapkan dapat memberi keuntungan untuk dapat mengendapkan lumpur yang terkandung dalam air limbah kelapa sawit dengan cepat. Sedangkan Digester untuk tangki fermentasi dengan bentuk balok yang dapat menangkap gas metana dan mengubah air limbah tersebut menjadi lebih bermanfaat dengan sistem pengolahan secara anaerobik. Selain itu, modifikasi desain ini diharapkan mampu menjadi penerapan pada kolam air limbah industri untuk dapat menggunakan sistem kontinyu untuk memanfaatkan potensi gas metana yang ada pada air limbah industri kelapa saitt (POME) agar tidak terbuang dengan sia-sia.