

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Kelapa Sawit di Indonesia

Menurut Yan Ardila, 2014 menerangkan bahwa peningkatan produksi CPO didorong oleh ekspansi perkebunan kelapa sawit di Indonesia secara signifikan dari tahun ke tahun. Perluasan perkebunan kelapa sawit pada periode 2003-2009 berasal dari petani kecil atau pertanian rakyat dengan pertumbuhan rata-rata 7,19% per tahun. Setelah itu, diikuti oleh perusahaan swasta yang tumbuh 4,98% per tahun. Sementara itu, kepemilikan pemerintah atas perkebunan kelapa sawit menurun 0,63% per tahun dalam periode 2003-2009.

Produksi CPO nasional dapat mengalami peningkatan yang sangat signifikan, pada thn 1964 produksi sebesar 157.000 MT (Metriks Ton) dalam kurun waktu 10 tahun (tahun 1974) sudah meningkat menjadi 411.000 MT naik sebesar 162% atau rata-rata kenaikan sebesar 16,2% per tahun. Sedangkan untuk dasawarsa berikutnya produksi CPO mengalami kenaikan rata-rata 18,9% per 10 tahun, hal ini dapat dilihat dari perbandingan produksi thn 1984 sebesar 1.185.000 MT dengan produksi tahun 1974 sebesar 411.000 MT. Produksi pada tahun 1994 sebesar 4.250.000 MT atau kenaikan sebesar 3.065.000 MT selama 10 Thn atau rata-rata 306.500 MT/tahun (25,9%/thn). Produksi tahun 2004 sebesar 13.560.000 (kenaikan rata-rata 21,9%) sedangkan dibanding produksi tahun 2010 sebesar 23.600.000 MT maka terjadi kenaikan sebesar 10.040.000 MT untuk periode 6 tahun terakhir (rata-rata 12,34%/tahun).

Produksi CPO nasional dapat mengalami peningkatan yang sangat signifikan, pada thn 1964 produksi sebesar 157.000 MT dalam kurun waktu 10 tahun (thn 1974) sudah meningkat menjadi 411.000 MT naik sebesar 162% atau rata-rata kenaikan sebesar 16,2% per tahun. Sedangkan untuk dasawarsa berikutnya produksi CPO mengalami kenaikan rata-rata 18,9% per 10 tahun, hal ini dapat dilihat dari perbandingan produksi thn 1984 sebesar 1.185.000 MT dengan produksi tahun 1974 sebesar 411.000 MT. Produksi pada thn 1994 sebesar 4.250.000 MT atau kenaikan sebesar 3.065.000 MT selama 10 Thn atau rata-rata

306.500 MT/tahun (25,9%/thn). Produksi tahun 2004 sebesar 13.560.000 (kenaikan rata-rata 21,9%) sedangkan dibanding produksi tahun 2010 sebesar 23.600.000 MT maka terjadi kenaikan sebesar 10.040.000 MT untuk periode 6 tahun terakhir (rata-rata 12,34%/tahun).

Adapun data produksi CPO Indonesia dari tahun 1964 sampai dengan tahun 2010 ditabulasikan dalam tabel berikut :

Tabel 1. Produksi CPO dan Pertumbuhan

Tahun Produksi	Produksi (1000 MT)	Pertumbuhan (%)
1980	752	7,12%
1981	884	17,55%
1982	983	11,20%
1983	1150	16,99%
1984	1185	3,04%
1985	1280	8,02%
1986	1300	1,56%
1987	1370	5,38%
1988	1700	24,09%
1989	2250	32,35%
1990	2650	17,78%
1991	2750	3,77%
1992	3250	18,18%
1993	3900	20,00%
1994	4250	8,97%
1995	4850	14,12%
1996	5385	11,03%
1997	5000	-7,15%
1998	5800	16,00%
1999	7200	24,14%
2000	8300	15,28%
2001	9200	10,84%
2002	10300	11,96%
2003	11970	16,21%
2004	13560	13,28%
2005	15560	14,75%
2006	16600	6,68%
2007	18000	8,43%
2008	20500	13,89%
2009	22000	7,32%
2010	23600	7,27%
2011	25400	7,63%

Sumber: Yan Ardila, 2014.

2.2 Pengolahan Minyak Kelapa Sawit

Buah kelapa sawit terdiri atas sabut, tempurung, dan inti atau kernel. Pengolahan tandan buah segar sampai diperoleh minyak sawit kasar (CPO = *crude palm oil*) dan inti sawit dilaksanakan melalui proses yang cukup panjang.

Tahapan produksi minyak kelapa sawit secara berurutan terdiri atas pengangkutan buah ke pabrik, perebusan buah (sterilisasi), pelepasan buah dari tandan (striping), pelumatan buah (digesting), pengeluaran minyak (pengepresan), penyaringan, pemurnian dan penjernihan minyak (klarifikasi), dan pengolahan biji (Winarno 1999 ; Agustine 2011).

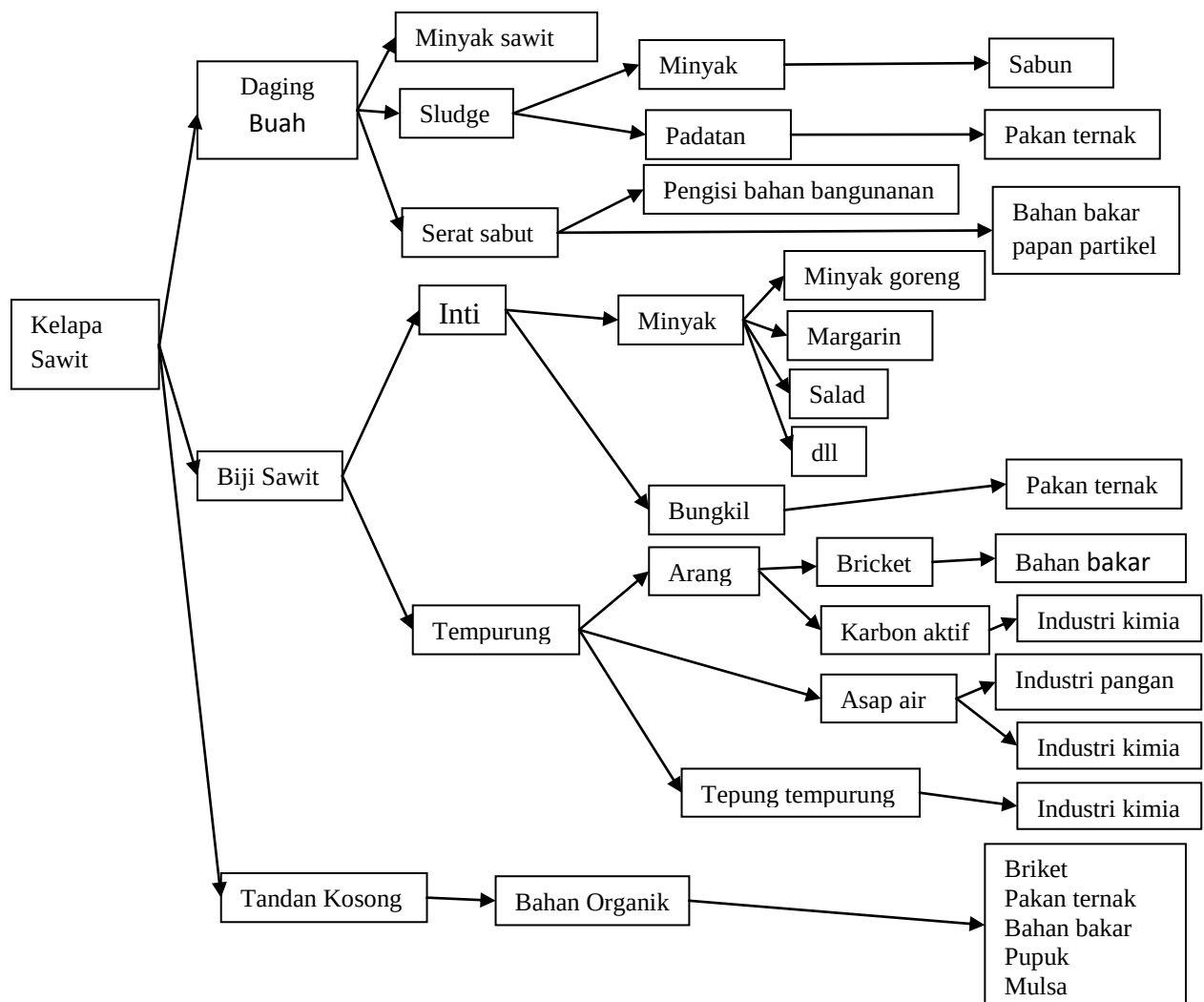
Minyak kelapa sawit mentah diturunkan dari *mesocarpus* tandan buah segar (TBS). Pemanasan (steam-heat) TBS dilakukan menggunakan sterilizers horizontal pada tekanan 3 kg/cm² dan suhu 140°C selama 75-90 menit (Lang, 2007). Setelah dilakukan sterilisasi, TBS dimasukkan ke dalam *rotary drum-stripper* (thresher) dimana TBS dipisahkan dari spikelet (tandan kosong). Tandan buah segar kemudian dilumatkan dalam digester di bawah kondisi pemanasan uap dengan kisaran suhu 90°C. Baling-baling kembar penekan (twin screw presses) biasanya digunakan untuk mengeluarkan minyak dari buah yang telah dilumatkan di bawah tekanan tinggi. Proses ekstraksi minyak yang tidak lengkap dapat meningkatkan *effluent chemical oxygen demand* (COD). Minyak kelapa sawit mentah secara langsung dibawa ke tangki pemurni (clarification tank) dan suhu dipertahankan sekitar 90°C untuk memperbesar pemisahan minyak. Minyak yang sudah dimurnikan selanjutnya dilewatkan melalui pemusing (centrifuge) berkecepatan tinggi dan vakum pengering (vacuum dryer) sebelum penyimpanan. Minyak berserat dan biji dari pengepresan (press cake) dibawa ke pemisah biji dan serat dengan arus udara kuat disebabkan oleh kipas penghisap (suction fan). Kemudian, biji dibawa ke *nut cracker* dan selanjutnya ke *hydrocyclone* untuk memisahkan cangkang dari kernel. Kernel tersebut dikeringkan sampai kelembabannya di bawah 7% untuk mencegah pertumbuhan kapang sehingga dapat memperpanjang waktu simpan (Lang, 2007).

Limbah cair pabrik kelapa sawit merupakan limbah terbesar yang dihasilkan dari proses produksi minyak kelapa sawit (Apriani, 2009). Rata-rata

pabrik minyak kelapa sawit mengolah setiap ton TBS menjadi 200-250 kg minyak mentah, 230-250 kg tandan kosong kelapa sawit (TKKS), 130-150 kg serat, 60-65 kg cangkang, 55-60 kg kernel, dan air limbah 0,7 m³ (Yuliasari *et al.* 2001).

2.3 Limbah Kelapa Sawit

Secara umum limbah kelapa sawit terbagi atas dua jenis yaitu limbah padat dan limbah cair. Jenis limbah kelapa sawit pada generasi pertama adalah limbah padat yang terdiri dari tandan kosong, pelepah, cangkang dan lain-lain. Sedangkan limbah cair terjadi pada in house keeping. Limbah padat dan limbah cair pada generasi berikutnya terdapat pada gambar berikut :



Sumber: Departemen Pertanian (2006)

Gambar 1. Pohon Industri Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit

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 tahap proses, yaitu :

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

2.3.1 *Palm Oil Mill Effluent (POME)*

Palm oil mill effluent 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. Pengelolaan limbah pabrik dan lingkungan, ruang lingkupnya meliputi pengendalian proses pengolahan dan sanitasi pabrik (in-plant dan house keeping) serta system pengendalian limbah termasuk pengoperasian, pemeliharaan dan pemantauan IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) dan lingkungan serta pemanfaatan air limbah. Karakteristik POME dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik *Palm Oil Mill Effluent* (POME) Tanpa Perlakuan

Parameter	Konsentrasi *
pH	4,7
Temperatur	80-90
BOD 3 hari, 30°C	25000
COD	50000
Total Solids	40500
Suspended Solids	18000
Total Volatile Solids	34000
Ammonical-Nitrogen	35
Total Nitogen	750
Phosporus	18
Potassium	2270
Magenesium	615
Kalsium	439
Boron	7,6
Iron	46,5
Manganase	2,0
Copper	0,89
Zinc	2,3

*Seluruh parameter dalam mg/l kecuali pH dan temperatur (°C)

Sumber : Lang, 2007.

Limbah cair industri pengolahan kelapa sawit yang akan ditinjau lebih lanjut mempunyai potensi untuk mencemarkan lingkungan karena mengandung parameter bermakna yang cukup tinggi. Dimana golongan parameter yang dapat digunakan sebagai tolak ukur penilaian kualitas air adalah sebagai berikut:

- COD (Chemical Oxigen Demand) adalah kebutuhan oksigen kimiawi disingkat KOK, adalah jumlah miligram oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik dan zat anorganik (merombak secara kimia) dalam satu liter pada kondisi tertentu. Jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam reaksi oksidasi dapat dihitung berdasarkan kebutuhan dalam reaksi.
- BOD (Biological Oxugen Demand) atau disebut KOB (Kebutuhan Oksigen Biokimia), adalah jumlah miligram oksigen terlarut yang dibutuhkan mikro

organisme (terutama bakteri saprofit) untuk menggunakan zat organik secara biokimia dalam satu liter pada kondisi tertentu. Cara Uji coba KOB, dasarnya penentuan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroba dapat diketahui dari selisih pengukuran oksigen terlarut sebelum dan sesudah inkubasi.

- pH adalah derajat keasaman limbah yang merupakan parameter kondisi limbah.
- Alkalinitas adalah tingkat kealkalian dari limbah yang disebabkan oleh garam CaCO_3 atau garam alkali tanah lainnya.
- Total Solid (Padatan Total) : Jumlah padatan yang terkandung dalam limbah yang terdiri dari padatan melayang dan padatan mengendap.
- Suspended Solid (Padatan Melayang) : zat-zat yang terdapat dalam cairan yang sifatnya melayang dan stabil. Padatan Melayang dapat ditetapkan dengan cara penimbangan residu hasil penguapan.
- Penetapan Kadar Minyak. Lemak dan gemuk yang terdapat dalam minyak ialah lipida yang berasal dari nabati maupun minyak bumi yang digunakan dalam proses pengolahan.
- Asam lemak mudah menguap (VFA) adalah asam-asam yang dapat menguap pada suhu air mendidih.
- Nitrogen total (N-NH_3) adalah kandungan senyawa N dalam air limbah, baik sebagai garam, asam amino, protein, dan N bebas. Kandungan Nitrogen total dapat ditetapkan berdasarkan perombakan senyawa yang mengandung N dengan destruksi dan dipisahkan dengan cara distilasi.
- Penetapan N-NH_3
- NH_3 terdapat dalam air limbah keadaan bebas yang berbentuk NH_4OH dan garam organik yang mudah berurai menjadi NH_3 .

2.3.2 Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

1. Spesifikasi Limbah Cair

- 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 adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Spesifikasi Limbah Cair Mentah

No.	Parameter	Satuan	Kisaran
1.	BOD	mg/l (ppm)	20.000 – 30.000
2.	COD	mg/l (ppm)	40.000 – 60.000
3.	Suspended Solid	mg/l (ppm)	15.000 – 40.000
4.	Total Solid	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.Mitra Ogan, 2015.

- Spesifikasi Limbah Cair Untuk Land Application (Aplikasi Lahan)

Mutu limbah cair setelah mengalami proses pengolahan di kolam pendingin, kolam pengasaman dan kolam anaerobic 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 4. Spesifikasi Limbah Cair Untuk *Land Application* (Aplikasi Lahan)

No.	Parameter	Satuan	Kisaran
1.	BOD	mg/l	3000 – 5000
2.	Minyak dan lemak	mg/l	< 600
3.	pH	mg/l	> 6,0

Sumber : PT. Mitra Ogan, 2015

2. Baku Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Limbah cair yang akan dibuang ke badan penerima harus memenuhi baku mutu limbah yang dipersyaratkan oleh Peraturan Pemerintah yang berlaku (Kep. MENLH NO. Kep-51/MENLH/10/1995 tanggal 23 Oktober 1995 antara lain sebagai berikut :

Tabel 5. Baku Mutu Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

No.	Parameter	Kadar (mg/l)	Maximum	Badan Pencemaran maximum 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		
7.	Debit limbah maksimum	2,5 m ³ /ton produk minyak (CPO)		

Sumber : PT. Mitra Ogan, 2015

3. Prosedur Pengolahan Limbah Cair

Prosedur pengolahan limbah cair kelapa sawit ini diambil dari PT. Mitra Ogan, 2015. Proses pengolahan limbah cair kelapa sawit diolah menggunakan *pond*. Prosedur pengolahan limbah cair ini meliputi :

- Pendinginan

Limbah cair yang telah dikutip minyaknya pada oil trap (fat pit) mempunyai karakteristik pH 4 – 4,5 ; suhu 60 – 80 °C sebelum limbah dialirkan ke kolam pengasaman (acidification pond) suhunya diturunkan menjadi 40 – 45 °C agar bakteri mesophilik dapat berkembang dengan baik. Proses pendinginan ini dilakukan didalam *cooling pond* dapat dilihat pada gambar.



Gambar 2. *Cooling Pond*

- Pengasaman

Setelah dari kolam pendingin limbah akan mengalir ke kolam pengasaman yang lebih berfungsi sebagai proses pra kondisi bagi limbah sebelum masuk ke kolam anaerobic. Pada kolam ini, limbah akan dirombak menjadi VFA (*Volatile Fatty Acid*). Kolam pengasaman dilampirkan dalam bentuk gambar berikut :



Gambar 3. *Accidification Pond*

- Resirkulasi

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

- Pembiakan Bakteri

Bakteri yang akan digunakan dalam proses anaerobic pada awalnya dipelihara dalam suatu tempat yang bertujuan untuk memulai pembiakan bakteri. Di dalam pembiakan awal perlu ditambahkan nutrisi yang merupakan sumber energi dalam metabolisme bakteri seperti urea, phosphate dan limbah yang telah diencerkan. Setelah bakteri menunjukkan perkembangan dengan indikasi timbulnya gelembung-gelembung gas (biasanya 2 – 4 hari), bakteri tersebut dimasukkan ke kolam pembiakan yang sebelumnya telah diisi dengan limbah matang (telah melalui proses pengasaman dan netralisasi dengan $\text{pH} > 7$) dan selanjutnya dialirkan ke kolam anaerobic.

- Proses Anaerobik

Dari kolam pengasaman limbah akan mengalir ke kolam anaerobic primer. Karena pH dari kolam pengasaman masih rendah, maka limbah harus dinetralkan dengan cara mencampurkannya dengan limbah keluaran (pipa outlet) dari kolam anaerobic. Bersamaan dengan ini, bakteri anaerobic yang aktif akan membentuk asam organik dan CO_2 . Selanjutnya bakteri metana (Metanogenic Bacteria) akan merubah asam organik menjadi methane dan CO_2 . BOD limbah pada kolam anaerobic primer masih cukup tinggi maka limbah diproses lebih lanjut pada kolam anaerobic sekunder. Kolam anaerobic sekunder dikatakan beroperasi dengan baik jika setiap saat nilai parameter utamanya berada pada tetapan di bawah ini :

pH 6 – 8

VFA < 300 mg/l

Alkalinitas > 2000 mg/l

BOD limbah setelah keluar dari kolam anaerobic sekunder maksimum 3500 mg/l dan minimal pH 6.

Proses Anaerobik ini dapat dilihat pada gambar.



Gambar 4. *Anaerob Pond*

- Proses Fakultatif

Proses yang terjadi pada kolam ini adalah proses penon-aktifan bakteri anaerobic dan prakondisi proses aerobik. Aktivitas ini dapat diketahui dengan

indikasi pada permukaan kolam tidak dijumpai scum dan cairan tampak kehijau-hijauan. Proses fakultatif ini dilakukan didalam sedimentasi *pond* yang terlihat pada gambar berikut :



Gambar 5. Sedimentasi *Pond*

- Proses Aerobik

Proses yang terjadi pada kolam aerobik adalah proses aerobik. Pada kolam ini telah tumbuh ganggang dan mikroba heterotrof yang berbentuk flocs. Hal ini merupakan proses penyediaan oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba dalam kolam. Metode pengadaan oksigen dapat dilakukan secara alami dan atau menggunakan aerator.



Gambar 6. Aerob *Pond*

- Masa Tinggal

Dari seluruh rangkaian proses tersebut di atas, masa tinggal limbah selama proses berlangsung mulai kolam pendingin sampai air dibuang ke badan penerima

membutuhkan waktu masa tinggal selama lebih kurang 120-150 hari.

2.4 Kotoran Sapi

Kotoran ternak merupakan bahan baku potensial dalam pembuatan biogas karena mengandung pati dan lignoselulosa (Deublein *et al.*, 200) Kotoran ternak dapat 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.

Peternak sapi di Indonesia rata-rata memiliki 2-5 ekor sapi dengan lokasi yang tersebar. Sapi yang mempunyai bobot badan 450 kg menghasilkan limbah berupa kotoran dan urine kurang lebih 25 kg per ekor. Limbah ternak sapi perah terdiri atas limbah padat, limbah cair, dan limbah gas. Penanganan limbah yang baik sangat penting karena dapat memperkecil dampak negatif lingkungan, seperti polusi tanah, air, udara dan penyakit menular (Wahyuni, 2013).

Kotoran sapi adalah biomassa yang mengandung karbohidrat, protein, dan lemak. Drapcho *et al.* (2008); Agustine (2011) menjelaskan bahwa 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 *et al.*, 2008 ; Agustine, 2011).

Kotoran sapi adalah limbah dari usaha peternakan sapi yang bersifat padat dan dalam proses pembuangannya sering bercampur dengan urin dan gas, seperti metana dan amoniak. Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada keadaan tingkat produksinya, jenis, jumlah konsumsi pakan, serta individu ternak sendiri (Abdulgani, 1988 ; Agustine, 2011). Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi, terdiri atas nitrogen (0,29%), P₂O₅ (0,17%), dan K₂O (0,35%)

(Hardjowigeno, 2003). Kotoran sapi yang tinggi kandungan hara dan energinya berpotensi untuk dijadikan bahan baku penghasil biogas (Sucipto, 2009).

2.5 Biogas

Biogas merupakan salah satu produk hasil biokonversi dari bahan organik. Biokonversi adalah sebuah proses yang mampu mengubah bahan organik menjadi produk lain yang berguna dan memiliki nilai tambah dengan memanfaatkan proses biologis dari mikroorganisme dan enzim (Hardjo et al., 1989; Agustine 2011). Sedangkan, biogas menurut Sahidu (1983) ; Agustine, 2011 adalah bahan bakar gas yang dihasilkan dari suatu proses fermentasi bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen. Bahan bakar ini diproses dalam kondisi anaerob sehingga menghasilkan metana (CH_4) dengan kadar dominan dan karbondioksida (CO_2).

Komposisi biogas yang dihasilkan terdiri atas metana (50-70%), karbondioksida (25-45%), hidrogen, nitrogen, dan hidrogen sulfida dalam jumlah yang sedikit (Price dan Cheremisinoff, 1981). Polprasert (1980), juga mengemukakan bahwa komposisi biogas terdiri atas metana (55-65%) dan karbondioksida (45-35%) yang merupakan komponen gas dominan, serta nitrogen (0-3%), hidrogen (0-1%), hidrogen sulfida (0- 1%), dan unsur NPK serta mineral lainnya yang terakumulasi dalam *sludge*. Sedangkan, komposisi gas penyusun biogas yang terdiri atas campuran kotoran ternak dan sisa pertanian dapat dilihat pada Tabel 3 berikut :

Tabel 6. Komposisi Biogas

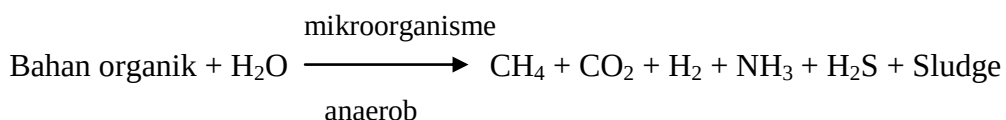
No	Jenis Gas	Komposisi Biogas	
		Kotoran Sapi	Campuran Kotoran Ternak dan Sisa Pertanian
1	Metana (CH_4)	65,7	54-70
2	Karbon dioksida	27,0	45-27
3	Nitrogen	2,3	0,5-3,0
4	Karbon Monoksida	0,0	0,1
5	Oksigen	01	6,0
6	Propana (C_3H_8)	0,7	-
7	Hidrogen Sulfida	-	Sedikit

Sumber : Agustin, 2011

Biogas kira-kira memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan dengan udara. Biogas memiliki suhu pembakaran 650-750°C. Biogas tidak berbau dan berwarna. Apabila dibakar, akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG. Gas metana (CH₄) termasuk gas yang menimbulkan efek rumah kaca yang menyebabkan terjadinya fenomena pemanasan global. Hal ini karena gas metana memiliki dampak 21 kali lebih tinggi dibandingkan gas karbondioksida (CO₂). Pengurangan gas metana secara lokal dapat berperan positif dalam upaya mengatasi masalah global, terutama efek rumah kaca yang berakibat pada perubahan iklim global (Wahyuni, 2013).

2.5.1 Proses Pembentukan Biogas

Fauziah (1998) menyebutkan bahwa 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 dapat dilihat pada reaksi berikut :



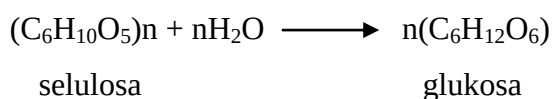
Dalam pembuatan biogas, komposisi bahan baku feses, air dan rumen (starter) harus seimbang agar menghasilkan biogas yang maksimal. Jika perbandingan tidak seimbang, misal rumen lebih banyak dari feses dan air, maka biogas yang dihasilkan sedikit, karena pada campuran bahan baku ini hanya ada sumber bakteri saja tanpa adanya substrat, sehingga bakteri akan kekurangan makanan dan menjadi tidak produktif. Starter yang bisa digunakan antara lain lumpur aktif dan rumen sapi. (Saputro, R.R , 2004).

Pembentukan biogas secara biologis dengan memanfaatkan sejumlah mikroorganisme anaerob meliputi tiga tahap, yaitu tahap hidrolisis (tahap pelarutan), Tahap asidogenesis (tahap pengasaman), dan tahap metanogenesis (tahap pembentukan gas metana).

1. Tahap Hidrolisis (Tahap Pelarutan)

Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti glukosa. Bakteri berperan mendekomposisi rantai panjang karbohidrat, protein dan lemak menjadi bagian yang lebih pendek. Sebagai contoh, polisakarida diubah menjadi monosakarida. Tahap pelarutan berlangsung pada suhu 25°C di digester.

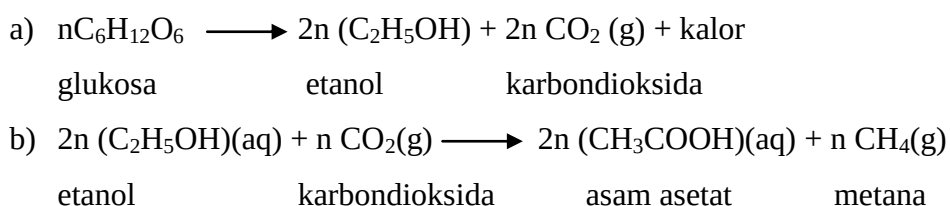
Reaksi :



2. Tahap Asidogenesis (Tahap Pengasaman)

Pada tahap ini, bakteri asam menghasilkan asam asetat dalam suasana anaerob. Tahap ini berlangsung pada suhu 25°C di digester. Bakteri akan menghasilkan asam yang akan berfungsi untuk mengubah senyawa pendek hasil hidrolisis menjadi asam organik sederhana seperti asam asetat, H₂ dan CO₂, karena itu bakteri ini disebut pula bakteri penghasil asam (acidogen). Bakteri ini merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh pada keadaan asam. Untuk menghasilkan asam asetat, bakteri tersebut memerlukan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan.

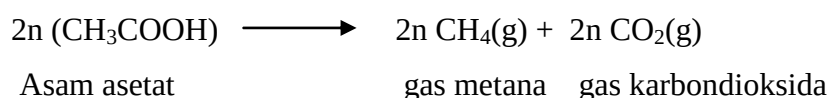
Reaksi:



3. Tahap Metanogenesis (Tahap Pembentukan Gas Metana)

Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu 25°C di dalam digester. Pada proses ini akan dihasilkan 70% CH₄, 30% CO₂, sedikit H₂ dan H₂S.

Reaksi:



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 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

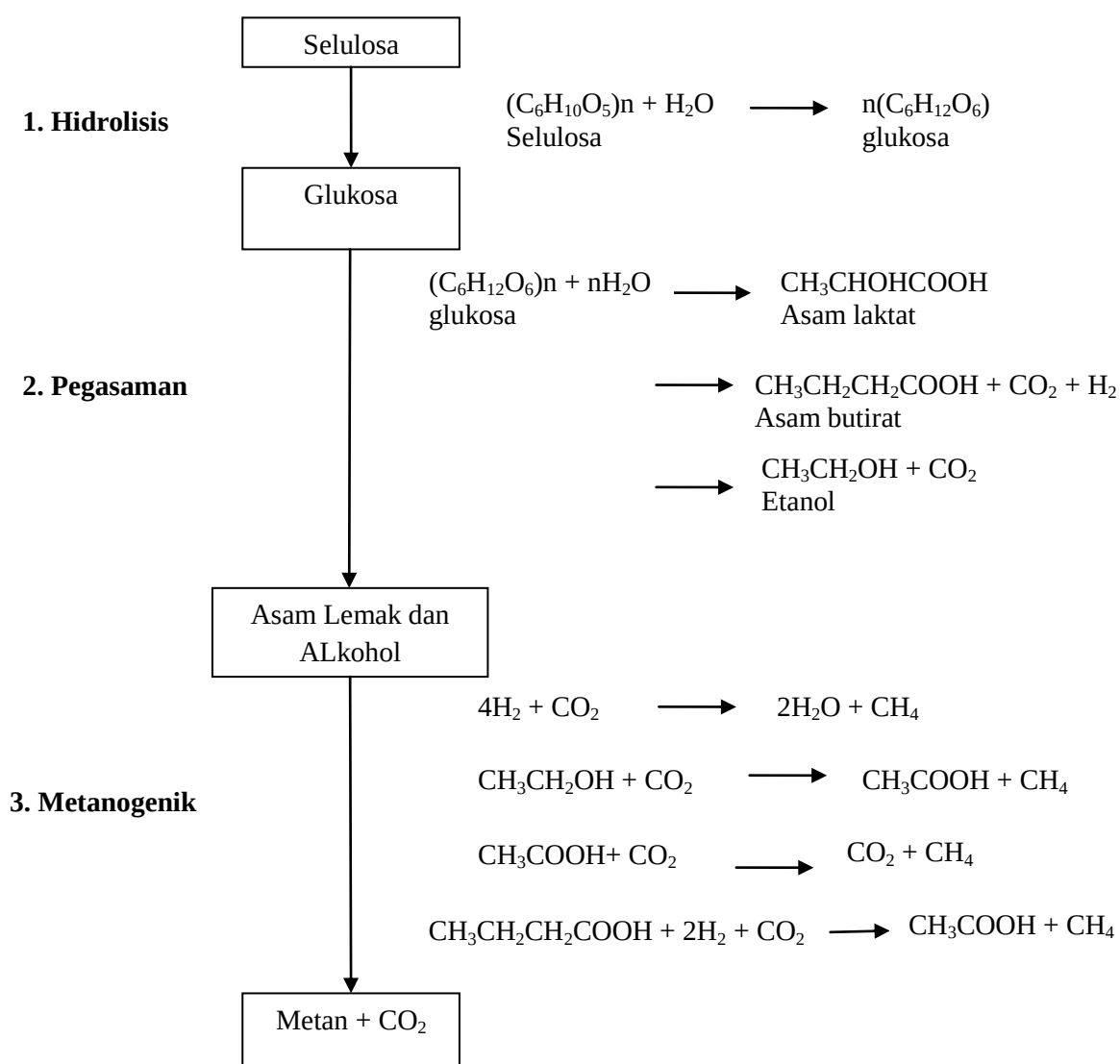
Parameter	Kondisi optimum
Suhu	35°C
Derajat Keasaman	7-7,2
Nutrien Utama	Karbon dan Nitrogen
Nisbah Karbon dan Nitrogen	20/1 sampai 30/1
Sulfida	< 200 mg/L
Logam-logam Berat Terlarut	< 1 mg/L
Sodium	< 5000 mg/L
Kalsium	< 2000 mg/L
Magnesium	< 1200 mg/L
Ammonia	< 1700 mg/L

Sumber : Jati,2014

Parameter-parameter ini 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).

Proses pembentukan biogas ini memerlukan instalasi khusus yang disebut digester agar perombakan secara anaerob dapat berlangsung dengan baik. Barnett *et al.* (1978) menyatakan bahwa terdapat tiga keuntungan dari instalasi penghasil biogas, yaitu : (1) penggunaan bahan bakar lebih efisien, (2) menambah nilai pupuk, dan (3) menyelamatkan 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). Biogas terbentuk dari perombakan bahan organik kompleks. Bahan ini akan mengalami perombakan secara anaerob melalui empat tahap. Tahapan tersebut dapat dilihat secara lengkap pada gambar berikut :



Sumber : Wahyuni, 2013

Gambar 7. Tahapan Pembentukan Biogas

Keuntungan utama yang diperoleh dari fermentasi anaerob bahan organik buangan adalah konservasi. Kurang lebih 99% nitrogen masih terdapat di dalam lumpur (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 Reaktor Biogas (Digester)

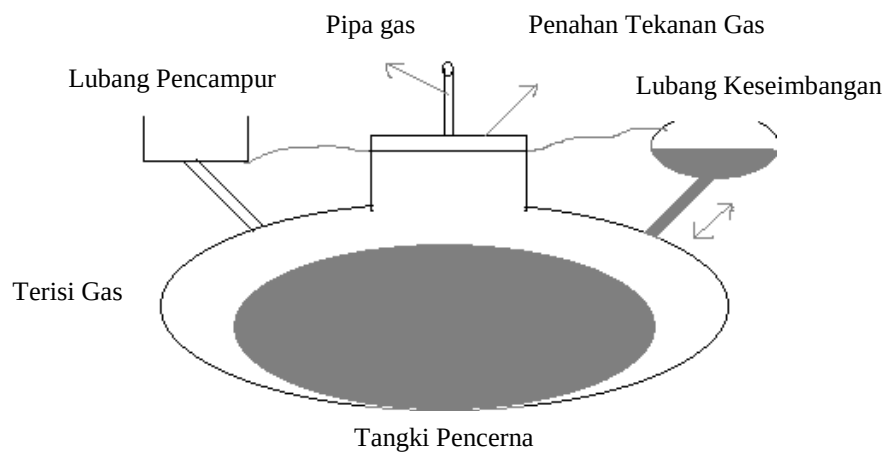
Reaktor biogas (digester) di Indonesia sudah dikembangkan di berbagai daerah. Adapun pada prinsipnya terdapat empat tipe digester yang dikembangkan yaitu sebagai berikut :

1. Reaktor Kubah Tetap (*Fixed-Dome*)

Reaktor ini dibuat pertama kali di Cina sekitar tahun 1930-an, kemudian sejak saat itu reaktor ini berkembang dengan berbagai model. Reaktor ini memiliki dua bagian. Bagian pertama adalah digester sebagai tempat pencernaan material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam maupun bakteri pembentuk gas metana (Jati,2014).

Reaktor tipe ini memiliki dua bagian, yaitu digester sebagai tempat pencernaan material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam maupun bakteri pembentuk gas metana. Dinamakan kubah tetap karena bentuknya menyerupai kubah dan bagian ini merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (*fixed*) (Wahyuni,2013).

Kelebihan dari reaktor ini adalah biaya konstruksi lebih murah daripada menggunakan reaktor terapung karena tidak memiliki bagian bergerak yang menggunakan besi. Sedangkan kekurangan dari reaktor ini adalah seringnya terjadi kehilangan gas pada bagian kubah karena konstruksi tetapnya (Jati,2014). Reaktor kubah tetap ini dapat digambarkan sebagai berikut :



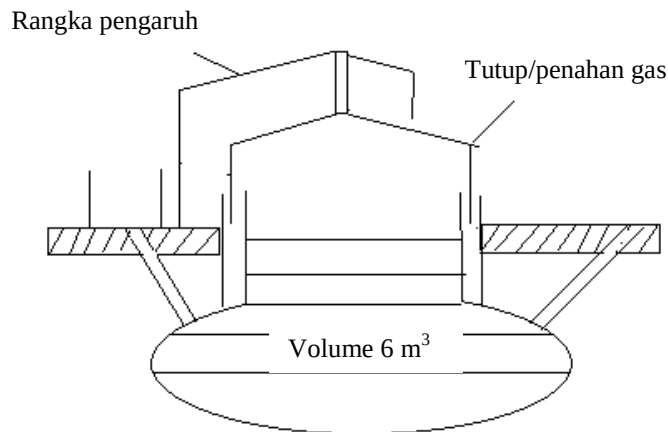
Sumber : Jati, 2014

Gambar 8. Reaktor Kubah Tetap (*Fixed Dome*)

2. Reaktor Terapung (*Floating Drum Reactor*)

Reaktor jenis terapung pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937. Reaktor ini memiliki bagian digester yang sama dengan reaktor kubah-tetap. Perbedaannya terletak pada bagian penampung gas yang menggunakan drum yang bergerak. Drum ini dapat bergerak naik-turun yang berfungsi untuk menyimpan gas (Jati,2014).

Pergerakan drum mengapung pada cairan dan tergantung dari jumlah gas yang dihasilkan. Kelebihan dari reaktor ini adalah dapat melihat secara langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya. Karena tempat penyimpanannya yang terapung maka tekanan gas konstan. Sedangkan kekurangannya adalah biaya material konstruksi dari drum lebih mahal. Faktor korosi pada drum juga menjadi masalah sehingga bagian pengumpul gas pada reaktor ini memiliki umur yang lebih pendek dibandingkan tipe kubah tetap (Jati,2014). Reaktor terapung ini dapat digambarkan sebagai berikut :

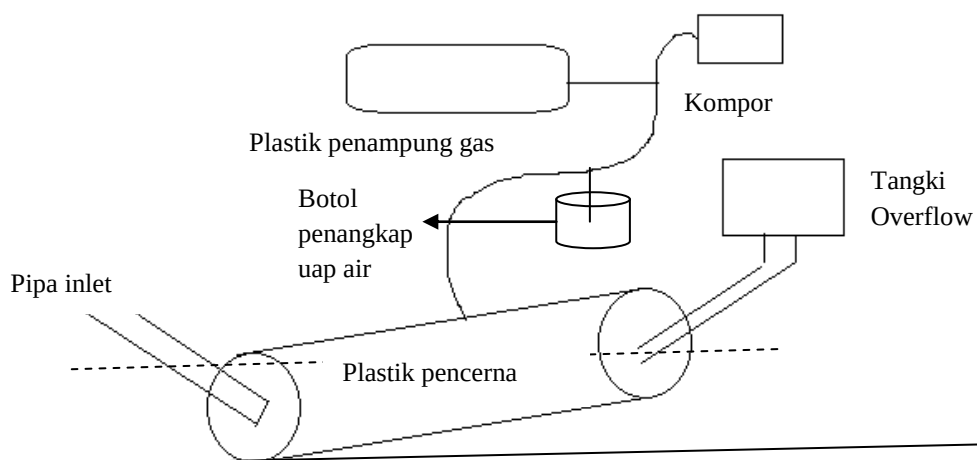


Sumber : Jati,2014

Gambar 9. Reaktor Reaktor Terapung (*Floating Drum Reactor*)

3. Reaktor Balon (*Ballon Reactor*)

Reaktor balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Reaktor ini terdiri dari bagian yang berfungsi sebagai digester dan bagian penyimpan gas yang berhubungan tanpa sekat. Material organik terletak di bagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas (Jati,2014). Kelemahan reaktor ini adalah muda bocor, tetapi kelebihanannya adalah harganya murah (Wahyuni,2013). Reaktor balon ini dapat digambar sebagai berikut :



Sumber : Jati,2014

Gambar 9. Reaktor Balon (*Ballon Reactor*)

4. Reaktor *Fiberglass*

Reaktor bahan *fiberglass* merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah dan skala industri. Reaktor ini menggunakan *fiberglass* sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Reaktor dari bahan *fiberglass* ini sangat efisien karena kedap, ringan, dan kuat. Jika terjadi kebocoran, mudah diperbaiki atau dibentuk kembali seperti semula dan lebih efisien. Reaktor dapat dipindahkan sewaktu-waktu jika peternak sudah tidak menggunakannya lagi (Jati, 2014).

2.6.1 Tipe Reaktor Biodigester

Ditinjau dari cara operasionalnya, digester dibagi menjadi dua tipe, yaitu :

1. Tipe *Batch Digestion*

Pada tipe ini bahan baku dimasukkan ke dalam digester, kemudian dibiarkan bereaksi selama 6 - 8 minggu. Biogas yang dihasilkan ditampung dan disimpan dalam penampung gas. Setelah itu digester dikosongkan dan dibersihkan sehingga siap untuk dipakai lagi. Kelebihan tipe ini adalah kualitas hasilnya bisa lebih stabil karena tidak ada gangguan selama reaksi berjalan. Namun untuk skala industri, tipe ini tidak efektif dan mahal karena membutuhkan minimal dua buah digester yang dipakai bergantian agar dapat memproduksi biogas secara kontinyu (Jati, 2014).

2. Tipe *Continuous Digestion*

Pada tipe ini proses pemasukan bahan baku dan pengeluaran *slurry* sisa proses dilakukan secara berkala. Jumlah material yang masuk dan keluar harus diatur secara seimbang sehingga jumlah material yang ada di dalam digester selalu tetap. Kekurangan dari tipe ini adalah membutuhkan pengoperasian dan pengawasan yang lebih ketat agar reaksi selalu berjalan dengan baik. Namun untuk skala industri, tipe ini lebih mudah untuk dimaksimalkan hasilnya dan lebih murah karena hanya membutuhkan satu buah digester untuk menghasilkan biogas secara kontinyu (Jati, 2014).

2.7 Hal-Hal yang Harus Diperhatikan pada Fermentasi

Keberhasilan proses pencernaan dalam digester sangat ditentukan oleh desain dan pengaturan digester pengoperasian digester yaitu :

1. Pengadukan

Proses pengadukan akan sangat menguntungkan karena apabila tidak diaduk solid akan mengendap pada dasar tangki dan akan terbentuk busa pada permukaan yang akan menyulitkan keluarnya gas. Masalah tersebut terjadi lebih besar pada proses yang menggunakan bahan baku limbah sayuran dibandingkan yang menggunakan kotoran ternak . Pada sistem kontinyu masalah ini lebih kecil karena pada saat bahan baku dimasukkan akan memecahkan busa pada permukaan seolah-olah terjadi pengadukan. Pada digester yang berlokasi di Eropa dimana pemanasan diperlukan jika proses dilakukan pada musim dingin, sirkulasi udara juga merupakan proses pengadukan (Haryati, 2006).

2. Kontrol temperatur

Pada daerah panas, penggunaan atap akan membantu agar temperatur berada pada kondisi yang ideal, tetapi pada daerah dingin akan menyebabkan masalah. Langkah yang umumnya diambil yaitu dengan melapisi tangki dengan tumpukan jerami atau serutan kayu dengan ketebalan 50 sampai 100 cm, lalu dilapisi dengan bungkus tahan air, jika masih kurang maka digunakan koil pemanas . Temperatur digester yang tinggi akan lebih rentan terhadap kerusakan karena fluktuasi temperatur, untuk itu diperlukan pemeliharaan yang seksama (Haryati, 2006).

3. Koleksi gas

Untuk mengkoleksi biogas yang dihasilkan dipergunakan drum yang dipasang terbalik, drum harus dapat bergerak sehingga dapat disesuaikan dengan volume gas yang diperlukan.

Biogas akan mengalir melalui lubang kecil di atas drum. Digunakan valve searah untuk mencegah masuknya udara luar ke dalam tangki digester yang akan merusak aktivitas bakteri dan memungkinkan terjadinya ledakan di dalam drum. Pada instalasi yang besar diperlukan kontrol pengukuran berat dan tekanan yang baik (Haryati, 2006).

4. Posisi digester

Digester biogas yang dibangun di atas permukaan tanah harus terbuat dari baja untuk menahan tekanan, sedangkan yang dibangun di bawah tanah umumnya lebih sederhana dan murah. Akan tetapi dari segi pemeliharaan, digester di atas permukaan akan lebih mudah dan digester dapat ditutup lapisan hitam yang berfungsi untuk menangkap panas matahari (Haryati, 2006).

5. Waktu retensi

Faktor lain yang perlu diperhatikan yaitu waktu retensi, faktor ini sangat dipengaruhi oleh temperatur, pengenceran, laju pepaduan bahan dan lain sebagainya. Pada temperatur yang tinggi laju fermentasi berlangsung dengan cepat, dan memirunkan waktu proses yang diperlukan. Pada kondisi normal fermentasi kotoran berlangsung antara dua sampai empat minggu (Haryati, 2006).