

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit

Air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) adalah air limbah dari pabrik minyak kelapa sawit yang berasal dari unit proses sterilisasi, klarifikasi, *hydrocyclone* (*claybath*), dan air pencucian pabrik. ALPKS mengandung berbagai senyawa terlarut dan tidak terlarut termasuk serat-serat pendek, hemiselulosa dan turunannya, protein, asam organik bebas dan campuran mineral-mineral. Karakteristik ALPKS secara umum disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik ALPKS secara umum.

| Parameter | satuan | rata-rata |
|----------------------|---------------|------------------|
| pH | - | 4,7 |
| Minyak | mg/l | 4.000 |
| BOD | mg/l | 25.000 |
| COD | mg/l | 50.000 |
| Total Solid | mg/l | 40.500 |
| Suspended Solid | mg/l | 18.000 |
| Total Volatile Solid | mg/l | 34.000 |
| Total Nitrogen | mg/l | 750 |
| Mineral | | rata-rata |
| Kalium | mg/l | 2.270 |
| Magnesium | mg/l | 615 |
| Kalsium | mg/l | 439 |
| Besi | mg/l | 46,5 |
| Tembaga | mg/l | 0,89 |

Sumber :Ngan (2000) dalam Fatimah (2012)

Air limbah dari pabrik minyak kelapa sawit umumnya bersuhu tinggi 70-80^o C, berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan BOD (*biological oxygen demand*) dan COD (*chemical oxygen demand*) yang tinggi. Air limbah PKS apabila langsung dibuang ke perairan, maka sebagian akan mengendap, terurai secara perlahan, mengkonsumsi oksigen terlarut, menimbulkan kekeruhan, mengeluarkan bau yang tidak sedap dan dapat merusak ekosistem perairan. Sebelum air limbah dibuang ke lingkungan harus diolah terlebih dahulu agar memenuhi baku mutu limbah yang telah ditetapkan. Baku mutu air limbah industri minyak kelapa sawit berdasarkan Peraturan Gubernur Provinsi Lampung No.7 tahun 2010 disajikan pada Tabel. 2

Tabel 2. Baku mutu air limbah industri minyak kelapa sawit

| Parameter | Kadar maksimum (mg/l) | Beban pencemaran maksimum (Kg/ton) |
|----------------------------|--|------------------------------------|
| BOD ₅ | 100 | 0,25 |
| COD | 350 | 0,88 |
| TSS | 250 | 0,63 |
| Minyak dan lemak | 25 | 0,063 |
| Nitrogen total (sebagai N) | 50,0 | 0,125 |
| Nikel (Ni) | 0,5 mg/l | |
| Kobal (Co) | 0,6 mg/ L | |
| pH | 6,0 – 9,0 | |
| Debit limbah maksimum | 2,5 m ³ per ton produk minyak sawit (CPO) | |

Sumber : Peraturan Gubernur Provinsi Lampung No.7 (2010)

Air limbah kelapa sawit merupakan nutrien yang kaya akan senyawa organik dan karbon. Dekomposisi dari senyawa-senyawa organik oleh bakteri anaerob dapat menghasilkan biogas (Deublein dan Steinhauster (2008) dalam Fatimah (2012)). Gas tersebut jika tidak dikelola dan dibiarkan lepas ke udara bebas maka dapat menjadi salah satu penyebab pemanasan global karena metana dan karbondioksida yang dilepaskan adalah termasuk gas rumah kaca yang disebut-

sebut sebagai sumber pemanasan global saat ini. Emisi metana 21 kali lebih berbahaya dari CO₂ dan metana merupakan salah satu penyumbang gas rumah kaca terbesar (Sumirat dan Solehudin (2009) dalam Fatimah (2012)).

2.2 Proses Anaerobik dalam Pengelolaan Air Limbah

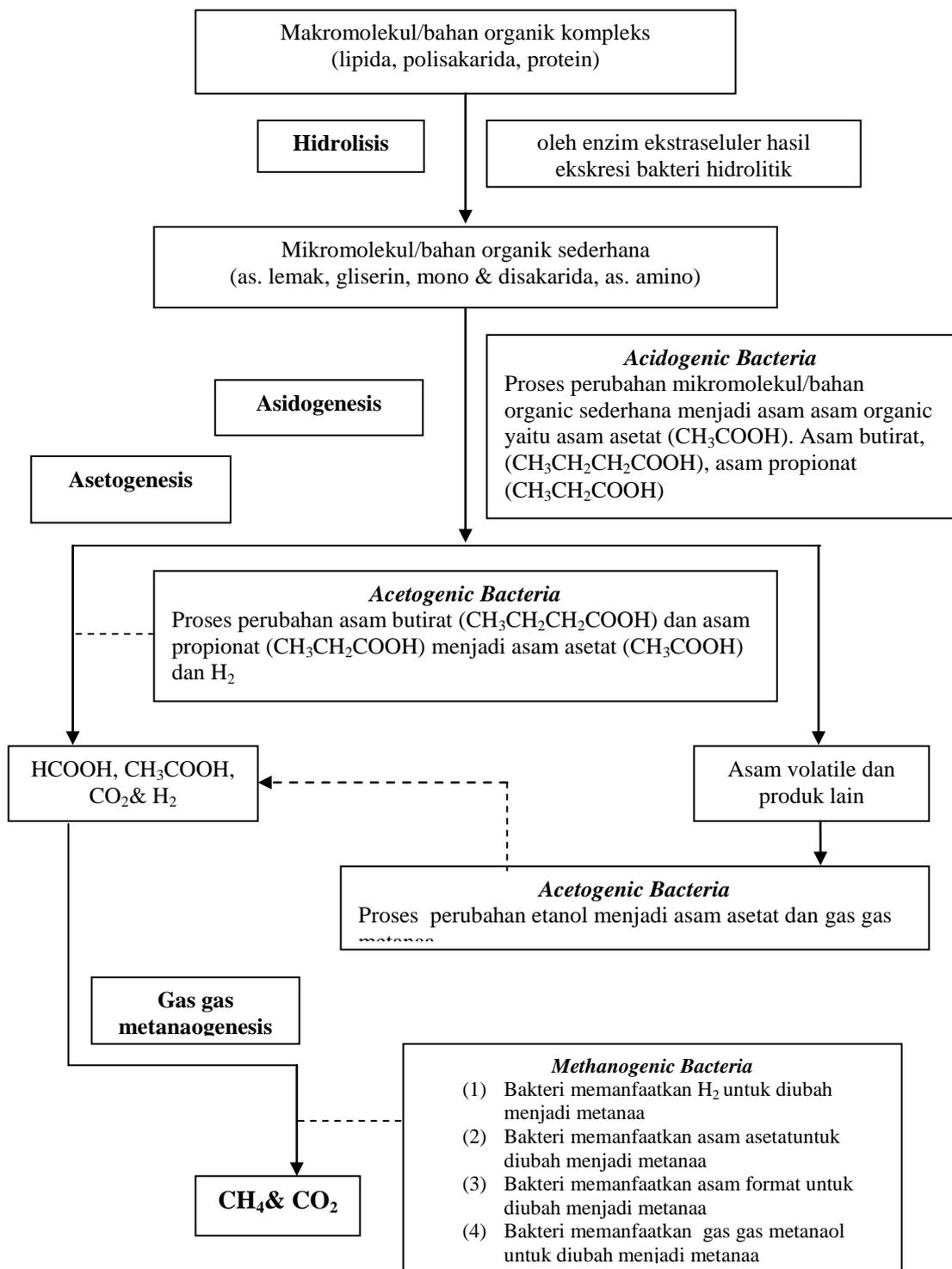
Nilai COD dan BOD yang tinggi dalam air limbah industri menunjukkan bahwa kandungan bahan-bahan organik dalam konsentrasi tinggi. Proses pengolahan air limbah anaerobik adalah proses penguraian senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam limbah oleh mikroorganisme menjadi metana dan karbondioksida tanpa memerlukan oksigen (Grady dan Lim, 1980).

Pembentukan gas metana melalui metabolisme anaerobik merupakan proses bertahap dengan tiga tahap utama, yaitu hidrolisis, asidogenesis, acetogenesis dan metanogenesis (Tchobanoglous, *et al.*, 2003). Tahap pertama adalah hidrolisa senyawa organik kompleks baik yang terlarut maupun yang tersuspensi dari berat molekul besar (polimer) menjadi senyawa organik sederhana (monomer) berupa senyawa terlarut dengan berat molekul yang lebih ringan. Hidrolisis molekul kompleks dikatalisasi oleh enzim-enzim ekstraseluler seperti selulase, protease, dan lipase. Lipida berubah menjadi asam lemak dan gliserin, polisakarida menjadi gula (mono dan disakarida), protein menjadi asam amino dan asam nukleat menjadi purin dan pirimidin (Grady dan Lim, 1980).

Tahap kedua (asidogenesis) adalah pembentukan asam organik (asam asetat, propionat, butirat, laktat, format), alkohol, dan keton (etanol, metanol, gliserol dan aseton), asetat, CO₂ dan H₂ dari monomer-monomer hasil hidrolisis dengan

melibatkan bakteri-bakteri penghasil asam yaitu *acids forming bacteria* dan *acetogenic bacteria*. Bakteri yang berperan tersebut adalah bakteri obligat anaerob dan sebagian yang lain bakteri anaerob fakultatif. Produk utama dari proses ini adalah asam asetat. Pembentukan asam asetat kadang disertai dengan pembentukan karbondioksida atau hidrogen, tergantung kondisi oksidasi dari bahan organik aslinya (Grady dan Lim, 1980).

Tahap ketiga (metanogenesis) yaitu pembentukan metana dengan melibatkan bakteri metanogen. Proses produksi metana melibatkan dua kelompok bakteri metanogen, yaitu *acetoclastic methanogens* yang mengubah asetat menjadi gas metana dan karbondioksida. Kelompok kedua adalah bakteri metanogen yang memanfaatkan hidrogen sebagai donor elektron dan CO_2 sebagai aseptor elektron untuk memproduksi metana. Bakteri di dalam proses anaerobik, yaitu bakteri *acetogens* juga mampu menggunakan CO_2 untuk melakukan proses oksidasi dan membentuk asam asetat. Asam asetat kemudian dikonversi menjadi metana. Sekitar 72% metana yang diproduksi dalam digester anaerobik adalah formasi dari asetat. Tahapan proses pembentukan metana terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan proses pembentukan metanaa

Sumber : Grady dan Lim (1980)dalam Hasanudin dkk., (2012)

Keterangan : ----- : Proses perombakan

— : Hasil dari proses perombakan

2.3 Hidrogen Sulfida (H₂S) di dalam Biogas

Sulfur merupakan senyawa yang secara alami terkandung dalam minyak bumi ataupun gas, namun keberadaannya tidak diinginkan karena dapat menyebabkan berbagai masalah, termasuk di antaranya korosi pada peralatan proses dan bau yang kurang sedap. Dampak negatif lainnya yang ditimbulkan adalah terbentuknya produk samping hasil pembakaran berupa gas buang beracun seperti sulfur dioksida (SO₂) yang menimbulkan pencemaran udara serta hujan asam. Proses penghilangan senyawa sulfur dari aliran proses telah dilakukan termasuk menggunakan proses oksidasi, adsorpsi selektif, ekstraksi, *hydrotreating* dan sebagainya. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan baik dari senyawa sulfur, maupun salah satu turunannya yaitu hidrogen sulfida (Moenir dan Yuliasni, 2011).

Menurut Imamkhasani (1998) dalam Moenir dan Yuliasni (2011), hidrogen sulfida (H₂S) merupakan senyawa dari dua unsur zat kimia yaitu gas hidrogen dan belerang, bersifat racun, sangat mudah terbakar (*flammable*), tidak berwarna, serta larut di dalam air. Hidrogen sulfida mempunyai sifat-sifat fisik yaitu mempunyai berat molekul 34,08 ; *boiling point* = - 60,1 0C, *specificgravity* = 1,192. Menurut Martin *et al.* (2004), hidrogen sulfida adalah polutan udara yang korosif dan beracun, dikarakteristikan dalam bau yang tidak sedap. Hidrogen sulfida di alam berasal dari sulfur yang tereduksi dan terkumpul dalam kondisi anaerobik, kemudian akan teroksidasi secara spontan dan cepat dengan adanya oksigen. Hidrogen sulfida perlu dihilangkan karena berdampak negatif bagi kesehatan, menimbulkan pencemaran lingkungan, dan bersifat korosif.

Salah satu dampak negatif komponen hidrogen sulfida (H_2S) adalah keberadaannya di dalam biogas. Proses pemanfaatan biogas sebagai sumber energi terbarukan masih belum optimal akibat adanya sejumlah zat pengotor yang mempengaruhi metana di dalam biogas salah satunya adalah H_2S . Menurut Lastella *et al.* (2002), konsentrasi H_2S di dalam biogas relatif kecil $\pm 0,1 - 2\%$.

2.4 Kompos Sebagai Bahan Pengisi Biofilter

Kompos adalah hasil penguraian parsial/tidak lengkap dari campuran bahan-bahan organik yang dapat dipercepat secara artifisial oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, lembab, dan aerobik atau anaerobik (Utami, 2011). Pengomposan adalah proses dimana bahan organik mengalami penguraian secara biologis, khususnya oleh mikroba-mikroba yang memanfaatkan bahan organik sebagai sumber energi. Proses pembuatan kompos meliputi membuat campuran bahan yang seimbang, pemberian air yang cukup, pengaturan aerasi, dan penambahan aktivator pengomposan. Material kompos merupakan salah satu bahan yang baik digunakan untuk mengisi biofilter. Kompos yang merupakan material dengan karakteristik yang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme diharapkan mampu mendukung pertumbuhan mikroorganisme pendegradasi sulfur. Perbandingan efektifitas material pengisi biofilter berdasarkan karakteristiknya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik bahan pengisi biofilter

| Material | Porositas | Kapasitas kelembaban | Kapasitas nutrisi | Umur pemakaian | Keterangan |
|---------------|-----------|----------------------|-------------------|----------------|--------------------------------------|
| Gambut | Rata-rata | Baik | Baik | Baik | Sumber yang baik bagi mikroorganisme |
| Tanah | Jelek | Baik | Baik | Baik | |
| Kompos | Rata-rata | Baik | Baik | Baik | |
| Kepingan kayu | Baik | Rata-rata | Rata-rata | Rata-rata | |
| Jerami | Baik | Rata-rata | Buruk | Buruk | |

Sumber : Schmidt *et al.* (2004) dalam Saputra (2006)

Menurut Pagans *et al.* (2005) jika dibandingkan dengan material lainnya kompos memiliki beberapa kelebihan yaitu: murah, mudah diperoleh, mengandung komunitas mikroorganisme yang kompleks, serta mempunyai kandungan nitrogen organik dan mikro-nutrien lainnya dalam jumlah yang signifikan sehingga relatif tidak membutuhkan tambahan nutrisi. Medium berbasis kompos telah sering digunakan sebagai media dalam biofilter karena kandungan komunitas mikroorganisme di dalamnya, yang memiliki kemampuan mendegradasi beberapa jenis polutan. Kompos juga mempunyai sifat tahan terhadap air, dan kandungan bahan organik yang sesuai. Selain itu, kompos terbukti tidak mahal, serta mudah diperoleh. Tambahan nutrisi tidak selalu dibutuhkan oleh medium biofilter yang berbasis kompos, karena kompos mengandung nitrogen organik dan mikro-nutrien lainnya dalam jumlah yang signifikan.

Salah satu alasan penggunaan kompos sebagai medium filter adalah bahwa nutrisi pada kompos dapat diperoleh melalui proses mineralisasi, dan dapat berdifusi pada biofilm untuk menggantikan nutrisi yang telah dikonsumsi oleh mikroorganisme. Menurut Dehganzadehc (2005) dalam Utami (2011), kompos memiliki variasi yang signifikan pada rasio C/N (karbon-nitrogen). Beberapa jenis kompos bahkan dapat melepaskan seluruh nutrisi yang ada dalam beberapa

minggu saja. Jenis kompos lain melepaskan nutrisi lebih lama, namun dapat menyediakan nutrisi hingga bertahun-tahun. Medium kompos juga memiliki kekurangan, yaitu terjadinya tekanan balik dan demineralisasi dari mikroorganisme.

Kompos dapat dicampur dengan penggembur untuk menghindari penurunan tekanan, penyumbatan aliran, serta meningkatkan durabilitas (Utami, 2011). Penurunan tekanan pada kompos umumnya lebih tinggi daripada tanah gambut, yang disebabkan oleh kompaksi pada medium, sehingga dirasa penting untuk mencampur kompos dengan bulking agent (Devinny *et al.*, 1999). Menurut Onda Lttighus (1997) dalam Utami (2011), kompos telah digunakan dalam bentuk pellet sebagai medium pada biofiltrasi bau. Medium kompos yang dicampur dengan serpihan kayu memberikan penurunan tekanan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan kompos tradisional (Devinny *et al.*, 1999).

2.5 Pemurnian Biogas menggunakan Biofilter Kompos

Penggunaan biofilter merupakan salah satu metode pemurnian biogas secara biologi. Menurut Ottengraf (1986) dalam Saputra (2006), metode biologi dalam mengurangi gas pencemar dapat dibedakan menjadi tiga yaitu *bioscrubber*, *biotrickling filter*, dan *biofilter*. Menurut Hodge (1993) dalam Saputra (2006), biofilter adalah teknologi yang relatif baru digunakan dalam menangani gas terkontaminasi dengan degradasi senyawa secara biologi. Menurut Raghuvanshi dan Babu (2004) dalam Saputra (2006), teknologi biofilter memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi secara biologi senyawa organik yang mudah menguap dan gas pencemar.

Menurut Boswell (2004), biofilter menggunakan beberapa tipe biomassa organik atau kompos sebagai substrat dan media untuk mendukung pertumbuhan mikroba pendegradasi senyawa sulfur. Menurut Schmidt *et al.* (2004) dalam Saputra (2006) untuk mengoperasikan biofilter yang efektif, lingkungan media harus baik untuk pertumbuhan mikroba dan menjaga agar porositas tetap tinggi untuk memudahkan penyediaan aliran udara. Desain biofilter didasarkan pada tingkat aliran volume, spesifikasi zat pencemar dan konsentrasi, karakteristik media, ukuran biofilter, pengendalian kelembaban, perawatan, dan biaya. Menurut Devanny *et al.* (1999) dalam Saputra (2006), penggunaan biofilter memiliki beberapa keuntungan dan kerugian. Keuntungan menggunakan biofilter antara lain: (1) biaya operasional dan modal yang sedikit, (2) penghilangan efektif, (3) *pressure drop* rendah, dan (4) tidak ada produk limbah lebih lanjut. Kerugian menggunakan biofilter yaitu: (1) keadaan medium yang mungkin memburuk, (2) kurang cocok untuk konsentrasi terlalu tinggi, (3) pH dan kelembaban sulit untuk di kontrol, dan (4) partikel mungkin bisa menyumbat medium.

Menurut Boswell (2004), berbagai material dapat digunakan sebagai bahan pengisi biofilter dengan berbagai tingkatan efektifitas, antara lain kompos, potongan kayu, kulit kayu, gambut, tanah dan campuran pasir, karbon aktif, batu lahar, dan organik sintetik. Menurut Devanny *et al.* (1999) dalam Saputra (2006), beberapa kriteria yang perlu diperhatikan dalam pemilihan biofilter diantaranya kandungan nutrient anorganik, kandungan organik, kimia dan aditif, kadar air, pH, porositas, karakteristik penyerapan, tambahan bakteri, peralatan mekanik, bau dari bahan pengepak, biaya pengepakan dan umur hidup pembuangan pengepak. Menurut Hirai *et al.* (2001) dalam Saputra (2006), syarat-syarat yang harus

dipenuhi dalam pemilihan bahan pengisi untuk biofilter antara lain mempunyai kapasitas penyangga air yang tinggi, mempunyai tingkat porositas yang tinggi, mempunyai daya memadat yang rendah, tidak mengalami penurunan kinerja walaupun kadar air menurun, tidak berubah dalam jangka panjang, ringan, murah, mampu menyerap gas penyebab bau, dan mempunyai kapasitas penyangga tinggi terhadap produk akhir yang bersifat asam.

Kompos yang dapat digunakan sebagai bahan pengisi biofilter salah satunya adalah kompos kotoran sapi. Menurut McKinsey Zicari (2003) dalam Hasanudin dkk. (2012), kompos kotoran sapi merupakan media yang berpotensi untuk menurunkan kandungan H₂S dalam biogas secara efektif dan ekonomis. Kompos tersebut mampu mencapai efisiensi 80% dalam menurunkan H₂S dengan kapasitas eliminasi 16 – 118 g H₂S per m³ kompos per jam. Menurut Hasanudin dkk., (2012) dalam Indraningtyas (2013), proses desulfurisasi yang terjadi diawali dengan disosiasi H₂S (Persamaan 1). Bakteri *Thiobacillus sp.* kemudian akan menyebabkan reaksi redoks menghasilkan S⁰ pada kondisi oksigen yang terbatas (Persamaan 2). Oksigen dapat mempercepat terjadinya reaksi oksidasi. Menurut Turk *et al.*, (1972) dalam Saputra (2006), H₂S di alam terkumpul dalam kondisi anaerobik, tetapi akan teroksidasi secara spontan dan cepat dengan adanya oksigen. Oksigen dapat diperoleh dari fiksasi CO₂ yang berasal dari biogas. Reaksi desulfurisasi selengkapnya dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:



Permasalahan yang masih perlu dipelajari yaitu belum diketahui apakah mekanisme penurunan sulfur hanya terjadi secara biologis, atau secara kimia dan fisika. Penelitian yang berkaitan dengan penggunaan kompos untuk meningkatkan kualitas biogas masih perlu dilakukan.

2.6 Potensi Energi dari Biogas

Biogas merupakan gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari proses penguraian senyawa organik seperti karbohidrat, lemak dan protein yang terdapat dalam air limbah dengan bantuan bakteri anaerob dalam sebuah digester atau reaktor gas gas metanaa. Unsur yang terdapat pada biogas disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Unsur-unsur yang terdapat pada biogas

| Unsur | Konsentrasi |
|------------------|-------------|
| CH ₄ | 55-75% |
| CO ₂ | 25-45% |
| H ₂ | 1-5% |
| H ₂ S | 0-3% |
| NH ₃ | 0-3% |
| N ₂ | 0-0,3% |

Sumber : Pambudi (2008)

Biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu kisaran 4800-6700 kkal/m³, untuk metana murni (100 %) mempunyai nilai kalor 8900 kkal/m³ (Sutarno, 2007). Satu mol gas gas metanaa memerlukan dua mol oksigen untuk dapat dioksidasi menjadi CO₂ dan air, akibatnya setiap produksi 16 gram gas gas metanaa dapat menurunkan COD air limbah sebanyak 64 gram. Pada suhu dan tekanan standar, setiap stabilisasi 1 pound COD dapat menghasilkan 5,62 ft³ gas gas metanaa atau 0,35 m³ gas gas metanaa/kg COD (Grady dan Lim, 1980). Biogas dapat diubah menjadi beberapa bentuk energi, yaitu energi panas atau

dengan bantuan generator diubah menjadi energi listrik maupun mekanik. Konversi energi biogas dan penggunaannya disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Konversi energi biogas dan penggunaannya

| Penggunaan | Energi 1 m ³ biogas |
|-----------------------|--|
| Penerangan | Sebanding dengan lampu 60-100 W selama 6 jam |
| Pengganti bahan bakar | |
| • Solar | 0,52 liter |
| • Minyak tanah | 0,62 liter |
| Listrik | Sebanding dengan 1,25 KWH listrik |

Sumber: Kristoferson dan Bolkaders (1991) dalam Haryati (2006)

Pada dasarnya efisiensi produksi biogas sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, yaitu suhu, pH, konsentrasi asam-asam lemak volatil, alkalinitas, nutrisi (terutama nisbah karbon dan nitrogen), zat racun, waktu retensi hidrolis, kecepatan bahan organik, dan konsentrasi amoniak. Parameter-parameter tersebut harus dikontrol dengan cermat agar proses degradasi bahan organik dalam air limbah dapat berlangsung secara optimal.

1. Suhu

Proses anaerobik dapat terjadi dibawah dua kisaran kondisi suhu, yaitu kondisi mesofilik, yaitu antara 20-45°C, pada umumnya 35°C dan kondisi termofilik, yaitu antara 50-65°C, pada umumnya 55°C. Suhu yang optimal dari proses anaerobik bervariasi tergantung pada komposisi nutrient di dalam digester, tetapi kebanyakan proses anaerobik seharusnya dipelihara secara konstan untuk mendukung tingkat produksi gas. Digester termofilik lebih efisien dalam hal waktu tinggal, kapasitas, dan jumlah produksi gas, tetapi di lain hal membutuhkan

input panas yang lebih tinggi dan mempunyai sensitivitas yang tinggi yang membuat proses lebih problematik daripada digester mesofilik.

2. Waktu Tinggal

Waktu tinggal adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai proses degradasi materi-materi organik yang sempurna. Waktu tinggal bervariasi dengan memproses parameter-parameter, seperti memproses suhu dan komposisi limbah. Waktu tinggal untuk limbah yang diperlakukan dalam digester mesofilik dalam kisaran 15-30 hari dan 12-14 hari untuk digester termofilik.

3. pH

Nilai pH yang optimal untuk proses asidogenesis dan gas gas metanaogenesis berbeda-beda. Selama proses asidogenesis dibentuk asetat, laktat, dan asam propionat, dengan demikian pH turun. pH yang rendah dapat menghambat proses asidogenesis dan nilai pH dibawah 6,4 dapat bersifat racun untuk bakteri pembentuk gas gas metanaa (pH optimal untuk proses gas gas metanaogenesis adalah antara 6,6-7). Kisaran pH optimal untuk semua yaitu antara 6,4-7,2.

4. Rasio Karbon dan Nitrogen (C:N)

Jumlah karbon dan nitrogen yang hadir dalam materi organik di gambarkan oleh rasio C : N. Rasio optimal C : N dalam proses anaerobik antara 30: 1. Rasio C : N yang tinggi mengindikasikan adanya konsumsi nitrogen yang cepat oleh bakteri gas gas metanaogen dan menghasilkan produksi gas yang rendah. Selain itu rasio C : N yang rendah menyebabkan akumulasi ammonia dan nilai pH yang melebihi 8,5 dan ini bersifat racun bagi bakteri metanogen (Fatimah, 2012).

5. *Mixing*

Mixing di dalam digester, meningkatkan kontak antara mikroorganisme dengan substrat dan meningkatkan kemampuan populasi bakteri untuk memperoleh nutrisi. *Mixing* juga membangun gradien suhu di dalam digester. *Mixing* yang berlebihan dapat merusak mikroorganisme dan oleh karena itu *mixing* yang lambat lebih disukai (Kaswinarni, 2007).

6. *Organic Loading Rate (OLR)*

OLR adalah jumlah bahan organik yang masuk dan tersedia dalam fermentor. Apabila OLR terlalu rendah maka proses fermentasi akan berjalan lambat sedangkan jika terlalu tinggi maka terjadi *overload* dan substrat yang ada dapat menjadi penghambat pertumbuhan mikroorganisme (Speece, 1996 dalam Fatimah, 2012).

7. *Total Solid (TS), dan Volatile Solid (VS)*

Total solid (TS) adalah jumlah padatan yang terdapat dalam substrat baik padatan yang terlarut maupun yang tidak terlarut. Sedangkan *volatile solid (VS)* adalah padatan-padatan organik yang terdapat dalam substrat. Berdasarkan TS dan VS dapat diketahui berapa banyak produksi gas yang akan dihasilkan (Fatimah, 2012).