

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Potensi Ubikayu dan Tetes Tebu

Bioetanol adalah bahan bakar yang menggunakan bahan nabati mengandung pati, yaitu ubikayu, sorgum, garut, ubijalar, sagu, dan jagung. Di Indonesia, bioetanol sangat potensial untuk diolah dan dikembangkan karena bahan bakunya merupakan jenis tanaman yang banyak tumbuh di negara ini dan sangat dikenal masyarakat. Sumber bioetanol yang cukup potensial dikembangkan di Indonesia adalah ubikayu (*Manihot esculenta*). Indonesia merupakan lima besar produsen ubikayu terbesar di dunia seperti yang dilansir FAO tahun 2009. Dari luas areal 50 juta hektar tahun 2009, produksi ubikayu Indonesia sebesar 22,4 juta ton. Data statistik menunjukkan bahwa propinsi Lampung merupakan penghasil ubikayu terbesar di Indonesia sebesar 7.835.180 ton pertahun (BPS, 2010). Pengembangan bioetanol berbahan baku ubikayu diharapkan dapat menjadi solusi sumber energi terbarukan dan dapat meningkatkan pendapatan petani ubikayu sehingga harga ubikayu akan menjadi stabil.

Tetes tebu merupakan salah satu bahan baku yang sangat baik dalam pembuatan bioetanol. Tetes tebu merupakan produk samping dari pabrik gula tebu yang memiliki kadar gula berkisar 40-55 persen. Pada tahun 2010, produksi tetes tebu dari 58 pabrik gula diproyeksikan mencapai 1,56 juta ton. Dari jumlah itu secara

rutin akan dipakai sebagai bahan baku industri etanol dan Mono Sodium Glutamat (MSG) mencapai 1,2 juta ton. Sisanya hanya 360.000 ton tetes tebu, yang dapat diproduksi menjadi etanol sebanyak 110.000 kiloliter, yang tersedia bagi *bio-fuel energy* (AGI, 2006). Ubikayu dan tetes tebu memiliki potensi yang cukup baik sebagai bahan baku dalam memproduksi bioetanol. Potensi dari beberapa jenis tanaman sebagai bahan baku bioetanol dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Potensi beberapa jenis tanaman sebagai bahan baku bioetanol

No.	Jenis Tanaman	Hasil Panen (Ton/ha/tahun)	Etanol (liter/ha/tahun)
1.	Jagung	1-6	400-2.500
2.	Ubikayu	10-50	2.000-7.000
3.	Tebu	40-120	3.000-8.500
4.	Ubijalar	10-40	1.200-5.000
5.	Sorgum	3-12	1.500-5.000
6.	Sorgum manis	20-60	2.000-6.000
7.	Kentang	10-35	1.000-4.500
8.	Bit	20-100	3.000-8.000

Sumber : Yakinudin (2010)

Tabel 1 menunjukkan bahwa tebu sebagai tanaman penghasil etanol dengan produktifitas tertinggi dan disusul oleh ubikayu. Keunggulan ubikayu dibanding tebu adalah masa panen ubikayu relatif lebih singkat dan biaya produksi lebih murah (Yakinudin, 2010). Namun, bahan-bahan yang sudah mengandung gula sederhana, seperti nira tebu, nira bit, ataupun tetes tebu lebih hemat produksi dengan biaya operasi per satuan produk biasanya lebih murah. Bahan berpati harus dilakukan proses *pretreatment* dan proses *liquifaksi*, begitu juga untuk bahan lignoselulosa sehingga biaya produksi yang dibutuhkan masih relatif mahal.

B. Bioetanol

Bioetanol adalah etanol atau etil alkohol yang diproduksi oleh mikroba melalui proses fermentasi dengan bahan utamanya dari tumbuhan. Bioetanol saat ini yang diproduksi umumnya berasal dari bioetanol generasi pertama, yaitu bioetanol yang dibuat dari mono/disakarida (gula tebu, tetes tebu/molases) atau bahan berpati (jagung, ubikayu, sorgum, dll). Bioetanol diperoleh melalui proses fermentasi menggunakan yeast (khamir). Ragi yang dapat digunakan dalam proses fermentasi etanol adalah *Saccharomyces cerevisiae* (Supriyanto dan Wahyudi, 2010). Air limbah pengolahan bioetanol berbahan baku tetes tebu dan ubikayu dapat diolah untuk menghasilkan biogas untuk pemanas boiler dan pupuk K⁺ yang kaya Kalium dan unsur mikro yang sangat bermanfaat bagi tanaman, sedangkan limbah gas CO₂ diproses menjadi liquid/solid CO₂ untuk industri minuman berkarbonasi (Murdiyatmo, 2006).

Bioetanol berupa cairan bening tidak berwarna dan tidak berasa tetapi memiliki bau yang khas, mudah menguap, mudah terbakar, serta bersifat *biodegradable*. Etanol sering ditulis dengan rumus EtOH. Rumus molekul etanol adalah C₂H₅OH atau rumus empiris C₂H₆O. Secara teoritik tiap molekul glukosa akan menghasilkan 2 mol etanol dan 2 mol karbondioksida, serta melepaskan energi (Broto dan Nur, 2010). Dalam penggunaan satu kg glukosa yang kemudian difermentasi menggunakan yeast, maka akan menghasilkan 0,5111 kg etanol, 0,4889 kg CO₂, dan 28,7 Kcal (Widodo, 2012).

Bioetanol merupakan sumber energi alternatif non fosil yang bersifat terbarukan dan ramah lingkungan untuk kendaraan bermotor. Pemakaian etanol sebagai

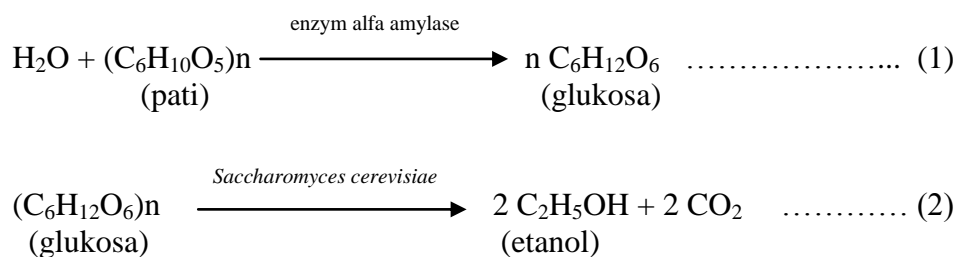
sumber energi dalam industri dan kendaraan akan mengurangi pembuangan gas CO₂ yang mengakibatkan pemanasan global. Etanol memiliki nilai oktan tinggi dapat menggantikan timbal sebagai peningkat nilai oktan dalam bensin. Nilai oktan bensin adalah 87-88, sedangkan bioetanol adalah 117. Pencampuran etanol dengan bensin akan mengoksigenasi campuran bahan bakar sehingga dapat terbakar lebih sempurna dan mengurangi emisi gas buang (seperti karbon monoksida/CO) (Rikana dan Risky, 2010). Manfaat pemakaian bioetanol di Indonesia yaitu memperbesar basis sumber daya bahan bakar cair, mengurangi impor bahan bakar minyak, menguatkan *security of supply* bahan bakar, meningkatkan kesempatan kerja, berpotensi mengurangi ketimpangan pendapatan individu dan antar daerah, meningkatkan kemampuan nasional dalam teknologi pertanian dan industri, mengurangi kecenderungan pemanasan global dan pencemaran udara (bahan bakar ramah lingkungan) serta berpotensi mendorong ekspor komoditi baru (McCoy, 1998).

Bahan baku yang umum digunakan untuk fermentasi bioetanol adalah bahan nabati yang berasal dari ubikayu, jagung, dan gula tebu. Harga bahan baku yang cukup mahal menyebabkan harga etanol sebagai bahan bakar pengganti minyak masih cukup tinggi. Hal tersebut dikarenakan 60 persen dari biaya yang digunakan dalam sistem produksi etanol adalah biaya pembelian bahan baku (Ingram dan Doran, 1995 dalam Broto dan Nur, 2010). Pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar kendaraan tidak hanya ditentukan oleh harga bahan bakar premium saja, tetapi juga ditentukan oleh harga bahan baku pembuatan bioetanol. Oleh karena itu, produksi bioetanol harus mempertimbangkan keekonomiannya

dari dua sisi kepentingan, yaitu sisi produsen bioetanol dan dari segi petani penghasil bahan baku (Nurdyastuti, 2005).

C. Proses Produksi Bioetanol

Proses produksi bioetanol umumnya menggunakan sistem *multiple feedstock*. Sistem ini menggunakan dua jenis bahan baku, yaitu ubikayu dan tetes tebu sehingga bahan baku tersebut diatur waktu pengoperasiannya dalam setahun. Teknologi proses produksi bioetanol berbahan baku ubikayu dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu persiapan bahan baku, fermentasi, dan destilasi. Reaksi yang terjadi pada proses produksi bioetanol secara sederhana ditunjukkan pada reaksi 1 dan 2 pada Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme fermentasi secara umum

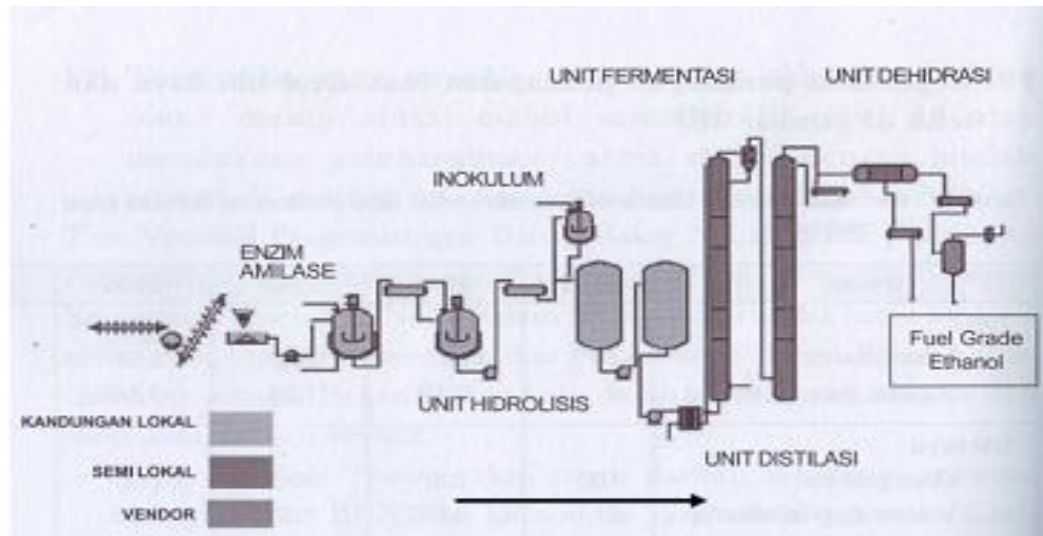
Tahapan persiapan bahan baku diawali dengan proses *pretreatment* yang terdiri dari proses penghilangan tanah/kulit ari, pencucian, pencacahan, dan pamarutan hingga ubikayu segar menjadi bubur (*cassava slurry*). Kandungan karbohidrat berupa pati pada bahan baku ubikayu dikonversi menjadi gula kompleks (dekstrin) menggunakan enzim alfa amylase sebagai biokatalisator melalui proses pemanasan pada suhu 90°C (hidrolisis). Pada kondisi ini pati akan mengalami gelatinisasi. Pada kondisi optimum enzim alfa amylase bekerja memecahkan pati

secara kimia menjadi gula kompleks (dextrin). Proses *Liquifaksi* selesai ditandai dengan parameter dimana bubur yang diproses berubah menjadi lebih cair. Proses *liquifaksi* dilakukan dengan tahapan yaitu penambahan air, pengaturan pH, pemanasan, gelatinisasi, *liquifaksi* pada suhu 90°C dan sterilisasi pada suhu 120°C. Gula kompleks (dekstrin) yang dihasilkan dari proses *liquifaksi* diubah menjadi gula sederhana (glukosa). Tahapan ini disebut dengan proses sakarifikasi. Proses Sakarifikasi menggunakan enzim glukoamilase untuk mengonversi dektrosa menjadi gula sederhana (glukosa dan sebagian fruktosa) dengan kadar gula berkisar antara 5 hingga 12 persen. Pada proses ini akan menghasilkan 1,1 kg glukosa dari 1,0 kg pati (Sihaloho, 2009).

Proses fermentasi dimaksudkan untuk mengubah glukosa menjadi etanol dan CO₂. Satu kg glukosa pada proses fermentasi akan menghasilkan 0,511 kg etanol. Pada proses fermentasi etanol, ragi (*yeast*) akan memetabolisme glukosa dan fruktosa dan membentuk asam piruvat melalui tahapan reaksi pada jalur *Embden-Meyerhof-Parnas*. Ragi (*yeast*) yang sering digunakan dalam fermentasi etanol adalah *Saccharomyces cerevisiae* dikarenakan *yeast* ini toleran terhadap alkohol yang cukup tinggi (12-18 persen v/v), berproduksi tinggi, mampu bertahan pada keadaan kadar gula yang tinggi, dan tetap aktif melakukan fermentasi pada suhu 4-32°C (Musanif, 2007). Proses fermentasi dilakukan dengan mencampurkan ragi (*yeast*) pada cairan bahan baku dan mendiampkannya dalam wadah tertutup (fermentor) pada kisaran suhu optimum 27-32°C selama 5-7 hari (fermentasi secara anaerob). Pada kondisi anaerob terjadi perubahan asam piruvat menjadi etanol dengan bantuan piruvat dekarboksilase dan alkohol dehidrogenase melalui proses fermentasi alkohol (Gusmailina, 2010).

Bioetanol yang dihasilkan dari proses fermentasi memiliki kemurnian sekitar 30-40 persen. Bioetanol yang dapat dipergunakan sebagai bahan bakar adalah bioetanol dengan kemurnian 95 persen. Oleh karena itu diperlukan adanya perlakuan pemurnian melalui proses destilasi untuk memisahkan alkohol dengan air. Destilasi merupakan proses pemisahan larutan berdasarkan titik didihnya. Titik didih etanol murni adalah 78°C sedangkan air adalah 100°C. Proses pemanasan larutan etanol dapat mengakibatkan sebagian besar etanol menguap pada suhu rentan 78-100°C (Sihaloho, 2009). Terdapat dua tipe proses destilasi yang banyak diaplikasikan, yaitu *continuous-feed distillation column system* dan *pot-type distillation system*. Selain tipe tersebut, dikenal juga tipe destilasi vakum yang menggunakan tekanan rendah dan suhu yang lebih rendah untuk menghasilkan konsentrasi alkohol yang lebih tinggi. Tekanan yang digunakan untuk destilasi adalah 42 mmHg atau 0.88 psi dan suhu yang digunakan pada bagian bawah kolom adalah 35°C dan 20°C di bagian atas (Musnif, 2007).

Kadar bioetanol yang dihasilkan dari proses destilasi berkisar antara 95-96 persen. Pemurnian bioetanol lebih lanjut dengan cara *azeotropic* destilasi dapat dilakukan untuk mendapatkan kemurnian bioetanol yang lebih tinggi yaitu 99,5 persen atau yang umum disebut *Fuel Grade Ethanol* (FGE). Pemurnian ini bertujuan untuk memisahkan hidrogen yang terikat dalam struktur kimia alkohol yang tidak dapat dilakukan dengan cara destilasi biasa (Sihaloho, 2009). Proses produksi FGE dari bahan berpati disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses produksi bioetanol dari bahan berpati (Musanif, 2007)

Teknologi proses produksi bioetanol berbahan baku tetes tebu diproduksi melalui tahap fermentasi, destilasi, dan dekantasi tanpa melakukan proses *pretreatment* dan *liquifaksi*. Secara garis besar, perbedaan proses produksi etanol menggunakan bahan baku ubikayu dibandingkan dengan menggunakan tetes tebu disajikan pada Tabel 2, sedangkan unit peralatan yang dipakai pada industri etanol dengan bahan baku ubikayu dibandingkan dengan menggunakan tetes tebu disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Perbedaan proses produksi bioetanol menggunakan bahan baku ubikayu dibandingkan dengan menggunakan tetes tebu

Proses	Etanol dari ubikayu	Etanol dari tetes tebu
<i>Pretreatment</i>	Ubikayu menjadi bubur ubikayu dengan kadar <i>Total Sugar</i> (TS) 15 persen	-
<i>Liquifaksi</i>	Pemasakan bubur menjadi larut dan dekstrin (butuh uap air)	-
Sakarifikasi	Perubahan dekstrin menjadi gula	-
Fermentasi	Proses fermentasi terjadi secara simultan dgn sakarifikasi membutuhkan waktu 60-70 jam	Proses fermentasi membutuhkan waktu 60-70 jam

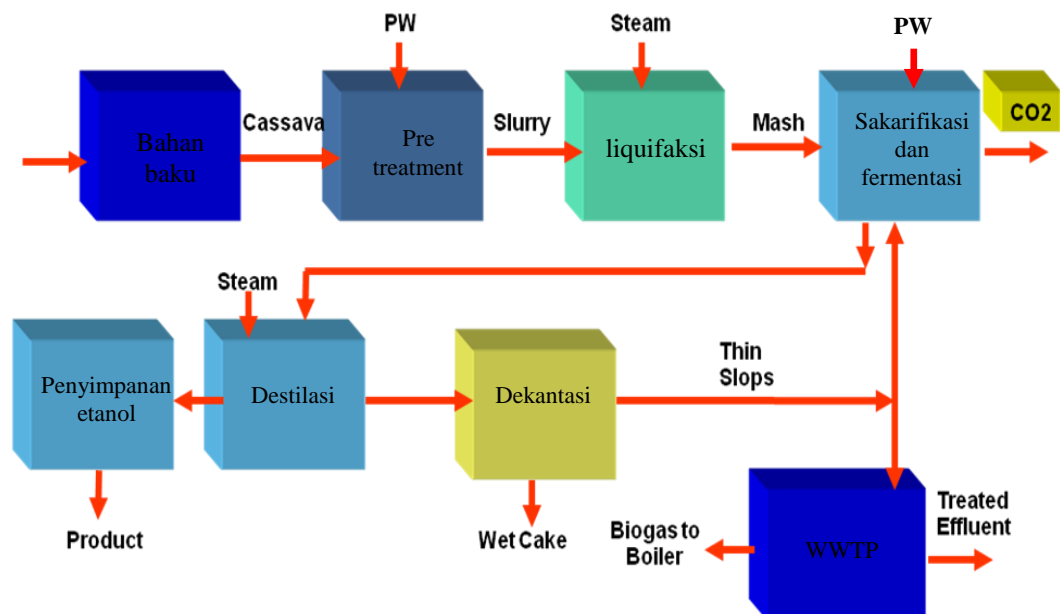
Sumber: Supriyanto (2007)

Tabel 3. Unit peralatan yang dipakai pada industri bioetanol dengan bahan baku ubikayu dibandingkan dengan menggunakan tetes tebu

Peralatan	Bahan baku ubikayu	Bahan baku tetes tebu
Unit pretreatment	Ada	Tidak ada
Unit <i>liquifaksi</i>	Ada	Tidak ada
Unit sakarifikasi	Ada	Tidak ada
Unit fermentasi	Jumlah fermentor 1,5 kali lebih banyak	Jumlahnya lebih sedikit
Unit destilasi	Ada	Ada
Unit dekantasi	Ada	Tidak ada
Tanki <i>molasses</i>	Tidak ada	Ada

Sumber: Supriyanto (2007)

Industri bioetanol biasanya menggunakan sistem *multiple feedstock*. Sistem ini menggunakan dua jenis bahan baku yang berbeda, yaitu ubikayu dan tetes tebu, dimana penggunaan kedua jenis bahan baku tersebut diatur waktu pengoperasiannya dalam setahun. Perbedaan tahapan produksi pembuatan bioetanol menggunakan ubikayu dan tetes tebu dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema proses produksi bioetanol berbahan baku ubikayu (Maryanti, 2011)

D. Air Limbah Industri Bioetanol

Air limbah industri bioetanol tidak mengandung B3 (bahan dan limbah berbahaya serta beracun). Bioetanol tidak dihasilkan dari proses yang menggunakan bahan kimia, melainkan hanya proses biologi (enzimatik dan fermentasi). Air limbah pada proses produksi bioetanol berasal dari proses pencucian bahan baku, proses pengenceran, dan proses pemisahan bioetanol dan air limbah pada tahapan destilasi. Air tersebut berkontribusi dalam keragaman air limbah yang dihasilkan (Suryanto, 1995). Menurut Nandy, dkk. (2002) air limbah industri bioetanol yang langsung dibuang tanpa melalui pengolahan masih banyak mengandung garam, gula, karbohidrat, mineral dan unsur lain yang tersuspensi maupun yang terlarut dalam air. Adanya senyawa-senyawa tersebut dalam air limbah akan meningkatkan kandungan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Desolved Solid*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), pH, nitrat dan unsur lain yang dapat menyebabkan pencemaran pada lingkungan. Parameter air limbah industri bioetanol yang sesuai dengan Peraturan Gubernur Lampung No. 7 Tahun 2010 tentang baku mutu air limbah industri bioetanol dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Baku mutu air limbah industri bioetanol

Parameter	Kadar Maksimum dan Debit Buangan Air Limbah (mg/L)
BOD ₅	100
COD	200
TSS	6,0-9,0
Ph	0,5
Debit Limbah Maksimal	15 m ³ per ton produk etanol

Sumber : Peraturan Gubernur Lampung No. 7 Tahun 2010

1. Air Limbah Industri Bioetanol Berbahan Baku Ubikayu (*Thinslop*)

Air limbah yang ditimbulkan oleh industri bioetanol berbahan baku ubikayu disebut juga sebagai *thinslop*. Secara umum, *thinslop* memiliki pH rendah, suhu tinggi, kadar abu tinggi dan persentase dari bahan organik dan anorganik terlarut tinggi (Beltran *et al.*, 2001). Kandungan BOD dan COD masing-masing antara 35.000 mg/L dan 50.000 mg/L (Nandy, dkk., 2002.). Tabel 5 menunjukkan katakteristik dari air limbah bioetanol berbahan baku ubikayu.

Tabel 5. Analisis kandungan air limbah industri bioetanol berbahan baku ubikayu

Parameter	Kuantitas	Satuan
Derajat Keasaman	4,0	pH
Temperatur	55	⁰ C
BOD (<i>biological oxygen demand</i>)	35.000	ppm
COD (<i>chemical oxygen demand</i>)	50.000	ppm
OM (<i>organic matter</i>)	35.000	ppm
<i>Volatile residu</i>	34.000	ppm
<i>Ash</i>	10.000	ppm

Sumber : Suryanto (1995)

2. Air Limbah Industri Bioetanol Berbahan Baku Tetes Tebu (*Vinasse*)

Air limbah yang ditimbulkan oleh industri bioetanol berbahan baku tetes tebu disebut juga sebagai *vinasse*. Produksi *vinasse* yang dihasilkan sekitar 10-15 kali lebih besar dari etanol. *Vinasse* adalah produk samping dari penyulingan alkohol selama produksi. *Vinasse* mengandung 93 persen air dan 7 persen padatan, berwarna hitam kemerah-merahan, bau, pH asam, suhu tinggi, kadar garam yang tinggi (antara 24.000 sampai 80.000 mg/L) dan bahan organik (4.000 sampai 64.000 mg/L), serta memiliki konsentrasi kalium, kalsium, belerang, magnesium, dan nitrogen yang tinggi (Polack *et al.*, 1981). Penelitian telah menunjukkan

bahwa pembuangan *vinasse* di sungai dapat menyebabkan kerusakan pada kehidupan air dikarenakan kandungan BOD yang tinggi, terutama bila bahan ini dibuang dalam volume besar. Di Brazil, sebagian besar *vinasse* yang dihasilkan dari produksi etanol digunakan sebagai pupuk karena kandungan kalium tinggi (Cortez dan Perez, 1997). Kandungan air limbah bioetanol berbahan baku tetes tebu secara umum terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6. Analisis kandungan air limbah industri bioetanol berbahan baku tetes tebu

Komponen	Jumlah	
	mg/L	Lb/cu ft
pH	4-5	4-5
BOD	17.000-50.000	1,06-3,12
COD	20.000-60.000	1,25-3,75
Total solids	30.000-70.000	1,87-4,37
Total nitrogen	300-800	0,01-0,05
Total phosphorus (as phosphates)	100-500	0,01-0,03
Total potassium (K ₂ O)	2.000-3.000	0,12-0,19
Ash	3.000-10.000	0,19-0,62

Sumber : Cortez dan Perez (1997)

Air limbah *vinasse* memiliki jumlah lebih banyak jika dibandingkan dengan *thinslop*. Jumlah air limbah *vinasse* sekitar 320 persen dari bahan baku, sedangkan jumlah air limbah *thinslop* sekitar 146 persen dari bahan baku. Hal tersebut dikarenakan air yang dibutuhkan pada proses menggunakan bahan tetes tebu lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan ubikayu. Dalam proses fermentasi, tetes tebu memiliki derajat brix 25, sedangkan tetes tebu dari pabrik tebu biasanya memiliki derajat brix sekitar 83, sehingga diperlukan air dalam jumlah cukup banyak untuk mengencerkannya. Pada kadar brix yang tinggi menandakan kadar gula yang terdapat pada tetes tebu tinggi. Gula ini yang

kemudian akan diubah menjadi etanol (Amelia, 2012). Perbandingan karakteristik air limbah dari industri bioetanol berbahan baku tetes tebu dan ubikayu disajikan pada Tabel 7

Tabel 7. Spesifikasi air limbah industri bioetanol berbahan baku ubikayu dan tetes tebu

No.	Bahan baku ubikayu	Bahan baku tetes tebu
1.	Limbah padat : - Kulit, tanah – Pretreatment - Sludge – dekantasi	Tidak ada limbah padat yang dihasilkan
2.	Limbah Cair : <i>Thinslop</i> * - BOD : 25000-35000 ppm - COD : 35000-50000 ppm - Padatan total (Total solid : 5-6 persen)	Limbah Cair : <i>Vinasse</i> ** - BOD : 25000-35000 ppm - COD : 35000-50000 ppm - Padatan total (Total solid : 5-6 persen)

Sumber: * Chaikut *et al.* (1991) dan Ali (2002)

** dalam Supriyanto (2007)

Tabel 7 menunjukkan bahwa industri bioetanol berbahan baku ubikayu akan menghasilkan limbah padat dan limbah cair, sedangkan industri bioetanol berbahan baku tetes tebu hanya menghasilkan limbah cair saja. Limbah padat yang keluar dari proses antara lain kulit, tanah dari proses pretreatment ubikayu, dan ampas dari hasil proses dekantasi. Air limbah industri etanol dari tetes tebu mempunyai kandungan BOD dan COD hampir dua kali lebih tinggi dibandingkan dari ubikayu sehingga air limbah dari proses tetes tebu (*vinasse*) mempunyai potensi menghasilkan biogas yang lebih besar pada pengolahan secara anaerob. Namun demikian, pengolahan *vinasse* secara biologis (anaerobik dan aerobik) akan tetap menghasilkan COD effluent tinggi, sehingga belum memenuhi baku mutu limbah buangan (Supriyanto, 2007).

E. Proses Anaerobik dalam Pengelolaan Air Limbah

Air limbah proses produksi bioetanol umumnya memiliki nilai kebutuhan oksigen kimia (COD) yang cukup tinggi yaitu sebesar 50.000-200.000 mg/L. Tingginya COD dalam air limbah mengakibatkan suatu lingkungan berada dalam kondisi tercemar. Nilai COD yang tinggi dalam air limbah proses produksi bioetanol menunjukkan bahwa kandungan oksigen dalam air limbah sedikit sehingga cukup baik sebagai tempat berkembangnya bakteri anaerobik untuk menguraikan bahan-bahan organik dalam konsentrasi tinggi dengan sistem fermentasi anaerobik. Sistem fermentasi air limbah secara anaerobik adalah proses pengolahan air limbah melalui penguraian senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam limbah oleh mikroorganisme menjadi gas metana dan karbon dioksida tanpa memerlukan oksigen sehingga dapat menghasilkan air limbah yang sesuai baku. Biogas sebagai produk akhir yang dihasilkan dari proses fermentasi secara anaerobik mengandung sekitar 60 persen gas metana dan 40 persen karbondioksida (Kaswinarni, 2007). Sistem fermentasi secara aerobik dapat juga diterapkan pada air limbah proses produksi bioetanol yang memiliki nilai COD yang tinggi. Biaya yang dikeluarkan lebih mahal untuk proses aerasi, membutuhkan waktu yang lama dan reaktor yang besar menyebabkan sistem fermentasi aerobik lebih sulit untuk diterapkan pada industri. Berikut adalah keuntungan dan kerugian dari fermentasi anaerob yang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Keuntungan dan kerugian fermentasi anaerobik

No.	Keuntungan	Kerugian
1.	Energi yang dibutuhkan sedikit	Membutuhkan waktu pembiakan yang lama
2.	Produk samping yang dihasilkan Sedikit	Membutuhkan penambahan senyawa alkalinity
3.	Nutrisi yang dibutuhkan sedikit	Tidak mendegradasi senyawa nitrogen dan fospor
4.	Dapat menghasilkan senyawa metana yang merupakan sumber energi yang potensial	Sangat sensitif terhadap efek dari perubahan temperatur
5.	Hanya membutuhkan reaktor dengan volume yang kecil	Menghasilkan senyawa yang beracun seperti H ₂ S

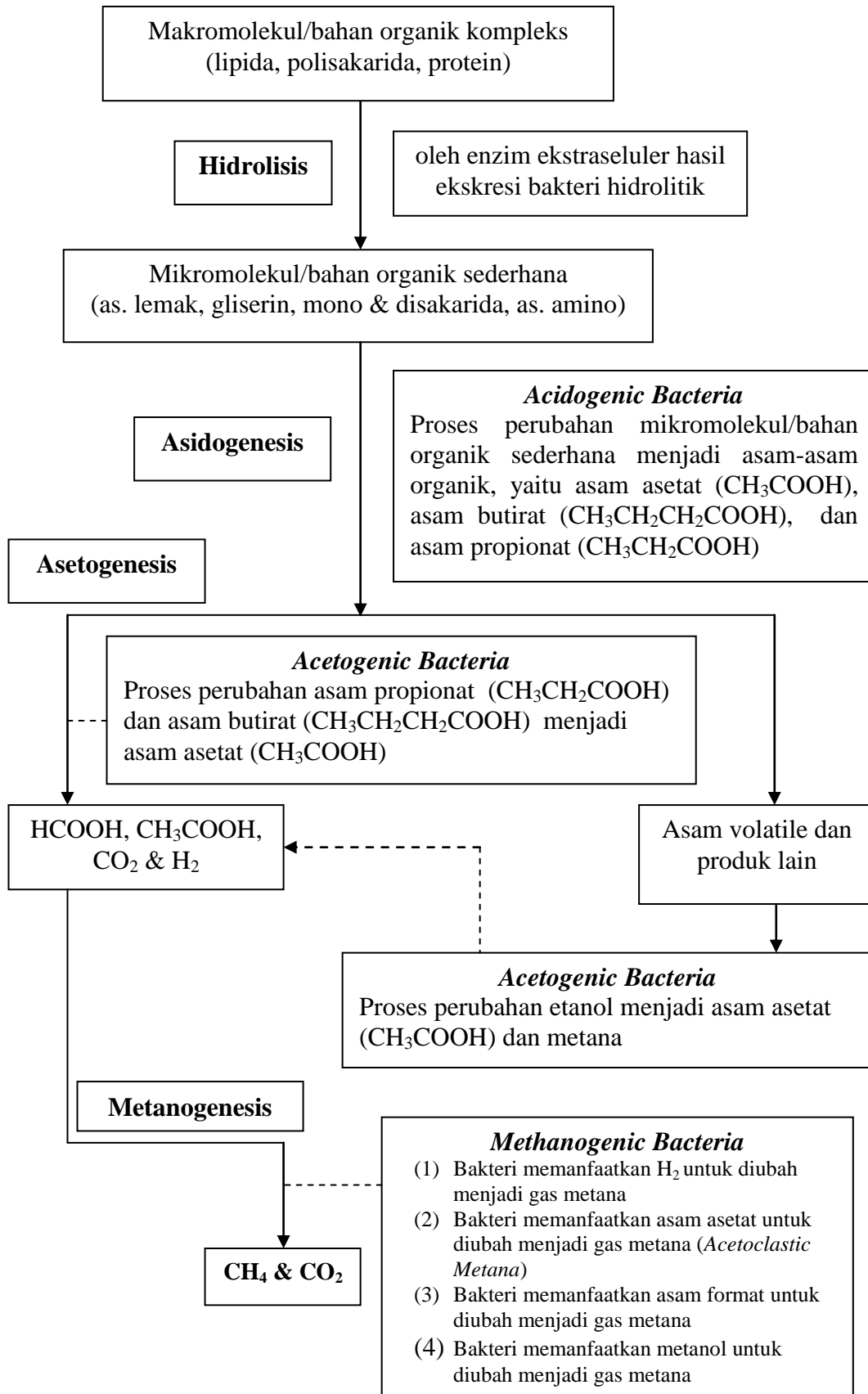
Sumber : Metcalf & Eddy (2003)

Pembentukan metana melalui metabolisme anaerobik merupakan proses bertahap dengan tiga tahap utama, yaitu hidrolisis, asidogenesis, dan metanaogenesis (Metcalf and Eddy, 2003). Tahap pertama adalah hidrolisis senyawa organik kompleks baik yang terlarut maupun yang tersuspensi dari berat molekul besar (polimer) menjadi senyawa organik sederhana (monomer) berupa senyawa tak 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.

Tahap kedua (asidogenesis) adalah pembentukan asam organik (asam asetat, propionate, butirat, laktat), alkohol, dan keton (etanol, metanaol, gliserol dan aseton), asam lemak volatile, amoniak, karbondioksida, dan hidrogen dari monomer-monomer hasil hidrolisis dengan melibatkan bakteri-bakteri penghasil asam yaitu *acidogenic 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 asetat. Sekitar 70 persen dari COD (*Chemical Oxygen Demand*) semula diubah menjadi asam asetat. Pembentukan asam asetat kadang disertai dengan pembentukan karbondioksida atau hidrogen, tergantung kondisi oksidasi dari bahan organik aslinya.

Tahap ketiga (metanaogenesis) yaitu pembentukan metana dengan melibatkan bakteri metanogen. Terdapat dua kelompok bakteri metanogen yang dilibatkan dalam proses produksi metana, yaitu metanogen asetotrofik yang mengonversi asetat menjadi metana dan karbondioksida. Kelompok kedua, hidrogen-metanogen hidrogenotrofik, yaitu mengubah hidrogen dan CO₂ untuk memproduksi metana (Metcalf and Eddy, 2003). Bakteri *acetogenik* mampu menggunakan CO₂ untuk mengoksidasi dan membentuk asam asetat yang dapat memproduksi sekitar 72 persen metana. Tahapan proses pembentukan gas metana terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tahapan proses pembentukan gas metana (Grady dan Lim, 1980, yang dimodifikasi)

F. Pengolahan Air limbah Industri Bioetanol Berbahan Baku Ubikayu (*Thinslop*) dan Tetes Tebu (*Vinasse*) dalam Menghasilkan Biogas

Air limbah industri bioetanol berbahan baku ubikayu (*thinslop*) dan tetes tebu (*vinasse*) difermentasi di dalam bioreaktor anaerobik berkapasitas 50 L yang dilengkapi dengan pengaduk. Bioreaktor yang digunakan pada penelitian tersebut adalah bioreaktor *Continuous Strirer Reactor Tank* (CSTR), dimana proses proses asidogenesis dan metanogenesis berlangsung di dalam satu reaktor. Penelitian pendahuluan dilakukan dengan melakukan proses aklimatisasi air limbah. Aklimatisasi adalah proses pengadaptasian mikroorganisme pada suatu kondisi baru dengan pemberian substrat baru agar dapat menjadi inokulum yang baik. Aklimatisasi dilakukan dengan pengontrolan terhadap nilai pH. Nilai pH yang rendah akan mempengaruhi kinerja bakteri terutama bakteri pembentuk gas metana di dalam bioreaktor untuk mendegradasi bahan organik dalam air limbah. Hal tersebut dikarenakan bakteri metanogenik yang sangat sensitif terhadap perubahan pH tidak mampu beradaptasi dan mengakibatkan kematian. Bakteri metanogenik hanya dapat hidup dan bekerja pada pH optimal yaitu berkisar 6,4-7,4. Penurunan proses pendekomposisian beban substrat dalam air limbah ditandai dengan nilai COD removal yang rendah yang mengakibatkan perubahan substrat menjadi biogas terhambat.

Menurut Maryanti (2011), berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, proses aklimatisasi dilakukan dengan pemberian sludge sebagai sumber inokulum ke dalam bioreaktor berkapasitas 50 L. Pemberian *thinslop* dilakukan setiap harinya sampai bioreaktor berkapasitas 50 L tersebut terisi. Proses aklimatisasi tersebut dilakukan selama 16 hari. Menurut Amelia (2012), berdasarkan penelitian yang

telah dilakukan, proses aklimatisasi dilakukan dengan pemberian *sludge* sebagai sumber inokulum sebanyak 14,5 L. Penambahan *thinslop* sebagai substrat sebanyak 1 L dilakukan setiap hari. Proses aklimatisasi tersebut dilakukan sampai bioreaktor berkapasitas 50 L tersebut terisi penuh, yaitu selama 45 hari. Pengontrolan terhadap pH air limbah dilakukan setiap harinya. Proses penambahan *sludge* (SP6) dilakukan apabila terjadi penurunan pH dalam air limbah. Penambahan *sludge* (SP6) dilakukan karena bahan tersebut memiliki pH yang cukup tinggi, yaitu 8,2.

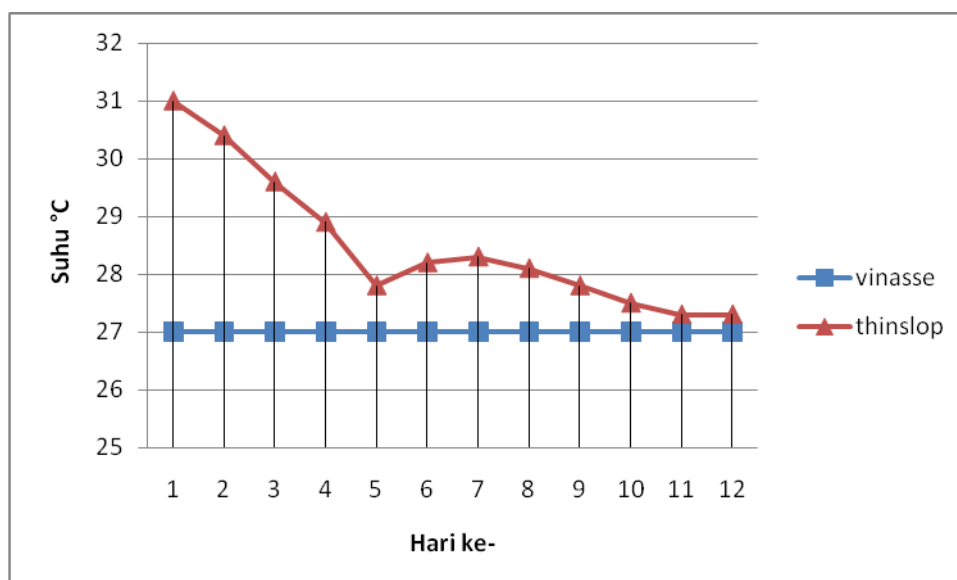
Penelitian lanjutan dilakukan setelah tahap aklimatisasi dianggap cukup dengan pH yang relative konstan yaitu sekitar 7,0 (netral). Perlakuan yang diberikan adalah dengan cara pengeluaran air limbah dari dalam bioreaktor, kemudian menggantinya dengan air limbah baru setiap harinya. Proses aklimatisasi yang baik mampu membuat mikroorganisme dapat mendegradasi bahan-bahan organik dengan baik sehingga menghasilkan biogas dengan konsentrasi gas metana yang optimal. Berikut ini adalah penguraian hasil pengamatan terhadap beberapa parameter pada air limbah industri bioetanol *thinslop* dan *vinasse*, yaitu :

1. Nilai Suhu

Suhu merupakan faktor penting dalam mempengaruhi aktifitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik di dalam air limbah. Proses perombakan bahan organik dalam kondisi anaerobik sangat peka terhadap perubahan suhu. Suhu optimal proses perombakan anaerobik (fermentasi) dibedakan menjadi tiga macam yaitu suhu termofilik (45-60)^oC dimana proses hidrolisis dan produksi gas metan tinggi, suhu mesofilik (27-40)^oC dimana proses hidrolisis berjalan cukup

baik dan terjadi percepatan proses hidrolisis seiring dengan kenaikan suhu, dan suhu kroyofil ($< 22^{\circ}\text{C}$) dimana proses hidrolisis berjalan lambat (Metcalf dan Eddy, 2003).

Suhu air limbah di dalam bioreaktor pada penelitian *vinasse* dan *thinslop* sudah diatur dengan menggunakan tangki pengendali suhu yang terhubung dengan alat pengatur suhu. Suhu yang diukur adalah suhu air limbah yang keluar dari dalam bioreaktor setelah proses fermentasi setiap harinya. Hasil pengukuran suhu air limbah bioetanol (*vinasse* dan *thinslop*) dapat dilihat pada Gambar 6.



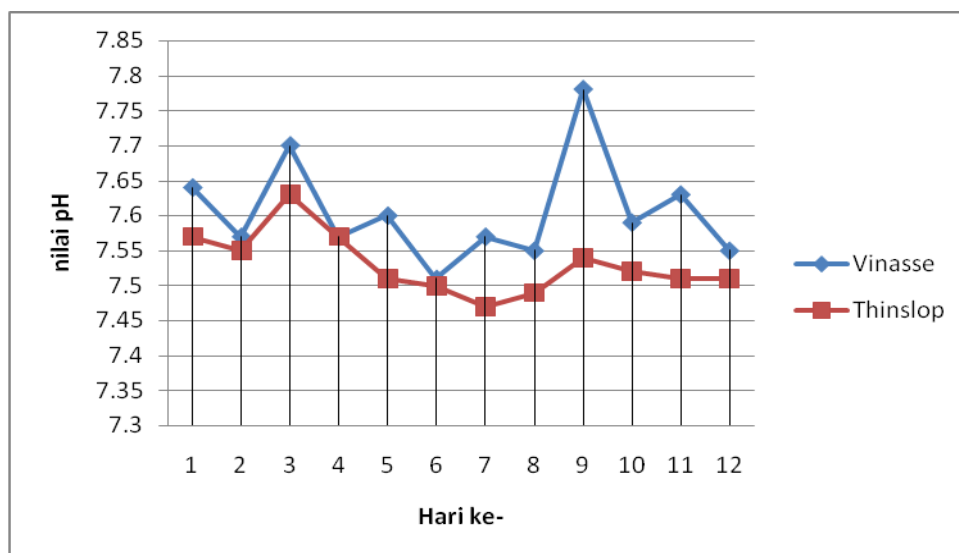
Gambar 6. Hasil pengukuran suhu air limbah bioetanol berbahan baku ubikayu (*thinslop*) (Maryanti, 2011) dan tetes tebu (*vinasse*) (Amelia, 2012)

Gambar 6 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai suhu pada penelitian *thinslop*, yaitu dari 31°C menjadi $27,3^{\circ}\text{C}$ dengan suhu rata-rata, yaitu $28,52^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada penelitian *vinasse* terjadi nilai suhu yang konstan, yaitu 27°C . Kondisi suhu pada kedua air limbah tersebut sudah memenuhi kriteria suhu

optimum untuk proses anaerobik. Menurut wise et al. (2000) dalam Maryanti (2011), suhu optimum untuk pertumbuhan bakteri mesofilik adalah 25-40°C dan suhu ideal untuk reaksi anaerobik di dalam bioreaktor adalah pada suhu 30-35°C (Grady dan Lim, 1980).

2. Nilai pH

Parameter derajat keasaman (pH) berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri dan disosiasi amoniak, sulfide dan asam-asam organik, yang merupakan senyawa penting dalam proses perombakan anaerobik. pH optimum pada pengolahan air limbah secara anaerobik berkisar 6-8. Nilai pH 7 (netral) dalam air limbah dapat memberikan hasil terbaik dalam meningkatkan produksi biogas. Hasil pengukuran pH air limbah bioetanol (*vinasse* dan *thinslop*) dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil pengukuran pH air limbah bioetanol berbahan baku ubikayu (*thinslop*) (Maryanti, 2011) dan tetes tebu (*vinasse*) (Amelia, 2012)

Gambar 7 menunjukkan bahwa terjadi nilai pH pada kedua air limbah telah memenuhi kriteria untuk proses anaerobik dan pertumbuhan bakteri metanogenik, yaitu berkisar antara 7,47-7,63 untuk penelitian *thinslop* dan berkisar antara 7,51-7,78 untuk penelitian *vinasse*.

G. Biogas sebagai Sumber Energi

Biogas merupakan gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari proses penguraian senyawa organik seperti karbohidrat, lemak dan protein yang terdapat dalam limbah cair dengan bantuan bakteri anaerob dalam sebuah digester atau metana reaktor. Biogas sebagian besar mengandung 55-75 persen gas metana (CH_4), 25-45 persen karbondioksida (CO_2), dan beberapa kandungan gas yang jumlahnya kecil diantaranya 1-5 persen hidrogen (H_2), 0-3 persen hidrogen sulfida (H_2S), amonia (NH_3) serta 0-0,3 persen nitrogen (N). Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi gas metana (CH_4) (Cucu dan Oki, 2010).

Gas metana sebagai komponen utama biogas adalah gas tak berbau dan tak berwarna. Gas metana dikenal umum berpotensi sebagai bahan bakar alternatif dengan nilai kalor $35,9 \text{ MJ/m}^3 \text{ CH}_4$ (Nakamura, 2006 dalam Hasanudin, dkk., 2007). Satu mol metana memerlukan dua mol oksigen untuk dapat dioksidasi menjadi CO_2 dan air, akibatnya setiap produksi 16 gram metana dapat menurunkan COD air limbah sebanyak 64 gram. Pada suhu dan tekanan standar, setiap stabilisasi 1 pound COD dapat menghasilkan $5,62 \text{ ft}^3$ metana atau $0,35 \text{ m}^3$ metana/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. Biogas sebanyak 28,23 m³ atau 1000 ft³ apabila dibakar akan menghasilkan energi panas yang setara dengan 6,4 gallon (1 US gallon =3,785 liter) butana atau 5,2 gallon gasolin (bensin) atau 4,6 gallon minyak diesel. Biogas sebanyak 150 ft³ per hari cukup untuk memasak pada rumah tangga dengan 4-5 anggota keluarga. Konversi energi biogas dan penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. 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)

Gas metana dalam biogas, bila terbakar akan relatif lebih bersih daripada batu bara dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbondioksida yang lebih sedikit. Pemanfaatan biogas memegang peranan penting dalam manajemen air limbah karena gas metana merupakan gas rumah kaca yang lebih berbahaya dalam pemanasan global jika dibandingkan dengan karbon dioksida. Karbon dalam biogas merupakan karbon yang diambil dari atmosfer oleh fotosintesis tanaman, sehingga bila dilepaskan lagi ke atmosfer tidak akan menambah jumlah karbon di atmosfer bila dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil.

Panas pembakaran dari suatu bahan bakar adalah panas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna bahan bakar pada volume konstan dalam kalorimeter dan

dinyatakan dalam kal/kg atau Btu/lb. Panas pembakaran dari bahan bakar bisa dinyatakan dalam *High Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV). *High Heating Value* merupakan panas pembakaran dari bahan bakar yang di dalamnya masih termasuk kalor latent dari uap air hasil pembakaran. *Low Heating Value* merupakan panas pembakaran dari bahan bakar setelah dikurangi kalor latent dari uap air hasil pembakaran (Cucu dan Oki, 2010). Nilai kalor pembakaran yang terdapat pada biogas berupa HHV dan LHV pembakarannya dapat diperoleh dari Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Nilai kalor pembakaran biogas

Komponen	<i>High Heating Value</i> (HHV)		<i>Lower Heating Value</i> (LHV)	
	(Kkal/m ³)	(Kkal/kg)	(Kkal/m ³)	(Kkal/kg)
Hidrogen (H ₂)	2.842,21	33.903,61	2.402,62	28.661,13
Karbon monoksida (CO)	2.811,95	2.414,31	2.811,95	2.414,31
Gas Methan (CH ₄)	8.851,43	13.265,91	7.973,13	11.953,76

Sumber: Price dan Cheremisinoff (1981) dalam Cucu dan Oki (2010)