

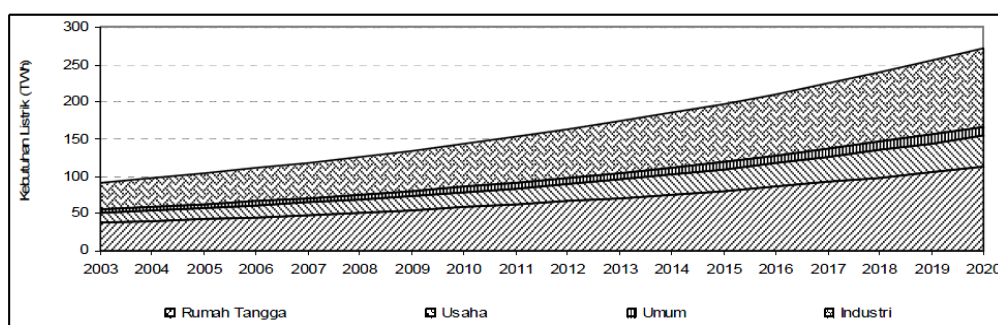
## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Konsumsi Energi Listrik**

Listrik sudah menjadi kebutuhan wajib bagi masyarakat, pasalnya hampir semua peralatan yang memudahkan manusia dalam kehidupan sehari-hari membutuhkan energi listrik untuk menjalankannya. Pertumbuhan penduduk di Indonesia diiringi juga dengan meningkatnya konsumsi energi listrik, tercatat di akhir Tahun 2013 jumlah pelanggan listrik PLN mencapai 53.996.208 pelanggan, meningkat sebesar 8,44% dari akhir tahun 2012. Dan Harga jual listrik rata-rata per kWh selama tahun 2013 sebesar Rp 818,41 lebih tinggi dari tahun sebelumnya sebesar Rp 728,32 (Statistik PLN, 2013).

Berdasarkan hasil proyeksi kebutuhan listrik dari tahun 2003-2020 yang dilakukan Dinas Perencanaan Sistem PT PLN (Persero) dan Tim Energi BPPT, terlihat bahwa selama kurun waktu tersebut rata-rata kebutuhan listrik di Indonesia tumbuh sebesar 6,50% per tahun dengan pertumbuhan listrik di sektor komersial yang tertinggi, yaitu sekitar 7,30% per tahun dan disusul sektor rumah tangga dengan pertumbuhan kebutuhan listrik sebesar 6,90% per tahun. Hal tersebut sangat beralasan, mengingat untuk meningkatkan perekonomian di Indonesia, pemerintah meningkatkan pertumbuhan sektor pariwisata yang selanjutnya akan mempengaruhi pertumbuhan sektor komersial. Untuk sektor

rumah tangga laju pertumbuhan kebutuhan listrik yang tinggi dipicu oleh ratio elektrifikasi dari berbagai daerah yang masih relatif rendah, karena sampai tahun 2003 masih ada beberapa wilayah di Indonesia yang belum terlistriki terutama di daerah yang tidak dilewati listrik PLN. Besarnya kebutuhan listrik masing-masing sektor pengguna energi di 22 wilayah pemasaran PLN di Indonesia secara akumulasi dapat dilihat pada Gambar 1.

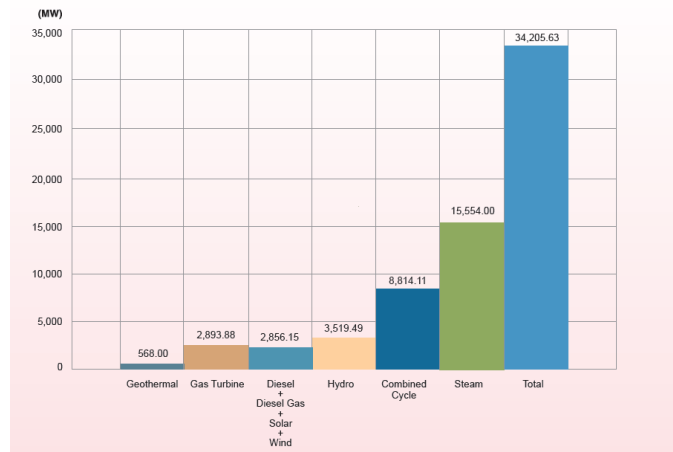


Gambar 1. Proyeksi Kebutuhan Listrik Persektor Di Indonesia Tahun 2003-2020 (Permana, 2003)

Menurut Permana (2013), Total kebutuhan listrik di Indonesia merupakan akumulasi dari kebutuhan listrik pada masing-masing sektor pengguna energi di 22 wilayah pemasaran listrik PLN, dan selama kurun waktu 17 tahun (2003-2020) diperkirakan tumbuh sebesar 6,50% per tahun. Untuk wilayah lampung sendiri masih defisit listrik sekitar 100-150 Megawatt, dan bergantung pada suplai dari jalur utara yakni dari Baturaja menuju Kota Bumi, Lampung Utara (PT. PLN, 2013).

Dengan kebutuhan yang semakin meningkat penyediaan energi listrik juga harus semakin meningkat. Kapasitas terpasang berdasarkan jenis pembangkit listrik

dapat dilihat pada Gambar 2. Jumlah kapasitas terpasang seharusnya semakin besar mengingat kebutuhan listrik semakin meningkat.



Gambar 2. Kapasitas terpasang (Statistik PLN, 2013)

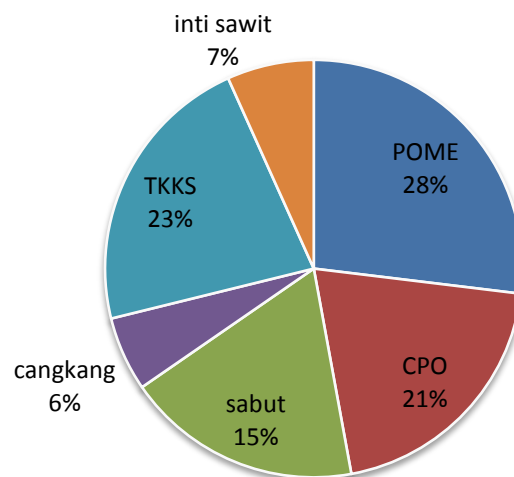
Dari grafik tersebut terlihat kapasitas terpasang dari unit pembangkit listrik PLTD, PLTMG, PLT Surya, PLT Angin termasuk kecil yaitu 2856,15 Mega Watt dari total kapasitas yang terpasang 34205,63 Mega Watt. Pengembangan di unit pembangkit tersebut dapat dilakukan untuk memperbesar kapasitas terpasang nantinya. PLTMG (Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas) merupakan salah satunya yang dapat dikembangkan untuk menambah kapasitas energi listrik yang terpasang.

## 2.2 Limbah industri kelapa sawit

### 2.2.1 Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Limbah cair pabrik kelapa sawit atau POME adalah salah satu produk samping dari pabrik minyak kelapa sawit yang berasal dari kondensat dari proses sterilisasi, air dari proses klarifikasi, air *hydrocyclone* (*claybath*), dan air

pencucian pabrik. POME mengandung berbagai senyawa terlarut termasuk, serat-serat pendek, hemiselulosa dan turunannya, protein, asam organik bebas dan campuran mineral-mineral. Dari satu ton tandan buah segar yang diproses pada pabrik kelapa sawit diperoleh sekitar 28% POME, persentase dihitung terhadap tandan buah segar (basis kering) yang dapat dilihat pada Gambar 3 (Abdullah dan Sulaiman dalam Nur, 2014). Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit/ POME ini umumnya berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi.



Gambar 3. Persentase produk limbah kelapa sawit terhadap tandan buah segar (basis kering)

POME adalah cairan oleh-produk yang dihasilkan dari pemurnian minyak mentah. Hal ini kaya nutrisi tanaman dan sedimen yang biasanya digunakan sebagai pupuk di perkebunan kelapa sawit (Nur, 2014). POME 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 metan dan karbon dioksida yang dilepaskan adalah termasuk gas rumah kaca yang disebut-sebut sebagai sumber pemanasan global saat ini. Emisi gas metan 21 kali lebih berbahaya dari CO<sub>2</sub> dan metan merupakan salah satu penyumbang gas rumah kaca terbesar.

### 2.2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah padat lignoselulosa industri kelapa sawit. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) diperoleh setelah Tandan Buah Segar dimasak pada tabung bertekanan untuk mendapatkan minyak dalam sebuah proses yang disebut sterilisasi. Ketersediaannya dapat dikatakan melimpah di Indonesia, untuk setiap ton tandan buah segar diperoleh sekitar 230 kg TKKS (Nur, 2014). Jika dilihat dari fisiknya tandan kosong kelapa sawit berupa serat-serat dengan komposisi selulosa, himeselulosa, dan lignin. Komposisi kandungan tandan kosong kelapa sawit dapat dilihat di Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan tandan kosong kelapa sawit (Sudiyani, 2009)

Komponen	% Berat
Selulosa	41,30-46,50
Himeselulosa	25,30-33,80
Lignin	27,60-32,50

Selama ini tandan kosong kelapa sawit banyak dimanfaatkan sebagai pupuk kompos, akan tetapi jika tandan kosong kelapa sawit ini difermentasi secara anaerob juga menghasilkan biogas dan hasil sampingnya juga berupa kompos.

### 2.3 Biogas

Menurut Simamora (2006) bahwa biogas adalah adanya dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar merupakan metan dan karbon dioksida dan proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri metan. Hambali (2007) menyatakan bahwa biogas didefinisikan sebagai gas yang dilepaskan jika bahan-bahan organik (seperti, kotoran ternak, kotoran manusia, jerami, sekam dan daun-daun hasil sortiran sayuran) difermentasikan atau mengalami proses metanisasi. Wahyuni (2013) juga menyatakan bahwa biogas adalah campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobik. Biogas merupakan gas yang timbul dari hasil fermentasi bahan-bahan organik seperti, kotoran hewan, kotoran manusia, atau sampah direndam di dalam air dan disimpan di dalam tempat yang tertutup atau anaerob. Biogas tersebut sebenarnya dapat juga terjadi pada kondisi alami, namun untuk mempercepat dan menampung gas ini, maka diperlukan alat yang memenuhi syarat terbentuknya gas ini yaitu digester (Setiawan, 2007). Demikian juga dengan Said (2008) menyatakan bahwa biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan biologis atau organik oleh organisme kecil pada kondisi tanpa oksigen (anaerob).

Secara umum proses pembentukan biogas yaitu fermentasi bahan organik kompleks menjadi gas oleh mikroorganisme anaerob. Berdasarkan aliran bahan baku, reaktor biogas (*biodigester*) dibedakan menjadi tipe bak (*batch*) dan tipe mengalir (*continuous*). Pada tipe mengalir aliran bahan baku masuk dan residu

keluar pada selang waktu tertentu, lama waktu bahan baku selama dalam reaktor disebut waktu retensi hidrolis atau HRT (*Hydraulic Retention Time*).

Biogas menurut karakteristik fisik merupakan gas. Karena itu, proses pembentukannya membutuhkan ruangan dalam kondisi kedap atau tertutup agar stabil. Pada prinsipnya biogas terbentuk melalui beberapa proses yang berlangsung dalam ruang yang anaerob atau tanpa oksigen. Proses berlangsung secara anaerob dalam tempat tertutup ini juga memberikan keuntungan secara ekologi karena tidak menimbulkan bau yang menyebar kemana-mana.

Berikut mekanisme pembentukan biogas secara umum.



Apabila diuraikan dengan terperinci, secara keseluruhan terdapat tiga proses utama dalam pembentukan biogas, yaitu proses hidrolisis, pengasaman (asidifikasi), dan metanogenesis. Keseluruhan proses ini tidak terlepas dari bantuan mikroorganisme anaerob.

- Hidrolisis

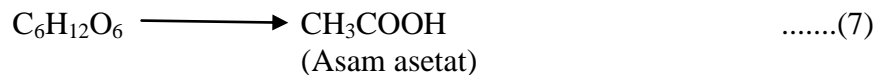
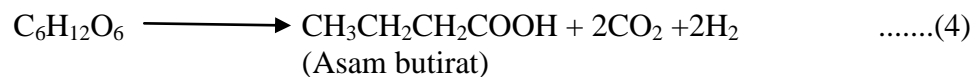
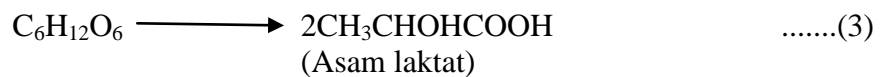
Hidrolisis merupakan tahap awal dari proses fermentasi. Tahap ini merupakan penguraian bahan organik dengan senyawa kompleks yang memiliki sifat mudah larut seperti lemak, protein, dan karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana. Tahap ini juga dapat diartikan sebagai perubahan struktur dari bentuk polimer menjadi bentuk monomer. Senyawa yang dihasilkan dari proses hidrolisis diantaranya senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO<sub>2</sub>, dan senyawa

hidrokarbon lainnya. Senyawa ini akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energi untuk aktivitas fermentasi

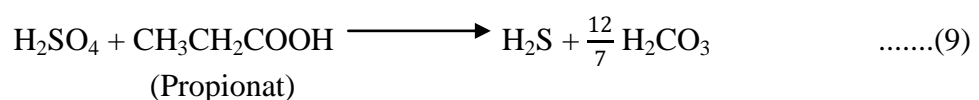
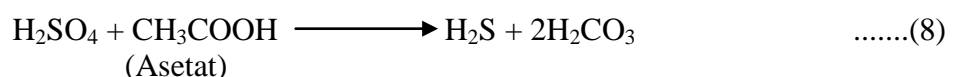


- Asidifikasi

Senyawa-senyawa yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan dijadikan sumber energi bagi mikroorganisme untuk tahap selanjutnya, yaitu pengasaman atau asidifikasi. Ada tahap ini, bakteri akan menghasilkan senyawa –senyawa asam organik seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat, dan asam laktat beserta produk sampingan berupa alkohol, CO<sub>2</sub>, hidrogen dan zat amonia.



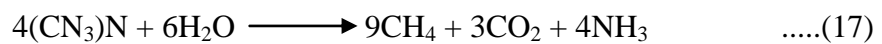
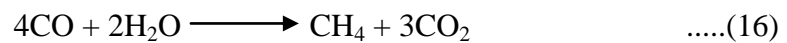
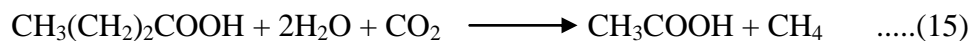
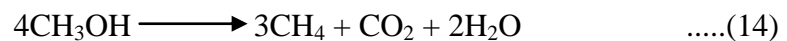
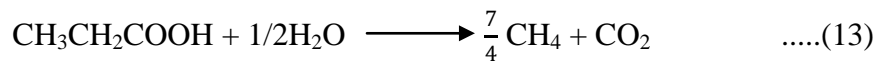
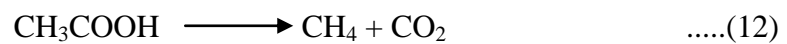
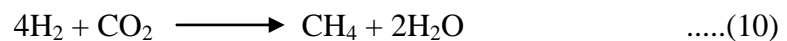
Hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) dihasilkan oleh bakteri pengurai sulfat. Bakteri pengurai sulfat tumbuh dalam digester dan menggunakan asetat atau propionat asam untuk menghasilkan H<sub>2</sub>S. Langkah ini terjadi secara bersamaan dengan produksi metana (Truong, 2005). Reaksi yang menghasilkan H<sub>2</sub>S dapat dilihat di bawah ini (Vavilin, 1993) :





- Metanogenesis

Bakteri metanogen seperti *methanococcus*, *methanosarcina*, dan *methanobacterium* akan mengubah produk lanjutan dari tahap pengasaman menjadi gas metan, karbondioksida, dan air yang merupakan komponen penyusun biogas. berikut reaksi perombakan yang dapat terjadi pada tahap metanogenesis (Wahyuni, 2013).



Biogas kira-kira memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan dengan udara. Biogas memiliki suhu pembakaran antara 650° – 750° C. Biogas tidak berwarna dan biasanya berbau karena mengandung sulfur. Apabila dibakar, akan menghasilkan nyala biru cerah seperti gas LPG. Nilai kalor gas metana adalah sebesar 20 MJ/m<sup>3</sup> dengan efisiensi pembakaran 60% pada pembakaran konvensional kompor biogas (Wahyuni, 2013). Metana (CH<sub>4</sub>) yang hanya memiliki satu karbon dalam setiap rantainya, dapat membuat pembakarannya lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar berantai karbon panjang. Hal tersebut disebabkan karena jumlah CO<sub>2</sub> yang dihasilkan selama pembakaran bahan bakar berantai karbon pendek adalah lebih sedikit. Gas metana termasuk

gas yang menimbulkan efek rumah kaca yang menyebabkan fenomena pemanasan global. Hal ini karena gas metana memiliki dampak 21 kali lebih tinggi dibandingkan gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ). Pengurangan gas metana secara lokal dapat berperan positif dalam upaya mengatasi masalah global, terutama efek rumah kaca yang berakibat pada perubahan iklim global. Komposisi penyusun biogas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Biogas Secara Umum (Wahyuni, 2013)

<b>Gas</b>	<b>% volume</b>
Metan ( $\text{CH}_4$ )	50,00-60,00
Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ )	30,00-40,00
$\text{O}_2$ , $\text{H}_2$ , dan $\text{H}_2\text{S}$	1,00-2,00

Jumlah energi yang dihasilkan dalam pembentukan biogas sangat bergantung pada konsentrasi gas metana yang dihasilkan pada proses metanogenesis. Kandungan metan yang cukup tinggi dalam biogas dapat menggantikan peran LPG dan petrol (bensin). Tapi ada kandungan lain lagi selain metan dalam biogas yang perlu adanya proses pemurnian. Gas tersebut adalah gas  $\text{H}_2\text{S}$  yang dianggap sebagai pengotor dan bila ikut terbakar dan terbebas dengan udara dapat teroksidasi menjadi  $\text{SO}_2$  dan  $\text{SO}_3$  yang bersifat korosif dan bila teroksidasi lebih lanjut oleh  $\text{H}_2\text{O}$  dapat memicu hujan asam. Selain  $\text{H}_2\text{S}$  terdapat juga uap air dan  $\text{CO}_2$  yang tidak bermanfaat pada saat pembakaran. Biogas yang mengandung sejumlah  $\text{H}_2\text{O}$  dapat berkurang nilai kalornya. Gas  $\text{H}_2\text{O}$  sebagaimana gas  $\text{H}_2\text{S}$  juga perlu dibersihkan dari biogas.

## 2.4 Fermentasi Bahan Organik

### 2.4.1 Fermentasi basah

Fermentasi basah adalah fermentasi bahan organik dengan keadaan kadar air tinggi (lebih dari 75%) dan membutuhkan pengecilan ukuran bahan organik hingga menyerupai bubur. Sebelum dimasukkan kedalam digester dilakukan pengecilan ukuran dan penambahan air hingga menyerupai bubur. Hal tersebut bertujuan agar bahan isian mencapai kadar air dan rasio C/N yang diinginkan. Digester merupakan tempat terjadinya proses dekomposisi bahan-bahan organik isian yang berupa tabung kedap udara dan buangan proses dapat dikeluarkan. Digester bermacam-macam sesuai dengan jenis bahan isian temperatur yang diharapkan dan bahan konstruksi. Digester dapat terbuat dari plastik, cor beton, baja, bata dan fiberglass dan bentuknya pun beragam, ada juga yg diletakkan di bawah tanah (Haryati, 2006).

Berdasarkan aliran bahan baku, reaktor biogas (digester) dibedakan menjadi :

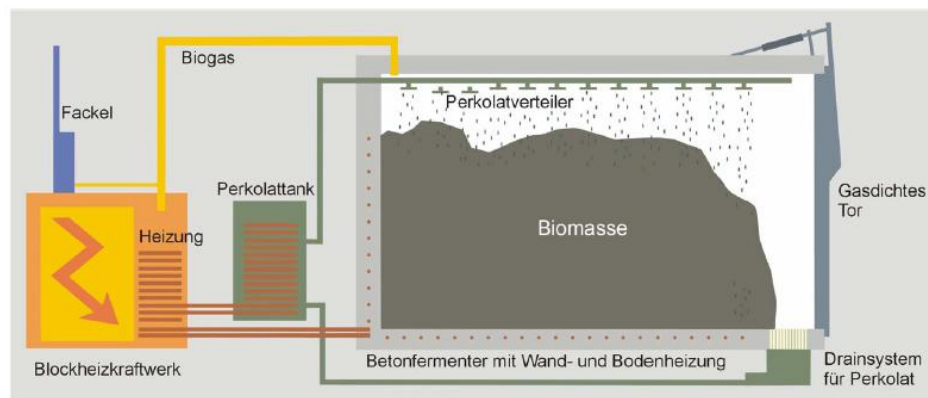
1. Bak (*batch*) – Pada tipe ini, bahan baku reaktor ditempatkan di dalam wadah (ruang tertentu) dari awal hingga selesainya proses digesti. Umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi gas dari limbah organik.
2. Mengalir (*continuous*) – Untuk tipe ini, aliran bahan baku masuk dan residu keluar pada selang waktu tertentu. Lama bahan baku selama dalam reaktor disebut waktu retensi hidrolik atau HRT.

### 2.4.2 Fermentasi kering

Fermentasi kering atau yang sering dikenal dengan *solid state fermentation* adalah metode pencernaan anaerobik oleh bakteri dekomposisi yang juga

memerlukan digester kedap udara agar proses pencernaan anaerobik dapat berlangsung dengan optimal dan menghasilkan biogas. Proses fermentasi kering atau dry fermentation ini tidak memerlukan kadar air tinggi pada bahan isianya (konsentrasi bahan kering lebih dari 20,00%) dan tidak memerlukan pembuburan pada bahan isian sebelum di masukkan ke dalam digester (Chen, 2013).

Ciri-ciri utama fermentasi kering adalah adanya pengabutan atau penyemprotan sumber bakteri atau inokulum yang dipaparkan ke bahan isian yang terdapat di dalam digester kedap udara sehingga proses pencernaan anaerobik tetap dapat berlangsung. Skema fungsi prinsip fermentasi kering dapat dilihat di Gambar 3.



Gambar 4. Skema Fungsi Prinsip Fermentasi Kering (Internationales Biogas und Bioenergie Kompetenzzentrum, 2007)

Proses pencernaan anaerobik menggunakan fermentasi kering memberikan hasil produk yang sama dengan proses fermentasi basah yaitu biogas dan pupuk organik, namun pupuk organik hasil fermentasi kering lebih kering kondisinya. Dalam fermentasi kering lebih diperhatikan tentang kedalaman tumpukan bahan, sedangkan pada fermentasi basah lebih diperhatikan volume dan luasan wilayah. Perbedaan-perbedaan antara fermentasi kering dan fermentasi basah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbedaan fermentasi kering dan fermentasi basah (Prabhakar, 2005)

<b>Fermentasi Kering</b>	<b>Fermentasi Basah</b>
Membutuhkan sedikit air	Membutuhkan banyak air
Tidak bebas-mengalir	Bebas mengalir
Lebih memperhatikan kedalaman	Lebih memperhatikan wilayah
Substrat padat tunggal menyediakan C, N <sub>2</sub> , mineral dan energy	Bekerja
Menyerap air sedang, untuk mengambil nutrisi	Terlarut dalam air
Gradien dari T, pH, Cs, Cn	Seragam
Sistem 3 fase	Sistem 2 fase
Kontrol suhu, oksigen, dan air/kelembapan	Kontrol suhu dan oksigen
Rasio inokulum besar	Rasio inokulum rendah
Resistensi partikel Intra	Tidak ada resistansi
Sel bakteri dan ragi berada pada padatan dan tumbuh	Tersebar secara merata
Produk dengan konsentrasi tinggi	Produk dengan konsentrasi rendah

## 2.5 Pemanfaatan Biogas

Biogas yang sebagian besar kandungannya adalah gas metana tidak hanya dimanfaatkan sebagai pemanas/kompur, tetapi juga dapat dimanfaatkan dalam berbagai jenis peralatan lainnya seperti turbin mikro, mesin stirling, motor bakar dalam seperti genset dan lainnya. Biogas dapat digunakan untuk semua aplikasi yang dirancang untuk gas alam, dengan asumsi pemurnian cukup. Pemurnian dilakukan mengingat gas yang terkandung dalam biogas tidak hanya gas metana akan tetapi ada juga gas lainnya yang merupakan kontaminan seperti *hidrogen sulfida* (H<sub>2</sub>S). Pengurangan kadar H<sub>2</sub>S penting untuk dilakukan pembakaran yang terjadi sesuai dengan kebutuhan peralatan yang digunakan. Masing-masing peralatan memiliki toleran yang berbeda-beda terhadap kadar H<sub>2</sub>S yang

terkandung dalam biogas yang digunakan. Aplikasi biogas stasioner umumnya memiliki persyaratan pengolahan gas yang lebih sedikit. Untuk mengetahui macam-macam pemanfaatan biogas dan persyaratan yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Teknologi Pemanfaatan Biogas dan Persyaratan Pengolahan Gas (Zicari, 2003)

<b>Teknologi</b>	<b>Persyaratan Pengolahan Rekomendasi Gas</b>
Pemanas (Boiler)	H <sub>2</sub> S <1000 ppm, 0,8-2,5 tekanan kPa, menghapus kondensat (kompor dapur: H <sub>2</sub> S <10 ppm)
Internal Combustion Engines	H <sub>2</sub> S <100 ppm, 0,8-2,5 tekanan kPa, menghapus kondensat, hapus siloksan (Otto mesin siklus lebih rentan terhadap H <sub>2</sub> S daripada mesin diesel)
Turbin Mikro	H <sub>2</sub> S toleran terhadap 70.000 ppm, > 350 BTU / scf, 520 tekanan kPa, menghapus kondensat, hapus siloxanes
Sel Bahan Bakar ( Fuel Cells)	PEM: CO <10 ppm, hapus H <sub>2</sub> S PAFC: H <sub>2</sub> S <20 ppm, CO <10 ppm, Halogen <4 ppm MCFC: H <sub>2</sub> S <10 ppm dalam bahan bakar (H <sub>2</sub> S <0,5 ppm untuk stack), Halogen <1 ppm SOFC: H <sub>2</sub> S <1 ppm, Halogen <1 ppm
Mesin Stirling	Mirip dengan boiler untuk H <sub>2</sub> S, 1-14 tekanan kPa
Peningkatan Gas Alam (Natural Gas Upgrade)	H <sub>2</sub> S <4 ppm, CH <sub>4</sub> > 95%, Volume CO <sub>2</sub> <2%, H <sub>2</sub> O <(1 * 10 <sup>-4</sup> ) kg / MMscf, menghapus siloksan dan partikulat, > 3000 tekanan kPa

Teknologi seperti boiler dan mesin Stirling memiliki setidaknya persyaratan pengolahan gas ketat karena konfigurasi pembakaran eksternal mereka. Mesin pembakaran internal dan microturbines adalah berikutnya yang paling toleran terhadap kontaminan. Sel bahan bakar umumnya kurang toleran terhadap kontaminan akibat potensi keracunan katalitik. Peningkatan ke kualitas gas alam biasanya membutuhkan proses yang mahal dan kompleks dan harus dilakukan ketika injeksi ke dalam pipa gas alam atau produksi bahan bakar kendaraan yang diinginkan.

Meskipun tidak tercakup dalam penelitian ini, teknik untuk menghilangkan CO<sub>2</sub> juga sekaligus mengurangi tingkat H<sub>2</sub>S. Banyak fasilitas di Eropa telah memanfaatkan menggosok air, polietilen glikol menggosok, karbon molekul-saringan atau membran untuk peningkatan biogas untuk gas alam atau bahan bakar kendaraan.

## 2.6 Proses Pemurnian Biogas

Biogas mengandung unsur-unsur yang tidak bermanfaat untuk pembakaran khususnya H<sub>2</sub>O dan H<sub>2</sub>S. Pengurangan kadar H<sub>2</sub>O yang sederhana dilakukan dengan cara melewatkan biogas pada suatu kolom yang terdiri dari silika gel. H<sub>2</sub>O akan diserap oleh silika gel. Sedangkan pemurnian biogas dari unsur H<sub>2</sub>S dapat dilakukan dengan teknik absorpsi. Absorpsi adalah pemisahan suatu gas tertentu dari campuran gas-gas dengan cara pemindahan massa ke dalam suatu *liquid*. Hal ini dilakukan dengan cara mengantarkan aliran gas dengan *liquid* yang mempunyai selektivitas pelarut yang berbeda dari gas yang akan dipisahkannya.

Untuk absorpsi kimia, transfer massanya dilakukan dengan bantuan reaksi kimia. Suatu pelarut kimia yang berfungsi sebagai absorben akan bereaksi dengan gas asam (CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S) menjadi senyawa lain, sehingga gas alam yang dihasilkan sudah tidak lagi mengandung gas asam yang biasanya akan mencemari lingkungan apabila ikut terbakar. Secara umum penghilangan (pengurangan) H<sub>2</sub>S dari biogas dapat dilakukan secara fisika, kimia, atau biologi (Zicari, 2003).

Pemurnian secara fisika misalnya penyerapan dengan air, pemisahan dengan menggunakan membran atau adsorpsi dengan adsorben misalnya dengan menggunakan adsorben karbon aktif. Metode fisika ini relatif mahal karena

absorben sulit diregenerasi dan pengurangan H<sub>2</sub>S rendah serta masih berupa larutan dan gas yang dibuang di lingkungan (Zicari, 2003). Pemurnian dengan cara biologi dengan menggunakan bakteri yang menguraikan H<sub>2</sub>S menjadi sulfat. Metode ini efektif untuk mereduksi kandungan H<sub>2</sub>S dalam biogas, tetapi metode ini selain sulit dalam pengoperasiannya juga sangat mahal. Pemurnian biogas dari kandungan H<sub>2</sub>S yang sering dilakukan adalah diserap secara kimiawi. Pada metode ini H<sub>2</sub>S diserap secara kimiawi (bereaksi secara kimia) oleh larutan absorben. Selanjutnya absorben yang kaya H<sub>2</sub>S diregenerasi untuk melepas kembali H<sub>2</sub>S-nya dalam bentuk gas atau sulfur padat (Kohl, 1985). Absorben yang lain adalah larutan nitrit, larutan garam alkali, *slurry* besi oksida atau seng oksida dan *iron chelated solution* (Zicari, 2003). Absorben yang banyak digunakan di Industry adalah MEA (*Methyl Ethanol Amine*). Absorben menggunakan MEA sangat efektif mengurangi kandungan sulfur dari gas, tetapi H<sub>2</sub>S yang diserap selanjutnya dibuang ke udara saat regenerasi MEA. Hal ini tentu mencemari udara dan hanya sesuai untuk pengolahan gas dengan kandungan sulfur yang kecil.

Selain itu larutan MEA korosif sehingga perlu peralatan proses yang tahan korosi. Absorpsi H<sub>2</sub>S menggunakan absorben larutan nitrit, larutan garam alkali atau *slurry* besi oksida atau seng oksida juga efektif tetapi absorben tidak bisa diregenerasi sehingga biaya operasional mahal karena konsumsi absorben besar. Pemurnian biogas (juga gas lain) dari kandungan H<sub>2</sub>S menggunakan *iron chelated solution* memberikan banyak kelebihan (Wubs, 1994). Kelebihan tersebut diantaranya adalah efektifitas penyerapan H<sub>2</sub>S tinggi, larutan absorben dapat diregenerasi sehingga biaya operasional murah. Kelebihan lain yang tidak ada pada proses lain adalah sulfur yang terpisahkan dari biogas berupa sulfur padat



atau paling tidak berupa residu yang mudah dan aman dalam pembuangannya sehingga tidak mencemari lingkungan. Istilah *chelated* pada absorben ini adalah senyawa kimia dalam bentuk cincin heterosiklis yang mengandung ion logam yang terikat secara koordinatif oleh minimal dua ion *non metal*. *Chelated agent* yang biasa digunakan adalah EDTA (*Ethylene Diamine Tetra Acetate*). *Iron chelated solution* dibuat dengan melarutkan senyawa garam besi (misal  $\text{FeCl}_2$ ) ke dalam larutan EDTA (Horikawa, 2004).

## 2.7 Genset Biogas

Genset biogas merupakan motor bakar 4 langkah (motor bensin) yang dimodifikasi agar dapat menggunakan bahan bakar biogas. Modifikasi dasar adalah merubah campuran udara dan bahan bakar di dalam karburasi yang awalnya campuran udara dengan bensin diganti dengan campuran udara dan biogas. Perbandingan massa udara dan massa bahan bakar untuk pembakaran sempurna dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan jumlah udara dan jumlah bahan bakar untuk pembakaran sempurna (Suyitno, 2009)

Bahan Bakar	Perbandingan massa udara terhadap massa bahan bakar	Perbandingan volume udara terhadap volume bahan bakar
Bensin	15,05	5275,00
<i>Methane</i>	17,16	9,00
Biogas 50% $\text{CH}_4$ + 50% $\text{CO}_2$	4,60	5,80

Besarnya rasio kompresi dapat mempengaruhi efisiensi dari motor bakar. Secara umum dikatakan bahwa dengan rasio kompresi yang lebih tinggi akan diperoleh

peningkatan efisiensi. Untuk biogas, rasio kompresi direkomendasikan tidak lebih dari 13 (Mitzlatf, 1988). Semakin tinggi rasio kompresi dapat meningkatkan temperatur campuran udara bahan bakar. Hal ini dapat menyebabkan penyalaan sendiri yang tidak terkontrol dan proses pembakaran yang tidak rata. Keduanya dapat menjadi hal yang merugikan untuk mesin.