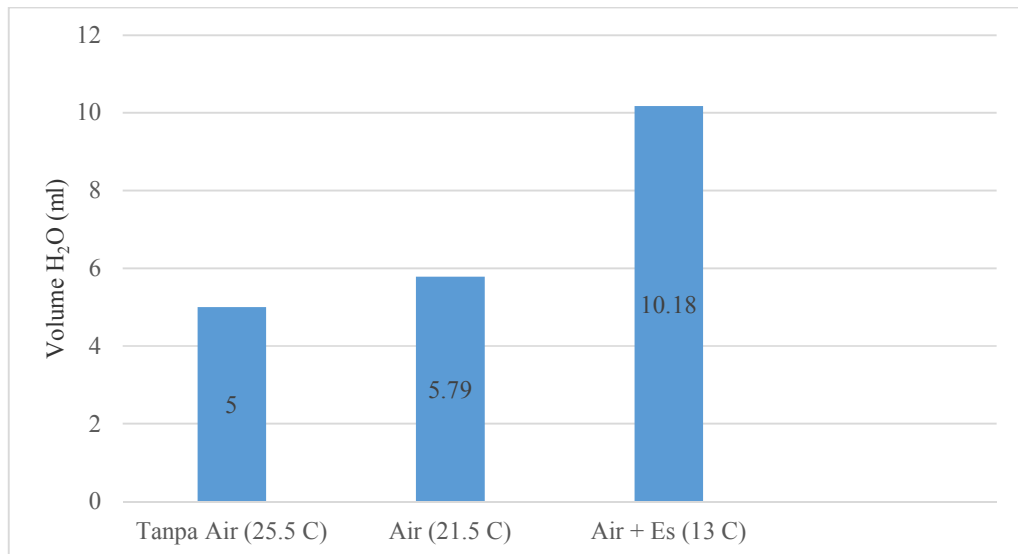


## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Kandungan biogas yang mengandung banyak zat pengotor menyebabkan diperlukannya proses pemurnian metana dalam biogas agar energi yang dihasilkan akan maksimal. Pada umumnya, proses pemurnian biogas bisa dilakukan dengan cara absorpsi menggunakan larutan penyerap, adsorpsi menggunakan padatan, pemisahan melalui membran, konversi kimia menjadi senyawa lain, dan kondensasi (Kohl dan Neilsen, 1997).

Pada penelitian kondensasi biogas yang sudah dilakukan, pengambilan data dilakukan dengan 3 kali ulangan yaitu dengan tiga macam tahapan perlakuan yaitu proses pengembunan tanpa air, dengan air, dan dengan air + es. Setiap perlakuan dilakukan selama  $\pm 60$  menit.

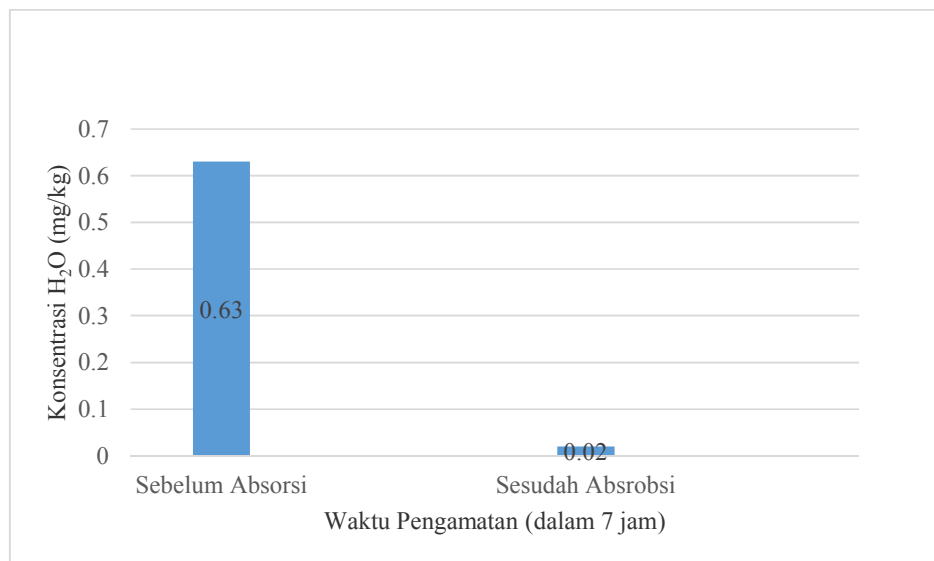


Gambar 2.1 Grafik Hubungan Penambahan Bahan Terhadap Volume Rata-rata H<sub>2</sub>O yang Terembunkan (Prayugi dkk., 2015).

Pada proses pengembunan, air yang diembunkan paling banyak terdapat pada perlakuan air + es (13<sup>0</sup>C) sebesar 10,18 ml, diikuti dengan perlakuan dengan air

(21,5<sup>0</sup>C) sebesar 5,79 ml dan perlakuan tanpa air (25,5<sup>0</sup>C) sebesar 5,00 ml untuk tiap 1 m<sup>3</sup> biogas yang dialirkan.

Pemurnian biogas dari kandungan H<sub>2</sub>O lainnya menggunakan metode absorpsi. Kelarutan sendiri adalah perpindahan komponen gas dari fase gas ke fase cair, merupakan pemisahan gas impuritas dari suatu campuran gas dengan melarutkan gas tersebut kedalam cairan. Pada transfer masa terjadi suatu sistem untuk mencapai kondisi kesetimbangan (Bounicore dkk., 1992).



Gambar 2.2 Grafik Hubungan Waktu Pengamatan Terhadap Konsentrasi H<sub>2</sub>O (Ariani, 2007)

Hasil pengamatan kadar H<sub>2</sub>O dalam biogas sebelum melalui *absorber tower* menunjukkan nilai 0,59 mg/kg sampai 0,64 mg/kg dengan nilai rata-ratanya 0,63 mg/kg, kemudian setelah dilalui *absorber tower* menunjukkan nilai 0,01 mg/kg sampai 0,03 mg/kg dengan nilai rata-rata 0,02 mg/kg. *Solven* yang digunakan adalah *silica gel*.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Biogas

Biogas merupakan gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara atau tanpa oksigen). Pada umumnya semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan biogas seperti kotoran dan urin hewan ternak maupun manusia (Korres dkk., 2013). Biogas dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar seperti LPG, bahkan dalam skala besar biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan. Karakteristik biogas menurut Widodo (2009) adalah sebagai berikut:

- a. Biogas memiliki massa jenis 20% lebih ringan dibandingkan udara dan memiliki suhu pembakaran antara 650°C sampai 750°C.
- b. Biogas tidak berbau dan berwarna yang apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah.

Biogas diolah dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob dan menghasilkan gas yang sebagian besar gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan beberapa kandungan gas yang jumlahnya kecil (Korres dkk., 2013). Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi gas metana ( $\text{CH}_4$ ). Bila kandungan metana ( $\text{CH}_4$ ) tinggi maka biogas tersebut akan memiliki nilai kalor yang tinggi dan mudah untuk digunakan (*flammable*), namun apabila kandungan gas pengotor lainnya yang tinggi maka akan mengakibatkan turunnya nilai kalor dan juga kualitas biogas tersebut (Wiratmana dkk., 2012).

Gas  $\text{CO}_2$  dalam reaksi pembakaran memiliki sifat yang dapat menurunkan nilai kalor pembakaran, sehingga adanya gas  $\text{CO}_2$  dalam biogas menjadi masalah utama dalam pemanfaatan biogas ini. Oleh karena itu, perlu adanya perlakuan lanjutan (*post treatment*). Namun bukan hanya gas  $\text{CO}_2$ , masih ada beberapa parameter yang diperlukan untuk meningkatkan nilai kalor biogas, yaitu menghilangkan hidrogen sulfur dan kandungan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Biogas yang dihasilkan apabila dimanfaatkan memiliki kesetaran energi dengan sumber energi lain adalah pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kesetaraan Energi (Wahyuni, 2008)

Volume	Kesetaraan
1 m <sup>3</sup> Biogas	0,46 kg LPG
	3,5 kg Kayu Bakar
	0,62 liter Minyak Tanah
	0,62 liter Minyak Solar

### 2.2.2 Komposisi Biogas

Komposisi biogas yang dihasilkan tergantung pada jenis bahan baku yang akan digunakan (Korres dkk., 2013). Tetapi komponen utamanya adalah metana (CH<sub>4</sub>) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>), namun juga terdapat kandungan lainnya seperti oksigen (O<sub>2</sub>), hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), air (H<sub>2</sub>O), hidrogen (H<sub>2</sub>), dan karbon monoksida (CO) (Hambali dkk., 2007).

Tabel 2.2 Komposisi Biogas (Hambali dkk., 2007)

Komposisi Biogas	Konsentrasi (% Volume)
Metana (CH <sub>4</sub> )	50-70
Karbondioksida (CO <sub>2</sub> )	25-45
Air (H <sub>2</sub> O)	2-7
Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S)	20-20.000 ppm
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	< 2
Oksigen (O <sub>2</sub> )	< 2
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	< 1


### 2.2.3 Gas Metana (CH<sub>4</sub>)

Gas metana secara atomik terdiri dari satu atom karbon dan empat atom hidrogen yang tergolong keluarga hidrokarbon tingkat terendah sehingga memiliki nilai kalor yang tinggi (55,5 MJ/kg) dibandingkan dengan gas hidrokarbon lain seperti gas propane sebesar 50,3 MJ/kg atau bensin (*gasoline*) sebesar 47,3 MJ/kg (Demirel, 2007) sehingga sangat berpotensi sekali untuk digunakan pada mesin yang berdaya besar seperti mesin kendaraan bermotor atau mesin-mesin produksi pada suatu perusahaan.

Gas metana alaminya sering terbentuk pada daerah-daerah lumpur dan lembap yang terisolasi dari kontak udara seperti daerah rawa atau selokan yang akan menyumbang besar pada komposisi udara di atmosfer. Karena densitas dari metana lebih ringan (0,6 kg/m<sup>3</sup>) dari pada udara atmosfer (1,3 kg/m<sup>3</sup>) sehingga pada atmosfer bagian atas lebih kaya akan sumber gas metana dibandingkan dengan udara permukaan yang mengakibatkan dampak negatif pada lingkungan yaitu peresapan energi termal dari sinar matahari (Suwignyo, 2015).

Tabel 2.3 Sifat-sifat metana (O'Neil, 2013)


Rumus Kimia	CH <sub>4</sub>
Nama Lain	<i>Natural Gas, Carbontetrahydrida</i>
<i>Appearance</i>	Tidak berwarna dan berbau
Densitas	0,656 kg/m <sup>3</sup> (gas, 32 °C, 1 atm) 0,716 kg/m <sup>3</sup> (gas, 0 °C, 1 atm) 0,42262 kg/m <sup>3</sup> (liquid, -162 °C)
Titik Lebur	-182,5 °C; -296,4 °F; 90,7 K
Titik Didih	-161,49 °C; -258,68 °F; 111,66 K
Sifat Kelarutan	Larut dalam air (22,7 mg/L), <i>ethanol</i> , <i>diethyl ether</i> , <i>benzene</i> , <i>toluene</i> , <i>methanol</i> , <i>acetone</i> .
Kapasitas Termal Spesifik	2,191 J/g.K

Sumber Bahaya	
Titik Nyala	-188 °C (-306,4 °F; 85,1 K)

#### 2.2.4 Gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>)

Gas karbondioksida adalah gas alam yang sangat akrab dengan manusia, karena setiap siklus pernapasan manusia menghasilkan gas karbondioksida yang selanjutnya akan diserap oleh tanaman melalui proses fotosintesis oleh sinar matahari. Karbondioksida berasal dari siklus karbon yang sebelumnya dari proses pembakaran, respirasi, dan sedimentasi dalam bentuk intan jauh dibawah permukaan bumi (Rahmat, 2015).

Tabel 2.4 Sifat-sifat karbon dioksida (O'Neil, 2013)

Rumus Kimia	CO <sub>2</sub>
Nama Lain	<i>Dry Ice</i>
<i>Appearance</i>	Tidak berwarna dan berbau
Densitas	1562 kg/m <sup>3</sup> (padat @1 atm dan -78,5 °C) 1101 kg/m <sup>3</sup> (cair @ -37°C) 1,977 kg/m <sup>3</sup> (gas @1 atm dan 32 °C)
Titik Lebur	-56,6 °C; -69,8 °F; 216,6 K ( <u>Triple point</u> @ 5,1 atm)
Sublimasi	-78,5 °C; -109,2 °F; 194,7 K (1 atm)
Sifat Kelarutan	Larut dalam air (1,45 g/L @25 °C (77 °F), 1 atm)
Kapasitas Termal Spesifik	0,839 J/g.K
Sumber Bahaya	

### 2.2.5 Air (H<sub>2</sub>O)

Air sering disebut sebagai *pelarut universal* karena air dapat melarutkan banyak zat kimia. Air berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar. Dalam bentuk ion, air dapat dideskripsikan sebagai sebuah ion hidrogen (H<sup>+</sup>) yang berasosiasi (berikatan) dengan sebuah ion hidroksida (OH<sup>-</sup>) (Lucio, 2015). Air sangatlah penting dalam kelangsungan hidup semua makhluk hidup di bumi namun dalam biogas, kandungan air sangat tidak diinginkan karena kandungan air berlebihan dalam pipa akan menyebabkan terganggunya distribusi biogas, terjadi korosi, menurunkan titik nyala api biogas, dan menurunkan nilai kalor biogas (Schwartz dkk., 1997).


Tabel 2.5 Sifat-sifat Air (O'Neil, 2013)

Rumus Kimia	H <sub>2</sub> O
Nama Lain	<i>Aqua</i>
Densitas	0,998 g/cm <sup>3</sup> (cairan pada 20 °C) 0,92 g/cm <sup>3</sup> (padatan)
Titik Lebur	0 °C (273.15 K) (32 °F)
Kapasitas Termal Spesifik	4184 J/(kg·K) (cairan pada 20 °C)

### 2.2.6 Hidrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S)

Hidrogen Sulfida adalah gas yang amat beracun dan dapat melumpuhkan sistem pernapasan hingga dapat menyebabkan kematian dalam beberapa menit dalam jumlah sedikitpun gas H<sub>2</sub>S sangat berbahaya untuk kesehatan. Hidrogen Sulfida terbentuk dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh bakteri (Thomas, 2015). H<sub>2</sub>S terdapat dalam minyak dan gas bumi, selokan, air yang tergenang. Misalnya rawa-rawa dan juga terbentuk pada proses-proses industri maupun proses biologi lain. Gas hidrogen sulfida dalam biogas sangat dihindari karena memiliki sifat korosi dan beracun oleh karenanya juga tidak boleh ada di dalam kandungan biogas (Osha, 2005).

Tabel 2.6 Sifat-sifat Hidrogen Sulfida (Thomas, 2015)

Rumus Kimia	H <sub>2</sub> S
Nama Lain	<i>Stink damp</i>
<i>Appearance</i>	Tidak berwarna dan berbau
Densitas	1,363 g
Titik Lebur	-82 C (1 atm)
Sifat Kelarutan	4 g dm (pada 20 C, 1 atm)
Sumber Bahaya	

### 2.2.7 Gas Pengotor Lainnya

Atmosfer bumi mengandung sekitar 78% gas nitrogen atau N<sub>2</sub>. Nitrogen juga dapat ditemukan di semua organisme yang hidup di bumi termasuk tanaman dan hewan, hal ini memainkan peran penting dalam siklus protein dan asam nukleat. Itu juga yang membuat biogas mengandung nitrogen, yaitu karena menggunakan bahan organik termasuk hewan dan tumbuhan (Marple dkk., 2007).

Oksigen adalah gas yang sangat penting untuk semua makhluk hidup di dunia ini. Pada temperatur dan tekanan standar, oksigen berupa gas tak berwarna dan tak berasa dengan rumus kimia O<sub>2</sub>. Oksigen merupakan unsur paling banyak ketiga di alam semesta berdasarkan massa dan unsur paling banyak di kerak bumi (Shaw, 2015).

Hidrogen juga adalah unsur paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta. Kandungan hidrogen di biogas sangatlah kecil. Sifatnya yang sangat sulit di deteksi saat terjadinya kebocoran menjadi salah satu alasan gas ini sangat dihindari dalam kandungan biogas (Osha, 2015).



### 2.2.8 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor secara konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur (Holman, 1986). Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cair atau gas. Perpindahan kalor secara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida disekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, kalor akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida tersebut. Kedua, partikel-partikel tersebut akan bergerak ke daerah suhu yang lebih rendah dimana partikel tersebut akan bercampur dengan partikel-partikel fluida lainnya. Perpindahan kalor secara konveksi dapat dikelompokkan menurut gerakan alirannya, yaitu konveksi alami (*natural convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Apabila gerakan fluida tersebut terjadi sebagai akibat dari perbedaan densitas (kerapatan) yang disebabkan oleh gradient suhu maka disebut konveksi bebas atau konveksi alamiah (*natural convection*). Bila gerakan fluida tersebut disebabkan oleh penggunaan alat dari luar, seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa (Holman, 1986).

Perpindahan kalor secara umum adalah perpindahan energi panas karena adanya perbedaan temperatur. Perpindahan kalor yang terjadi pada saat pengembunan (kondensasi) adalah perpindahan kalor secara konveksi.

#### a. Perpindahan Kalor Konveksi Alami

Laju Perpindahan Kalor Konveksi secara alami adalah transfer sejumlah kalor melalui medium fluida baik berupa cairan maupun gas pada sebuah fluida yang tenang (tidak mengalir). Perpindahan ini dapat terjadi karena ada perbedaan suhu antara daerah (dalam hal ini plat) ke fluida sekitar.

#### b. Perpindahan Kalor Konveksi Paksa

Akan tetapi jika dalam sebuah aliran seperti pada aliran pipa *heat exchanger*, laju perpindahan kalor dapat dirumuskan pada 2.1 (R. Pitts dkk., 1997).

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots ( 2.1 )$$

Dimana :  $Q$  = Laju Perpindahan Kalor (W)

$\dot{m}$  = Aliran Massa (kg/s)

$c_p$  = Kapasitas Termal Spesifik (kJ/kg. °C)

$\Delta T$  = Perbedaan Suhu masukan dengan keluaran (°C)

c. Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor adalah suatu alat untuk memindahkan panas/dingin dari suatu fluida ke fluida yang lain dan penukar panas dirancang sedemikian rupa agar perpindahan panas/dingin antar fluida dapat berlangsung secara efisien (Holman, 1986). Pertukaran panas/dingin terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur secara langsung begitu saja. Pertukaran panas/dingin pada alat penukar kalor biasanya melibatkan konveksi masing-masing fluida dan konduksi sepanjang dinding yang memisahkan kedua fluida. Laju perpindahan panas antara kedua fluida pada alat penukar kalor bergantung pada besarnya perbedaan temperatur pada lokasi tersebut, dimana bervariasi sepanjang alat penukar kalor. Apabila didasarkan dengan terjadinya kontak fluida, alat penukar kalor tersebut dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu:

- Alat penukar kalor kontak langsung (*direct contact*). Pada alat ini fluida yang panas akan kontak secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu tempat/ruangan.
- Alat penukar kalor kontak tak langsung. Pada alat ini fluida panas tidak berhubungan langsung (*indirect contact*) dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panasnya itu mempunyai media perantara/sekat, seperti pipa, plat, atau peralatan jenis lainnya.

Contoh *indirect contact* adalah penukar panas jenis *shell and tube*, pelat, dan spiral. Sedangkan yang tergolong *direct contact* adalah *cooling tower* dimana operasi perpindahan panasnya terjadi akibat adanya pengontakan langsung antara air dan udara (Saunders, 1988). Menghitung ukuran pipa *heat exchanger* dapat dirumuskan pada 2.2 (R. Pitts dkk., 1997).

$$Q = A \cdot U \cdot F \cdot \text{LMTD}_{cf} \dots\dots\dots(2.2)$$

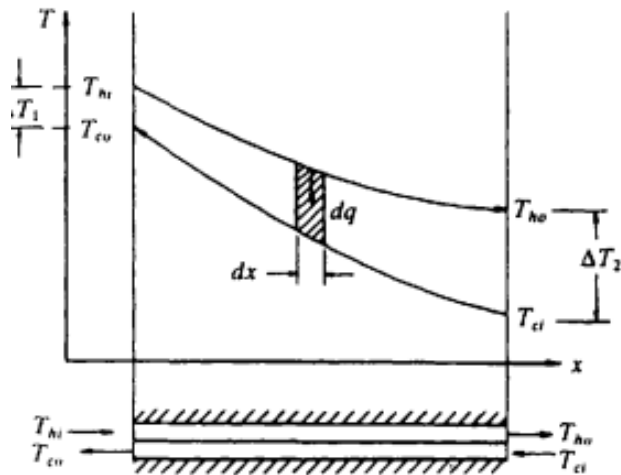
Dimana :  $Q$  = Laju Perpindahan Kalor (W)

$A$  = Area (m<sup>2</sup>)

$F$  = Faktor Koreksi

$U$  = Perpindahan Panas Keseluruhan (w/m<sup>2</sup>.°C)

$\text{LMTD}_{cf}$  = Log Mean Temperature Difference *cross flow*



Gambar 2.3 Log Mean Temperature Difference *cross flow*

### 2.2.9 Komponen Alat

a. Pipa Penukar Kalor

Pipa penukar kalor adalah alat utama yang berperan penting untuk melakukan pengembunan (kondensasi), konduktivitas termal bahan pipa penukar kalor mempengaruhi proses perpindahan kalor.

b. Bak Penampung

Bak penampung digunakan sebagai tempat yang akan digabungkan dengan pipa penukar kalor dan menampung air + es yang digunakan sebagai alat utama pengembunan (kondensasi). Pemilihan bak adalah yang ada dipasaran.

c. Penjebak Air (*Water Trap*)

Gunakan tabung kontrol gas atau tabung penjebak untuk meghilangkan air hasil kondensasi yang ikut mengalir. Saluran bagian atas merupakan saluran masuk dan keluar, sedangkan saluran bagian bawah terendam dalam air. Tabung penjebak diletakan di bawah saluran biogas supaya uap air hasil kondensasi turun dan masuk ke dalam botol. Kandungan air dalam biogas dapat dikatakan masih ada jika nyala api yang dihasilkan dari kompor biogas berwarna selain warna biru ( Wahyuni, 2015).



Gambar 2.6 Penjebak Air (*Water Trap*) (Wahyuni, 2015)

### 2.2.10 Nilai Kalor

Nilai kalor adalah pelepasan sejumlah energi saat bahan bakar dibakar secara sempurna dalam suatu proses aliran *steady* (Suyitno, 2012). Nilai energi merupakan karakteristik untuk setiap zat. Panas pembakaran bahan bakar dinyatakan sebagai HHV (*High Heating Value*) dan LHV (*Low Heating Value*).

Tabel 2.7 Nilai Kalor Metana dan Propana / LPG (Suyitno, 2012).

<b>Bahan Bakar</b>	<b>HHV (MJ/kg)</b>	<b>LHV (MJ/kg)</b>
Metana (CH <sub>4</sub> )	55,5	50,1
Propana / LPG	48,9	45,8

