

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biogas

2.1.1 Pengertian Biogas

Biogas merupakan salah satu energi baru terbarukan (EBT) yang mulai dikembangkan. Biogas merupakan campuran gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari *anaerobic digestion*, dimana penguraian bahan organik (seperti kotoran hewan, kotoran manusia, dan tumbuhan) oleh bakteri tanpa menggunakan oksigen (Lastella dkk, 2002). Sifatnya yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui merupakan keunggulan dari biogas dibandingkan dengan bahan bakar fosil (Wahyuni, 2015). Pada prinsipnya, bahan baku untuk membuat biogas berasal dari substrat bahan organik atau sisa jasad renik, baik yang sudah mengalami dekomposisi maupun yang masih segar (Wahyuni, 2015). Untuk menghasilkan biogas dibutuhkan reaktor biogas (digester) yang merupakan suatu instalasi kedap udara sehingga proses dekomposisi bahan organik dapat berjalan.

2.1.2 Bahan Baku Kotoran Sapi

Kotoran sapi merupakan bahan baku potensial dalam pembuatan biogas karena mengandung pati dan lignoselulosa (Deublein dkk, 2008). Biasanya, kotoran sapi dimanfaatkan sebagai pupuk dan sisanya digunakan untuk memproduksi gas metana menggunakan proses anaerob. Kotoran sapi adalah biomassa yang mengandung karbohidrat, protein, dan lemak. Drapcho dkk (2008) berpendapat bahwa biomassa yang mengandung karbohidrat tinggi akan menghasilkan gas metana yang rendah dan CO₂ yang tinggi, jika dibandingkan dengan biomassa yang mengandung protein dan lemak dalam jumlah yang tinggi. Secara teori, produksi metana yang dihasilkan dari karbohidrat, protein, dan lemak berturut-turut adalah 0,37 ; 1,0 ; 0,58 m³ CH₄ per kg bahan kering organik. Kotoran sapi mengandung ketiga unsur bahan organik tersebut sehingga dinilai lebih efektif untuk dikonversi menjadi gas metana (Drapcho dkk, 2008).

Salah satu cara menentukan bahan organik yang bagus untuk menjadi bahan pembuatan biogas adalah dengan mengetahui perbandingan karbon (C) dan nitrogen (N) atau disebut rasio C/N (Harsono, 2013). Rentang rasio C/N antara 20 - 30 merupakan rentang optimum untuk proses penguraian anaerob

(Hartono, 2009). Kotoran ternak ruminansia sangat baik untuk digunakan sebagai bahan dasar pembuatan biogas. Kotoran sapi memiliki rasio C/N sebesar 27,56 : 1 dengan karbon sebesar 34,72%, nitrogen 1,26%; fosfat 0,73%; dan kalium 0,68% (Lingaih dan Rajasekaran, 1989). Hal tersebut sangat baik karena banyak mengandung nutrisi yang dibutuhkan oleh bakteri dalam proses fermentasi biogas.



Gambar 2.1 Kotoran Sapi (Dokumen Pribadi)

2.1.3 Digester

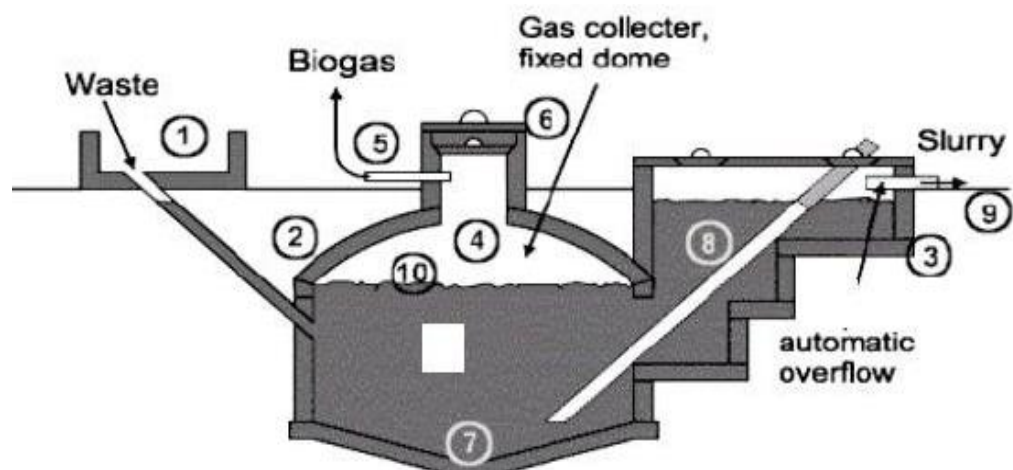
Digester merupakan hal yang paling utama dalam proses produksi biogas. Digester merupakan tempat bahan organik diurai oleh bakteri secara anaerob (tanpa udara). Biodigester dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi anaerob dapat berjalan dengan baik. Pada umumnya produksi biogas terbentuk 4-5 hari setelah digester diisi. Berikut ini merupakan contoh tipe – tipe digester.

a. Digester Tipe *Fixed Dome*

Digester tipe *Fixed Dome* ini memiliki dua bagian, yaitu digester sebagai tempat pencernaan material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam ataupun bakteri pembentuk gas metana. Bagian ini dapat dibuat dengan kedalaman tertentu menggunakan batu, batubata, atau beton.

Strukturnya harus kuat karena menahan gas agar tidak terjadi kebocoran. Bagian yang kedua adalah kubah tetap (*fixed dome*). Dinamakan kubah tetap karena bentuknya menyerupai kubah dan bagian ini merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (*fixed*).

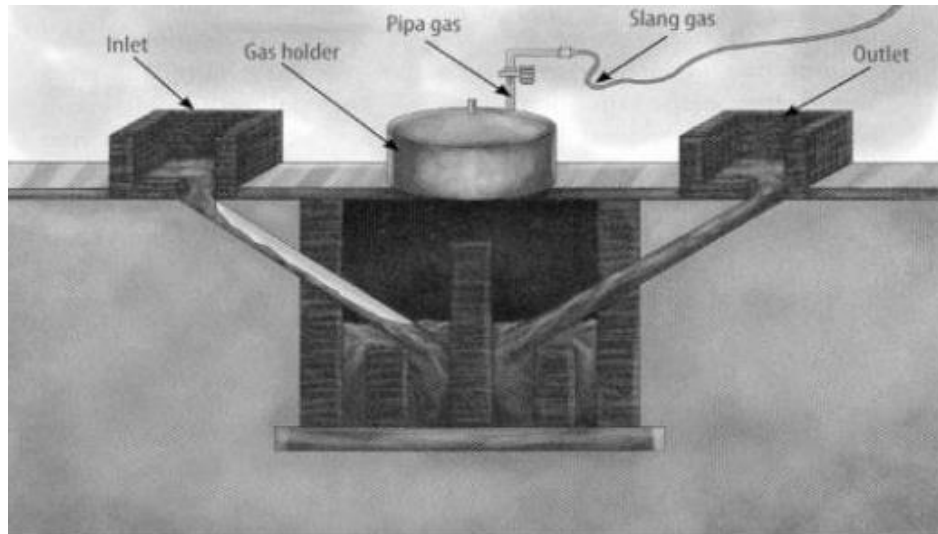
Keuntungan dari reaktor tipe kubah tetap ini adalah biaya konstruksi lebih murah daripada menggunakan reaktor terapung karena tidak memiliki bagian yang bergerak menggunakan besi yang tentunya harganya relatif lebih mahal dan perawatannya lebih mudah. Sementara itu, kerugian dari reaktor ini adalah mudah retak apabila terjadi gempa bumi dan sulit untuk diperbaiki jika bocor (Wahyuni, 2015).



Gambar 2.2 Biodigester tipe *fixed dome* (Kalsum., 2020)

b. Digester Tipe *Floating*

Digester Tipe terapung (*floating*) pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937 sehingga dinamakan dengan digester India. Memiliki bagian digester yang sama dengan digester kubah, perbedaannya terletak pada bagian penampung gas menggunakan peralatan bergerak dari drum. Keuntungan dari reaktor ini adalah dapat dilihat secara langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya. Sementara itu, kerugiannya adalah biaya material konstruksi dari drum lebih mahal (Wahyuni, 2015).



Gambar 2.3 Biodigester Tipe *Floating* (Wahyuni, 2015)

c. Digester Tipe Balon

Digester balon terbuat dari plastik sehingga lebih efisien dalam penanganannya dan mudah dipindahkan. Digester ini hanya terdiri dari satu bagian, yaitu sumur pencerna yang berfungsi ganda sebagai tempat fermentasi dan penyimpanan gas yang masing-masing bercampur dalam satu ruang tanpa sekat. Bagian bawah digester terisi oleh material organik yang memiliki bobot lebih besar dibandingkan gas yang terkumpul dibagian atas.

Digester ini cocok digunakan untuk skala rumah tangga. Keuntungan dari digester ini adalah harganya yang lebih murah, konstruksi sederhana, waktu pasang singkat, dan mudah untuk dipindahkan. Sementara itu kelemahannya adalah mudah mengalami kebocoran. (Wahyuni, 2015).



Gambar 2.4 Biodigester Tipe Balon (Wahyuni, 2015)

d. Digester Tipe *Fiberglass*

Digester bahan *fiberglass* merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga dan skala industri. digester ini menggunakan bahan *fiberglass* sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. digester ini terdiri atas satu bagian yang berfungsi sebagai digester sekaligus penyimpanan gas yang masing-masing bercampur dalam satu ruangan tanpa sekat.

Digester dari bahan *fiberglass* ini sangat efisien karena kedap, ringan, dan kuat. Jika terjadi kebocoran, mudah diperbaiki atau dibentuk kembali seperti semula dan lebih efisien. digester dapat dipindahkan sewaktu - waktu jika peternak sudah tidak menggunakannya lagi (Wahyuni, 2015).



Gambar 2.5 Digester Tipe *Fiberglass* (Wahyuni, 2015)

2.1.4 Komposisi Biogas

Komposisi biogas yang dihasilkan tergantung pada jenis bahan baku yang akan digunakan. Komposisi biogas yang utama adalah gas metana (CH₄) dan gas karbon dioksida (CO₂) dengan sedikit hidrogen sulfida (H₂S). Komponen lainnya yang ditemukan dalam kisaran konsentrasi kecil antara lain senyawa sulfur organik, senyawa hidrokarbon terhalogenasi, gas hidrogen (H₂), gas nitrogen (N₂), gas karbon monoksida (CO) dan gas oksigen (O₂).

Tabel 2.1 Komponen Utama Biogas

Gas	Kotoran sapi (%)	Campuran kotoran sapi + sisa pertanian (%)
Metana (CH ₄)	65,7	54-70
Karbon Dioksida (CO ₂)	27,0	45-57
Nitrogen (N ₂)	2,3	0,5-3,0
Karbon Monoksida (CO)	0	
Oksigen (O ₂)	0,1	6,0
Propena (C ₃ H ₈)	0,7	-
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	-	Sedikit

Sumber: (Harahap dkk, 1978)

2.1.5 Proses Pembentukan Biogas

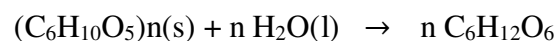
Pada pembuatan biogas bahan baku harus banyak mengandung selulosa. Bahan baku yang banyak mengandung selulosa akan lebih mudah dicerna oleh bakteri anaerob. (Wiratmana, 2012)

Pembentukan biogas dengan memanfaatkan mikroorganisme anaerob meliputi tiga tahap, yaitu tahap hidrolisis (tahap pelarutan), tahap asidifikasi (tahap pengasaman), dan tahap metanogenesis (tahap pembentukan gas metana).

a. Tahap Hidrolisis

Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti glukosa. Bakteri berperan mendekomposisi rantai panjang karbohidrat, protein dan lemak menjadi bagian yang lebih pendek. Tahap pelarutan berlangsung pada suhu 25°C di digester (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Reaksi:



Selulosa

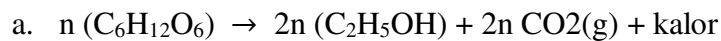
Air

Glukosa

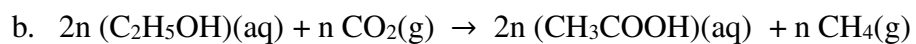
b. Tahap Asidifikasi

Pada tahap ini, bakteri asam menghasilkan asam asetat dalam suasana anaerob. Tahap ini berlangsung pada suhu 25°C di digester. Bakteri akan menghasilkan asam yang akan berfungsi untuk mengubah senyawa pendek hasil hidrolisis menjadi asam organik sederhana seperti asam asetat, H₂ dan CO₂. Bakteri ini merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh pada keadaan asam. Untuk menghasilkan asam asetat, bakteri tersebut memerlukan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Reaksi:



glukosa etanol karbondioksida

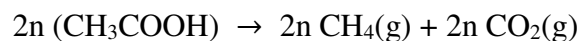


etanol karbondioksida asam asetat metana

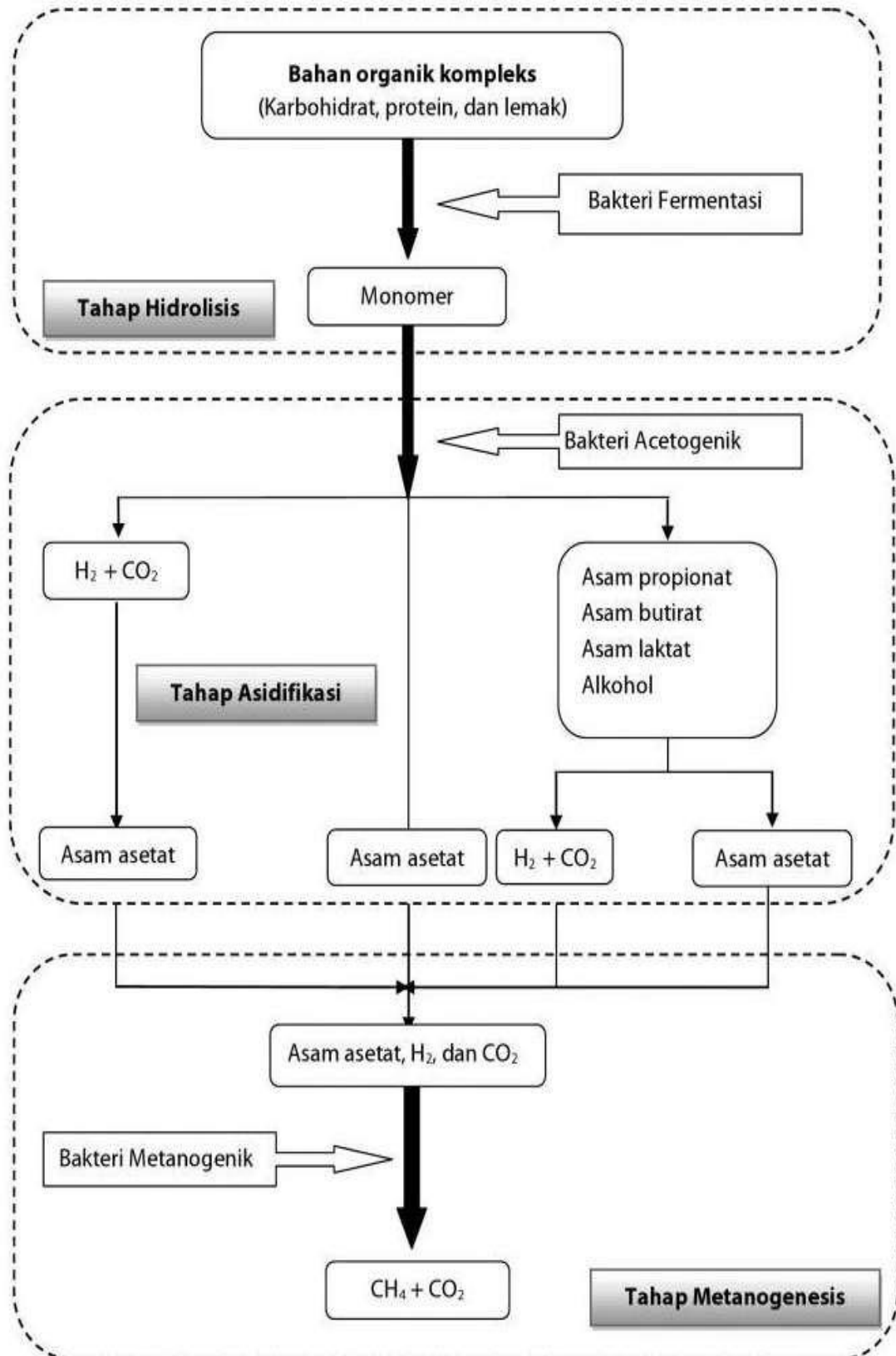
c. Tahap Metanogenesis

Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu 25°C di dalam digester. Pada proses ini akan dihasilkan 70% CH₄, 30 % CO₂, sedikit H₂ dan H₂S (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Reaksi:



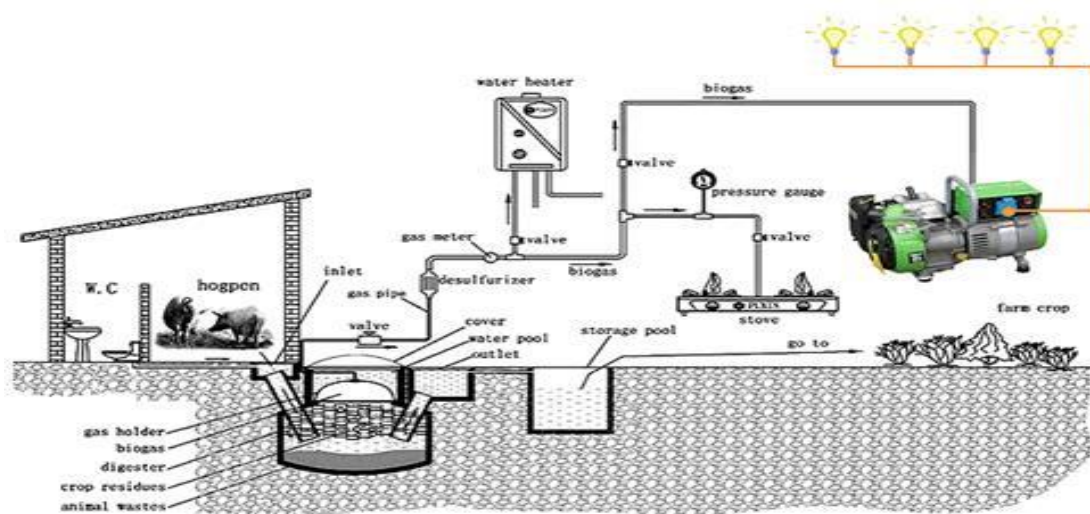
asam asetat metana karbondioksida



Gambar 2.6 Tahapan Pembentukan Biogas (Wahyuni, 2015)

2.1.6 Manfaat Biogas

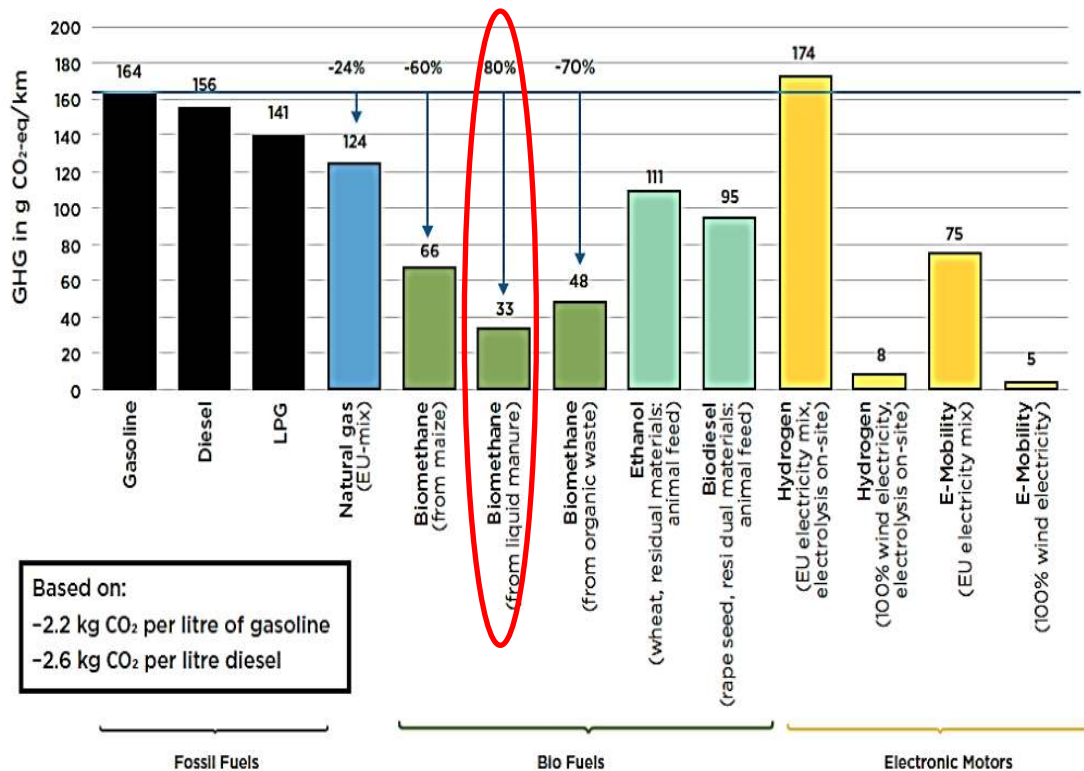
Energi yang dihasilkan dari produksi biogas sangat potensial untuk dikembangkan karena ditunjang kondisi yang kondusif dari perkembangan peternakan sapi di Indonesia (Nurhasanah dkk, 2012). Manfaat biogas adalah menghasilkan gas metana sebagai pengganti minyak tanah dan dapat dipergunakan untuk bahan bakar memasak untuk skala rumah tangga. Dalam skala besar, biogas digunakan sebagai pembangkit energi listrik.



Gambar 2.7 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (Rahman, 2005)

Produk samping dari proses produksi biogas akan dihasilkan sisa kotoran ternak (*slurry*) yang dapat langsung dipergunakan sebagai pupuk organik pada tanaman/budidaya pertanian. Manfaat energi biogas yang lebih penting lagi adalah mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian bahan bakar minyak bumi yang tidak bisa diperbaharui. Menurut (Wahyuni, 2015) limbah biogas, yaitu kotoran ternak yang telah hilang gasnya (*slurry*) merupakan pupuk organik yang sangat kaya akan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman, nilai kalori dari satu meter kubik biogas sekitar 6.000 watt jam yang setara dengan setengah liter minyak diesel oleh karena itu, biogas sangat cocok digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan pengganti minyak tanah, *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), butana, batubara, maupun bahan-bahan lain yang berasal dari fosil. Berikut beberapa manfaat dari biogas (Teodorita dkk, 2008):

1. Sebagai sumber energi terbarukan
2. Mengurangi emisi gas rumah kaca dan pemanasan global
3. Mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil
4. Mengurangi limbah organik
5. Menjadi sumber penghasilan bagi masyarakat



Gambar 2.8 Perbandingan emisi gas CO₂ (IREA, 2018)

Berdasarkan gambar 2.8 dapat dilihat bahwa biogas (*biomethane*) menghasilkan emisi gas karbon dioksida (CO₂) yang paling rendah untuk kategori *bio fuel* untuk pemakaian pada mobil. Hal tersebut menunjukkan bahwa biogas merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan karena dapat mengurangi emisi gas pencemaran udara lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar fosil.

Adapun perbandingan nilai kesetaraan energi yang dihasilkan biogas dengan bahan bakar lain dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Nilai kesetaraan biogas dengan bahan bakar lain

Aplikasi	1 m³ biogas setara dengan
Biogas 1 m ³	Elpiji 0,46 kg
	Minyak tanah 0,62 liter
	Solar 0,52 liter
	Kayu bakar 3,5 kg

Sumber: (Wahyuni, 2015)

Saat ini biogas tidak hanya digunakan sebagai sumber energi bagi kompor dan lampu saja, tetapi juga dapat digunakan sebagai bahan bakar motor seperti genset dan lainnya. Supaya dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan, perlu proses untuk menghilangkan kandungan hidrogen sulfide (H₂S), karbondioksida (CO₂) dan air, agar didapat biogas dengan kandungan metana (CH₄) yang lebih tinggi (Haryanti, 2006). Dikarenakan kandungan CO₂ dan H₂S dapat mengurangi efisiensi kalor biogas yang dihasilkan dan dapat menyebabkan korosi pada peralatan (Zelege, Gizachew Assefa, 2014).

2.2. Metode – Metode Pemurnian Biogas

Kemurnian biogas menjadi hal yang penting karena berpengaruh terhadap nilai kalor yang dihasilkan, sehingga biogas perlu dilakukan pemurnian terhadap impuritas-impuritas yang lain. Impuritas yang berpengaruh terhadap nilai kalor/panas adalah CO₂, keberadaan CO₂ dalam biogas sangat tidak diinginkan karena semakin tinggi kadar CO₂ dalam CH₄ maka semakin rendah nilai kalor biogas dan akan mengganggu proses pembakaran (Hamidi, 2011, Harsono, 2013). Dalam pemisahan CO₂ dari biogas terdapat berbagai metode yang telah dikembangkan, yaitu:

2.2.1 Absorpsi menggunakan pelarut

Absorpsi biogas 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 pelarut yang mempunyai selektivitas berbeda dari gas yang akan dipisahkannya, efektif untuk laju alir gas yang rendah dimana biogas dioperasikan pada kondisi normal. Salah satu metode absorpsi yang sederhana yaitu menggunakan air sebagai absorben (Shannon dkk, 2006).

2.2.2 Adsorpsi pada Permukaan Zat Padat

Proses adsorpsi permukaan zat padat melibatkan transfer zat terlarut dalam gas menuju ke permukaan zat padat, dimana proses transfer digerakkan oleh gaya Van der Waals. Adsorben yang digunakan biasanya berbentuk granular yang mempunyai luas permukaan besar tiap satuan volume. Pemurnian gas dapat menggunakan padatan yang berupa silika, alumina, karbon aktif atau silikat yang kemudian dikenal dengan nama molecular sieve (Wellinger dan Lindeberg, 2000).

2.2.3 Pemisahan Secara Kriogenik

Kriogenik adalah salah satu metode pemurnian yang melibatkan campuran gas dengan kondensasi fraksional dan destilasi pada temperatur rendah. Proses ini diawali dengan *crude* biogas ditekan hingga mencapai 80 bar. Proses kompresi ini berjalan secara *multistage* dengan *intercooler*. Biogas bertekanan kemudian dikeringkan untuk menghindari terjadinya pembekuan selama proses pendinginan berlangsung. Kemudian biogas didinginkan oleh chiller dan heat exchanger hingga -45°C , CO_2 yang terkondensasi dihilangkan di dalam separator. Lalu CO_2 diproses lebih lanjut untuk menemukan kembali CH_4 yang terlarut, hasil dari proses *recovery* CH_4 kemudian dimanfaatkan kembali menuju inlet gas. Melalui proses ini gas metana yang dihasilkan mencapai kemurnian 97% (Huang, 2005).

2.2.4 Pemisahan dengan Membran

Metode ini beberapa komponen atau campuran dari gas ditransportasikan melalui lapisan tipis membran (<1 mm) Transportasi tiap komponen dikendalikan oleh perbedaan tekanan parsial pada membran dan permeabilitas tiap komponen dalam membran. Inti dari konsep pemisahan dengan membran adalah selektifitas dan permeabilitas yang tinggi untuk mendapat gas metana dengan kemurnian yang tinggi. Teknologi pemisahan gas yang telah dikembangkan dalam hal ini digunakan *zeolite Mixed Matrix Membranes* untuk pemisahan CO_2 atau CH_4 Pemilihan membran sebagai teknologi pemisahan gas bukan merupakan hal baru. Dua kriteria suatu teknologi pemisahan akan dipilih jika pertimbangan secara teknis dan ekonomis mudah dilakukan (Mulder, 1996).

Tabel 2.3 Kelebihan dan kekurangan berbagai metode pemurnian biogas

<i>Item</i>	PSA	Water Scrubbing	MEA	Membrane
<i>Separation Method</i>	<i>Adsorption</i>	<i>Physical process</i>	<i>Chemical process</i>	<i>Membrane separation</i>
<i>Cleaning</i>	<i>Necessary</i>	<i>Unnecessary</i>	<i>Necessary</i>	<i>Necessary</i>
<i>Pressure (bar)</i>	7-4	7-4	<i>Atmosphere</i>	16-40
<i>Methane loss</i>	10-3%	1-2%	< 0.1%	-
<i>Methane concentration</i>	> 96%	> 97%	> 99%	90-94%
<i>Operating temperature (k)</i>	<i>Normal</i>	<i>Normal</i>	373	<i>Normal</i>
<i>Regeneration ability</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	-
<i>Energy consumption in regeneration process</i>	<i>Moderate</i>	<i>Moderate</i>	<i>High</i>	-

Sumber: (ERDI, 2010)

2.3. Metana (CH₄)

Gas CH₄ merupakan salah satu gas rumah kaca yang termasuk kedalam senyawa kimia golongan alkana yang paling sederhana dan merupakan komponen utama gas alam. Pembakaran sempurna senyawa ini menghasilkan CO₂ dan uap air. Kelimpahannya di alam dan proses pembakarannya yang sempurna membuat CH₄ menjadi bahan bakar yang sangat baik dan harganya mahal. Namun karena wujudnya yang berupa gas pada temperatur dan tekanan normal, gas CH₄ sangat sulit untuk dipindahkan dari tempat asalnya. Gas CH₄ dalam bentuk gas alam biasanya dialirkan dengan menggunakan pipa (Nahas dkk, 2008).

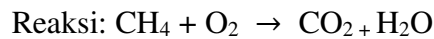
Gas CH₄ merupakan salah satu gas rumah kaca dengan indeks potensi pemanasan global 21 kali molekul CO₂. Karena dengan semakin besar potensi pemanasannya maka akan menyebabkan suhu bumi menjadi semakin panas. Emisi gas CH₄ dapat berasal dari sumber alami maupun aktivitas antropogenik. Sumber alami gas CH₄ antara lain lahan basah, danau, sungai proses fermentasi oleh bakteri. Sedangkan gas CH₄ dari aktivitas antropogenik berasal dari sektor pertanian, peternakan, limbah domestik rumah tangga (septic tank), waduk, tempat pemrosesan sampah baik sementara (TPS) maupun akhir (TPA) (Slamet, 2014). Aktivitas antropogenik diperkirakan menyumbang lebih kurang 60% dari emisi CH₄ ke atmosfer (Hauwelling dkk, 2006).

Sifat fisika metana (CH₄) sebagai berikut (Perry, 1997):

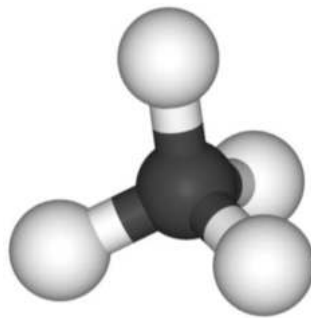
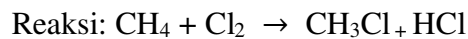
- Berat molekul : 16,04 gr/mol
- Densitas : $7,2 \times 10^{-4}$ gr/ml (pada 1 atm dan 0°C)
- Titik didih : -161,4 °C
- Titik leleh : -182,6 °C

Sifat kimia metana (CH₄) sebagai berikut (Fessenden, 1986):

- Reaksi pembakaran sempurna gas metana menghasilkan gas karbondioksida dan uap air.



- Reaksi halogenasi gas metana menghasilkan klorometana dan HCl.



Gambar 2.9 Rumus Bangun Metana (SGC, 2012)

Tingkat emisi gas CH₄ dapat bervariasi secara signifikan dari satu negara atau daerah ke daerah yang lain, tergantung pada banyak faktor seperti iklim, karakteristik produksi industri dan pertanian, jenis energi dan penggunaannya serta pengelolaan limbah. Misalnya suhu dan kelembaban memiliki pengaruh yang signifikan pada proses pencernaan anaerobik, yang merupakan salah satu proses kunci biologis yang menyebabkan emisi gas CH₄ (Pujiastuti, 2012). Penerapan teknologi untuk menangkap dan memanfaatkan gas CH₄ dari sumber seperti tempat pembuangan sampah, tambang batubara dan sistem manajemen pupuk mempengaruhi tingkat emisi dari sumber tersebut (US-EPA, 2011). Gas CH₄ merupakan gas rumah kaca yang lebih kuat dibandingkan CO₂. Namun konsentrasi gas CH₄ lebih kecil dibandingkan gas rumah kaca lainnya (Akorede dkk, 2012).

2.4. Karbondioksida (CO₂)

Gas CO₂ merupakan salah satu emisi yang menyusun gas rumah kaca disamping gas CH₄, N₂O dan H₂O. Emisi gas CO₂ meningkat lebih dari dua kali lipat dari 1.400 juta ton/tahun pada dekade terdahulu menjadi 2.900 juta ton/tahun dalam dekade sekarang. Maka tidak dapat dipungkiri bahwa telah terjadi perubahan iklim yang menyebabkan pemanasan global berupa peningkatan suhu gas rumah kaca menjadi 0,5°C lebih panas dari suhu sebelum revolusi industri (Murdiyarso, 2005).

Gas CO₂ dapat diemisikan melalui sejumlah cara secara alami melalui siklus karbon dan melalui aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil (minyak, gas alam dan batubara), limbah padat dan juga sebagai akibat dari reaksi kimia lain (misalnya pembuatan semen). Siklus karbon alami terjadi ketika CO₂ digunakan oleh tanaman selama proses fotosintesis dan pertukaran CO₂ antara atmosfer dan lautan dimana lautan menyerap lalu melepaskan CO₂ pada permukaan laut (Anggraini, 2012).

Sifat fisika karbon dioksida (CO₂) sebagai berikut (Perry, 1997):

- Berat molekul : 44,01 gr/mol
- Densitas : 1,98 x 10⁻³ gr/ml (pada 1 atm dan 0°C)
- Titik leleh : -55,6 °C (pada tekanan 5,2 atm)
- Titik didih : -78,5 °C

Sifat kimia karbon dioksida (CO₂) sebagai berikut (Vogel, 1985):

- Karbon dioksida bereaksi dengan natrium hidroksida membentuk natrium karbonat



2.5. Hidrogen Sulfida (H₂S)

Hidrogen sulfida (H₂S) merupakan suatu gas yang tidak berwarna, sangat beracun, mudah terbakar dan memiliki karakteristik bau telur busuk. H₂S lebih banyak dan lebih cepat diabsorpsi melalui inhalasi daripada lewat paparan oral, sedangkan pada kulit H₂S yang terserap hanya dalam jumlah sangat kecil (ATSDR, 2000). Gas ini bersifat korosif terhadap metal dan menghitamkan berbagai material. H₂S ini sering terdapat diperoleh di udara pada lapisan bagian

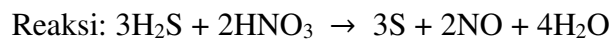
bawah dan ditemukan di sumur atau saluran air buangan. Biasanya H₂S ini ditemukan dengan gas beracun lain seperti metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) (Slamet, 2002).

Sifat fisika H₂S sebagai berikut (Perry, 1997):

- Berat molekul : 34,08 gr/mol
- Titik didih : -59,6 °C
- Titik leleh : -82,9 °C
- Bau : berbau busuk
- Warna : tidak berwarna

Sifat kimia H₂S sebagai berikut (Vogel, 1985):

- Merupakan reduktor dalam reaksi redoks.
- Reaksi antara H₂S dengan HNO₃ membentuk endapan belerang dan gas NO serta H₂O.



2.6. Absorpsi

Absorpsi merupakan salah satu proses separasi dalam suatu industri kimia dimana terdapat campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap tertentu sehingga satu atau lebih komponen gas tersebut akan larut dalam cairannya (Geankoplis 3rd, 1978). Absorpsi juga dapat diartikan proses perpindahan massa atau molekul dari fasa gas ke fasa cair (Bolland, 2013). Proses absorpsi umumnya digunakan untuk memisahkan suatu gas dari campuran gas menggunakan cairan absorben. Salah satu contoh proses absorpsi gas CO₂ adalah proses *gas sweetening*. Absorben yang dapat digunakan pada proses absorpsi gas CO₂, yaitu etanol amin, dan larutan alkali (Peng dkk, 2011).

Absorpsi secara kimia merupakan salah satu metode pemurnian biogas untuk meningkatkan efisiensi biogas. Reaksi kimia dapat terjadi secara *reversible* atau *irreversible* dengan reaksi orde satu, orde dua, dan seterusnya tergantung dari jumlah molekul yang bereaksi yang konsentrasinya berubah sebagai hasil dari reaksi kimia (Donsius dan Fuadi, 2017) Keuntungan absorpsi kimia adalah dengan adanya reaksi kimia maka koefisien perpindahan massa menjadi lebih

besar dibandingkan dengan absorpsi tanpa reaksi kimia (Abatzoglou, Nicolas dan Steve Boivi, 2008).

Penyerapan kimia dengan menggunakan *aqueous alkanolamine solutions* adalah teknologi yang paling dapat digunakan untuk menangkap gas CO₂ (Kumoro dan Hadiyanto, 2004). Sifat basa yang dimiliki oleh amine dapat menyebabkan reaktifitas untuk menghilangkan gas CO₂ dan H₂S. Pada penelitian ini digunakan senyawa amina monoethanolamine (MEA) karena MEA tidak menyebabkan korosi pada peralatan dan mudah diregenerasi.

Absorben adalah cairan yang dapat melarutkan bahan yang akan diabsorpsi pada permukaannya baik secara fisik maupun kimia (Fuqoha, 2012). Persyaratan absorben yang dapat digunakan untuk proses absorpsi adalah sebagai berikut:

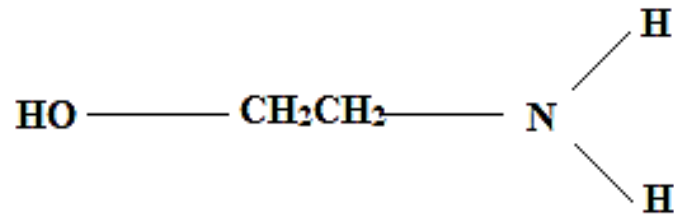
- a. Memiliki daya melarutkan bahan yang akan diabsorpsi yang sebesar mungkin (kebutuhan akan absorben lebih sedikit, volume alat lebih kecil)
- b. Selektif
- c. Memiliki tekanan uap yang rendah
- d. Tidak korosif
- e. Memiliki viskositas yang rendah
- f. Stabil secara termis
- g. Murah

Absorben digunakan pada proses absorpsi. Implementasi proses absorpsi pada industri, salah satunya pada *gas sweetening*. Pada proses *gas sweetening* atau penyerapan gas CO₂ absorben yang digunakan beragam, yaitu larutan NaOH, benfield serta *alkanolamine* (Marsella dan Maharani, 2012).

2.7. Monoethanolamine (MEA)

MEA adalah suatu basa yang relatif kuat dengan laju reaksi cepat, dan menurunkan konsentrasi CO₂ (Dang dan Rochelle, 2003). Terjadi reaksi *reversible* dan eksotermis di antara MEA-CO₂ dengan menyuplai panas ke sistem (Krumdieck dan Wallace, 2008). Proses absorpsi terjadi pada temperature 70°C (Lin dan Shyu, 2000). Dengan menyerap CO₂ pada biogas, maka kemurnian kandungan CH₄ akan meningkat. MEA memiliki kapasitas penyerapan fisik dan

kimia yang dipengaruhi oleh suhu, tekanan, tamabahan gas, dan konsentrasi larutan MEA.



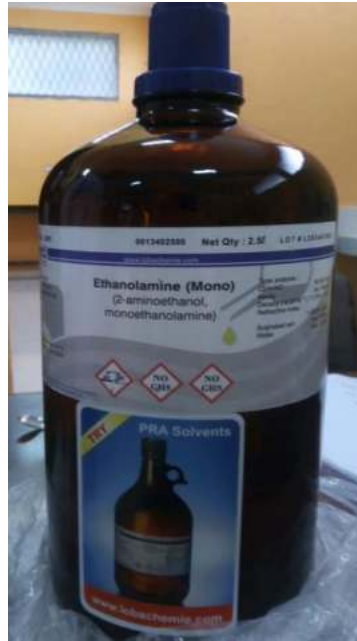
Gambar 2.10 Struktur Molekul Monoethanolamine (Cekanova, 2011)

Sifat Fisika *Monoethanolamine* (MEA) sebagai berikut (Yaws, 1999):

- Rumus molekul : $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$
- Wujud (pada 25°C) : cair
- Berat molekul : 61,084 gr/mol
- Titik didih (pada 1 atm) : 444,15 K
- Titik beku (pada 1 atm) : 283,66 K
- Densitas (pada 25°C) : 1,014 gr/ml
- Tekanan kritis : 68,70 bar
- Temperatur kritis : 638,0 K

Sifat Kimia *Monoethanolamine* (MEA) sebagai berikut (Ulmann, 2007):

- Dengan bantuan air, *monoethanolamine* bereaksi dengan CO_2 membentuk *carbamate*.
- *Monoethanolamine* jika bereaksi dengan formaldehid akan membentuk senyawa *hidroxymethyl*.
- *Monoethanolamine* bereaksi dengan *carbon disulfide* membentuk *2-mercaptothiazoline*.
- Reaksi antara *monoethanolamine* dengan asam akan membentuk garam.
- *Monoethanolamine* bereaksi dengan asam atau asam klorida membentuk *amides*.
- *Monoethanolamine* jika bereaksi dengan *ammonia* dapat membentuk *ethyleneamines*.



Gambar 2.11 *Monoethanolamine* (Dokumen Pribadi)

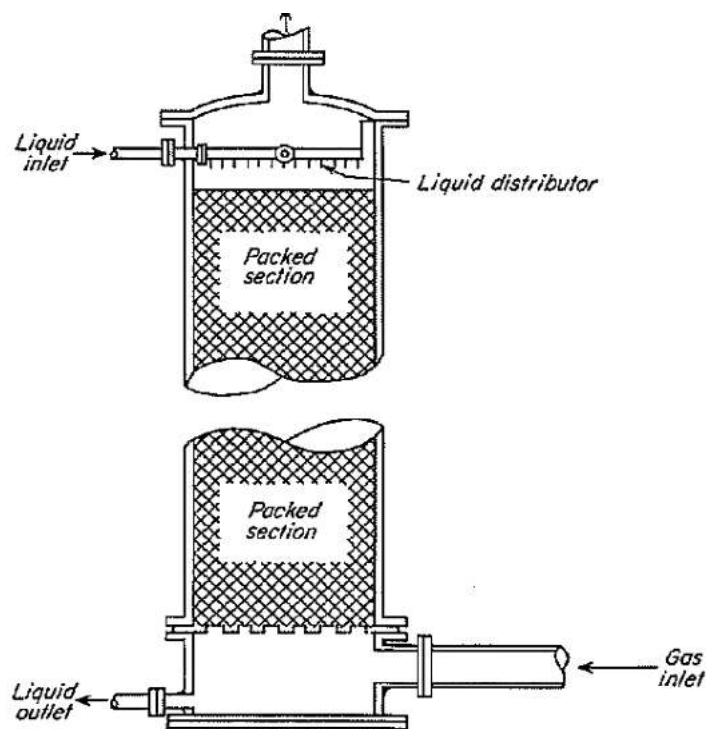
MEA adalah suatu larutan amine primer yang berpotensi untuk menyerap hidrogen sulfida dan baik digunakan pada proses absorpsi karbon dioksida (Maile dkk., 2017). Dalam Huertas dkk., (2015) menjelaskan bahwa amine adalah turunan ammonia yang memiliki satu atau lebih atom hidrogen yang digantikan dengan radikal organik. Larutan MEA dapat digunakan untuk menghilangkan CO₂ dari gas pembakaran, dan dapat diaplikasikan untuk pengurangan gas rumah kaca (Dang & Rochelle, 2003). Larutan MEA juga banyak digunakan untuk menghilangkan karbondioksida dari aliran di proses kilang, dan aliran natural gas (Dang dan Rochelle, 2003). Larutan MEA merupakan larutan absorben alkanolamine yang sering digunakan karena sangat bereaksi dengan CO₂, larutan yang murah, dan bisa diregenerasi dengan mudah (Mandal dkk, 2003).

2.8. Kolom Isian (*Packed Column*)

Pada absorpsi gas dengan menggunakan cairan, jenis kolom absorpsi yang lebih banyak digunakan adalah *packed column*. Hal ini karena luas kontak gas dengan cairan pada *packed column* lebih besar (Geankoplis 3rd, 1978)

Kolom isian (*packed column*) biasa digunakan pada operasi *countercurrent* kontinyu antara gas dan cairan pada absorpsi. Berdasarkan Gambar 2.5 menara

tersebut terdiri dari kolom silinder yang berisi aliran gas masuk dan *distributing space* pada bagian bawah, aliran masuk cairan dan *distributing device* pada bagian atas, aliran gas keluar pada bagian atas, aliran cairan keluar pada bagian bawah dan *packing* sebagai isian menara. Aliran gas yang masuk melewati *distributing space* pada bagian bawah isian dan naik melalui celah-celah *packing* dan mengalami kontak dengan cairan yang mengalir turun melewati celah yang sama. Area kontak yang luas antara gas dan liquid ini diperoleh dari *packing* (McCabe 5thed, 1993).



Gambar 2.12 Aliran pada *packed column* (McCabe 5thed, 1993)

Proses pemisahan dengan *packed column* ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan kolom jenis lain, antara lain yaitu (Chattopadhyay, 2007):

1. *Pressure drop* yang rendah
2. Biaya pembuatan dan konstruksi rendah
3. *Range* operasi yang lebih lebar dibandingkan dengan kolom *tray*
4. Fleksibilitas terhadap kondisi kerja yang ada
5. Dapat mengatasi sifat korosif dari gas dan larutan yang digunakan
6. Struktur bangun yang minimum

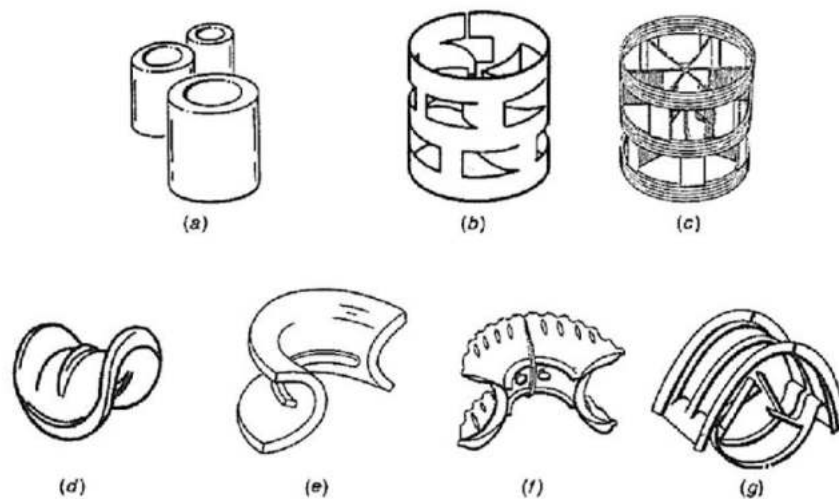
2.9. Isian kolom (*Packing*)

Isian kolom (*Packing*) adalah suatu bahan isian pada kolom absorpsi untuk memperluas permukaan kontak pada kolom absorpsi (Hadiyanto dan Djaeni, 2017). Tujuan utama dari *packing* adalah memaksimalkan efisiensi absorpsi dari kapasitas gas yang ada dengan biaya yang minimum. Oleh sebab itu material *packing* didesain agar mencapai karakteristik berikut (Perry, 1997):

- Meningkatkan luas permukaan spesifik (maka kontak area *vapor-liquid* akan semakin naik sehingga efisiensi absorpsi akan meningkat).
- Menyebarkan luas permukaan secara merata (hal ini akan berakibat pula pada meningkatnya kontak area *vapor-liquid*).
- Meningkatkan ruang kosong (*void space*) per satuan volume (hal ini akan memperkecil kemungkinan aliran gas berlebih ke atas kolom, sehingga kapasitas *packing* meningkat).
- Memperkecil gesekan (hal ini akan membantu pada karakteristik aerodinamik pada *packing*).

Berikut merupakan beberapa syarat pemilihan *packing* (Hadiyanto dan Djaeni, 2017), yaitu:

- Memiliki luas permukaan terbasahi tiap unit volume yang besar
- Memiliki ruang kosong yang cukup besar sehingga kehilangan tekanan relative kecil
- Karakteristik pembasahan baik
- Densitas kecil agar berat kolom keseluruhan kecil
- Tahan korosi dan ekonomis



Gambar 2.13 Jenis – jenis *packing* : (a) Raschig rings; (b) metal Pall ring; (c) plastic Pall ring; (d) Berl saddle; (e) ceramic Intalox saddle; (f) plastic Super Intalox saddle; (g) metal Intalox saddle (McCabe 5thed, 1993)

Kelebihan *packing* bentuk *raschig rings* antara lain (Perry, 1997):

- Harganya lebih murah
- Tidak terlalu berat
- Sensitivitas lebih rendah terhadap kualitas distribusi cair dan uap
- Dapat digunakan untuk bahan yang tidak tahan suhu tinggi

Kelebihan *packing* bahan *plastic* antara lain (Perry, 1997):

- Murah
- Cukup kuat
- Mudah didapat

Kelebihan *packing* bahan *stainless steel* antara lain (Perry, 1997):

- Pembasahan baik
- Kuat dan ringan
- Tahan lama

Tabel 2.4 Karakteristik *Packing*

Type	Bahan	Ukuran, in	Bulk density, Lb/ft ³	Total Area Ft ² /ft ³	Porositas, ϵ	<i>Packing factors</i>	
						F _P	f _P
<i>Raschig rings</i>	Keramik	½	55	112	0,64	580	1,52
		1	42	58	0,74	155	1,36
		1 ½	43	37	0,73	95	1,0
		2	42	28	0,74	65	0,92
<i>Pall rings</i>	Metal	1	30	63	0,94	56	1,54
		1 ½	24	39	0,95	40	1,36
		2	22	31	0,96	27	1,09
	Plastik	1	5,5	63	0,90	55	1,36
		1 ½	4,8	39		40	1,18
<i>Berl saddles</i>	Keramik	½	54	142	0,62	240	1,58
		1	45	76	0,68	110	1,36
		1 ½	40	46	0,71	65	1,07
<i>Intalox saddles</i>	Keramik	½	46	190	0,71	200	2,27
		1	42	78	0,73	92	1,54
		1 ½	39	59	0,76	52	1,18
		2	38	36	0,76	40	1,0
		3	36	28	0,79	22	0,64
<i>Super Intalox saddles</i>	Keramik	1	-	-	-	60	1,54
		2	-	-	-	30	1,0
<i>IMTP</i>	Metal	1	-	-	0,97	41	1,74
		1 ½	-	-	0,98	24	1,37
		2	-	-	0,98	18	1,19
<i>Hy-Pak</i>	Metal	1	19	54	0,96	45	1,54
		1 ½	-	-	--	29	1,36
		2	14	29	0,97	26	1,09

Sumber: (McCabe 5thed, 1993)