

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Batubara

Batubara merupakan batuan sedimen yang dapat terbakar, berwarna coklat hingga hitam terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan purba, pengendapannya mengalami 2 proses yaitu proses kimia dan fisikan yang menyebabkan meningkatnya komposisi unsur karbon. Batubara terbentuk dari beberapa unsur seperti oksigen, sulfur, karbon, nitrogen, klorin, sulfur, hidrogen, merkuri dan arsenik yang seluruhnya dari pembusukan material organik (Speight, 2005). Batubara juga terdapat berbagai mineral (*mineral matters*) terutama mineral karbonat, sulfida, silikat, lempung dan beberapa mineral lainnya (Taylor dkk., 1998). Sifat batubara tidak seragam, faktor yang menyebabkannya antara lain, dekomposisi awal asal batubara melalui proses diagenetik dan *coalification* (Smolinski and Howaniec, 2016).

#### 2.1.1 Karakteristik Batubara

Setiap jenis batubara memiliki komposisi yang berbeda beda. Pengujian kandungan batubara secara *proximate* dan *ultimate* dibutuhkan untuk mengetahui karakter dan komposisi dari batubara. Pada Gambar 2.1 dan 2.2 juga ditampilkan analisa *Proximate* dan *Ultimate* dari berbagai macam batubara, dimana analisa *Proximate* berupa *moisture*, *volatile matter* dan *fixed carbon* serta analisa *ultimate* bertujuan menyatakan komposisi karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen.

	Anthracite	Bituminous	Subbituminous	Lignite
Moisture (%)	3–6	2–15	10–25	25–45
Volatile matter (%)	2–12	15–45	28–45	24–32
Fixed carbon (%)	75–85	50–70	30–57	25–30
Ash (%)	4–15	4–15	3–10	3–15
Sulfur (%)	0.5–2.5	0.5–6	0.3–1.5	0.3–2.5
Hydrogen (%)	1.5–3.5	4.5–6	5.5–6.5	6–7.5
Carbon (%)	75–85	65–80	55–70	35–45
Nitrogen (%)	0.5–1	0.5–2.5	0.8–1.5	0.6–1.0
Oxygen (%)	5.5–9	4.5–10	15–30	38–48
Btu/lb	12,000–13,500	12,000–14,500	7500–10,000	6000–7500
Density (g/mL)	1.35–1.70	1.28–1.35	1.35–1.40	1.40–1.45

**Gambar 2.1** Nilai Analisa Proksimat Jenis Batubara

(Sumber : *Handbook of Coal Analysis*. 2005)

	<----- Low Rank ----->		<----- High Rank ----->	
Rank:	Lignite	Subbituminous	Bituminous	Anthracite
Age:	----- increases ----->			
% Carbon:	65-72	72-76	76-90	90-95
% Hydrogen:	~5	----- decreases -----		~2
% Nitrogen:	<----- ~1-2 ----->			
% Oxygen:	~30	----- decreases -----		~1
% Sulfur:	~0	----- increases -----		~4 --- decreases --- ~0
%Water:	70-30	30-10	10-5	~5
Heating value (BTU/lb):	~7000	~10,000	12,000–15,000	~15,000

**Gambar 2.2** Nilai Ultimat Jenis Batubara  
(*sumber* : Modul Pemanfaatan Batubara Polsri, 2018)

## 2.2 Gasifikasi

Batubara memiliki tiga metode konversi thermochemical, yaitu pirolisis, gasifikasi dan pembakaran (combustion). Perbedaan jenis konversi tersebut terletak pada jumlah udara (oksigen) yang dikonsumsi dan hasil keluaran saat proses konversi berlangsung. Teknologi gasifikasi merupakan suatu bentuk peningkatan energi yang terkandung di dalam batubara melalui suatu konversi dari fase padat menjadi fase gas dengan menggunakan proses degradasi termal material organik pada temperatur tinggi di dalam pembakaran yang tidak sempurna menggunakan udara yang terbatas (20%-40% udara stoikiometri) (Trifiananto, 2015).

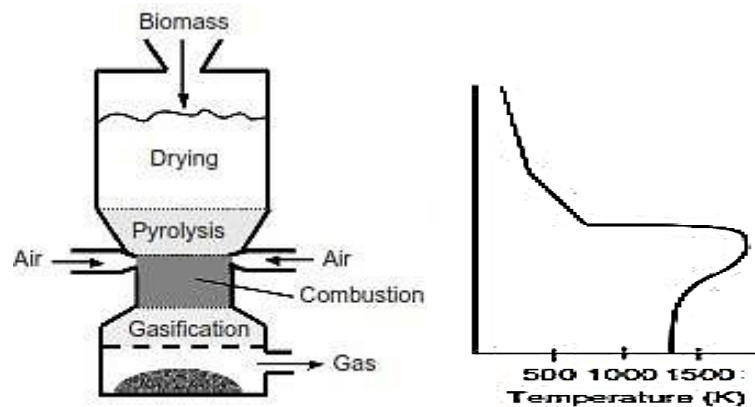
Bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi menggunakan material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara dan biomassa. Keseluruhan proses gasifikasi terjadi di dalam *gasifier*. Di dalam *gasifier* inilah terjadi suatu proses pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu dan selanjutnya bahan bakar tersebut melalui proses pembakaran dengan bereaksi terhadap oksigen untuk kemudian dihasilkan gas mampu bakar dan sisa hasil pembakaran lainnya. Uap air dan karbon dioksida hasil pembakaran direduksi menjadi gas yang dapat terbakar (*flammable*), yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>) dan metan (CH<sub>4</sub>) yang selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik maupun kompor.

### 2.2.1 Gasifikasi *Downdraft*

*Gasifier downdraft* adalah reaktor dengan arah aliran udara dan bahan baku sama-sama menuju bawah. Syngas mengalir ke bawah dan *gasifier*. Putri G.,

A (2009) menyatakan bahwa alasan pemilihan gasifier jenis downdraft dikarenakan 4 hal yaitu :

1. Biaya pembuatan yang lebih murah,
2. Gas yang dihasilkan lebih panas dibandingkan sistem updraft
3. Lebih mudah dilanjutkan ke proses pembakaran.
4. Gasifikasi jenis ini menghasilkan *tar* yang lebih rendah dibandingkan *updraft*.



**Gambar 2.3** Skema *Downdraft* dan Distribusi Suhu Pada Gasifier

### 2.2.2 Tahapan Gasifikasi

Pada proses gasifikasi ada beberapa tahapan yang dilalui oleh batubara sehingga pada akhirnya menjadi gas yang *flammable*. Tahapan gasifikasi dapat berbeda untuk setiap *gasifier*. Berdasarkan jurnal proses tersebut meliputi:

#### a. Zona Pengeringan (*Drying*)

Pada proses *drying* dilakukan untuk mengurangi kadar air (*moisture*) yang terkandung didalam batubara sampai kandungan air tersebut hilang. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100-250 °C. *Drying* pada batubara melalui proses konveksi, karena pada reaktor terjadi pemanasan dari udara bergerak yang memiliki *humidity* yang relatif rendah sehingga dapat mengeluarkan kandungan air pada batubara. Semakin tinggi temperatur pemanasan akan mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung didalam batubara.



#### b. Zona Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia dari batubara menjadi produk yang bermanfaat, dalam keadaan tidak adanya oksidator yang terbatas yang

tidak mengizinkan gasifikasi ketinggian yang cukup. Selama pirolisis, molekul hidrokarbon kompleks batubara terurai menjadi molekul yang lebih simpel dan relatif lebih kecil seperti gas, cairan, dan *char*. Pirolisis berlangsung pada suhu yang lebih besar dari 250-500 °C.



#### c. Zona Reduksi

Zona reduksi merupakan zona utama untuk mendapatkan *syngas*. Proses reduksi adalah reaksi penyerapan panas (endoterm), yang mana temperatur keluar dari gas yang dihasilkan harus diperhatikan. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia. Diantaranya adalah *Bourdouard reaction*, *steam-carbon reaction*, *water-gas shift reaction*, dan *CO*, *methanation* yang merupakan proses penting terbentuknya senyawa-senyawa yang berguna untuk menghasilkan *flammable gas*, seperti hidrogen dan karbon monoksida. Proses ini terjadi pada kisaran temperatur 600-1000 °C.

##### *Bourdouard reaction*



##### *Steam-carbon reaction*



##### *Water-gas shift reaction*

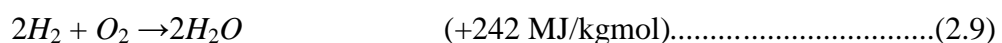
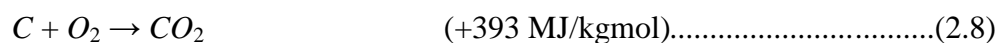


##### *Methanation*



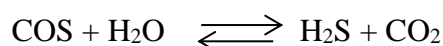
#### d. Zona Oksidasi Parsial

Proses oksidasi adalah proses yang menghasilkan panas (eksoterm) yang memanaskan lapisan karbon dibawah. Proses yang terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya 700-1500 °C. Pada temperatur setinggi ini akan memecah substansi *tar* sehingga kandungan *tar* yang dihasilkan lebih rendah. Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah:



### 2.3 Gas Sintesa (*Syngas*)

Gas mampu bakar atau yang lebih dikenal Gas Sintetik (*Syngas*) merupakan campuran Hidrogen dan Karbon Monoksida. Kata sintetik gas diartikan sebagai pengganti gas alam yang dalam hal ini terbuat dari gas metana. *Syngas* merupakan bahan baku yang penting untuk industri kimia dan industri pembangkit daya. Gas mampu bakar pada proses gasifikasi batubara adalah gas H<sub>2</sub>, CO dan CH<sub>4</sub>. *Syngas* dari *gasifier* masih mengandung berbagai senyawa pengotor, seperti H<sub>2</sub>S, COS, dan CO<sub>2</sub>. Adanya senyawa-senyawa tersebut dapat meningkatkan risiko korosi pada peralatan dan merusak katalis, termasuk katalis dalam proses pembuatan pupuk. Oleh karena itu *syngas* perlu dimurnikan terlebih dahulu. (C. Higman, M. Burgt, 2003). Karbonil sulfida bukan merupakan gas asam, maka hidrolisis COS untuk membentuk H<sub>2</sub>S sering dilakukan untuk pemurnian sulfur yang terkandung dalam COS.



**Tabel 2.1** Target kualitas produk *syngas* berdasarkan komponen penyusun

Komponen	Konsentrasi (%mol)
CO	55,0
H <sub>2</sub>	40,0
CH <sub>4</sub>	3,0
CO <sub>2</sub>	0,05
N <sub>2</sub>	1,5
H <sub>2</sub> O	0,45

(sumber : Iswanto, Toto, dkk. 2015)

**Tabel 2.2** Gas hasil dari gasifikasi batubara

Produk	Karakteristik
<i>Low-Btu gas</i> (150-300 Btu/scf)	Sekitar 50% N <sub>2</sub> , dengan jumlah kecil H <sub>2</sub> dan CO yang mudah terbakar, CO <sub>2</sub> dan gas lain seperti metana
<i>Medium-Btu gas</i> (300-550 Btu/scf)	Terutama CO dan H <sub>2</sub> , dengan beberapa gas yang tidak mudah terbakar dan sedikit kandungan metana
<i>High-Btu gas</i> (980-1080 Btu/scf)	Hampir metana murni

(sumber : Heiskanen, 2011 dalam Winarno, Agus, dkk. 2016)

## 2.4 Proses Pemurnian Syngas

Syngas keluaran reaktor gasifikasi masih mengandung senyawa pengotor seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Karena itu perlu dilakukan pemurnian syngas dari senyawa pengotor. Pemurnian syngas dapat dilakukan dengan berbagai macam teknik. Antara lain:

### 1. Metode *water scrubbing*

Metode *water scrubbing* yaitu metode pemurnian syngas menggunakan air sebagai pencuci impuritas dari syngas.

### 2. Metode membran

Pada metode ini beberapa campuran dari gas ditransportasikan melalui lapisan tipis membrane ( $<1$  mm). transportasi tiap komponen dikendalikan oleh perbedaan tekanan persial pada membran dan permeabilitas tiap komponen dalam membran. Proses membran adalah proses pemisahan pada tingkat molekuler atau partikel yang sangat kecil. Proses pemisahan dengan membran dimungkinkan karena membran mempunyai kemampuan memindahkan salah satu komponen lebih cepat daripada komponen lain berdasarkan perbedaan sifat fisik dan kimia dari membran serta komponen yang dipisahkan. Perpindahan dapat terjadi oleh adanya gaya dorong (*driving force*) dalam umpan yang berupa beda tekanan ( $\Delta P$ ), beda konsentrasi ( $\Delta C$ ), beda potensial listrik ( $\Delta E$ ), dan beda temperatur ( $\Delta T$ ) serta selektifitas membran yang dinyatakan dengan rejeksi ( $R$ ).

### 3. Metode Adsorpsi

Metode adsorpsi adalah proses penggumpalan substansi terlarut dalam larutan oleh permukaan zat penyerap yang membuat masuknya bahan dan mengumpul dalam suatu zat penyerap. Keduanya sering muncul bersamaan dengan suatu proses maka ada yang menyebutnya sorpsi. Pada Adsorpsi ada yang disebut Adsorben dan Adsorbat. Adsorben adalah zat penyerap, sedangkan adsorbat adalah zat yang diserap (Giyatmi, 2008). Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida. Adsorben biasanya menggunakan bahan-bahan yang memiliki pori-pori sehingga proses adsorpsi terjadi di pori-pori atau pada letakletak tertentu di dalam partikel tersebut. Pada umumnya pori-pori yang terdapat di adsorben biasanya sangat

kecil, sehingga luas permukaan dalam menjadi lebih besar daripada permukaan luar. Pemisahan terjadi karena perbedaan bobot molekul atau karena perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan tersebut lebih erat daripada molekul lainnya (Saragih, 2008).

#### 4. Metode Absorpsi

Metode absorpsi biogas baik secara fisika maupun kimia efektif untuk laju aliran gas yang rendah dimana dioperasikan dalam kondisi normal. Pemurnian dengan metode absorpsi ini mentransfer gas melewatinya *liquid* atau campuran endapan yang memiliki kandungan zat yang akan mengikat impuritas dan membebaskan  $\text{CH}_4$  dalam *syngas*. Absorben yang biasa digunakan adalah seperti air  $\text{H}_2\text{O}$ , larutan  $\text{NaOH}$ , larutan  $\text{KOH}$ , larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan beberapa oksida basa yang bisa mengikat  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$ .

### 2.5 Absorber

Absorber adalah alat yang digunakan untuk proses absorpsi. Absorpsi merupakan salah satu operasi pemisahan dalam industri kimia dimana suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap yang sesuai, sehingga satu atau lebih komponen dalam campuran gas larut dalam cairan penyerap. Pada proses absorpsi komponen yang diserap disebut *solute*, sedangkan komponen yang menyerap disebut *solvent*. (Ardhiyanti, S. 2018). Jenis absorpsi ada dua macam yaitu Absorpsi kimia (*Chemical Absorption*) dan Absorpsi fisika (*Physical Absorption*) sebagai berikut :

#### 2.5.1 Absorpsi Fisika (*Physical Absorption*)

Absorpsi fisik merupakan proses penyerapan gas yang terlarut dalam cairan yang tidak disertai dengan reaksi kimia, contoh absorpsi gas  $\text{CO}_2$  dengan air, gas  $\text{H}_2\text{S}$  dengan air. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik, difusi gas ke dalam air, pelarut gas ke fase cair (Rostika, 2011).

$\text{H}_2\text{S}$  merupakan gas asam yang lebih larut pada air dibandingkan gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$  dan kelarutan gas tergantung pada suhu semakin tinggi suhu maka akan semakin besar kelarutan gas tersebut terhadap air.

**Tabel 2.3** Kelarutan Gas Terhadap Air

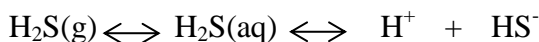
No	<i>Solubility of Selected Gases in Water</i>	T/K	<i>Solubility</i>
1	Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) Mr = 44,0098	288	8,21
		293	7,07
		298	6,15
		303	5,41
		308	4,80
2	Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S) Mr = 34,0482	288	2,335
		293	2,075
		298	1,85
		303	1,66
		308	1,51
3	Metana (CH <sub>4</sub> ) Mr= 16,0428	288	3,122
		293	3,806
		298	2,552
		303	2,346
		308	2,180

(Sumber : Gevantman L.H, 1999)

Kelarutan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dengan air melalui serangkaian proses fisika kimia dan biologi berikut reaksi kimia karbon dioksida dan hidrogen larut dalam air :

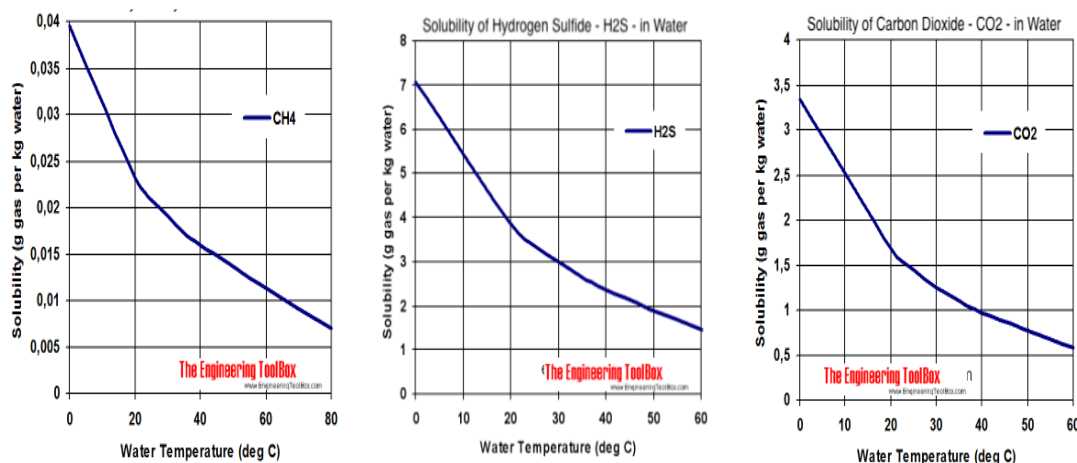


Reaksi CO<sub>2</sub> dengan air merupakan reaksi keseimbangan yang membentuk H<sup>+</sup> dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (asam karbonat), di mana asam karbonat ini merupakan jenis asam lemah yang dapat menyebabkan korosi (Ismail, 2010), karena itu proses absorpsi CO<sub>2</sub> dengan air lebih dinyatakan sebagai absorpsi fisik bukan absorpsi kimia (Rostika, 2011). Sedangkan reaksi H<sub>2</sub>S dengan air adalah sebagai berikut:



Reaksi H<sub>2</sub>S dengan air membentuk H<sup>+</sup> dan HS<sup>-</sup> (hidrogen sulfida) yang merupakan asam lemah, gas H<sub>2</sub>S lebih larut dalam air dibandingkan gas CO<sub>2</sub> dan metana (CH<sub>4</sub>). Pada gambar 2.3 ditunjukkan grafik tentang kelarutan CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>S.





**Gambar 2.4** Grafik Keterlarutan Air Terhadap Gas (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S)

Berdasarkan gambar 2.4 H<sub>2</sub>S mempunyai kelarutan yang tinggi dalam air, yaitu sekitar 3.5 gram gas per kg air pada suhu kamar. Sedangkan tingkat kelarutan CH<sub>4</sub> oleh air sangat rendah, yaitu sekitar 0,02 gram gas per kg air pada suhu kamar (Abdurrahman Arief, 2013).

### 2.5.2 Absorpsi Kimia (*Chemical Absorption*)

Absorpsi kimia merupakan proses penyerapan gas yang disertai reaksi kimia, contoh absorpsi ini adalah absorpsi larutan NaOH, MEA, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub> dan sebagainya. Proses absorpsi kimia adalah gas di alirkan dari kolom absorpsi, dimana bagian dalam kolom di lengkapi dengan plat berlubang yang diletakkan secara horizontal yang digunakan untuk tempat absorben padat tersebut. aliran gas tersebut akan menembus tumpukan padatan tersebut kemudian gas tersebut mengalir terus ke outlet kolom absorpsi.

### 2.5.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Absorpsi

Menurut (Saleh,A.,2017). Ada beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi laju absorpsi, antara lain sebagai berikut :

- Luas permukaan kontak : Semakin besar permukaan gas dan pelarut yang kontak, maka laju absorpsi yang terjadi juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan, permukaan kontak yang semakin luas akan meningkatkan peluang gas untuk berdifusi ke pelarut.
- Laju alir fluida : Jika laju alir fluida semakin kecil, maka waktu kontak antara gas dengan pelarut akan semakin lama. Dengan demikian, akan meningkatkan jumlah gas yang berdifusi.

- c. Konsentrasi gas : Perbedaan konsentrasi merupakan salah satu *driving force* dari proses difusi yang terjadi antar dua fluida.
- d. Tekanan operasi : Peningkatan tekanan akan meningkatkan efisiensi pemisahan.
- e. Temperatur komponen terlarut dan pelarut : Temperatur pelarut hanya sedikit berpengaruh terhadap laju absorpsi.
- f. Kelembaban gas : kelembaban yang tinggi akan membatasi kapasitas untuk mengambil kalor laten, hal ini tidak disenangi dalam proses absorpsi. Dengan demikian, proses dehumification gas sebelum masuk ke dalam kolom absorber sangat dianjurkan.

## 2.6 Absorben

Absorben adalah cairan yang dapat melarutkan bahan yang akan diabsorpsi pada permukaannya, baik secara fisik maupun secara reaksi kimia. Absorben sering juga disebut sebagai cairan pencuci. Jenis-jenis bahan yang dapat digunakan sebagai absorben adalah air (untuk gas-gas yang dapat larut, atau untuk pemisahan partikel debu dan tetesan cairan), natrium hidroksida (untuk gas-gas yang dapat bereaksi seperti asam) dan asam sulfat (untuk gas-gas yang dapat bereaksi seperti basa). Persyaratan absorben adalah sebagai berikut : (Ardhiany, S. 2018)

- a. Memiliki daya melarutkan yang baik (kebutuhan akan cairan lebih sedikit, volume alat lebih kecil).
- b. Bersifat selektif terhadap apa yang diserap.
- c. Memiliki tekanan uap yang rendah.
- d. Tidak mudah menyebabkan terjadinya korosif pada peralatan.
- e. Mempunyai viskositas yang rendah.
- f. Murah dan mudah didapat.

### 2.6.1 Pemilihan Absorben

Pertimbangan pemilihan pelarut yang digunakan untuk proses absorpsi memiliki kriteria sebagai berikut :

- a. Tujuan dari proses absorpsi, diantaranya :
  - Jika tujuan utama operasi untuk menghasilkan larutan yang spesifik, maka pelarut ditentukan berdasarkan sifat dari produk. Contoh :  
Produksi HCl

- Jika tujuan utama adalah menghilangkan kandungan tertentu dari gas, maka ada banyak pilihan absorben yang dapat digunakan seperti air yang merupakan pelarut paling murah, tersedia dalam jumlah yang banyak dan sangat kuat untuk senyawa polar.

b. Kelarutan Gas

Kelarutan gas harus tinggi sehingga dapat meningkatkan laju absorpsi dan menurunkan kuantitas pelarut yang diperlukan. Umumnya, pelarut yang memiliki sifat yang sama dengan bahan terlarut akan mudah dilarutkan.

c. Volatilitas

Pelarut harus memiliki tekanan uap yang rendah karena jika gas yang meninggalkan kolom absorpsi jenuh dengan pelarut, maka akan ada banyak pelarut yang terbuang. Jika diperlukan, dapat menggunakan cairan pelarut kedua, yaitu yang volatilitasnya lebih rendah untuk menangkap porsi gas teruapkan.

d. Korosivitas

Material bangunan menara dan isinya sedapat mungkin tidak dipengaruhi oleh sifat pelarut. Pelarut yang korosif dapat merusak menara dan oleh sebab itu memerlukan material menara yang mahal atau tidak mudah dijumpai, oleh karenanya kurang disukai.

e. Harga

Penggunaan pelarut yang mahal dan tidak mudah ter-recovery akan meningkatkan biaya operasi menara absorber.

f. Ketersediaan

Ketersediaan pelarut di dalam negeri akan sangat berpengaruh terhadap stabilitas harga dan biaya operasi secara keseluruhan.

g. Viskositas

Viskositas pelarut yang rendah amat disukai karena akan terjadi laju absorpsi yang tinggi, meningkatkan karakter flooding dalam menara, serta perpindahan kalor yang baik.

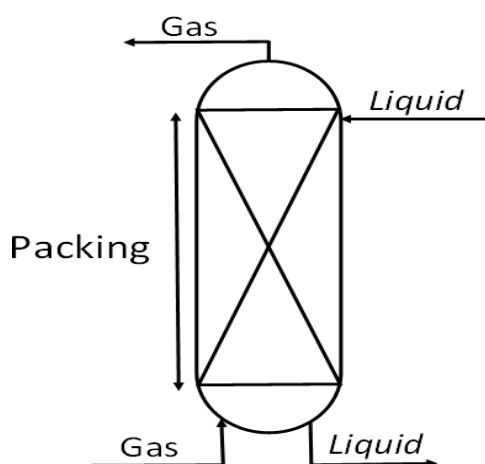
- h. Lain-lain Sebaiknya pelarut tidak memiliki sifat toksik, flamable, dan sebaliknya pelarut sedapat mungkin harus stabil secara kimiawi dan memiliki titik beku yang rendah.

## 2.7 Kolom Absorpsi

Kolom absorpsi adalah suatu kolom atau tabung tempat terjadinya proses pengabsorpsi (penyerapan) dari zat yang dilewatkan di kolom/tabung tersebut. Didalam absorber terjadi kontak antar dua fasa yaitu fasa gas dan fasa cair mengakibatkan perpindahan massa difusional dalam umpan gas dari bawah menara ke dalam cariran absorben yang diumpankan dari bagian atas menara. (Aditya, Kusuma. dkk.. 2012)

### 2.7.1 Menara *Packed Bed*

Menara *packed bed* ini berisi *packing*, *liquid* didistribusi diatas *packing* dan mengalir kebawah membentuk lapisan tipis di permukaan *packing*. Gas umumnya mengalir keatas berlawanan arah terhadap jatuhnya *liquid* melalui ruang kosong yang ada diantara bahan pengisi.



**Gambar 2.5** Menara *Packed Bed*  
(Sumber : Suherman, 2009).

Jenis ini adalah yang paling banyak diterapkan pada menara absorpsi. *Packed column* lebih banyak digunakan mengingat luas kontakannya dengan gas, namun kapasitas dari absorber column model ini relatif lebih kecil. *Packed column* berfungsi mirip dengan media filter, dimana gas dan cairan akan tertahan dan berkontak lebih lama dalam kolom sehingga operasi absorpsi akan lebih optimal. Beragam jenis *packing* telah dikembangkan untuk memperluas daerah dan efisiensi

kontak gas-cairan. Ukuran packing yang umum digunakan adalah 3-75 mm. Bahan yang digunakan dipilih berdasarkan sifat inert terhadap komponen gas maupun cairan solven dan pertimbangan ekonomis, antara lain tanah liat, porselin, grafit dan plastik. *Packing* yang baik biasanya memenuhi 50-80% dari volume kolom (Suherman, 2009)

*Countercurrent packed column tower* secara prinsip dioperasikan berdasarkan sifat absorpsi partikel cair (liquid) ketika berinteraksi dengan partikel padat atau gas. Efektifitas liquid dalam sistem *countercurrent packed column tower* menjadi salah satu pertimbangan utama dalam mendesainnya untuk mereduksi gas-gas emisi. Penggunaan *countercurrent packed column tower* dalam periode waktu tertentu dapat menurunkan pH pada air absorban yang digunakan. Dengan menggunakan parameter perubahan pH dan pengukuran efisiensi penyisihan (removal), maka akan diketahui efektifitas kinerja sistem alat yang paling optimal untuk mengabsorpsi emisi gas yang dihasilkan dari pembakaran.

Prinsip kerja *countercurrent packed column tower* ialah gas yang akan diolah masuk dari dasar reaktor dan mengalir keatas melalui media packing, sedangkan liquid dialirkan dari bagian atas reaktor dengan menggunakan alat penyemprot spray nozzles. Sehingga tetesan liquid (droplets) mengalir ke bawah melalui media packing untuk memungkinkan terjadinya kontak dengan gas. Gas yang telah diikat oleh absorban akan turun ke bawah, sedangkan gas bersih akan keluar lewat bagian atas reaktor (Cheremisinoff, 1993). Menurut Boedisantoso (2003), dalam desain absorber untuk emisi gas, perpindahan massa optimum dapat dicapai pada kondisi sebagai berikut: : tersedianya daerah kontak yang luas, terjadinya pencampuran yang baik antara gas dan cairan, tersedianya waktu kontak yang cukup antar fase, tingkat solubilitas atau kelarutan yang tinggi dari kontaminan di dalam absorber. Spray nozzles biasanya dirancang dalam ukuran aliran air yang dibutirkan 42 – 170.000 m<sup>3</sup>/jam. Namun demikian harus tetap diperhatikan faktor-faktor berikut untuk kesempurnaan operasionalnya :

- Kecepatan aliran gas yaitu antara 0,3 – 1,0 m/detik. /jam.
- Ukuran butiran air yang lebih kecil akan memperbesar laju absorpsi, karena naiknya luas permukaan kontak.

- *Rasio Liquid Gas (L/G)* yang semakin besar maka akan terjadi kenaikan efisiensi absorpsi secara langsung.

Dalam aplikasi industri biasanya dibuat tower absorber dengan ketinggian 50 ft dan diameter 2 ft. namun demikian untuk memperlambat aliran gas dalam fase absorpsi, maka diameter tower dapat diperbesar sehingga proses absorpsi lebih baik (Holmes, 1998).

### 2.7.2 Keunggulan Menara *Packed Bed*

#### a. Fabrikasi yang minim

Kolom isian hanya membutuhkan sejenis *packing* support dan sebuah distributor cairan untuk tiap ketinggian 10 ft.

#### b. Versatilitas

Materi isian dapat dengan mudah ditukar sehingga mudah meningkatkan efisiensi, menurunkan *pressure drop*, dan meningkatkan kapasitas.

#### c. Minim Korosi

Larutan asam dan larutan yang bersifat korosif lainnya dapat diatasi oleh *packed bed column* karena konstruksi kolom terbuat dari material yang tahan korosi.

#### d. *Pressure drop* yang rendah

Lebih rendah jika dibandingkan dengan jenis Sieve Tray.

#### e. Capital cost yang rendah bila digunakan isian plastik dengan diameter kurang dari 3 ft, investasi masih dianggap murah.

### 2.7.3 Kelemahan Menara *Packed Bed*

#### a. Jika terdapat padatan atau pengotor, maka akan sulit dibersihkan

#### b. Isian *packed column* akan mudah patah selama proses pengisian dan proses pemanasan.

#### c. Tidak ekonomis jika laju alir pelarut tinggi

### 2.7.4 Ketentuan Isian dari Menara *Packed Bed*

#### a. Memiliki luas permukaan yang besar: luas *interface* yang tinggi antara cairan dan gas.

#### b. Memiliki fraksi kekosongan yang cukup untuk menjamin kontak yang optimal namun tidak menaikkan *pressure drop*

c. Menghasilkan distribusi cairan yang seragam pada permukaan *packing*.

Terdapat dua metode pengisian *packing* pada kolom absorber, yaitu:

a) *Random Packing* Pengisian secara acak memberikan luas permukaan spesifik yang besar dan porositas yang lebih kecil, sehingga menurunkan biaya investasi. Namun, *pressure drop* yang dihasilkan akan lebih besar.

b) *Regular or Stack Packing* pengisian yang tersusun memberikan *pressure drop* yang lebih kecil dan efektif untuk laju alir yang tinggi. Namun, investasi lebih besar.

## **2.8 Pressure Drop pada Packed Bed Column**

Faktor penting yang harus diperhatikan dalam penggunaan kolom isian adalah besarnya *pressure drop*. Hal ini terutama berkaitan dengan fenomena yang disebut dengan *flooding* (penggenangan), dimana cairan yang seharusnya bergerak menuruni kolom, tertahan pergerakannya oleh tekanan gas yang terlalu besar atau ruang antar isian terlalu rapat. Fenomena *flooding* dapat terjadi bila pada laju alir gas konstan, laju alir cairan dinaikkan sehingga cairan mengisi lebih banyak ruang antar isian dan mengurangi ruang gerak gas. Bila hal ini terus terjadi, maka akan timbul fenomena *flooding* cairan serta kenaikan *pressure drop* yang tinggi. Hampir sama dengan di atas, untuk laju alir cairan turun yang tetap, ternyata laju alir gas ditingkatkan sehingga *pressure drop* ikut naik, maka akan terjadi *flooding* .