

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Makogon (1997) dalam penelitiannya tentang stabilitas hidrat metana. Metana di uji dengan menggunakan variasi tekanan dan temperatur. Pada penelitian stabilitas tentang tekanan ini diasumsikan hidrat dapat mencapai kondisi stabil hingga tekanan diatas 100 Mpa. Percobaan ini menggunakan gas hidrat metana yang kemudian divariasikan dengan menggunakan tekanan dan temperatur yang berbeda. Setelah dilakukan percobaan tersebut hidrat metana ternyata mencapai tekanan 20 nPA sampai 2 Gpa dan masih dalam kondisi stabil. Temperatur yang di dapat adalah 70 K hingga 350 K .Dari hasil penelitiannya makogon menyimpulkan gas hidrat dapat terjadi ketika air dan gas alam bertemu pada temperatur rendah dan tekanan tinggi.

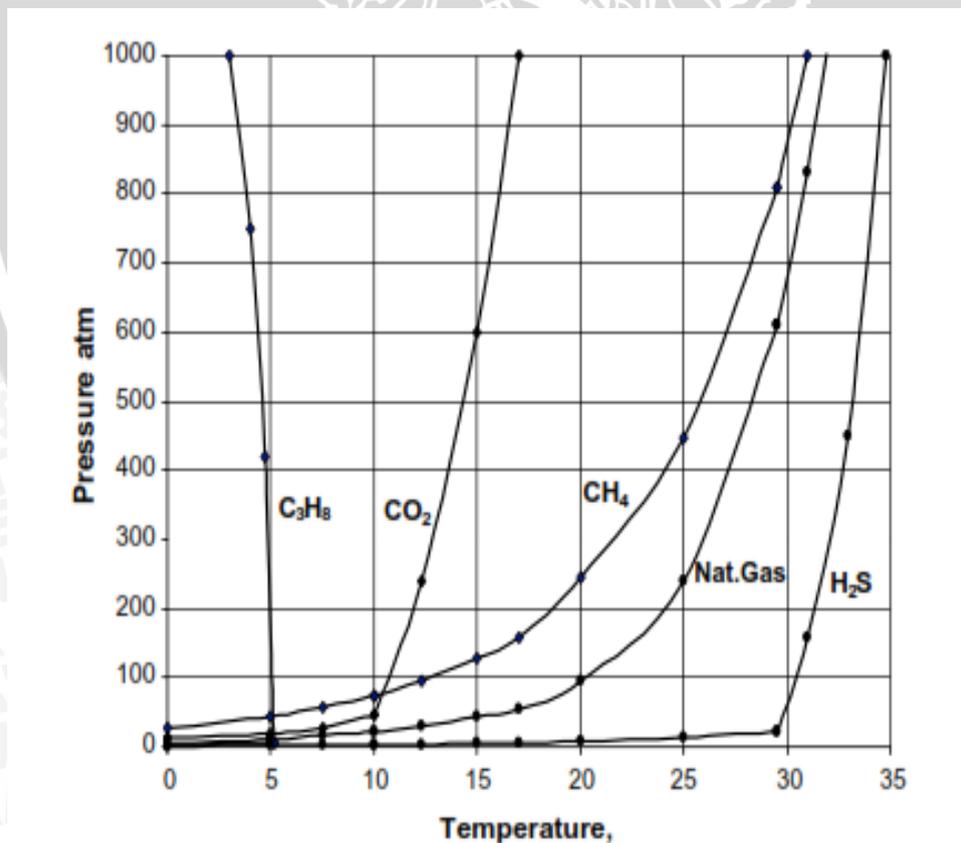
Ganji, *et al* (2007) dalam penelitiannya tentang efek dari surfaktan anion, kation dan non-ion pada laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat metana. Setiap surfaktan diuji dengan menggunakan konsentrasi 300, 500 dan 1000 ppm. Pada penelitian laju pembentukan hidrat metana, 75 cm<sup>3</sup> larutan surfaktan direaksikan dengan gas metana dengan parameter tekanan 8.3 Mpa, temperatur 298.2 K dan putaran pengaduk 200 rpm. Pada pengujian stabilitas hidrat metana , Ketika hidrat sudah terbentuk kemudian di diamkan selama 10 jam dengan temperatur di bawah 268.2 K dan katup di biarkan terbuka sehingga sisa gas metana dapat keluar. Pada pengujian kapasitas hidrat metana, hidrat yang tersisa setelah selesai pengujian stabilitas didiamkan pada temperatur ruangan untuk melepas gas metana yang terjebak di dalamnya.

#### 2.2 Hidrat Gas Alam

Gas hidrat pertama kali ditemukan oleh Joseph Priestly pada tahun 1778 namun yang memberi nama hidrat adalah Humprey Davy. Hidrat gas alam adalah kristal padat dengan bentuk menyerupai es yang tersusun atas gas dan air pada tekanan dan temperatur tertentu. Gas hidrat juga tergolong sebagai senyawa kimia karena gas hidrat tersusun atas komposisi tetap pada tekanan dan temperatur tertentu. Hidrat dapat

terbentuk karena adanya gaya tarik menarik pada molekul sehingga molekul air membentuk ikatan hidrogen yang akhirnya menjadi rangka dengan rongga. Pada rongga antar molekul tersebut terdapat molekul gas yang terjebak dengan berbagai macam bentuk dan ukuran (Ganji,2007). Molekul kimia yang terjebak dalam rongga kristal es tersebut dinamakan klatrat. Pada hidrat gas tidak terjadi ikatan antara moleku air dengan molekul gas yang terjebak dalam rongga molekul air tersebut.

Hidrat gas terdapat banyak di alam dan dapat terjadi pada berbagai bidang dan sering terjadi pada industri petroleium. Umumnya hidrat gas ini terjadi pada pipa gas sehingga menjadi penghambat laju distribusi gas tersebut. Metana, etana, propana, dan karbon dioksida adalah molekul gas alam yang sering terdapat pada hidrat. Hidrat gas ini dapat terbentuk apabila 4 kondisi dapat terpenuhi adanya gas, air, tekanan yang tinggi dan temperatur yang rendah dengan syarat semua berada dalam batas tertentu. Setiap gas memiliki parameter masing masing yang dibutuhkan untuk membentuk hidrat. Perbedaan tersebut bisa dilihat pada gambar 2.1

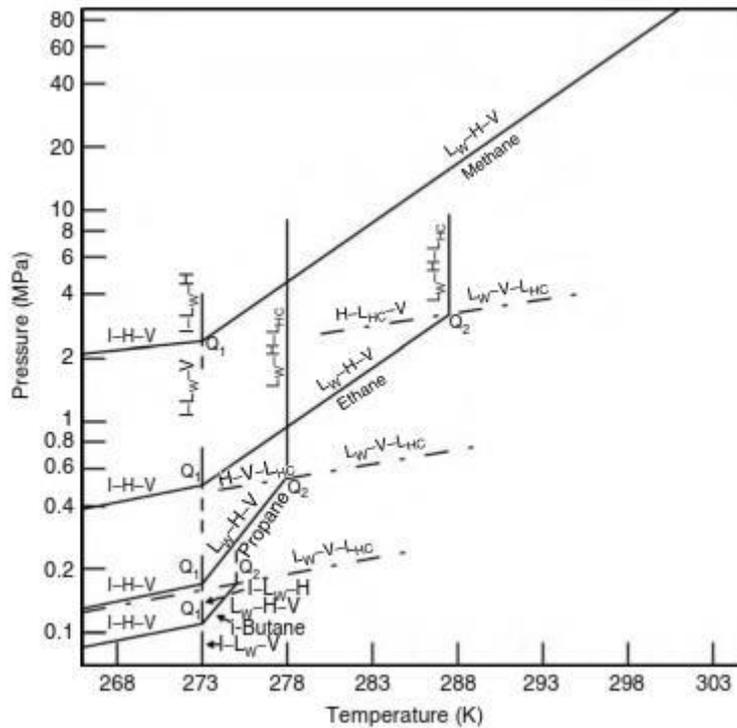


Gambar 2.1 : Diagram fase beberapa gas alam dalam pembentukan hidrat

Sumber : Makogon (2010)

Pada gambar 2.1 terlihat masing masing gas alam memiliki parameter tekanan dan temperatur yang berbeda beda. Contohnya pada metana ( $\text{CH}_4$ ) dan propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) dapat kita lihat suhu pembentukan propana lebih kecil jika dibandingkan metana. Dari diagram tersebut juga dapat kita ambil kesimpulan bahwa semakin tinggi temperatur maka tekanan yang dibutuhkan untuk pembentukan hidrat juga semakin tinggi dan sebaliknya semakin rendah temperatur maka semakin rendah juga tekanan yang dibutuhkan untuk pembentukan hidrat. Klatrat adalah senyawa kimia inklusi di mana molekul kimia terjebak dalam rongga molekul kristal es. Metana, etana, propana, dan karbon dioksida adalah molekul gas alam yang sering terdapat pada hidrat.

Setiap gas alam masing masing memiliki parameter pembentukan hidrat dengan temperatur dan tekanan yang berbeda . Perbedaan parameter ditunjukkan pada Gambar 2.2 Pada Gambar 2.2, H adalah hidrat, I adalah gas alam yang sudah berwujud es, V adalah uap,  $L_w$  adalah fase cair air,  $L_{HC}$  adalah fase cair hidrokarbon,  $Q_1$  adalah titik *quadruple* bawah sedangkan  $Q_2$  menunjukkan titik *quadruple* atas. Pada masing masing gas alam, daerah terbentuknya hidrat adalah sebelah kiri dari garis tiga fase (I-H-V), ( $L_w$ -H-V), ( $L_w$ -H- $L_{HC}$ ) serta sebelah kanan dari fase air dengan kondisi cair atau es dan gas berada dalam fase uap atau cair

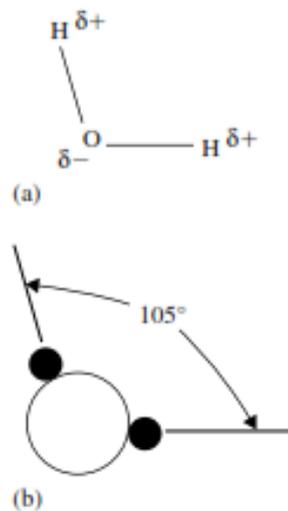


Gambar 2.2 Diagram fase beberapa gas alam hidrokarbon yang membentuk hidrat.  
Sumber : Sloan (2008, 7)

Pada Gambar 2.2 terlihat perpotongan garis tiga fase tersebut menunjukkan  $Q_1$  (I-L<sub>w</sub>-H-V) dan  $Q_2$  (L<sub>w</sub>-H-V-L<sub>H-C</sub>).  $Q_1$  dan  $Q_2$  pada pembentukan hidrat menghasilkan klasifikasi kuantitatif untuk komponen hidrat gas alam. Setiap Q menunjukkan perpotongan garis tiga fase.  $Q_1$  merupakan fase transisi perubahan dari L<sub>w</sub> menjadi I akibatnya terjadi penurunan temperatur.  $Q_1$  menunjukkan pembentukan hidrat berhenti dari uap dan air dan mulai membentuk hidrat dari uap dan es.  $Q_2$  adalah batas temperatur tertinggi pembentukan hidrat. Tekanan uap saat temperatur kritis dapat diturunkan untuk memenuhi perpotongan pada Gambar 2.1 sehingga gas metana dan nitrogen tidak memiliki  $Q_2$ , sehingga gas metana dan nitrogen tidak memiliki batas temperatur tertinggi untuk pembentukan hidrat.

### 2.3 Ikatan Hidrogen

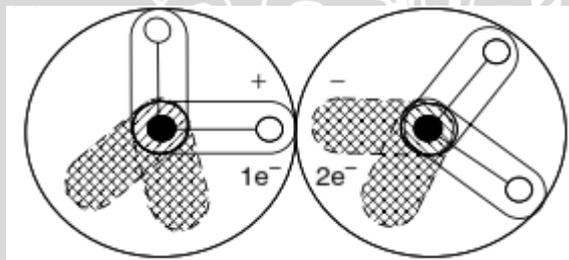
Molekul air terdiri dari 1 atom oksigen yang berikatan dengan 2 atom hidrogen. Pada sebuah molekul air tersebut ikatan antara atom oksigen dan hidrogen tersebut adalah ikatan kovalen dimana ikatan tersebut nantinya akan membagi elektronnya untuk saling berikatan. Biasanya molekul hidrogen ini akan membentuk sudut  $105^\circ$



Gambar 2.3 Struktur Molekul Air

Sumber: Carroll (2009)

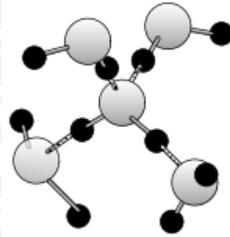
Latimer (1920) menemukan sebuah fenomena dalam ikatan hidrogen . Titik elektrostatik sederhana digunakan sebagai model untuk molekul air . Molekul air memiliki 2 kutub positif dan juga 2 kutub negatif, kedua kutub tersebut saling tarik menarik sehingga akhirnya hidrogen tersebut membentuk ikatan seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Ikatan hidrogen antara dua molekul

Sumber: Sloan (2008,50)

Molekul air yang melekat pada empat molekul air lainnya akan menerima 2 ikatan hidrogen setelah menyumbangkan 2 molekul. Setiap proton akan tertarik ke kutub negatif dari molekul air . Setelah tarik menarik kemudian empat molekul tersebut akan tersusun menjadi tetrahedral di sekitar molekul pusat.



Gambar 2.5 Ikatan hidrogen antara empat molekul  
Sumber: Sloan (2008, 50)

## 2.4 Struktur Hidrat Gas Alam

### 2.4.1 Macam-macam Struktur Molekul Hidrat Gas Alam

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya hidrat mempunyai rongga dengan ikatan hidrogen yang tersusun atas molekul air. Molekul air ini tersusun dengan berbagai struktur. Hidrat diklasifikasikan berdasarkan molekul air yang membentuk kristal es (Carroll, 2009). Hidrat gas alam umumnya diklasifikasikan menjadi 3 jenis menurut struktur kristalnya yaitu struktur kubus I (sI), struktur kubus II (sII) dan struktur heksagonal (sH), contoh dari struktur 1 di tunjukan pada Gambar 2.2. Semua struktur hidrat mengandung kurang lebih 85 % air oleh karena itu banyak sifat mekanik dari hidrat mirip dengan es. Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan antara struktur I, II, dan H di mana X adalah pembentuk hidrat dan Y adalah pembentuk struktur heksagonal.



Gambar 2.6 Struktur kristal hidrat  
Sumber: Sloan (2010)

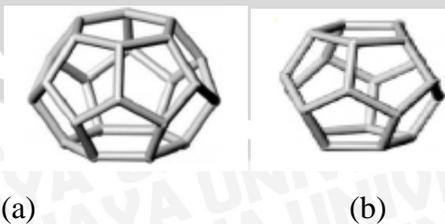
Tabel 2.1 Perbandingan antara struktur kubus I dan II serta struktur heksagonal

	Type I	Type II	Type H
<b>Water Molecules per Unit Cell</b>	46	136	34
<b>Cages per Unit Cell</b>			
Small	6	16	3
Medium	–	–	2
Large	2	8	1
<b>Theoretical Formula<sup>†</sup></b>			
All cages filled	X . 5 3/4 H <sub>2</sub> O	X . 5 2/3 H <sub>2</sub> O	5X . Y . 34 H <sub>2</sub> O
Mole fraction hydrate former	0.1481	0.1500	0.1500
Only large cages filled	X . 7 2/3 H <sub>2</sub> O	X . 17 H <sub>2</sub> O	–
Mole fraction hydrate former	0.1154	0.0556	–
<b>Cavity Diameter (Å)</b>			
Small	7.9	7.8	7.8
Medium	–	–	8.1
Large	8.6	9.5	11.2
<b>Volume of Unit Cell (m<sup>3</sup>)</b>	1.728×10 <sup>-27</sup>	5.178×10 <sup>-27</sup>	

Sumber: Carroll (2009, 18)

#### 2.4.1.1 Struktur Kubus I

Struktur kubus I terdiri dari dodekahedron atau tetrakaidekahedron. Ilustrasi struktur ditunjukkan gambar 2.3 . Dodakahedron adalah polihedron yang memiliki 12 sisi berbentuk segilima beraturan . Tetrakaidekahedron merupakan polihedron memiliki 14 sisi dengan 12 sisi pentagonal dan 2 sisi heksagonal. heksagonal. Contoh struktur kubus I :metana (CH<sub>4</sub>), etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S).



(a)

(b)

Gambar 2.7 Struktur kubus I (a) tetrakaidekahedron (b) dodekahedron.

Sumber : Sloan (2008, 54)

### 2.4.1.2 Struktur Kubus II

. Struktur kubus II membentuk 2 struktur yaitu dodekahedron atau heksakaidekahedron. Heksakaidekahedron adalah polihedron dengan 16 sisi dimana 12 sisi pentagonal dan 4 sisi heksagonal. Heksakaidekahedron berukuran lebih besar dari dodekahedron. Struktur kubus II umumnya di bentuk oleh gas seperti gas nitrogen ( $N_2$ ) sebagai gas tunggal, propana ( $C_3H_8$ ), pentana ( $C_5H_{12}$ ), dan iso-butana



Gambar 2.8 Struktur kubus II heksakaidekahedron

Sumber : Sloan (2008, 54)

### 2.4.1.3 Struktur Heksagonal

Struktur yang dapat dibentuk adalah dodekahedron, dodekahedron tidak beraturan dan ikosahedron tidak beraturan. Dodekahedron tidak beraturan adalah polihedron dengan 12 sisi dimana 3 sisi persegi, 6 sisi pentagonal dan 3 sisi heksagonal. Sedangkan ikosahedron tidak beraturan adalah polihedron dengan 20 sisi dimana 12 sisi pentagonal dan 8 sisi heksagonal. Struktu heksagonal ini bisa terbentuk oleh metana, hidrogen sulfida dan nitrogen.



(a)

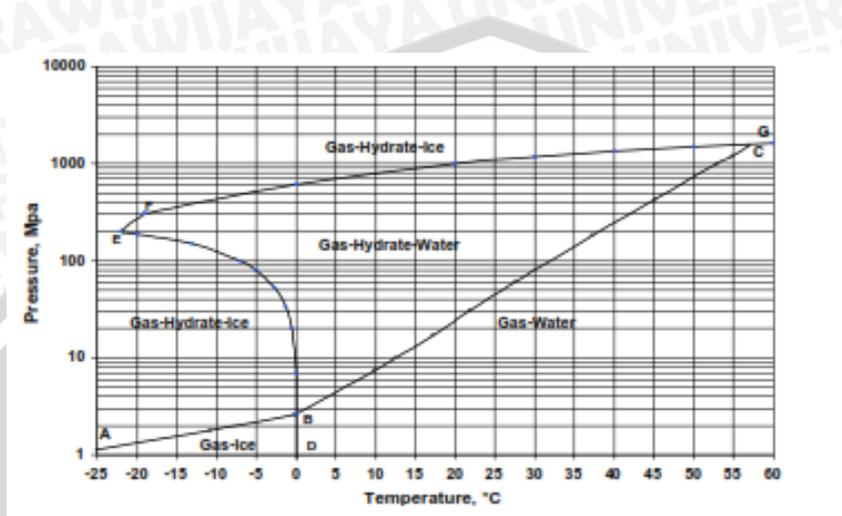
(b)

Gambar 2.9 Struktur Heksagonal (a) dodekahedron tidak beraturan (b) ikosahedron

Sumber : Sloan (2008, 54)

## 2.5 Pembentukan dan Penguraian Hidrat

Hidrat dalam pembentukannya membutuhkan kondisi tertentu untuk terbentuk yaitu kondisi saat fluidanya jenuh, temperatur rendah dan tekanan tinggi. Perubahan transformasi fase ini karena dipengaruhi oleh suhu dan temperatur maka tentu saja dapat merubah hidrat kembali menjadi gas. Seperti contohnya diilustrasikan pada gambar berikut



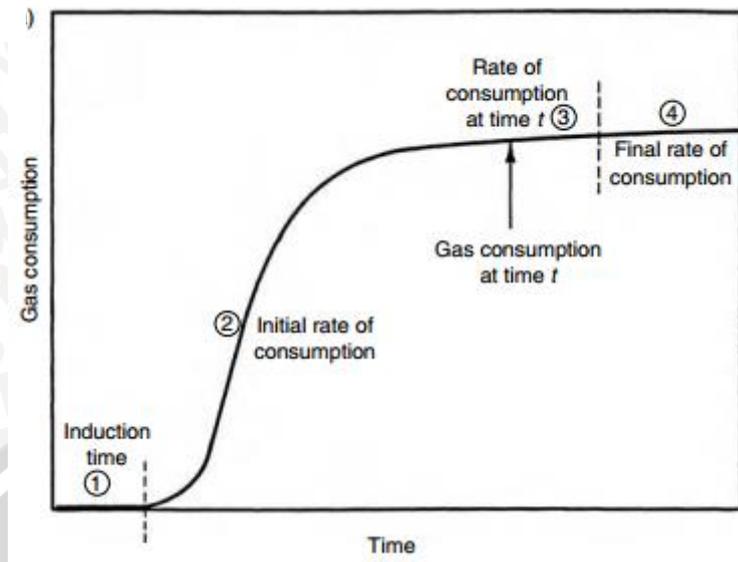
Gambar 2.10 Contoh perubahan fase hidrat

Sumber: Makogon (2010)

Dari gambar diatas dapat kita lihat bahwa wujud hidrat dapat berubah dari gas ke hidrat namun masih bisa bertransformasi kembali menjadi gas akibat pengaruh suhu dan temperatur. Fenomena pemebentukan hidrat dapat dibagi menjadi 2 proses yaitu nukleasi dan pertumbuhan hidrat.

### 2.5.1 Nukleasi (Proses Pengintian)

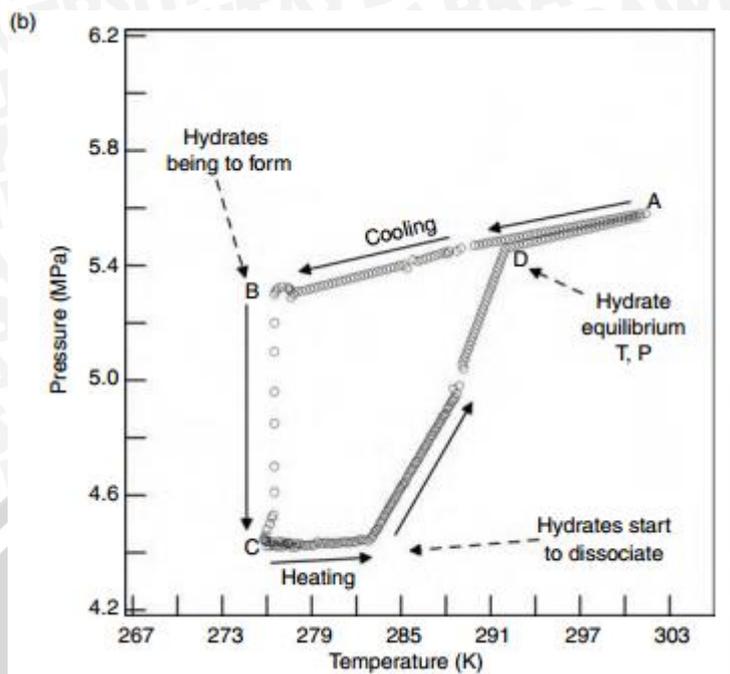
Proses Nukleasi adalah sebuah proses dimana gumpalan kecil air dan gas (inti hidrat) yang sudah terbentuk tumbuh dan hilang dengan tujuan untuk mencapai ukuran yang cocok untuk pertumbuhan lanjut hidrat. Proses nukleasi ini adalah sebuah fenomena mikroskopik yang melibatkan puluhan hingga ribuan molekul (Mullin, 1993, p. 173) dan sangat sulit untuk diamati secara eksperimental. Hipotesa yang saat ini digunakan berasal dari fenomena pembekuan air, pemisahan hydrocarbon pada air dan simulasi komputer. Pada gambar berikut proses pengintian mulai terjadi pada point 1 1 dimana hidrat mulai terbentuk.



Gambar 2.11 Perbandingan waktu dan konsumsi gas pada pembentukan hidrat  
Sumber : Sloan (2008, 115)

Pada gambar 2.11 menunjukkan perbandingan besarnya konsumsi gas terhadap waktu pembentukan hidrat pada sistem yang dioperasikan pada tekanan dan temperatur yang konstan. Sel autokaf yang mengandung air selanjutnya akan diberi tekanan menggunakan gas dengan besar tekanan dan temperatur yang ideal untuk pembentukan hidrat.

Nukleasi dimulai pada point 1 dimana pada gambar tersebut merupakan waktu induksi. Waktu induksi ini dideskripsikan sebagai waktu yang diperlukan sampai kemunculan volume dari fase hidrat terdeteksi dan sampai pertambahan konsumsi gas terjadi. Namun demikian, hidrat belum terbentuk pada periode ini.



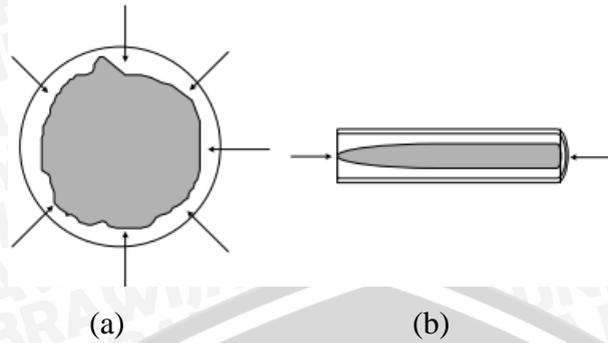
Gambar 2.12 Grafik perbandingan tekanan dan temperatur pada hidrat metana  
Sumber : Sloan (2008, 115)

### 2.5.2 Pertumbuhan Hidrat

Pertumbuhan hidrat disini adalah sebuah fase yang dimulai setelah nukleasi. Pertumbuhan hidrat adalah fase tumbuhnya inti tersebut menjadi sebuah kristal padat. kekeruhan yang muncul pada saat fase cair sering dikaitkan dengan awal pertumbuhan. Pada gambar 2.12 periode ini terjadi setelah waktu induksi yaitu pada poin 2 dan terjadi dengan cepat. Pada periode tersebut gas akan terkonsentrasi pada rangka hidrat dan molekulnya akan lebih padat dibandingkan dalam keadaan gas. Tingkat konsumsi gas akan cenderung menurun pada akhirnya pertumbuhan hidrat (poin 3-4)

### 2.5.3 Penguraian Hidrat

Hidrat seperti yang sudah dijelaskan dapat berubah fase. Setelah pembentukan dan pertumbuhan hidrat maka selanjutnya adalah penguraian hidrat. Penguraian hidrat ini akan dimulai prosesnya ketika hidrat menerima panas sehingga tekanan pada sistem akan perlahan meningkat kemudian meningkat secara tajam seperti pada gambar 2.12 diantara poin C dan D. Hidrat akan terurai secara utuh pada titik D dimana temperatur dan tekanannya mencapai titik kesetimbangan.



Gambar 2.13 (a) penguraian radial (b) penguraian aksial  
 Sumber: Sloan (2008, 177)

Penguraian hidrat secara umum dapat terjadi baik secara radial maupun aksial (gambar 2.13). Contoh nyata dari penguraian hidrat secara radial adalah hidrat pada pipa, ketika menerima panas maka hidrat yang mendekati permukaan pipa akan berubah secara perlahan fasenya menjadi cair dan mengelilingi hidrat yang fasenya masih solid yang berada di tengah. Kemudian hidrat yang sudah berubah menjadi cair tersebut akan mengalirkan panas menuju hidrat yang ada ditengahnya tersebut.

## 2.6 Perbandingan Hidrat dengan Es

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa hidrat adalah sebuah struktur yang mirip dengan es. Salah satu kesamaan dari keduanya adalah kedua struktur baik es maupun hidrat sama sama terdiri sebagian besar dari dari air. Karena struktur yang sebagian besar terdiri dari ikatan hidrogen inilah sehingga banyak sifat hidrat terutama sifat mekanik yang mirip dengan es.

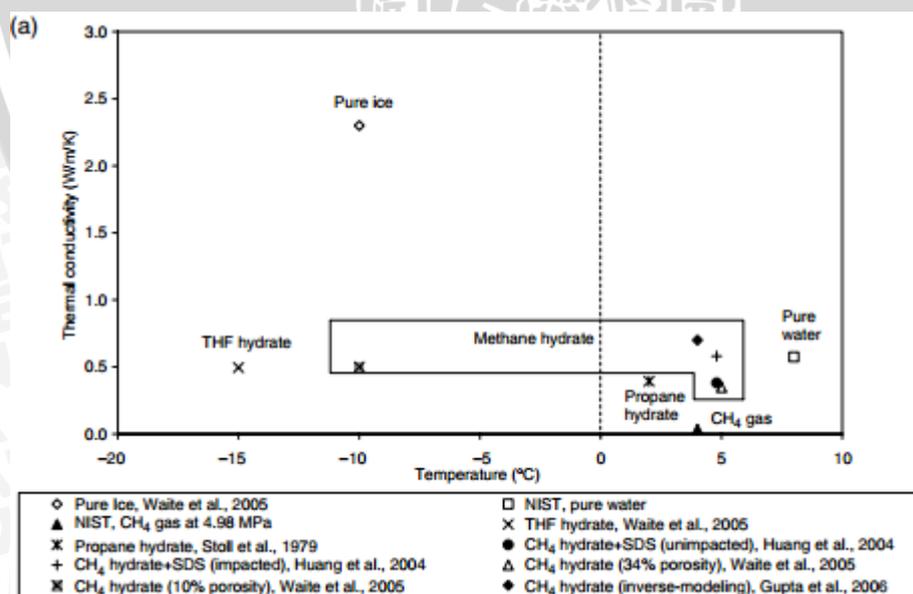
Contohnya pada struktur I dan struktur II. Jika menggunakan gas seperti argon atau xenon untuk membentuk hidrat sederhana maka jumlah minimum molekul airnya akan cocok dengan molekul gas pengisi. Kedua struktur tersebut menghasilkan kandungan mol air kurang lebih sebesar 85 % . Pada kondisi hidrat terisi dengan 2 kenis molekul pengisi maka akan membentuk struktur hidrat H maka fraksi mol dari air akan sama yaitu sekitar 85 %., tetapi untuk hidrat alam non-stoikiometri maka fraksi molnya biasanya melebihi 85 % . Dari beberapa hal di atas dapat dikatakan pada kandungan air yang cukup tinggi sebagian besar sifat hidrat memiliki kemiripan dengan es. Oleh karena itu hal ini dapat dimanfaatkan untuk mempertimbangkan sifat hidrat merupakan variasi dari es.

## 2.7 Sifat Mekanik

Pada pengukuran ketahanan mulur pengukuran deformasi kompresi dengan temperatur 260-273 K dan tegangan konstan terlihat bahwa kekuatan hidrat 20 kali lebih kuat dibandingkan dengan kekuatan es. Dari kesimpulan sebelumnya maka hal ini menunjukkan bahwa es akan lebih cepat mengalami deformasi dibandingkan dengan hidrat metana ketika diberi tegangan konstan yang sama. Tingginya kekuatan (ketahanan mulur) yang dimiliki oleh hidrat ini dipengaruhi oleh laju difusi pada hidrat metana yang 2 kali lebih lambat jika dibandingkan dengan es (Durham, 2003)

## 2.8 Sifat Termal

Stoll, et al (1979) pada penelitiannya untuk mendapatkan konduktivitas termal dari hidrat propana berhasil mendapatkan hasil 0.393 W/mK dengan temperatur 215.15 K. Konduktivitas termal ini lebih kecil jika dibandingkan konduktivitas termal es yaitu 2.23 W/mK. Konduktivitas termal dari hidrat dengan kondisi hidrat padat berbeda dengan saat ia cair. Konduktivitas termal saat hidrat padat adalah 0.5--.58 W/mK hampir mencapai konduktivitas termal air yaitu 0.605 W/mK. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.14 Konduktivitas termal dari gas, air dan es  
Sumber: Sloan (2008, 94)

Koefisien ekspansi termal linear dari hidrat struktur I, II dan es bisa ditentukan menggunakan dilatometri, x-ray dan difraksi bubuk neutron. Pada temperatur 200 K nilai koefisien ekspansi termal hidrat untuk hidrat dengan tipe H telah diukur menggunakan Heksametil-etana dan 2,2 metilbutana pada 150-200 K dan ternyata sama dengan koefisien ekspansi termal pada struktur I dan II.

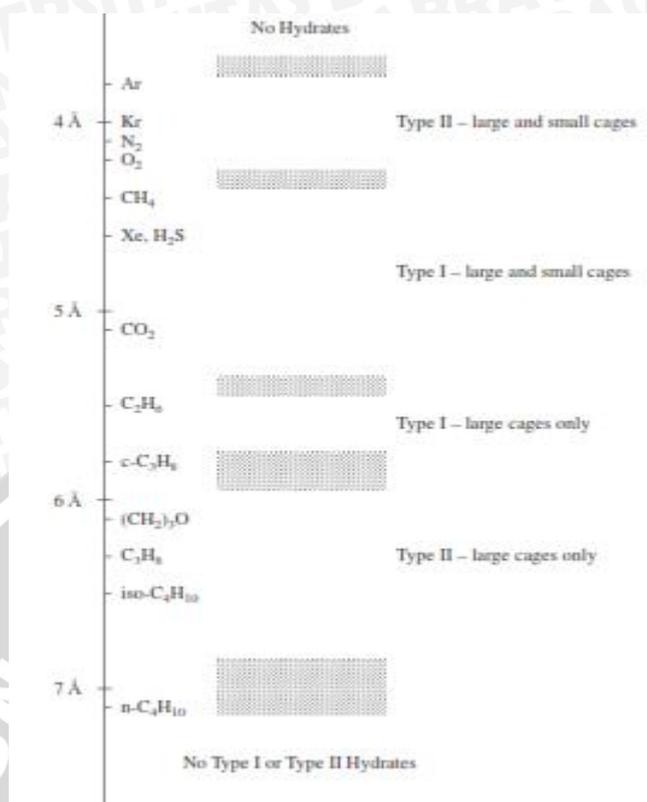
## 2.9 Gas Alam

Gas Alam adalah sebuah gas mineral yang ditemukan di bawah permukaan batu atau dasar laut. Biasanya gas ini dikaitkan dengan minyak mentah. Gas Alam adalah campuran gas hidrokarbon yang mudah untuk terbakar (Mokhatab *et al*, 2006). Gas alam memang biasanya merupakan campuran dari hidrokarbon (seperti metana, etana, propana, dll) tapi ada juga beberapa non-hidrokarbon seperti hidrogen sulfida, karbondioksida, nitrogen.

Air sangat sering dihubungkan dengan gas alam. Pada tempat penambangan gas alam air selalu ada karena gas alam akan dijenuhkan dengan air. Pada saat temperatur dan tekanan berubah maka air akan keluar. Dalam proses produksi gas alam airpun akan ikut terlibat untuk menghilangkan gas gas yang tidak diinginkan yang ikut tercampur.

Hidrat pada gas alam awalnya tercipta ketika tekanan dan temperatur tertentu terjadi di dalam pipa yang membuat gas bertransformasi menjadi hidrat. Hidrat yang terjadi secara tidak sengaja ini justru menjadi masalah karena dapat mengganggu proses produksi dan distribusi dari gas tersebut. Namun seiring berjalannya waktu mulailah di teliti potensi hidrat untuk mengatasi masalah masalah terutama di bidang energi.

Tiap hidrat gas alam memiliki karakteristik masing masing. Hal ini dikarenakan sifat dasar dari gas alam yang memang masing masing berbeda. Perbedaan tersebut dimulai seperti ukuran molekul, berat molekul, titik didih. Ukuran molekul mempengaruhi karena ada batas ukuran molekul maksimum dan minimum hidrat terbentuk Berikut pada gambar 2.15 yang menjelaskan perbedaan ukuran molekul pada gas hidrat.



Gambar 2.15 Perbandingan ukuran molekul gas dalam angstrom  
Sumber: Sloan (2008, 86)

### 2.9.1 Propana

Propana merupakan salah satu unsur gas alam dan merupakan energi kaya-gas, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>. Ini adalah salah satu bahan bakar gas cair (LP-Gas atau LPGs) yang ditemukan dicampur dengan minyak dan gas bumi. Propana cair dan gas lainnya, termasuk Ethana dan butana dipisahkan dari gas alam di pengolahan tanaman, atau dari minyak mentah di refineries. Jumlah propana dihasilkan dari gas alam dan dari minyak adalah kira-kira sama. Propana terjadi secara alami sebagai gas. Namun, pada tekanan yang lebih tinggi atau suhu lebih rendah, ia menjadi cair. Propana menjadi gas lagi bila katup dibuka untuk melepaskannya dari tekanan udara kontainer. Ketika kembali ke tekanan normal, propana menjadi gas sehingga dapat digunakan.

Gas propana memiliki berat molekul sebesar 44 g/mol. Berat molekul gas propana lebih besar dari gas metana (CH<sub>4</sub>) dan etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) yang masing-masing memiliki berat molekul 16 dan 30 gram/mol. Massa jenis gas propana sebesar 1.50 kg/m<sup>3</sup> pada temperatur ruangan. Kelarutan gas propana dalam air sebesar 40 mg/L pada temperatur 20°C. Titik didih gas propana adalah -42°C., Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, gas propana memiliki karakteristik dalam membentuk hidrat sesuai dengan tabel 2.4.

### 2.9.2 Metana

Gas alam merupakan campuran dari gas hidrokarbon yang mudah untuk terbakar (Mokhatab *et al*, 2006). Komponen utama dalam gas alam adalah metana ( $\text{CH}_4$ ), yang merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan. Gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon yang lebih berat seperti etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) dan butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), selain juga gas-gas yang mengandung sulfur (belerang). Gas alam juga merupakan sumber utama untuk sumber gas helium.

Gas metana memiliki berat molekul sebesar 16 g/mol.. Massa jenis gas metana sebesar  $0.56 \text{ kg/m}^3$  pada temperatur ruangan. Kelarutan gas metana dalam air sebesar 35 mg/L pada temperatur  $17^\circ\text{C}$ . Titik didih gas metana adalah  $-160^\circ\text{C}$ . Karakteristik umum dari gas butana

ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik umum dari gas alam

	Molecular Weight	Specific Gravity	Vapor Density air = 1	Boiling Point $^\circ\text{C}$	Ignition Temperature $^\circ\text{C}$	Flash Point $^\circ\text{C}$
Methane	16	0.553	0.56	-160	537	-221
Ethane	30	0.572	1.04	-89	515	-135
Propane	44	0.504	1.50	-42	468	-104
Butane	58	0.601	2.11	-1	405	-60
Pentane	72	0.626	2.48	36	260	-40
Hexane	86	0.659	3.00	69	225	-23
Benzene	78	0.879	2.80	80	560	-11
Heptane	100	0.668	3.50	98	215	-4
Octane	114	0.707	3.90	126	220	13
Toluene	92	0.867	3.20	161	533	4
Ethyl benzene	106	0.867	3.70	136	432	15
Xylene	106	0.861	3.70	138	464	17

Sumber: Speight (2007, 81)

### 2.9.3 Butana

Komponen lain dari gas alam adalah gas butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Gas butana merupakan komponen gas alam dengan empat atom karbon yang tidak memiliki warna. Gas butana merupakan salah satu komponen tambahan pada LPG.

Gas butana memiliki berat molekul sebesar 58 g/mol. Berat molekul gas butana lebih besar dari propana ( $C_3H_8$ ) yang memiliki berat 44 gram/mol. Massa jenis gas butana sebesar  $2.11 \text{ kg/m}^3$  pada temperatur ruangan. Kelarutan gas butana dalam air sebesar 61 mg/L pada temperatur  $20^\circ\text{C}$ . Titik didih gas butana adalah  $-1^\circ\text{C}$ . Karakteristik umum dari gas butana ditunjukkan pada Tabel 2.3.

## 2.10 Teori Gas Ideal

Gas mempunyai partikel yang bergerak dengan bebas sehingga dapat dengan mudah menempati ruang yang di tempati. Sifat gas tersebut membuat gas menjadi sulit dipelajari sifat sifatnya. Karenahal itu akhirnya dibuatlah gas ideal yang tidak ada dalam kehidupan nyata untuk menyederhanakan masalah ini. Gas ideal adalah kondisi dimana gas berada pada tekanan rendah dan suhu kamar sehingga mendekati sifat gas yang ideal.

Boiler, Charles dan Gay Lusac telah meneliti prinsip gas ideal tersebut. Eksperimen tersebut tentang karakteristik suatu gas yang dianalisa secara mikroskopik untuk mengetahui karakteristik suatu gas . Sehingga mulailah di pelajari karakteristik karakteristik suatu gas menggunakan prinsip gas ideal). Émile Clapeyron menemukan persamaan gas ideal dengan menggabungkan hukum Boyle dan Charles, seperti ditunjukkan pada Persamaan 2-1, yaitu:

$$PV = nRT \quad (2-1)$$

Dengan :

P = Tekanan gas (Pa)

n = Jumlah mol gas (mol)

V = Volume sistem suatu gas ( $\text{m}^3$ )

T = Temperatur absolut (K)

R = Konstanta Avogadro ( $8.314 \text{ J/mol.K}$ )

Energi kinetik translasi rata-rata molekul pada prinsip gas ideal dapat dicari dengan menggunakan rumus persamaan 2- 2 sebagai berikut:

$$EK = \frac{3}{2} KT \quad (2-2)$$

dengan:

EK = Energi kinetik (J)

T = Temperatur absolut (K)

$k$  = Konstanta Steven Boltzman ( $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ )

### 2.11. Konsep Gas Nyata

Gas nyata sesuai namanya adalah konsep yang berlawanan dengan gas ideal. Gas ideal yang merupakan penyederhanaan untuk menemukan sifat gas nyata yang sulit karena berbagai faktor seperti tekanan dan juga temperatur yang terus berubah. Selain itu juga gas ideal mengabaikan volume gas yang dimilikinya karena volume gas yang juga berubah ubah ketika temperatur dan tekanan gas berubah berbeda dengan konsep gas nyata. Namun perlu diingat walau volume gas secara total akan berubah tapi volume tiap molekul gas akan bernilai sama.

Persamaan gas nyata ini dapat ditemukan dengan menggunakan prinsip gas ideal. Persamaan tersebut menggunakan faktor koreksi atau faktor kompresibilitas ( $Z$ )

$$PV = nZRT \quad (2-3)$$

dengan:

$P$  = Tekanan gas (Pa)

$V$  = Volume sistem suatu gas ( $\text{m}^3$ )

$Z$  = Faktor kompresibilitas (*Peng Robinson Factor*)

$n$  = Jumlah mol gas (mol)

$T$  = Temperatur absolut (K)

$R$  = Konstanta Avogadro ( $8.314 \text{ J/mol.K}$ )

Faktor kompresibilitas merupakan perbandingan dari volume yang dimiliki oleh gas secara ideal dan volume gas secara aktual sehingga nilai faktor kompresibilitas ini tidak konstan tetapi berubah sesuai dengan perubahan komposisi, temperatur dan tekanan gas yang sesuai dengan kondisi nyatanya.

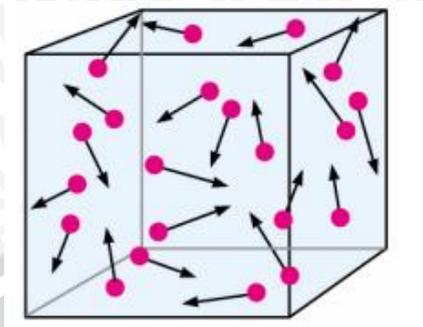
#### 2.11.1 Teori Kinetika Molekul Gas

Gas mempunyai molekul yang sangat kecil dan bergerak bebas. Pergerakan dari molekul molekul penyusun gas tersebut menjadi energik kinetik dari gas tersebut. Teori gas kinetik awalnya diteliti oleh Daniel Bernoulli (1738), berawal dari penurunan hukum Boyle yang diterapkan ke hukum gerak Newton pada molekul. Kemudian teori ini disempurnakan oleh Boltzman pada tahun 1898.

Teori kinetika molekul gas ini memiliki 3 asumsi dasar yaitu:

- a) Gas tersusun dari molekul-molekul yang bergerak secara acak
- b) Karena ukuran molekul gas yang sangat kecil maka ukurannya dapat diabaikan.

- c) Molekul tidak saling bereraksi dan jika bertubrukan dianggap lenting sempurna



Gambar 2.16 Tumbukan elastis molekul-molekul gas  
Sumber: Ikhsan (2013, 4)

### 2.11.2 Konsep Mol

Mol adalah suatu satuan yang menyatakan jumlah partikel suatu zat. Mol diciptakan untuk penyederhanaan karena dalam bidang kimia banyak ditemui partikel partikel yang sangat kecil dengan jumlah yang sangat besar sehingga sulit untuk mengamati masing masing partikel.

$$1 \text{ mol} = L \text{ partikel}$$

$$L = \text{Bilangan Avogadro} = 6,02 \times 10^{23}$$

### 2.11 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan sebuah fenomena perpindahan kalor yang disebabkan karena adanya perbedaan temperatur. Perpindahan kalor yang disebabkan perbedaan temperatur yang mengakibatkan kalor mengalir dari sistem dengan temperatur tinggi menuju temperatur rendah. Fenomena ini akan berhenti apabila temperatur dari kedua sistem sudah mencapai kesetimbangan. Perpindahan panas adalah salah satu penyebab benda berubah fase. Secara umum berdasarkan cara perpindahannya perpindaahan panas diklasifikasikan menjadi 3 yaitu: Konduksi, Konveksi dan radiasi

Konduksi adalah fenomena perpindahan panas yang terjadi tanpa adanya perppindahan masa. Konduksi dapat terjadi pada benda dengan wujud padat, cair dan gas namun dengan cara berbeda. Konuksi pada benda padat terjadi karena adanya tumbukan antara molekul zat penyusun menyebabkan pergerakan elektron bebas sehingga kalor pun bisa ikut berpindah. Pada zat cair dan gas, tumbukan dan difusi antarmolekulah yang menyebabkan terjadinya konduksi. Berikut adalah persamaan (2-3) yang digunakan untuk menentukan laju perpindahan panas secara konduksi

$$H = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2-3)$$

Dengan :

$H$  = Laju perpindahan panas konduksi(J)

$k$  = konduktivitas termal material(J/m<sup>2</sup>.K)

$A$  = Luas permukaan bidang kontak (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur anatara dua permukaan (K)

$\Delta x$  = jarak kedua permukaan (m)

Konveksi merupakan fenomena perpindahan panas yang terjadi pada sistem namun fenomena ini diikuti juga oleh perpindahan masa. Perpindahan panas konveksi dibedakan menjadi 2 menurut penyebabnya secara paksa dan bebas. Konveksi secara bebas terjadi akibat perbedaan temperatur dari sistem sedangkan paksa disebabkan faktor gaya dari luar sistem. Besar laju perpindahan panas konveksi dapat dihitung melalui persamaan (2-4) berikut :

$$H = hA \Delta T \quad (2-4)$$

Dengan :

$H$  = Laju perpindahan panas konveksi(J)

$k$  = koefisien konveksi material (J/m<sup>2</sup>.K)

$A$  = Luas permukaan bidang kontak (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur anatara fluida dengan permukaan zat padat (K)

Radiasi merupakan perpindahan panas dengan menggunakan media gelombang elektronik. Radiasi terjadi karena adanya tumpukan energi panas pada benda dengan suhu di atas nol mutlak. Gelombang elektromagnetik yang terjadi pada proses radiasi disebabkan karena pengaruh perpindahan acak dari suatu atom dan molekul yang memiliki muatan. Besarnya laju perpindahan panas secara radiasi dapat dihitung melalui persamaan (2-5) berikut :

$$H = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (2-5)$$

Dengan :

$H$  = Laju perpindahan panas radiasi (J)

$\varepsilon$  = Emisivitas suatu zat

$\sigma$  = Konstanta Stefan-Boltzman (5,67 x 10<sup>8</sup> J/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>)

(2-6)

$A$  = Luas permukaan perpindahan panas radiasi ( $m^2$ )

$T$  = Temperatur absolut zat (K)

## 2.12 Hipotesis

Efek dari jenis gas pada karakteristik akan di pengaruhi oleh ukuran dan berat molekul gas. Karena ukuran molekul berukuran besar dari gas lebih cepat mengisi rongga pada hidrat sehingga menyebabkan laju pembentukan dan stabilitas paling cepat serta kapasitas penyimpanan paling banyak. Dalam hal ini maka sesuai dengan ukurannya maka butanal adalah yang terbentuk paling cepat kemudian disusul oleh gas campuran propana-butana dan kemudian metana untuk kapasitas penyimpanan seperti sebelumnya dengan butana paling besar dan metana paling kecil karena kecepatan pembentukan hidrat yang lebih cepat dan stabil membuat kapasitas penyimpanan hidrat juga semakin tinggi.

