BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar merupakan sumber energi yang saat ini sangat dibutuhkan oleh masyarakat, khususnya bahan bakar minyak (BBM). Namun tingkat kebutuhan yang semakin meningkat tidak diimbangi dengan ketersediaan jumlah BBM di alam yang semakin berkurang. BBM merupakan salah satu bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui yang suatu saat akan habis ketersediannya di alam dan menyebabkan krisis energi BBM. Oleh karena itu, salah satu alternatif untuk mengantisipasi agar krisis energi tidak cepat terjadi adalah dengan memanfaatkan ketersedian Bahan Bakar Gas (BBG) di alam dengan memanfaatkannya dalam kehidupan sehari-hari. BBG sebelumnya merupakan bahan bakar yang kurang diminati oleh masyarakat sehingga penggunaannya kurang maksimal. Di Indonesia sendiri, sampai sekarang telah diaplikasikan penggunaan BBG untuk kebutuhan rumah tangga.

Bahan Bakar Gas (BBG) merupakan salah satu bentuk energi yang unsur utamannya merupakan gas alam. BBG yang umum diaplikasikan dalam kehidupan masyarakat khusunya di Indonesia saat ini adalah *Liquefied Petroleum Gasses* (LPG). LPG merupakan bahan bakar dari gas alam yang dicairkan dan merupakan produk minyak bumi yang diperoleh dari proses distilasi bertekanan tinggi. Fraksi yang digunakan sebagai umpan dapat berasal dari beberapa sumber yaitu dari Gas alam maupun Gas hasil dari pengolahan minyak bumi (*Light End*). Komponen utama LPG yang diproduksi di Indonesia terdiri dari Hidrokarbon ringan berupa 50% Propana (C_3H_8) dan 50% Butana (C_4H_{10}) serta kandungan lain dengan jumlah relatif kecil. LPG maupun gas alam lainnya identik dengan metode penyimpanan dan distribusi yang relativ rumit.

Proses penyimpanan dan distribusi BBG selama ini menggunakan salah satu dari tiga macam metode, yaitu melalui sistem pemipaan, *Liquefied Natural Gas* (LNG) dan *Compressed Natural Gas* (CNG). Namun, dari masing-masing metode tersebut masih memiliki kekurangan. Pada distribusi gas melalui sistem pemipaan tidak efektif jika diaplikasikan dalam jarak distribusi yang jauh. Kemudian sistem LNG harus merubah fase gas menjadi cair sehingga membutuhkan instalasi yang rumit dan ketelitian tinggi, dan mengakibatkan biaya mahal untuk operasionalnya. Adapun metode CNG memerlukan kapal

khusus dengan kontainer bertekanan untuk mengangkut gas dan pompa besar serta waktu yang lama dalam pengisian. Oleh karena itu, diperlukan sebuah alternatif dalam metode distribusi dan penyimpanan gas, salah satunya adalah dengan sistem hidrat gas padat (*Natural Gas Hydrate*).

Hidrat gas alam merupakan kristal air yang berbentuk seperti es yang timbul karena adanya campuran air dengan molekul kimia hidrokarbon pada kondisi temperatur dan tekanan tertentu pada campuran molekulnya. Gas alam padat dapat terbentuk ketika molekul air yang memiliki ikatan hidrogen berubah fase menjadi padat (es) dan menghasilkan rongga didalamnya. Rongga yang dibentuk oleh ikatan molekul air dan senyawa hidrokarbon inilah yang kemudian dapat diisi oleh berbagai macam gas alam dengan karakteristik tertentu seperti metana, etana, propana dan butana. Karena memiliki stabilitas yang tinggi dibawah suhu 0^0C pada tekanan atmosfer, hidrat sangat sesuai apabila digunakan sebagai media baru dalam metode penyimpanan gas.

Saat ini banyak ilmuwan yang mempelajari hidrat gas alam sebagai alternatif sistem transportasi dan penyimpanan gas alam dalam bentuk padat. Perkembangan teknologi saat ini mulai mengembangkan sisi positif dari hidrat. Hidrat kini dikembangkan sebagai alat penyimpan dan distribusi gas yang efektif. Densitas energi dari hidrat sebanding dengan gas alamnya dalam fase yang dipadatkan. Sehingga proses penyimpanan dan distribusi gas alam melalui hidrat akan lebih ekonomis. Selain itu, produksi dan penyimpanan menggunakan hidrat lebih ringan daripada gas alam yang dikompresi dan dicairkan.

Namun, adakalanya hidrat dapat menjadi suatu kendala yang dialami saat proses produksi dan distribusi LPG di industri petroleum. Metode pemipaan gas alam bertekanan tinggi pada daerah yang dingin, berpotensi menimbulkan hidrat gas alam dan menyebabkan aliran gas terhambat. Dengan terhambatnya aliran gas maka dapat mengakibatkan efektifitas produksi gas menurun sehingga menyebabkan kerugian. Selain itu, kerugian lain dari munculnya hidrat adalah kerusakan dari peralatan distribusi gas, seperti katup dan pipa-pipa penyalur. Karena hidrat dapat menimbulkan korosi pada perangkat-perangkat tersebut. Sehingga penting untuk mengetahui tentang karakteristik hidrat agar kemunculannya pada pipa distribusi dapat diantisipasi.

Dari latar belakang di atas, maka timbul gagasan untuk meneliti tentang karakteristik dari hidrat. Karakteristik tersebut meliputi pengaruh variasi tekanan campuran propana-butana terhadap laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat. Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan karakter sebenarnya dari hidrat yang terbentuk

dari propana-butana, sehingga akan dapat membantu dalam proses produksi maupun proses distribusinya.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah disebutkan, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi tekanan pembentukan gas campuran propana butana terhadap laju pembentukan hidrat?
2. Bagaimana pengaruh variasi tekanan pembentukan gas campuran propana butana terhadap stabilitas hidrat?
3. Bagaimana pengaruh variasi tekanan pembentukan gas campuran propana butana terhadap kapasitas penyimpanan hidrat?

1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan penelitian ini agar mencapai tujuan yang lebih terarah, maka penulis memberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Gas yang digunakan menggunakan prinsip gas nyata.
2. Kapasitas penyimpanan hidrat hasil penelitian bukan merupakan kapasitas penyimpanan maksimum hidrat secara teoritis.
3. Komposisi campuran butana dan propana adalah dianggap sama yaitu masing-masing 50%.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya tekanan yang paling efektif dalam menentukan laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat campuran gas propana dan gas butana.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Memberikan solusi bagi perusahaan petrolium gas untuk mengantisipasi terbentuknya hidrat pada pipa saluran distribusi.
2. Mengetahui kapasitas hidrat sebagai media penyimpan gas dalam bentuk padat.
3. Menjadi referensi pihak lain untuk melanjutkan penelitian tentang hidrat.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian Sebelumnya

Ganji, et al (2007) telah melakukan eksperimen tentang klatrat hidrat yang terbentuk dari gas metana. Pada penelitian ini dilakukan pengujian surfaktan anion, kation dan non-ion pada laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan dari hidrat. Variabel bebas dari pengujian ini adalah konsentrasi surfaktan, yaitu sebesar 300, 500 dan 1000 ppm. Pada penelitian laju pembentukan hidrat, 75 cm^3 larutan surfaktan dimasukkan pada sistem dan dikondisikan pada tekanan 8,3 Mpa dan temperatur 298,2 K dengan putaran pengaduk 200 rpm. Setelah sistem mencapai kesetimbangan, kemudian didinginkan menuju temperatur pembentukan hidrat yaitu 276,2 K. Pada penelitian stabilitas hidrat, setelah hidrat terbentuk sempurna selanjutnya sistem didinginkan pada temperatur 268,2 K dan didiamkan selama 10 jam dengan katup terbuka agar sisa gas dapat terkuras. Kemudian pada penelitian kapasitas penyimpanan, setelah stabilitas diuji selanjutnya hidrat didinginkan pada temperatur kamar sehingga hidrat akan terurai dan gas metana akan keluar ke lingkungan,

Moraveji, et al (2010) telah melakukan penelitian tentang pengaruh surfaktan anion pada pembentukan, waktu induksi dan stabilitas pada hidrat metana. Dalam penelitiannya digunakan *sodium dodecyl sulfat* (SDS) sebagai surfaktan anion. Stabilitas hidrat (laju penguraian) diuji dalam lima temperatur, yaitu 268,2; 269,2; 270,2; 271,2 dan 272,2 K dengan dan tanpa menggunakan surfaktan. Hasil dari eksperimen menunjukkan bahwa laju pembentukan hidrat gas lebih tinggi dengan penambahan surfaktan. Selanjutnya, laju penguraian hidrat di bawah titik pembentukan es meningkat di saat kondisi yang sama.

Almatsany (2015) dalam penelitiannya tentang pengaruh kecepatan putaran *crystalizer* terhadap laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat campuran propana butana. Disimpukan bahwa Semakin tinggi kecepatan motor memutar tabung *crystalizer*, semakin tinggi laju pembentukan hidrat pada proses pembentukan selama 10 jam. Semakin tinggi laju pembentukan hidrat ditunjukkan dengan semakin tingginya tingkat konsumsi gas untuk membentuk hidrat. Stabilitas hidrat dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu hidrat memiliki lapisan es disekitar kristalnya dan tekanan yang terjadi akibat penguraian hidrat akan menghambat laju penguraian setelahnya.

2.2 Klatrat Hidrat

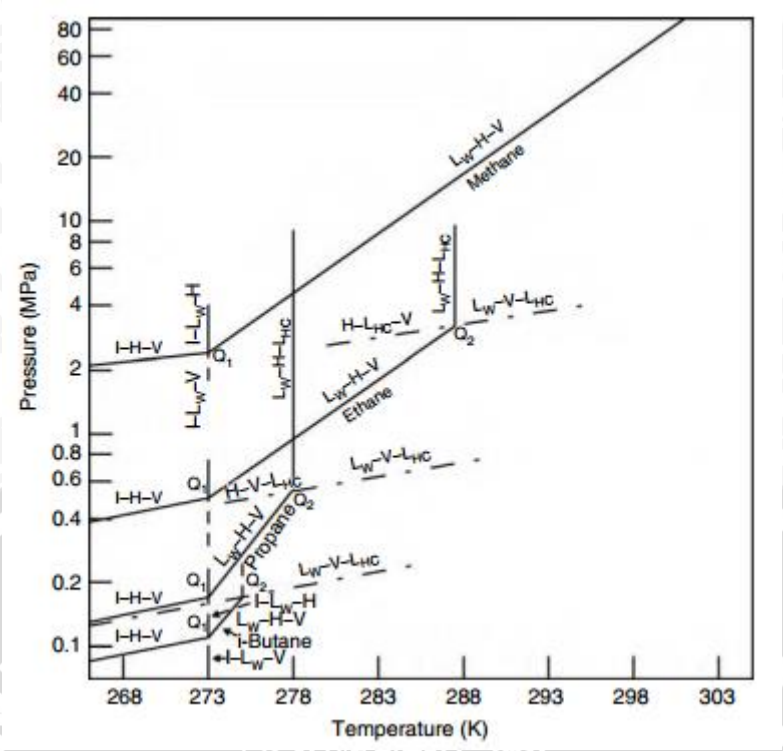
Hidrat gas alam merupakan es yang berbentuk seperti kumpulan kristal yang terdiri dari campuran air dan molekul gas alam pada tekanan dan tempertaur tertentu. Molekul air membentuk ikatan hidrogen dan menghasilkan cangkang berongga yang selanjutnya rongga tersebut akan terisi oleh molekul gas alam dengan bentuk dan ukuran yang sesuai. Struktur hidrat secara termodinamik distabilkan melalui interaksi tanpa ikatan antara molekul cangkang dan kisi air (Ganji, 2007).

Di dalam rongga hidrat secara termodinamik tidak stabil, dan akan menjadi stabil ketika dimasuki berberapa molekul gas dan terjebak di dalamnya. Molekul gas yang terjebak ini disebut klatrat. Klatrat adalah larutan padat dari zat terlarut yang mudah menguap di kisi hidrat. kisi yang Kosong dari hidrat memiliki kondisi termodinamika yang tidak stabil, namun stabilisasi dapat terjadi melalui masuknya komponen kedua. Kisi secara bersamaan dapat berikatan karena adanya ikatan hidrogen antara molekul-molekul air yang membentuk polyhedra (cangkang). Rongga dari polyhedra ini bisa diisi dengan molekul yang tidak mengganggu ikatan hidrogen air, asalkan diameter molekul yang masuk memiliki ukuran yang sesuai. Di bawah kondisi tekanan dan suhu yang sesuai, molekul pengisi ini akan membentuk struktur gas hidrat yang stabil. Tolakan dari molekul-molekul yang masuk ini menyebabkan terbentuknya cangkang air, sehingga dapat disebut sebagai kristal (Beltran, 2009).

2.3 Fase Kesetimbangan

Molekul klatrat hidrat tidak terikat secara kimiawi dalam strukturnya, melainkan berinteraksi secara lemah melalui gaya van der waals. Temperatur dan tekanan akan menentukan fase yang terbentuk dari klatarat hidrat, yaitu apakah sebagai fase gas, padat, cair atau hidrat (Beltran, 2009).

Pada berbagai gas alam memiliki beberapa fase dalam membentuk hidrat seperti pada gambar 2.1. Pada gambar 2.1, H menunjukkan hidrat, I menunjukkan es, V menunjukkan uap, L_W menunjukkan cair dari air dan L_{HC} menunjukkan fase cair dari hidrokarbon. Untuk setiap komponen, daerah terentuknya hidrat adalah sisi kiri dari tiga garis fase (I-H-V), (L_W-H-V) dan (L_W-H- L_{HC}). Bagian kanan dari tiga fase tersebut menunjukkan fase air (cairan atau es) dan material pengisi sebagai uap atau cairan. Adanya perpotongan diatas garis tiga fase pada gambar 2.1 menunjukkan titik *quadruple* hidrat bawah Q_1 (I–L_W–H–V) dan titik *quadruple* atas Q_2 (L_W–H–V–L_{HC}). Titik *quadruple* ini merupakan ciri tersendiri dari setiap pembentuk hidrat, menunjukkan klasisfikasi kuantitatif untuk komponen hidrat gas alam.



Gambar 2.1 Diagram fase pembentukan hidrat beberapa gas alam hidrokarbon
Sumber: Sloan (2008: 7)

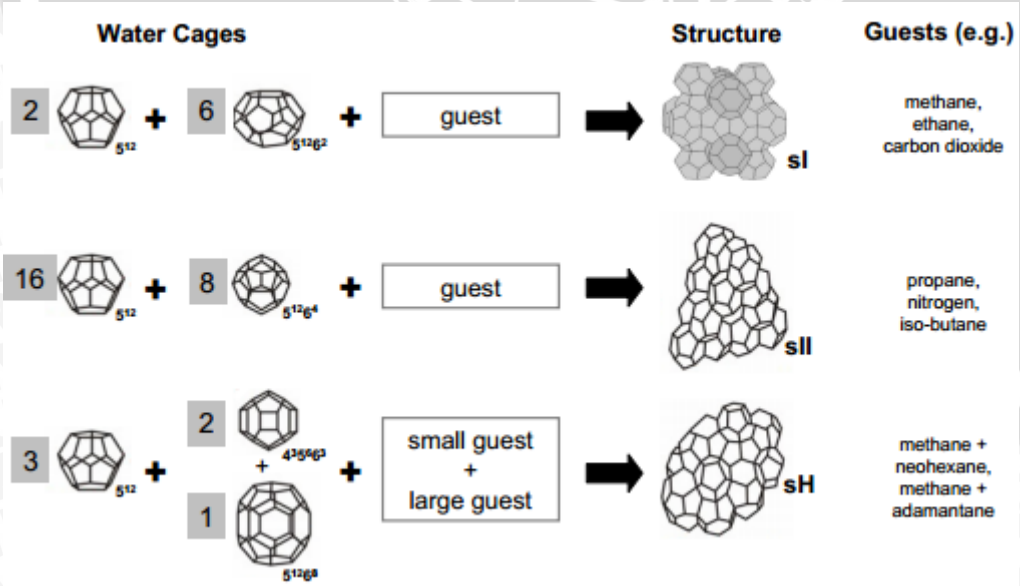
Setiap titik *quadruple* terjadi pada perpotongan empat dari garis tiga fase (gambar 2.1). Titik Q_1 menunjukkan quadruple bawah dan titik Q_2 menunjukkan quadruple atas dalam fase terbentuknya hidrat. Titik *quadruple* bawah ditandai dengan perubahan fase L_W menuju I, sehingga dengan menurunnya temperatur, Q_1 menunjukkan dimana pembentukan hidrat berakhir dari uap dan air (cairan), dan dimana pembentukan hidrat terjadi dari uap dan es. Q_2 menunjukkan batas temperatur tertinggi untuk pembentukan hidrat. Untuk mendapatkan temperatur kitis, tekanan gas dapat direndahkan sedemikian rupa sesuai gambar 2.1. Sehingga dengan demikian, gas nitrogen dan metana tidak memliki batas pada Q_2. Oleh karena itu gas nitrogen dan metana secara khusus tidak mempunyai batas temperatur untuk dapat membentuk hidrat.

2.4 Klasifikasi Tipe dan Bentuk Hidrat

Hidrat diklasifikasikan atas susunan molekul air dalam kristalnya. Dua tipe hidrat yang umum ditemui dalam perusahaan petroleum adalah tipe kubus I dan II (sering disebut juga struktur kubus I dan II). Tipe hidrat yang ketiga adalah tipe heksagonal H (disebut juga struktur heksagonal H), yang lebih jarang ditemukan daripada dua tipe sebelumnya.

Gambar 2.2 Struktur dasar dari hidrat
Sumber: Beltran (2009, 6)

Struktur I adalah yang paling banyak ditemukan di alam, struktur II terjadi terutama di lingkungan buatan, dan struktur H dapat terbentuk baik dilingkungan buatan atau alami (Sloan, 2010). Pada gambar 2.2 menunjukkan susunan dasar untuk kristal klatrat hidrat berupa polihedron dengan dua belas sisi pentagonal dengan molekul air berada pada setiap ujung dan metana berada didalam rongga air. Pada tabel 2.1 menunjukkan perbandingan sederhana dari hidrat dengan tipe kubus I, kubus II dan heksagonal H. Gambar 2.3 menunjukkan bahwa tipe cangkang polihedral meliputi hidrat tipe kubus I, tipe kubus II dan tipe H.



Gambar 2.3 Tiga susunan struktur yang paling umum dalam klatrat hidrat
Sumber : Beltran J. (2009, 7)

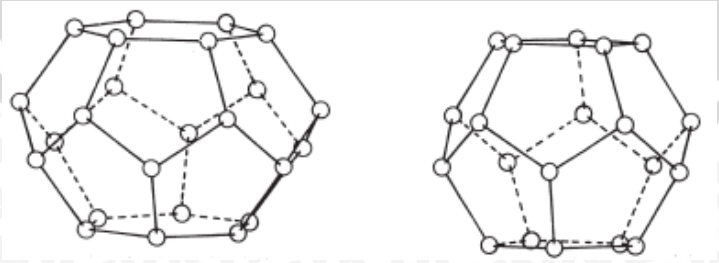
Tabel 2.1 Perbandingan hidrat tipe I, tipe II dan tipe H

	Type I	Type II	Type H
Water Molecules per Unit Cell	46	136	34
Cages per Unit Cell			
Small	6	16	3
Medium	–	–	2
Large	2	8	1
Theoretical Formula†			
All cages filled	X . 5 3/4 H_2O	X . 5 2/3 H_2O	5X . Y . 34 H_2O
Mole fraction hydrate former	0.1481	0.1500	0.1500
Only large cages filled	X . 7 2/3 H_2O	X . 17 H_2O	–
Mole fraction hydrate former	0.1154	0.0556	–
Cavity Diameter (Å)			
Small	7.9	7.8	7.8
Medium	–	–	8.1
Large	8.6	9.5	11.2
Volume of Unit Cell (m^3)	1.728×10^{-27}	5.178×10^{-27}	
Typical Formers	CH_4, C_2H_6, H_2S, CO_2	N_2, C_3H_8, i-C_4H_{10},	See text

Sumber: Carrol (2009, 18)

2.4.1 Tipe Kubus I

Struktur hidrat yang paling sederhana merupakan tipe kubus I yang tersusun atas dua struktur, yaitu dodekahedron dan tetrakaidekahedron. Dodekahedron merupakan struktur yang memiliki duabelas sisi yang berbentuk segilima beraturan (5^{12}). Sedangkan tertrakaidekahedron merupakan tipe struktur yang memiliki empatbelas sisi dengan duabelas sisinya berbentuk segilima dan dua sisi lainnya berbentuk heksagonal ($5^{12}6^2$).



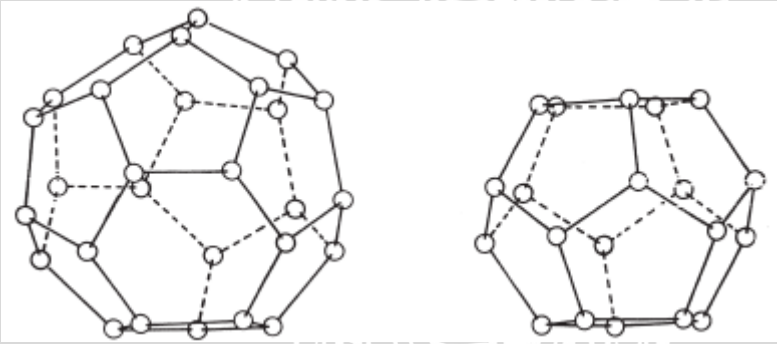
(a) (b)

Gambar 2.4 Struktur hidrat tipe kubus I (a) tertrakaidekahedron (b) dodekahedron
Sumber : Carroll (2009, 19)

Hidrat tipe kubus I mengandung 46 molekul air. Jika rongga dalam cangkang hidrat ditempati oleh molekul pengisi, rumus teoritis dari hidrat adalah X.5 3/4 H_2O, dengan X merupakan pembentuk hidrat. Beberapa molekul pembentuk hidrat yang umum meliputi metana, etana, karbon dioksida dan hidrogen sulfida. Dalam hidrat yang dibentuk oleh CO_2, CH_4 dan H_2S, molekul pengisi dapat menempati kedua rongga struktur.

2.4.2 Tipe Kubus II

Struktur hidrat tipe II secara spesifik lebih komplek daripada struktur hidrat tipe I. Tipe hidrat II juga tersusun dari dua tipe struktur, yaitu struktur dodekahedron dan heksakaidekahedron. Dodekahedron merupakan bentuk struktur hidrat yang mempunyai duabelas sisi dengan masing-masing berbentuk segilima beraturan. Sedangkan heksakaidekahedron merupakan hidrat yang memiliki duapuluh sisi, dengan enambelas sisi berbentuk segilima beraturan dan empat sisi lainnya berbentuk sisi segienam. Hidrat tipe kubus II mengandung molekul air sebanyak 136 molekul. Kebanyakan molekul utama pengisi hidrat tipe II adalah nitrogen, propana dan isobutana.

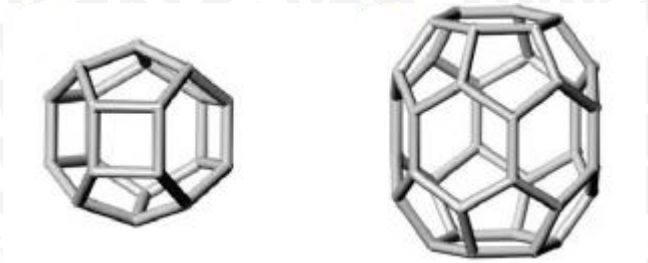


(a) (b)

Gambar 2.5 Struktur Hidrat tipe II (a) Heksakaidekahedron (b) Dodekahedron
Sumber : Carroll (2009, 19)

2.4.3 Tipe Heksagonal H

Jumlah hidrat dengan tipe heksagonal H adalah yang paling sedikit ditemukan daripada tipe I dan II. Untuk dapat membentuk tipe H ini membutuhkan ukuran molekul yang sangat kecil, seperti metana dan pembentuk hidrat H yang lain. Hidrat Tipe H memiliki 3 tipe kerangka struktur, yaitu tipe dodekahedron, tipe dodekahedron irregular dan ikosahedron irregular. Tipe dodekahedron telah dijelaskan sebelumnya. Tipe dodekahedron irregular merupakan tipe kerangka hidrat yang memiliki tiga sisi berbentuk persegi, enam sisi berbentuk segilima beraturan dan tiga sisi lain berbentuk segienam beraturan.



(a) (b)

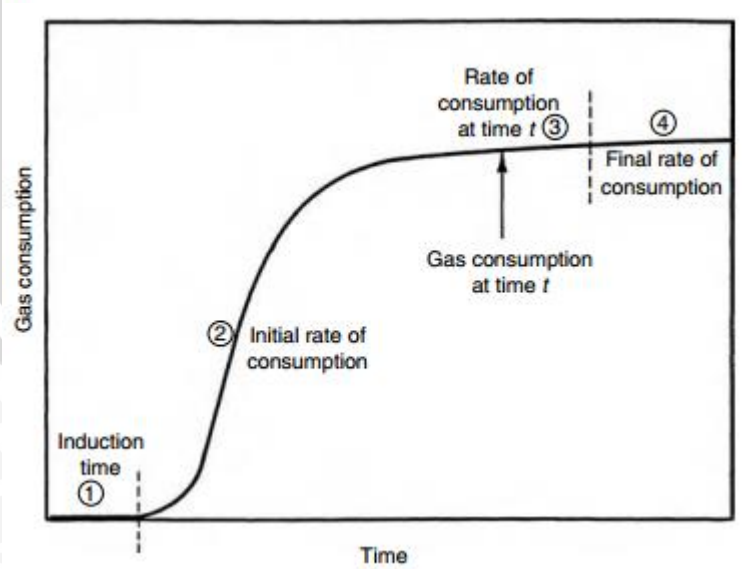
Gambar 2.6 Struktur hidrat H (a) dodekahedron irregular (b) ikosahedron Iregular
Sumber: Sloan (2008, 54)

2.5 Pembentukan Hidrat

Pembentukan gas hidrat adalah transformasi fase yang membutuhkan kondisi cair jenuh dengan temperatur rendah dan tekanan tinggi agar prosesnya dapat terjadi. Pembentukan hidrat menyerupai proses kristalisasi, oleh karena itu proses ini dapat dibagi menjadi nukleasi (pengintian) dan pertumbuhan fase.

2.5.1 Proses Pengintian (Nukleasi)

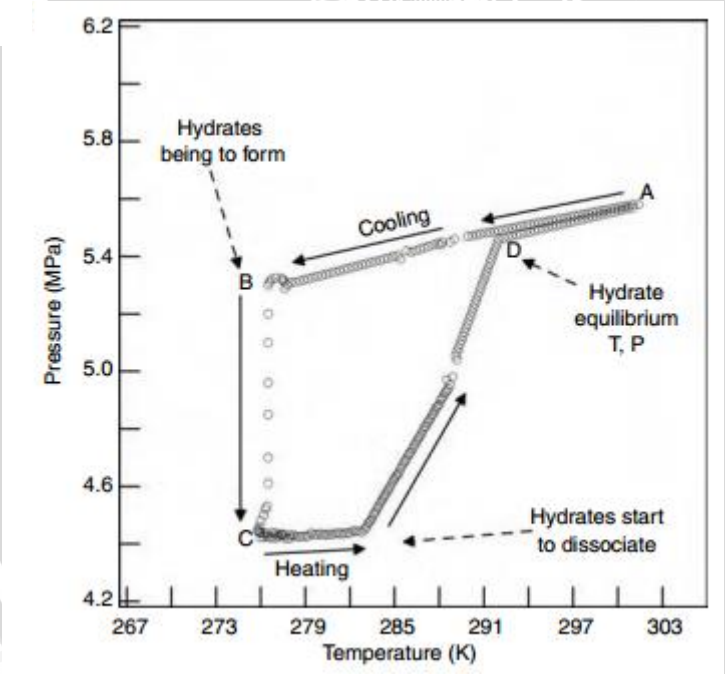
Proses pembentukan inti atau nukleasi hidrat adalah proses dimana kristal hidrat kecil (inti) terbentuk dan menghilang agar tercapai ukuran kritis untuk pertumbuhan lanjutan. Di sisi lain pertumbuhan hidrat mengacu pada fase dimana inti tumbuh sebagai kristal hidrat padat. Awal pertumbuhan hidrat biasanya dikaitkan dengan munculnya kekeruhan dalam fase cair dan sering disebut sebagai titik kekeruhan.



Gambar 2.7 perbandingan waktu dan konsumsi gas pada pembentukan hidrat
Sumber : Sloan (2008, 115)

Pada gambar 2.7 menunjukkan perbandingan besarnya konsumsi gas terhadap waktu pembentukan hidrat untuk sistem yang dijaga pada temperatur dan tekanan konstan. Sel autokaf yang mengandung air diberi tekanan dengan gas dan dikondisikan pada tekanan dan temperatur pembentukan hidrat. Gas ditambahkan dari *reservoir* untuk menjaga agar tekanan konstan pada pembentukan hidrat terhadap waktu.

Waktu induksi ditandai dengan angka 1 yang meliputi waktu untuk membentuk inti kristal, yang tidak memungkinkan untuk diperiksa secara makroskopik. Waktu induksi didefinisikan sebagai waku yang diperlukan sampai kemunnculan volume dari fase hidrat terdeteksi secara ekuivalen, sampai pertambahan jumlah konsumsi gas dimulai. Waktu induksi juga bisa disebut sebagai fase pengintian hidrat atau *lag time*. Selama periode induksi, kondisi temperatur dan tekanan berada pada daerah hidrat yang stabil. Meskipun demikian, hidrat tidak akan terbentuk dalam periode ini karena kondisi metastabil (kemampuan sistem *nonequilibrium* untuk tetap stabil dalam periode yang lama).



Gambar 2.8 Grafik perbandingan tekanan dan temperatur pada hidrat metana
Sumber : Sloan (2008, 115)

Hasil dari penelitian lain tentang pembentukan dan penguraian hidrat berdasarkan hubungan antara temperatur dan tekanan ditunjukkan pada gambar 2.8. Dalam hal ini, volume berada dalam kondisi konstan dan tekanan mengalami perubahan selama percobaan. Periode metastabilitas sistem mencegah terbentuknya hidrat pada titik D dengan segera

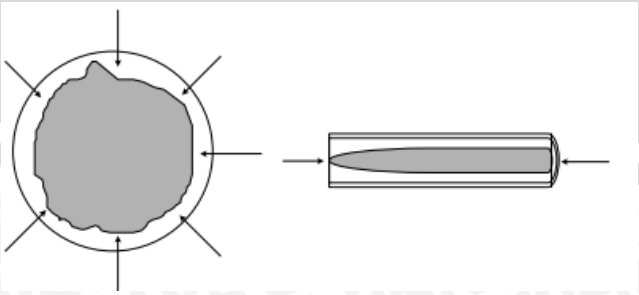
dalam temperatur dan tekanan kesetimbangan hidrat. Sebaliknya, tekanan sistem mengalami penurunan secara linear dengan temperatur dalam beberapa jam, tanpa terjadi pembentukan hidrat. Pada titik B, hidrat mulai terbentuk. Tekanan mengalami penurunan secara cepat menuju titik C menjadi sebesar 1,01 Mpa atau 10 atm selam setengah jam.

2.5.2 Pertumbuhan Hidrat

Pertumbuhan hidrat mengacu pada fase dimana inti tumbuh sebagai kristal hidrat padat. Awal pertumbuhan hidrat biasanya dikaitkan dengan munculnya kekeruhan dalam fase cair dan sering disebut sebagai titik kekeruhan. Pada gambar 2.7 menunjukkan periode pertumbuhan dalam daerah 2, pertumbuhan hidrat terjadi sangat cepat. Selama periode pertumbuhan, gas akan terkonsentrasi pada kerangka (cangkang) hidrat, molekul gas hidrat lebih padat daripada dalam keadaan uap. Layaknya air yang dikonsumsi oleh pembentukan hidrat, tingkat konsumsi gas akan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu (titik 3-4).

2.6 Penguraian Hidrat

Penguraian (disosiasi) hidrat dimulai ketika hidrat dipanaskan dari poin C pada gambar 2.8 sehingga meningkatkan tekanan sistem secara perlahan pada awalnya, kemudian meningkat secara tajam sepanjang garis disosiasi hidrat diatara titik C dan D. Akhirnya, hidrat mengalami penguraian secara sempurna pada titik D. Kondisi kesetimbangan hidrat atau temperatur dan tekanan penguraiaan diberikan di oleh titik D. Proses penguraiaan (disosiasi) pada hidrat merupakan proses endotermik yang dapat terjadi karena adanya temperatur luar yang masuk pada struktur hidrat, sehingga ikatan hidrogen akan lepas dan hidrat akan terurai kembali menjadi gas dan air.



(a) (b)

Gambar 2.9 (a) penguraian radial (b) penguraian aksial
Sumber: Sloan (2008, 177)

Penguraian hidrat secara umum dapat terjadi scara radial maupun aksial (gambar 2.9). Penguraian hidrat pada sebuah pipa dimulai ketika bagian hidrat yang mendekati permukaan pipa mulai berubah fase menjadi cair dan mengelilingi fase hidrat yang masih berbentuk solid yang berada ditengahnya. Fase air ini dan mengalirkan panas menuju fase hidrat yang dikelilinginya (Davies, 2006).

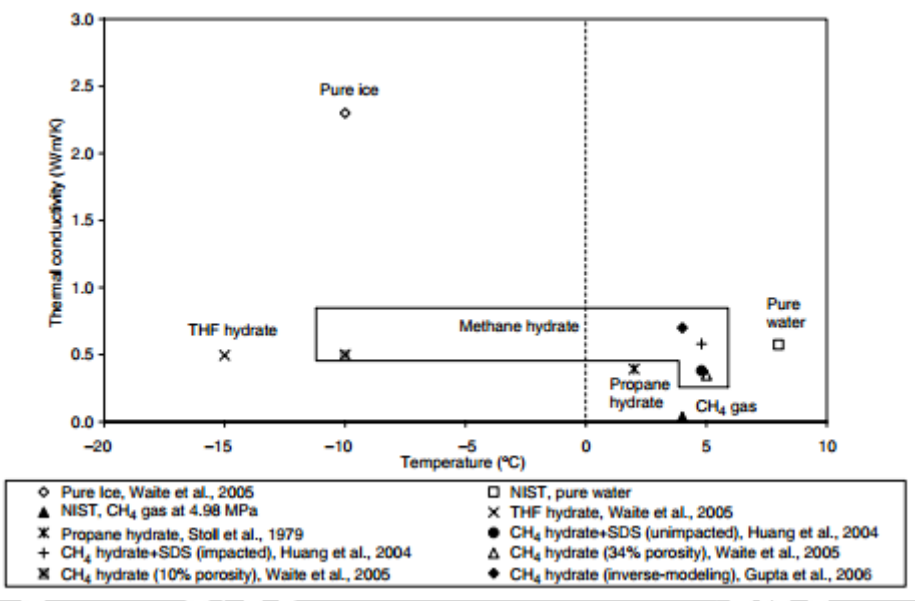
2.7 Sifat Mekanik

Pada pengujian ketahanan deformasi tekan yang telah dilakukan pada hidrat metana dalam kondisi temperatur 260-270 K dan tekanan konstan, didapatkan bahwa hidrat metana lebih kuat 20 kali ketahanan mulurnya dibandingkan dengan es. hal ini menunjukkan es akan lebih cepat mengalami deformasi dibanding dengan hidrat metana ketika diberi tekanan yang sama. Tingginya kekuatan mekanik dari hidrat disebabkan karena laju difusi air pada hidrat metana dua kali lebih lambat dibandingkan dengan es, sehingga ketahanan mulur hidrat lebih tinggi (Durham, 2003).

2.8 Sifat Termal

Stall dan Brayn (1979) dalam penelitiannya telah melakukan pengukuran terhadap konduktivitas termal hidrat propana sebesar 0,393 $Wm^{-1}K^{-1}$ pada temperatur 215,15 K. Dari penelitiannya diketahui bahwa konduktivitas termal hidrat propana lebih rendah daripada kristal es yang memiliki konduktivitas termal 2,23 $Wm^{-1}K^{-1}$. Konduktivitas termal hidrat yang rendah serta kesamaan nilai dari setiap strukturnya telah banyak dibuktikan dari berbagai penelitian. Konduktivitas termal dari hidrat dalam bentuk solid berkisar 0,50-0,58 $Wm^{-1}K^{-1}$ hampir sama dengan air (*liquid*) yang memiliki konduktivitas termal 0,605$Wm^{-1}K^{-1}$. Perbandingan konduktivitas termal struktur air dalam fase gas, air dan es ditunjukkan pada gambar 2.10.

Koefisien ekspansi termal linear dari hidrat strktur I, II dan es telah ditentukan melalui dilatometri, x-ray dan difraksi bubuk neutron. Nilai untuk hidrat tipe H pada temperatur 200K telah diukur untuk heksametil-etana (HME) dan 2,2 dimetil-butana (DMB) pada temperatur 150 dan 200 K (Tse, 2009) dan dihasilkan kesimpulan bahwa nilai ekspansi kubiknya serupa dengan tipe I dan tipe II.



Gambar 2.10 Konduktivitas termal dari gas, air dan es
Sumber: Sloan (2008, 94)

2.9 Perbandingan Hidrat dengan Es

Setiap struktur kristal es mengandung molekul air yang memiliki ikatan hidrogen dalam kisi padat. Karena molekul air juga berikatan dalam hidrat membentuk kristal padat seperti es, antara hidrat dan es keduanya secara sederhana dianggap memiliki kesamaan. Banyak sifat mekanik dari es mirip dengan hidrat.

Jika semua rongga dalam struktur I dan struktur II telah terisi membentuk hidrat sederhana, seperti terisi dengan argon atau xenon, jumlah minimum dari molekul air akan sesuai dengan jumlah molekul gas pengisi. Dari kedua struktur tersebut menghasilkan kandungan mol air sebesar 85%. Jika rongga hidrat terisi dengan dua jenis molekul pengisi dan membentuk struktur hidrat H, fraksi mol dari air akan sama, yaitu sebesar 85%. Akan tetapi untuk hidrat alam non-stoikiometri, fraksi mol dari air selalu lebih tinggi dari 85%. Dengan tingkat kandungan air yang cukup tinggi, dapat dikatakan bahwa sebagian besar sifat hidrat memiliki kesamaan dengan es, sehingga hal ini akan bermanfaat untuk mempertimbangkan sifat-sifat hidrat merupakan variasi dari es (Davidson, 1973).

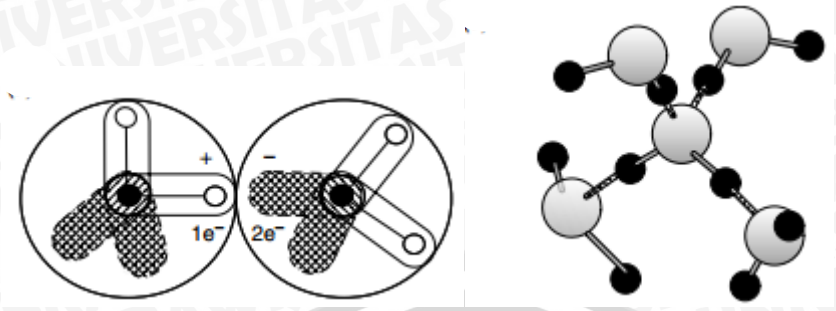
Tabel 2.2 Perbandingan sifat-sifat es dengan hidrat struktur I dan II

Property	Ice	Structure I	Structure II
Structure and dynamics			
Crystallographic unit cell space group	$P6_3/mmc$	Pm3n	Fd3m
No. of H_2O molecules	4	46	136
Lattice parameters at 273 K (Å)	$a = 4.52$, $c = 7.36$	12.0	17.3
Dielectric constant at 273 K	94	~58	~58
Far infrared spectrum	Peak at 229.3 cm^{-1}	Peak at 229.3 cm^{-1}	with others
H_2O reorientation time at 273 K (μs)	21	~10	~10
H_2O diffusion jump time (μs)	2.7	>200	>200
Mechanical properties			
Isothermal Young's modulus at 268 K (10^9 Pa)	9.5	8.4^{est}	8.2^{est}
Poisson's ratio	0.3301^a	0.31403^a	0.31119^e
Bulk modulus (GPa)	8.8; 9.097^a	5.6; 8.762^a	8.482^a
Shear modulus (GPa)	3.9; 3.488^a	2.4; 3.574^a	3.6663^a
Compressional velocity, V_p (m/s)	3870.1^a	$3778^{a,b}$	3821.8^a
Shear velocity, V_S (m/s)	1949^a	1963.6	2001.14^b
Velocity ratio (comp/shear)	1.99	1.92	1.91
Thermal properties			
Linear thermal expansion at 200 K (K^{-1})	56×10^{-6}	77×10^{-6}	52×10^{-6}
Thermal conductivity ($Wm^{-1} K^{-1}$)	2.23	0.49 ± 0.02;	0.51 ± 0.02
at 263 K	2.18 ± 0.01^c	0.51 ± 0.01^c 0.587^d	0.50 ± 0.01^c
Adiabatic bulk compression at 273 K (GPa)	12	14^{est}	14^{est}
Heat capacity ($Jkg^{-1}K^{-1}$)	1700 ± 200^c	2080	2130 ± 40^c
Refractive index (632.8 nm, −3°C)	1.3082^e	1.346^e	1.350^e
Density (g/cm^3)	0.91^f	0.94 also see	1.291^g

Sumber: Sloan (2008, 94).

2.10 Ikatan Hidrogen

Latimer dan Rodebush (1920) telah melakukan penelitian tentang ikatan hidrogen menggunakan model muatan titik elektrostatik yang terdapat pada molekul air. Molekul air digambarkan memiliki dua kutub positif dan dua kutub negatif seperti pada gambar 2.11a. Hal ini disebabkan karena adanya daya tarik dari kutub positif molekul terhadap kutub negatif molekul air yang lain. Pada hidrat dan es, hanya satu hidrogen yang terletak diantara dua atom oksigen dengan jarak antara dua inti atom oksigen adalah 2,76 Å. Melalui ikatan hidrogen ini, setiap molekul air mengikat empat molekul air yang lain, menyumbang dua molekul dan mengikat dua molekul hidrogen lain, seperti pada gambar 2.11b. Setiap molekul proton mengikat molekul proton dari atom lain. Begitu juga, dua kutub ngatif pada awalnya akan mengikat dua molekul negaif dari molekul air yang lain. Empat molekul yang mengelilingi akan tersusun secara tetrahedral mengelilingi molekul inti.



(a) (b)

Gambar 2.11 Ikatan hidrogen (a) diantara dua molekul (b) diantara empat molekul
Sumber: Sloan (2008, 50)

Energi yang diperlukan untuk memutus satu ikatan hidrogen (5 kcal/mol) lebih besar dari energi yang diperlukan untuk membentuk ikatan vander Wals (0,3 Kcal/mol). Di sisi lain, energi dari ikatan hidrogen tidak sebanding besarnya dengan ikatan kimia kovalen yang mencapai 102 kcal/mol, seperti ikatan yang ada diantara hidrogen dan oksigen dalam sebuah molekul air (cotrell, 1958).

2.11 Gas Alam

Dua sumber alkana yang paling penting adalah minyak bumi (petroleum) dan gas alam (natural gas). Minyak bumi merupakan cairan campuran senyawa organik yang rumit, sebagian besar berupa alkana dan sikloalkana. Gas alam sering dijumpai bersama dengan deposit minyak bumi, terutama terdiri atas metana (sekitar 80 %) dan etana (5 sampai 10 %), dengan sedikit alkana yang lebih tinggi. Propana merupakan penyusun utama gas alam yang dicairkan (LPJ, Liquified petroleum gas atau elpiji), yaitu bahan bakar rumah tangga dan mobil tenda. Butana merupakan jenis gas lain di beberapa daerah. Untuk menghemat ruang, maka gas alam dicairkan (-160ºC), sebab 1 m^3 gas cair setara dengan sekitar 600 m^3 gas pada tekanan atmosfer. Tangker besar dapat mengangkut lebih dari 100.000 m^3 gas cair (Hart,H., 2003).

Komponen utama dalam gas alam adalah metana (CH_4), yang merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan. Gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon yang lebih berat seperti etana (C_2H_6), propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), selain itu gas-gas yang mengandung sulfur (belerang). Gas alam juga merupakan sumber utama untuk sumber gas helium. Tabel 2.3 menunjukkan kadar metana hidrokarbon yang terdapat di dalam gas alam.

Tabel 2.3 kadar hidrokarbon di dalam gas alam

Komponen	%
Metana (CH_4)	80-95
Etana (C_2H_6)	5-15
Propana (C_3H_8) and Butane (C_4H_{10})	< 5

Sumber: Speight (2007, 205)

Tabel 2.4 Kondisi pembentukan hidrat dari gas propana

Temp. (°C)	Press. (MPa)	Phases	Composition (mol %)		
			Aqueous	Non-Aqu.	Hydrate
0.0	0.17	L_A-H-V	0.012	0.36	5.55
1.0	0.21	L_A-H-V	0.014	0.31	5.55
2.0	0.26	L_A-H-V	0.017	0.27	5.55
3.0	0.32	L_A-H-V	0.019	0.23	5.55
4.0	0.41	L_A-H-V	0.023	0.19	5.55
5.0	0.51	L_A-H-V	0.027	0.17	5.55
5.6	0.55	L_A-L_H-V-H	0.028	0.158 - V	5.55
				0.0094 - L_H	
5.6	1.0	L_A-L_H-H	0.028	0.0093	5.55
5.6	5.0	L_A-L_H-H	0.028	0.0088	5.55
5.7	10.0	L_A-L_H-H	0.028	0.0083	5.55
5.7	15.0	L_A-L_H-H	0.028	0.0079	5.55
5.7	20.0	L_A-L_H-H	0.028	0.0074	5.55

Sumber: Carrol (2009, 27)

2.11.1 Propana

Propana merupakan salah satu unsur gas alam dan merupakan energi kaya-gas, C_3H_8. 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_4) dan etana (C_2H_6) yang masing-masing memiliki berat molekul 16 dan 30 gram/mol. Massa jenis gas propana sebesar 1.50 kg/m^3 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.

2.11.2 Butana

Butana merupakan salah satu dari jenis gas alam. Butana merupakan. Butana merupakan alkana karbon empat terdiri dari sepuluh atom hidrogen dan empat atom karbon. Meskipun penggunaan butana tidak sebanyak propana, komponen ini masih dimanfaatkan oleh banyak produk sebagai sumber bahan bakar alternatif, termasuk sebagai komponen tambahan dalam LPG.

Gas butana memiliki berat molekul sebesar 58 g/mol. Berat molekul gas butana lebih besar dari propana (C3H8) yang memiliki berat 44 gram/mol. Massa jenis gas butana sebesar 2.11 kg/m^3 pada temperatur ruangan. Kelarutan gas butana dalam air sebesar 61 mg/L pada temperatur 20°C. Titik didih gas butana adalah sebesar -1°C.

Salah satu jenis dari butana adalah n-butana. Namun n-butana murni tidak dapat membentuk hidrat dengan sendirinya. Akan tetapi, molekul n-butana memiliki ukuran molekul yang dapat masuk kedalam rongga hidart kubus II. Oleh karena itu, melalui pencampuran dengan molekul gas pembentuk hidrat lain, n butana akan dapat membentuk hidrat. N-butana merupakan komponen transisi sehingga dapat dijadikan standar untuk gas hidrat. Setiap gas yang memiliki ukuran molekul lebih kecil dari n-butana dapat menjadi pembentuk hidrat. Begitu juga sebaliknya, setiap molekul yang lebih besar dari n-butana tidak dapat membentuk hidrat tipe kubus I dan kubus II.

2.12 Persamaan Keadaan

persamaan keadaan adalah persamaan termodinamika yang menggambarkan keadaan materi di bawah seperangkat kondisi fisika. Persamaan keadaan menyatakan hubungan

antara *state variable* yang menggambarkan keadaan dari suatu sistem pada kondisi fisik tertentu. *State variable* adalah Properti dari sistem yang hanya tergantung pada keadaan sistem saat ini, bukan pada jalannya proses. Persamaan keadaan dapat dibagi menjadi dua, yaitu persamaan gas ideal dan persamaan gas nyata.

2.12.1 Konsep Gas Nyata

Gas nyata merupakan prinsip persamaan gas yang berlawanan dari gasi ideal. Meskipun pada gas ideal volume molekul gas diabaikan, secara aktual molekul gas tetap memiliki ukuran volume. Dibawah kondisi temperatur dan tekanan yang berbeda-beda, volume gas secara total akan mengalami perubahan volume. Akan tetapi, besar volume dari setiap molekul gas akan tetap bernilai sama (konstan).

Berikut persamaan 2-1 yang dapat menjelaskan tentang karakteristik gas nyata, disertai dengan faktor koreksi atau disebut faktor kompresibilitas (Z):

$$PV = nZRT \tag{2-1}$$

dengan:

P = Tekanan gas (Pa)
V = Volume sistem suatu gas (m^3)
Z = Faktor kompresibilitas (*Peng Robinson Factor*)
n = Jumlah mol gas (mol)
T = Temperatur absolut (K)
R = Konstanta Avogadro (8.314 J/mol.K)

Faktor kompresibilitas merupakan perbandingan antara volume yang dimiliki oleh gas secara aktual dengan volume yang dimiliki gas secara teoritis (ideal) dalam kondisi temperatur dan tekanan yang sama. Nilai faktor kompresibilitas tidak konstan, tetapi bervariasi sesuai dengan perubahan komposisi, temperatur dan tekanan gas.

2.13 Persamaan Keadaan Peng Robinson

Persamaan peng robinson (1976) merupakan salah satu persamaan keadaan terbaru yang dapat diaplikasikan dalam menyelesaikan persamaan keadaan pada konsep gas ideal. Persamaan ini dibuat untuk memenuhi beberapa tujuan berikut:

1. Parameter-parameter yang ada harus dapat dinyatakan dalam sifat kritis dan faktor asentrik.

2. Model harus bisa memprediksi berbagai macam *property* di sekitar titik kritis, terutama untuk perhitungan faktor kompresibilitas dan densitas cairan.
3. *Mixing rule* harus menggunakan satu *binary interaction parameter* yang tidak tergantung pada T, P, dan komposisi.
4. Persamaan harus berlaku untuk semua perhitungan semua *property* dalam proses natural gas.

Persamaan Peng robinson memiliki ketelitian yang lebih tinggi dari beberapa persamaan keadaan yang pernah dibuat sebelumnya. Hal ini membuat prosedur penyelesaian yang lebih panjang. Peng robinson memiliki bentuk persamaan utama sebagai berikut:

$$Z^3 + c_2Z^2 + c_1Z + c_0 = 0 \tag{2-2}$$

Dengan:

Z = Faktor kompresibilitas
$C_{2,1,0}$ = Konstanta pada persamaan keadaan Peng Robinson

Untuk mendapatkan setiap variabel dalam persamaan, berikut penjelasan mengenai prosedur dalam menyelesaikan persamaan peng robinson:

- Titik kritis

  Titik kritis merupakan kondisi dimana zat akan akan memiliki kecenderungan mempunyai fase yang sama, baik cair, gas maupun padat. Dengan adanya sedikit penambahan atau pengurangan tekanan dan temperatur pada titik kritis, maka zat akan mengalami perubahan fase tertentu.

  Gas yang digunakan dalam penelitian ini adalah propana butana dengan komposisi campuran masing-masing gas adalah 50%. Sehingga berdasarkan diagram tekanan dan Temperatur kritis, titik kritis propana dan butana merupakan nilai tengah dari campuran kedua gas tersebut.

- Tekanan tereduksi (PR) dan temperatur tereduksi (Tr)

$$P_r = \frac{P}{P_c} \tag{2-3}$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \tag{2-4}$$

Dengan :

P_r = Tekanan tereduksi (Pa)

T_r = Temperatur tereduksi (Pa)

P_c = Tekanan kritis (Pa)

T_c = Temperatur kritis (Pa)

- Faktor Asentrik

Faktor asentrik merupakan faktor yang ditujukan untuk mengoreksi ukuran bulat dari setiap molekul. Karena pada aktualnya tidak setiap molekul gas memiliki bentuk molekul yang bulat sempurna. Faktor asentrik memiliki persamaan sebagai berikut:

$$\omega = -1 - \log Pr \tag{2-5}$$

Dengan :

ω = Faktor asentrik

- Koefisien yang dipengaruhi Pr dan Tr (α)

$$\alpha = \left\{1 + (0.37464 + 1.54226\omega - 0.2699\omega^2)\left(1 - T_r^{0.5}\right)\right\}^2 \tag{2-6}$$

Dengan :

α = Koefisien dari faktor esentrik

- Koefisien A dan B

$$A = \frac{\Omega_a\, \alpha\, P_r}{T_r^{\,2}};\ \ \Omega_a = 0.45724 \tag{2-7}$$

$$B = \frac{\Omega_b\, P_r}{T_r};\ \ \Omega_a = 0.07779 \tag{2-8}$$

- Koefisien C

$$c_2 = B - 1$$
$$c_1 = A - 2B - 3B^2 \tag{2-9}$$
$$c_0 = AB - B^2 - B^3$$

- Determinan Persamaan

$$K = \frac{3c_2 - c_1^{\,2}}{3} \tag{2-10}$$

$$L = \frac{2c_2^{\,3} - 9c_2c_1 + 27c_0}{27}$$

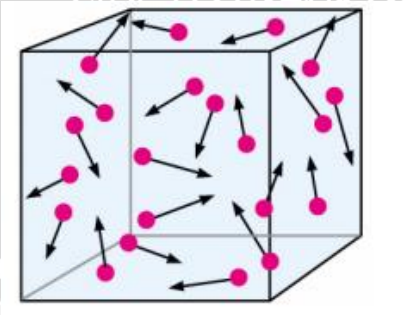
$$D = \frac{K^3}{27} + \frac{L^2}{4}$$

2.14 Teori Kinetika Molekul Gas

Teori kinetik gas dimulai dari penurunan Daniel Bernoulli (1738) terhadap hukum Boyle dengan menerapkan hukum gerakan Newton pada molekul. Kemudian Boltzmann pada akhir tahun 1898 berhasil mengembangkan teori kinetik gas. Teori kinetik gas menjelaskan tentang energi total gas berasal hanya dari sumbangan energi kinetik molekul-molekul penyusun gas tersebut. Ada tiga asumsi yang mendasari penjelasan ini, yaitu :

1. Gas tersusun dari molekul-molekul bermasa m dan berdiameter d yang bergerak terus-menerus secara acak.
2. Ukuran molekul gas dapat diabaikan karena diameternya dapat diasumsikan sangat kecil jika dibandingkan dengan jarak rata-rata yang ditempuh di antara tumbukan.
3. Molekul-molekul gas tidak saling berantaraksi, dan bertumbukan dengan lenting sempurna.

Berdasarkan asumsi yang mendasari teori kinetik gas tersebut, molekul-molekul gas bergerak secara terus menerus, dan tidak saling tarik menarik maupun tolak menolak. Molekul-molekul tersebut bergerak melalui lintasan-lintasan lurus di antara tumbukan-tumbukan. Jarak lintasan yang telah ditempuh oleh gas di antara tumbukan ini sangat besar, sehingga diameter molekul gas dapat diabaikan dibandingkan dengan panjang lintasan tersebut. Tumbukan-tumbukan molekul diasumsikan elastis sempurna. Selama tumbukan, energi kinetik total, berbentuk energi translasi, tidak berubah atau tidak ada energi translasi yang hilang, diserap atau dilepaskan untuk diubah menjadi energi dalam berupa energi elektronik, vibrasi, dan rotasi di dalam masing-masing molekul.



Gambar 2.12 Tumbukan elastis molekul-molekul gas
Sumber: Almatsany (2013, 4)

2.15 Konsep Mol

Konsep mol digunakan Untuk menyederhanakan jumlah partikel yang berukuran relatif sangat kecil. Mol menyatakan satuan jumlah zat. Penyederhanaan ini perlu dilakukan karena

proses kimia yang berlangsung dalam kehidupan sehari-hari melibatkan sekumpulan partikel sangat kecil yang jumlahnya sangat besar. Satuan partikel-partikel tersebut terlampau sulit untuk diamati.

1 mol = L partikel

L = Bilangan Avogadro = 6,02 x 10^{23}

Jadi, konsep mol adalah satuan jumlah zat yang menyatakan banyaknya partikel zat itu.

2.16 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan perpindahan energi yang semata-mata terjadi karena perbedaan temperatur antara dua buah sistem. Perbedaan temperatur akan menyebabkan aliran energi kalor dari sistem yang memiliki temperatur tinggi menuju sistem dengan tempertur rendah. Perpindahan panas akan berhenti ketika sistem mengalami kesetimbangan, yaitu ketika besarnya temperatur sama antara dua sistem yang mengalami perpindahan panas. Adanya perpindahan panas dari suatu benda dapat menyebabkan perubahan fase. Misalnya air akan berubah fase menjadi padat (es) pada temperatur 0^0C setelah sebelumnya melakukan pembebasan panas menuju sistem lain (Zemansky, 1963). Berdasarkan cara perpindahannya, secara umum perpindahan panas diklasifikasikan menjadi perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi.

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan panas yang terjadi pada sebuah sistem tanpa diikuti perpindahan masa. Konduksi panas dapat terjadi pada zat padat, cair dan gas. Konduksi pada zat padat dapat terjadi karena adanya tumbukan antar molekul zat penyusun, sehingga menyebabkan energi dapat bepindah melalui pergerakan elektron bebas. Sedangkan pada zat cair dan gas, konduksi dapat terjadi karena adanya tumbukan dan diffusi antar molekul. Besarnya perpindahan panas secara konduksi dapat dihitung dengan persamaan (2-4) berikut :

$$H = -kA\frac{\Delta T}{\Delta x} \qquad (2\text{-}2)$$

Dengan :

H = Laju perpindahan panas konduksi (J/s)

k = konduktivitas termal material (J/s.m.K)

A = Luas permukaan bidang kontak (m^2)

ΔT = Perbedaan temperatur anatara dua permukaan (K)

Δx = jarak kedua permukaan (m)

Perpindahan panas secara konveksi merupakan perpindahan panas yang terjadi pada suatu sistem dengan diikuti oleh perpindahan masa. Konveksi dapat terjadi pada zat cair dan gas. Konveksi dibedakan atas dua cara, yaitu secara bebas dan paksa. Jika konveksi terjadi karena paksaan dari energi luar, maka disebut konveksi paksa. Konveksi bebas dapa (2-5) karena adanya perbedaan masa jenis pada suatu zat. Besar konveksi dapat dihitung melalui persamaan (2-5) berikut :

$$H = hA\,\Delta T \qquad (2\text{-}3)$$

Dengan :

H = Laju perpindahan panas konveksi(J/s)

k = koefisien konveksi material (J/s.m.K)

A = Luas permukaan bidang kontak (m^2)

ΔT = Perbedaan temperatur anatara fluida dengan permukaan zat padat (K)

Adapun perpindahan panas radiasi merupakan pancaran (emisi) energi secara terus - menerus dari permukaan sebuah benda. Energi ini dinamakan sebagai energi radian dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Gelombang ini dapat bergerak secepat kecepatan cahaya dan mampu melalui ruang hampa (Zemansky, 1963). Radiasi disebabkan karena perpindahan acak atom dan molekul suatu zat yang memiliki muatan (proton dan elektron) sehingga dapat memancarkan gelombang elektromagnetik yang membawa energi. Besarnya perpindahan panas radiasi dapat dihitung melalui persamaan 2-6 berikut :

$$H = \varepsilon\,\sigma\,A\,T^4 \qquad (2\text{-}4)$$

Dengan :

H = Laju perpindahan panas radiasi (J/s)

ε = Emisivitas suatu zat

σ = Konstanta Stefan-Boltzman (5,67 x 10^8 J/s.m^2.K^4)

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

T = Temperatur absolut zat (K)

2.17 Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama termodinamika menyatakan tentang kekekalan energi. Energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, tetapi dapat dirubah bentuknya menjadi energi yang

lain. Contoh-contoh dari bentuk energi yaitu energi kinetik, energi potensial, energi kimia atau energi panas. Untuk sistem homogen pada tekanan dan temperatur tertentu, sistem hanya terjadi gaya tekanan dan perpindahan panas. Tekanan dapat terjaga konstan dalam suatu sistem yang terisolasi. Sedang panas atau kalor dapat berpindah dari satu sistem luar menuju kedalam sistem melalui zat perantara. Perubahan diferensial energi sistem berdasarkan hukum pertama termodinamika sesuai dengan Persamaan 2-5.

$$dU = T\,dS - P\,dV \tag{2-5}$$

Dengan:

U = Energi dalam dari suatu sistem (J)
T = Temperatur sistem (°C)
S = Entropi yang terjadi pada sistem (J/K)
P = Tekanan sistem (Pa)
V = Volume sistem (m^3)

Persamaan 1 mengabaikan energi kimia, listrik, maupun gravitasi yang terjadi sehingga untuk sistem yang heterogen kurang sesuai. Persamaan 2-6 merupakan persamaan perubahan energi dalam pada sistem tertutup dimana sistem homogen maupun heterogen.

$$dU = \delta Q + \delta W \tag{2-6}$$

dengan:

U = Energi dalam dari suatu sistem (J)
$\dot{Q}$ = Kalor yang diberikan pada sistem (J)
W = Kerja yang dihasilkan oleh sistem (J)

2.18 Hipotesis

Dengan berdasar pada tinjauan pustaka yang telah dibahas, menunjukkan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan pada molekul gas propana-butana menyebabkan laju perpindahan massa gas semakin tinggi. Semakin tinggi laju perpindahan massa gas menyebabkan laju difusi gas menuju rongga hidrat semakin cepat, sehingga laju pembentukan hidrat campuran propana-butana semakin tinggi dan waktu yang diperlukan semakin singkat.

BAB III
METODE PENELITIAN

Pada penlitian ini digunakan metode penelitian secara langsung (*experimental reserach*), dimana penelitian dilakukan dengan cara mengamati dan menganalisa obyek penelitian secara langsung di laboratorium. Hasil dari penelitian akan dibandingkan dengan hipotesa untuk mengungkap kebenaran dari teori yang telah dibahas sebelumnya.

3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Proses penelitian dilakukan sejak bulan April 2016 sampai dengan selesai, bertempat di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

3.2. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas

   Besarnya nilai variabel bebas telah ditentukan sebelumnya oleh peneliti, sehingga didapatkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah tekanan yang ditambahkan diawal penelitian pada gas propana-butana di dalam *crystalizer* sebesar 2 bar, 3 bar dan 4 bar.

2. Variabel terikat

   Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah :

   - laju pembentukan hidrat campuran gas propana dan gas butana
   - stabilitas hidrat campuran gas propana dan gas butana
   - kepasitas penyimpanan hidrat campuran gas propana dan gas butana.

3. Variabel terkontrol

   Variabel terkontrol adalah variabel yang ditentukan dan nilainya dikondisikan konstan. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah:

   - Kecepatan putaran motor pengaduk dijaga 300 rpm.
   - Waktu pembentukan hidrat selama 10 jam.
   - Persentase campuran sebesar 50% propana dan 50% butana
   - Volume air demin yang dimasukkan pada crystallizer adalah 50 cm^3.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

3.3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. LPG

   LPG yang merupakan campuran antara propana dan butana digunakan sebagai bahan membuat hidrat gas yang dicampurkan bersama air demin di dalam *crystallizer*. Komposisi LPG yang digunakan terdiri dari 50% propana dan 50% butana.

2. Air demin

   Air demin dipilih karena minim dari kandungan mineral, digunakan sebagai bahan untuk membuat hidrat gas yang dicampurkan bersama gas propana butana di dalam *crystaslizer*.

3. Air garam

   Air garam digunakan sebagai bahan cairan sirkulasi untuk membuat *cooling bath*, untuk menghindari pembekuan air di saluran sirkulasi.

3.3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Crystallizer*

   Crystallizer digunakan sebagai tempat untuk membuat hidrat gas. *Crystallizer* berbentuk tabung berongga

   Spesifikasi:

   - Bahan : *Stainless steel*
   - Volume : 300 cm^3
   - Diameter : 7 cm
   - Tinggi : 12 cm

2. Motor DC

   Motor listrik pada digunakan sebagai alat untuk memutar Magnet yang terhubung dengan pengaduk di dalam *Crystallizer* sehingga gas dan air di dalamnya tercampur.

   Spesifikasi:

   - Merk : DC *motor gearbox*
   - Kecepatan : 700 rpm (maksimum)
   - Torsi : 5,5 Kg
   - Voltase : 12 V

3. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume air demin yang akan dimasukkan ke dalam crystallizer.

Spesifikasi:

- Merk : PYREX
- Volume : 25 ml

4. *Inverter*

Inverter digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor dengan mengatur besar arus yang masuk pada motor. *Inverter* yang digunakan memiliki voltase maksimum 12V.

5. Kompresor

Kompresor digunakan untuk meningkatkan tekanan gas campuran propana butana.

Spesifikasi :

- Merk : Krisbow
- daya : 1 Hp / 0.75 KW,
- Tekanan : 8 bar /115 Psi,
- Kapasitas udara : 150 liter/menit,
- Volume tanki : 8 liter

6. Katup

Katup digunakan untuk mengatur keluar masuknya gas ke dalam crystallizer.

7. Regulator gas

Regulator gas digunakan untuk mengatur tekanan gas yang keluar dari tabung gas.

Spesifikasi:

- Merk : Rinnai
- Tekanan maks : 12 bar

8. *Pressure gage*

Pressure gage digunakan untuk mengukur besarnya tekanan di dalam *crystallizer*.

Spesifikasi:

- Merk : Tendo
- Tekanan maks : 12 bar

9. *Thermocouple*

Thermocouple digunakan sebagai sensor untuk mengambil data temperatur di dalam *crystallizer*.

Spesifikasi:

- Tipe : Pt

- Suhu : -100°C sampai dengan 400°C

10. *Pressure sensor*

Pressure sensor digunakan sebagai alat untuk mengambil data tekanan di dalam *crystallizer*.

Spesifikasi:

- Merk : Autonics
- Model : PSAN-L1CPV-R1/8
- Power : 12/24 V
- Tipe : Tekanan positif
- Tekanan : Max 1 Mpa

11. *Styrofoam*

Styrofoam digunakan sebagai tempat untuk *cooling bath*.

Spesifikasi:

- Dimensi : 50cm x 50cm x 50cm
- Tebal : 5cm

12. Magnet

Kekuatan medan magnet digunakan untuk menerima putaran motor menembus dinding *crsytalizer* sehingga dapat memutar pengaduk.

13. Selang air

Selang digunakaan sebagai media sirkulasi cairan pendinginan dari refrigerator menuju ke *cooling bath*.

14. *Tachometer*

Tachometer digunakan untuk mengetahui kecepatan putaran motor sehingga dapat diset agar motor memiliki putaran yang sesuai.

15. *refrigerator*

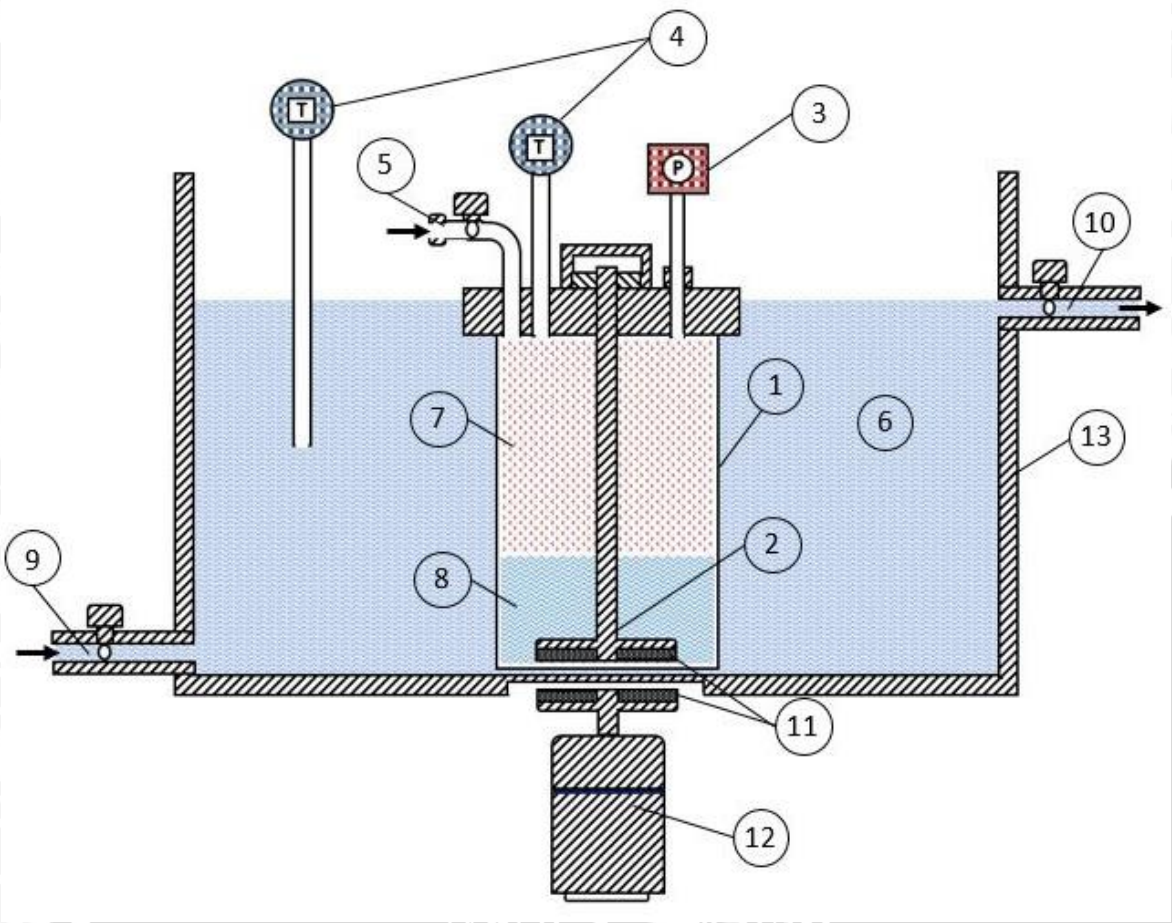
Refrigerator Digunakan untuk mendinginkan air sirkulasi *cooling bath* dengan kemampuan pendinginan *refrigerator* mencapai -26^{0}C.

16. Pompa Sirkulasi

Pompa Sirkulasi digunakan untuk menghisap dan mendorong air garam dari *refrigerator* agar mampu bersirkulasi didalam *cooling bath*.

3.4 Instalasi Alat Penelitian

Instalasi alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Instalasi alat penelitian
Sumber : Arsip pribadi

Keterangan:

1. Tabung *Crystalizer*
2. *Stirrer tank* (pengaduk)
3. *Pressure Sensor*
4. *Termocouple*
5. Input gas
6. Air pendinginan
7. Gas propana-butana
8. Air demin
9. Input air Pendinginan dari *refrigerator*
10. Output air pendinginan menuju *refrigerator*
11. Magnet neodymium

12. Motor *gearbox* dilengkapi dengan *speedcontrol*
13. Dinding *Cooling bath*

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Penelitian

1. Mencampur air dan garam di *refrigerator* untuk membuat air sirkulasi *cooling bath* dengan suhu mecapai 273 K (0^0C) temperatur kesetimbangan 3 fasa.
2. Menyiapkan gas propana butana beserta air demin yang akan dimasukkan ke dalam *crystalizer*.
3. Mengecek semua instalasi dan mengkalibrasi alat ukur agar tidak terjadi kesalahan saat penelitian sudah berlangsung.

3.5.2 Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini meliputi data pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat. Data yang telah didapat selanjutnya akan dilakukan analisa dan perhitungan sehingga akan didapatkan hasil data yang valid yang selanjutnya akan dibandingkan terhadap hipotesa.

3.5.2.1 Pembentukan Hidrat

Rencana pengambilan data pembentukan hidrat dimulai dari prosedur penelitian berikut:

1. Membersihkan *crystalizer* sehingga bebas dari kotoran yang dengan menggunakan air lalu dikeringkan.
2. Menyiapkan air demin dengan menggunakan gelas ukur sebanyak 50 ml dan memasukkanya ke dalam *crystalizer*.
3. Mengunci rapat-rapat *crystalizer* dengan menggunakan seal dan baut agar dipastikan aman dari kebocoran.
4. Memasukkan campuran gas propana butana ke dalam *crystalizer* sebesar 2 bar pada temperatur dengan membuka katup gas input dan menutup rapat-rapat katup setelah pengisian selesai.
5. Meletakkan *crystalizer* ke dalam *cooling bath* dengan temperatur 273 K dan memastikan posisinya berada tepat ditengah poros motor pengaduk.
6. Menjalankan sirkulasi air pendinginan yang telah dipersiapkan sebelumnya dari *refrigerator*.

7. Pengambilan data temperatur dan tekanan pembentukan hidrat di dalam *crystalizer* selama 10 jam.

3.5.2.2 Stabilitas Hidrat

1. Menurunkan temperatur *cooling bath* mencapai temperatur pengujian stabilitas yaitu mencapai 268 K (-5^{0}C).
2. Membuka katup *crystalizer* agar gas sisa yang tidak membentuk hidrat dapat terbuang keluar, sehingga yang terdapat didalam *crystalizer* murni merupakan gas yang membentuk hidrat.
3. Menutup kembali katup *crystalizer* sehingga sistem kembali terisolasi.
4. Mengambil data temperatur dan tekanan penguraian hidrat selama 5 jam.

3.5.2.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat

1. Setelah proses uji stabilitas selesai, *Crystalizer* diangkat dan dipisahkan dari *cooling bath* kemudian dipanaskan pada temperatur ruang untuk diambil data kapasitas penyimpanan hidrat.
2. Mencatat data tekanan gas hidrat yang terdekomposisi di dalam *crystalizer* setelah sistem setimbang pada temperatur ruang.

Mengulangi langkah pengambilan data pembentukan hidrat, penguraian hidrat dan kapasitas penyimpanan hidrat dengan merubah variasi Tekanan 3 bar dan 4 bar.

3.5.3 Pengolahan Data

3.5.3.1 Pembentukan Hidrat

1. Menghitung jumlah mol hidrat yang terbentuk selama proses pembentukan dengan menggunakan persamaan (2-3).
2. Mengaplikasikan .data pembentukan dalam grafik laju pembentukan hidrat yang membandingkan antara jumlah konsumsi gas propana butana terhadap waktu pembentukan hidrat.

3.5.3.2 Penguraian Hidrat

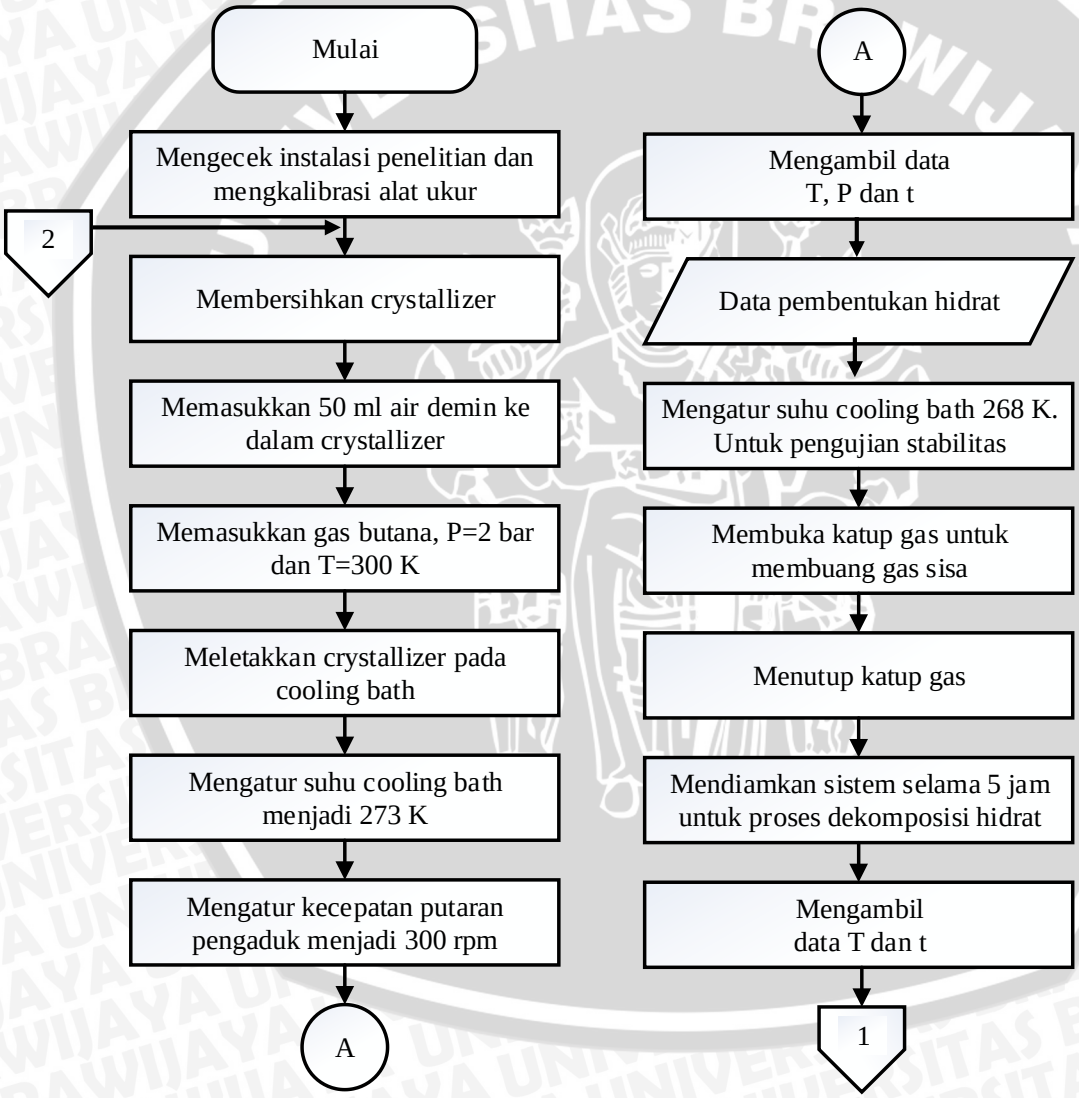
1. Menghitung jumlah mol gas yang terurai dengan menggunakan persamaan (2-3)
2. Mengaplikasikan data penguraian hidrat dalam grafik stabilitas hidrat yang membandingkan jumlah gas hidrat yang terurai dengan waktu stabilitas..

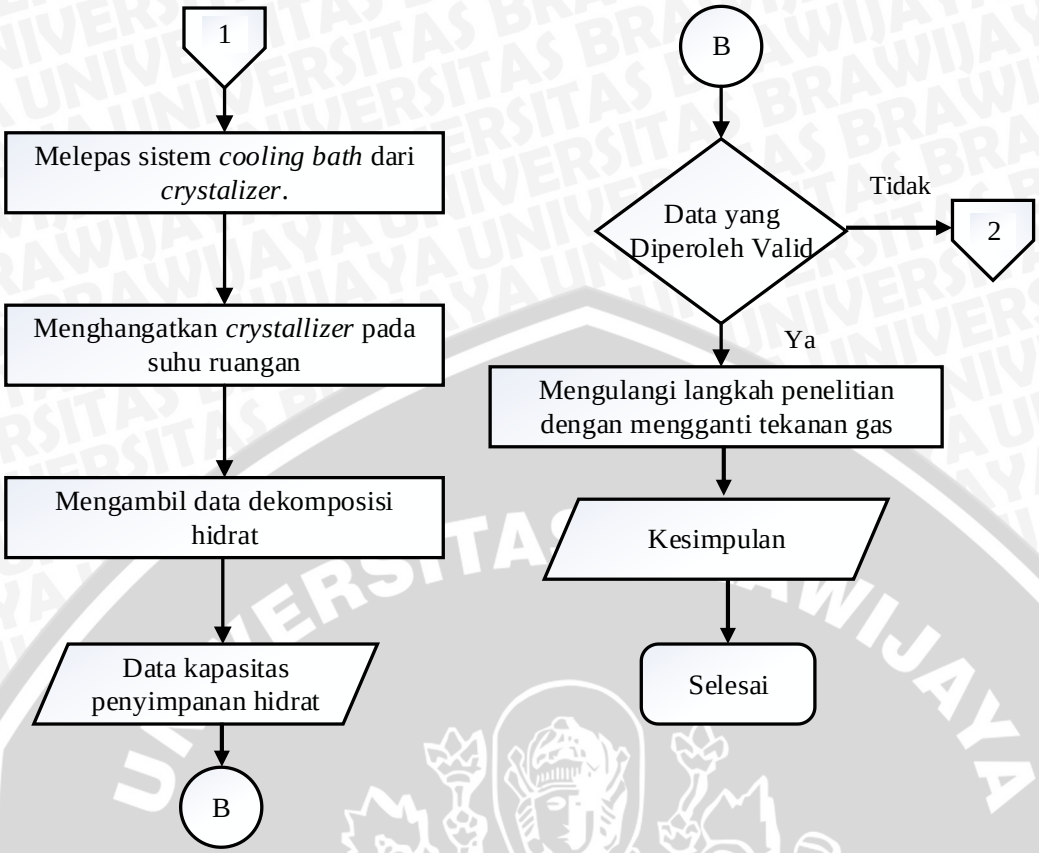
3.5.3.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat

1. Menghitung jumlah kapasitas penyimpanan dari gas hidrat dengan cara membandingkan volume gas propana butana yang menjadi hidrat secara aktual dengan volume gas propana butana yang seharusnya dapat menjadi hidrat secara teoritis.
2. Membuat perbandingan kapasitas penyimpanan dari setiap variasi tekanan dalam diagram kapasitas penyimpanan hidrat.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir dari penelitian ini:





Gambar 3.2 Diagram alir penelitian
Sumber: Arsip pribadi

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB IV
PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pada Penilitian klatrat hidrat ini meliputi tiga karakteristik, yaitu laju pembentukan hidrat, stabilitas hidrat dan kapasitas penyimpanan hidrat propana butana. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan tekanan yang diberikan pada hidrat di dalam *crystalizer* sebesar 2 bar, 3 bar dan 4 bar.

4.1.1 Data Laju Pembentukan Hidrat

Data pembentukan hidrat menunjukkan proses terbentuknya hidrat selama 10 jam sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan sebelumnya. Pembentukan hidrat ditandai dengan penurunan tekanan dengan temperatur yang cenderung konstan sesuai data yang didapat dari eksperimen pada Lampiran 1. Berikut ditampilkan data temperatur dan tekanan awal serta temperatur dan tekanan akhir hasil penelitian pembentukan hidrat pada variasi tekanan 2 bar, 3 bar dan 4 bar (Tabel 4.1):

Tabel 4.1 Data hasil penelitian pembentukan hidrat

Laju Pembentukan Hidrat				
Variasi Tekanan	T_{0B} (^{0}C)	P_{0B} (Mpa)	T_{1B} (^{0}C)	P_{1B} (Mpa)
2 bar	28	0,204	1	0,163
3 bar	28	0,303	0	0,253
4 bar	28	0,403	0	0,342

Keterangan:

T_{0B} : Temperatur awal sistem saat pembentukan hidrat di dalam *Crystalizer* (^{0}C)

P_{0B} : Tekanan awal sistem saat pembentukan hidrat di dalam *Crystalizer* (Mpa)

T_{1B} : Temperatur akhir sistem setelah terjadi pembentukan hidrat (^{0}C)

P_{1B} : Tekanan akhir sistem setelah pembentukan hidrat terjadi (Mpa)

4.1.2 Data Stabilitas Hidrat

Setelah proses pembentukan hidrat selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan pengujian stabilitas hidrat dengan menurunkan temperatur *cooling bath* sampai -5^{0}C selama 5 jam. Penentuan temperatur -5^{0}C adalah sesuai dengan tempertaur kesetimbangan tiga fasa. Fasa yang terbentuk saat pengujian stabilitas hidrat adalah *hydrate*, *vapor*, dan *ice*. Sebelumnya, gas sisa yang tidak terbentuk hidrat dikeluarkan terlebih dahulu dari dalam *crystalizer*, sehingga jika ada gas yang terurai saat proses stabilitas merupakan murni gas yang telah terbentuk hidrat saja.

Data pengujian stabilitas hidrat yang dihasilkan dari awal sampai akhir selama 5 jam ditampilkan pada Lampiran 2. Berikut Tabel 3.2 merupakan data hasil pengujian Stabilitas hidrat pada temperatur dan tekanan akhir.

Tabel 4.2 Data hasil penelitian Stabilitas hidrat

Stabilias Hidrat		
Variasi Tekanan	T_S (^{0}C)	P_S (Mpa)
2 bar	-4	0,006
3 bar	-5	0,005
4 bar	-5	0,004

Keterangan:

T_S : Temperatur sistem saat stabilitas hidrat di dalam *Crystalizer* (^{0}C)

P_S : Tekanan sistem di dalam *Crystalizer* saat stabilitas hidrat (Mpa)

4.1.3 Data Kapasitas Penyimpanan Hidrat

Setelah dilakukan pengujian stabilitas pada temperatur -5^{0}C, kemudian hidrat dipanaskan pada temperatur ruang (27 ^{0}C) hingga hidrat mengalami penguraian menjadi air dan gas sepenuhnya. Selama proses pengujian kapasitas penyimpanan katup *crystalizer* tetap ditutup sehingga gas yang terurai tidak akan keluar dan menghasilkan besar tekanan tertentu dalam *crystalizer* yang digunakan sebagai perhitungan kapasitas penyimpanan hidrat. Setelah temperatur didalam *crystalizer* mencapai temperatur ruang, kemudian didapatkan data besar tekanan di dalam *crystalizer* (Tabel 4.3) .

Tabel 4.3 Data hasil penelitian kapasitas penyimpanan hidrat

Kapasitas Penyimpanan Hidrat		
Variasi Tekanan	T_p (^{0}C)	P_p (Mpa)
3 bar	28	0,099
4 bar	28	0,118
5 bar	28	0,141

Keterangan:

T_p : Temperatur sistem pada saat kapasitas penyimpanan hidrat (^{0}C)

P_p : Tekanan sistem pada saat kapasitas penyimpanan hidrat (Mpa)

4.2 Contoh Perhitungan Data hasil Penelitian

4.2.1 Perhitungan Konsumsi Gas Propana-Butana pada Laju Pembentukan Hidrat

Laju pembentukan hidrat dihitung melalui beberapa persamaan. Data yang digunakan sebagai contoh Perhitungan berikut adalah pada variasi tekanan 3 bar pada menit ke 600 dengan kecepatan putaran pengaduk sebesar 300 rpm.

1. Persamaan Faktor kompresibilitas Peng Robinson

- Temperatur dan tekanan kirtis propana dan butana

Tabel 4.4 Temperatur (Tr) dan Tekanan kritis (Pr) pada propana dan butana

Senyawa Gas	Temperatur kritis (Tr) (Mpa)	Tekanan kritis (Pr) (K)
Propana	4,25	370
n-Butana	3,8	425

$$p_c = \frac{P_{c,\ propana} + P_{c,n-butana}}{2}$$

$$= \frac{4.25 + 3.8}{2}$$

$$= 4.025 \text{ Mpa}$$

$$T_c = \frac{T_{c,propana} + T_{c,n-butana}}{2}$$

$$= \frac{370 + 425}{2}$$

$$= 397.5 \text{ K}$$

- Temperatur tereduksi (p_r) dan tekanan tereduksi (T_r) campuran propana dan butana

$$T_r = \frac{T_{t=600}}{T_c}$$

$$= \frac{273}{397.5}$$

$$= 0.68662$$

$$p_r = \frac{p_{t=600}}{P_c}$$

$$= \frac{0.253}{4.025}$$

$$= 0.06286$$

- Faktor asentrik (ω)

$$\omega = -1 - \log p_r$$

$$= -1 - 0{,}06286$$

$$= 0.20165$$

- Koefisien yang dipengaruhi Pr dan Tr (α)

$$\alpha = \{1 + (0.37464 + 1.54226\omega - 0.2699\omega^2)(1 - T_r^{0.5})\}^2$$

$$= \{1 + (0.37464 + 1.54226x0.20165 - 0.2699x0{,}20165^2)(1 - 0.68662^{0.5})\}^2$$

$$= 1.24461$$

- Persamaan keadaan Peng Robinson

$$A = \frac{\Omega_a\ \alpha\ p_r}{{T_r}^2};\ \Omega_a = 0.45724$$

$$= \frac{0.45724 \text{ x } 1{,}24461 \text{ x } 0{,}06286}{0.68662^2}$$

$$= 0.07587$$

$$B = \frac{\Omega_b\ p_r}{T_r};\ \Omega_b = 0.07779$$

$$= \frac{0.07779 \text{ x } 0.06286}{0.68662}$$

$$= 0.00712$$

Bentuk persamaan keadaan Peng Robinson ditunjukkan pada Persamaan 4-1.

$$Z^3 + c_2Z^2 + c_1Z + c_0 = 0 \qquad (4\text{-}1)$$

dengan:

Z : Faktor kompresibilitas

$C_{2,1,0}$: Konstanta pada persamaan keadaan Peng Robinson

$c_2 = B - 1$

$= 0.00712 - 1$

$= -0.99288$

$c_1 = A - 2B - 3B^2$

$= 0.07587 - 2 \text{ x } 0.00712 - 3 \text{ x } 0.00712^2$

$= 0.06148$

$c_0 = AB - B^2 - B^3$

$= 0.07587\text{x } 0.00712 - 0.00712^2 - 0.00712^3$

$= 0.00049$

- Determinan persamaan keadaan Peng Robinson

$$K = \frac{3c_2 - {c_1}^2}{3}$$

$$= \frac{3 \text{ x } (-0.99288) - 0.06148^2}{3}$$

$$= -0.99414$$

$$L = \frac{2{c_2}^3 - 9c_2c_1 + 27c_0}{27}$$

$$= \frac{2(-0.99288)^3 - 9(-0.99288)(0.06148) + 27(0.00049)}{27}$$

$$= 0.09386$$

$$D = \frac{K^3}{27} + \frac{L^2}{4}$$

$$= \frac{-0.99414^3}{27} + \frac{0.09386^2}{4}$$

$$= -0.03419$$

- Faktor kompresibilitas (Z)

$$\Phi = \cos^{-1}\left(-\sqrt{\frac{L^2/4}{K^3/27}}\right)$$

$$= 1.32223$$

$$Z_1 = 2\sqrt{\frac{-K}{3}}\cos\Phi - \frac{C_2}{3}$$

$$= 2\sqrt{\frac{-(-0.99414)}{3}}\cos(1.32223) - \frac{(-0.99288)}{3}$$

$$= 0.6142$$

$$Z_2 = 2\sqrt{\frac{-K}{3}}\cos(\Phi + 120) - \frac{C_2}{3}$$

$$= 2\sqrt{\frac{-(-0.99414)}{3}}\cos(1.32223 + 120) - \frac{(-0.99288)}{3}$$

$$= -0.08635$$

$$Z_3 = 2\sqrt{\frac{-K}{3}}\cos(\Phi + 240) - \frac{C_2}{3}$$

$$= 2\sqrt{\frac{-(-0.99414)}{3}}\cos(1.32223 + 240) - \frac{(-0.99288)}{3}$$

$$= -0.63181$$

2. Perhitungan Volume gas propana butana yang dapat membentuk hidrat

Ketika hidrat sudah mulai terbentuk dalam waktu sekian, maka volume hidrat akan mengalami penambahan sebesar 9%. Sehingga dalam mencari volume hidrat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = 0.00025 - (-0.000058164p + 0.00015461)$$

$$= 0.00025 - [-0.000058164\ (0.253) + 0.00015461]$$

$$= 0.00029431\ m^3$$

3. Jumlah (mol) gas yang membentuk hidrat

$$n = \frac{PV}{ZRT}$$

$$= \frac{(0.004-0{,}00342)\text{x}10^6 \text{ Pa x } 0.00029431 \text{ m}^3}{0.556458 \text{ x } 8.31447\frac{\text{J}}{\text{mol.K}} \text{ x } 267.829 \text{ K}}$$

= 0.01068 mol

4.2.2 Perhitungan Data Stabilitas Hidrat

Metode perhitungan data stabilitas hidrat pada dasarnya adalah sama dengan perhitungan jumlah konsumsi gas dalam pembentukan hidrat. Namun, jika dalam pembentukan hidrat yang dihitung adalah jumlah mol gas yang menjadi hidrat, maka pada stabilitas yang dihitung adalah jumlah mol gas yang terurai ketika proses stabilitas berlangsung secara kontinu.

4.2.3 Perhitungan Data Kapasitas Penyimpanan Hidrat

Contoh Pengolahan data kapasitas penyimpanan hidrat diambil dari variasi tekanan 4 bar pada kondisi temperatur ruang sebesar 27^0C dalam tekanan atmosfer. Dengan volume air demin sebanyak 50 ml. Kapasitas penyimpanan hidrat dihitung dengan cara membandingkan volume gas yang berhasil tersimpan dalam hidrat secara aktual dengan volume gas yang seharusnya dapat tersimpan secara teoritis.

- Menentukan massa air

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = 1\,{}^{gr}/_{cm^3}\ x\ 50\ cm^3$$

$$m = 50\ gr$$

Keterangan :

m : massa air (gr)

ρ : massa jenis air (1 ${}^{gr}/_{cm^3}$)

- Menghitung Jumlah mol air (H_2O)

$$nh = \frac{m}{Mr(H2O)}$$

$$nh = \frac{50}{18}$$

$$nh = 2.78\ mol$$

Keterangan :

n_h : mol air (mol)

- Perhitungan Jumlah mol gas propana butana yang dapat membentuk hidrat secara teoritis

  Secara teoritis, struktur hidrat terbentuk atas 15,5% molekul gas dan sisanya merupakan lapisan dari ikatan hidrogen yang dibentuk oleh air (H_2O).

  $$H_g = m\ x\ 15.5\ \%$$

  $$H_g = 50\ gr\ x\ 0.155$$

  $$H_g = 7.75\ gr$$

  Keterangan :

  H_g : Massa gas secara teoritis yang dapat membentuk hidrat dari propana butana (gr)

- Perhitungan jumlah mol gas yang dapat membentuk hidrat secara teoritis

  $$nt = \frac{m}{M_{r\ (LPG)}}$$

  $$nt = \frac{H_g}{M_{r\ (LPG)}}$$

  $$nt = \frac{7.75}{102}$$

  $$nt = 0.07598\ mol$$

  Keterangan :

  n_t : Jumlah mol gas secara teoritis yang dapat membentuk hidrat (mol)

- Perhitungan secara aktual volume gas hidrat propana butana

  $$PV = n\ Z\ R\ T$$

  Dengan berdasarkan asumsi bahwa besar Z, R dan T berada pada kondisi standart pada tekanan 1 atm dan temperatur ruang sebesar 27^0C.

  $$Va = \frac{n_a}{P_p}$$

  $$Va = \frac{0.01068}{1.01325}$$

  $$Va = 0.140563\ cm^3$$

  Keterangan :

  V_a : Volume secara aktual pada kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana (cm^3)

  n_a : Jumlah mol pembentukan gas propana butana hidrat secara aktual (mol)

- Perhitungan volume secara teoritis pada gas hidrat propana butana

$$Vt = \frac{n_t}{P_t}$$

$$Vt = \frac{0.07598}{1.01325}$$

$$Vt = 0.07498\ cm^3$$

Keterangan :

V_t : Volume secara teoritis pada kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana (cm^3)

P_t : Tekanan atmosfer (bar)

- Menghitung kapasitas penyimpanan dari gas hidrat propana butana

$$Kp = \frac{V_a}{V_t}$$

$$Kp = \frac{0.0175082}{0.07498}$$

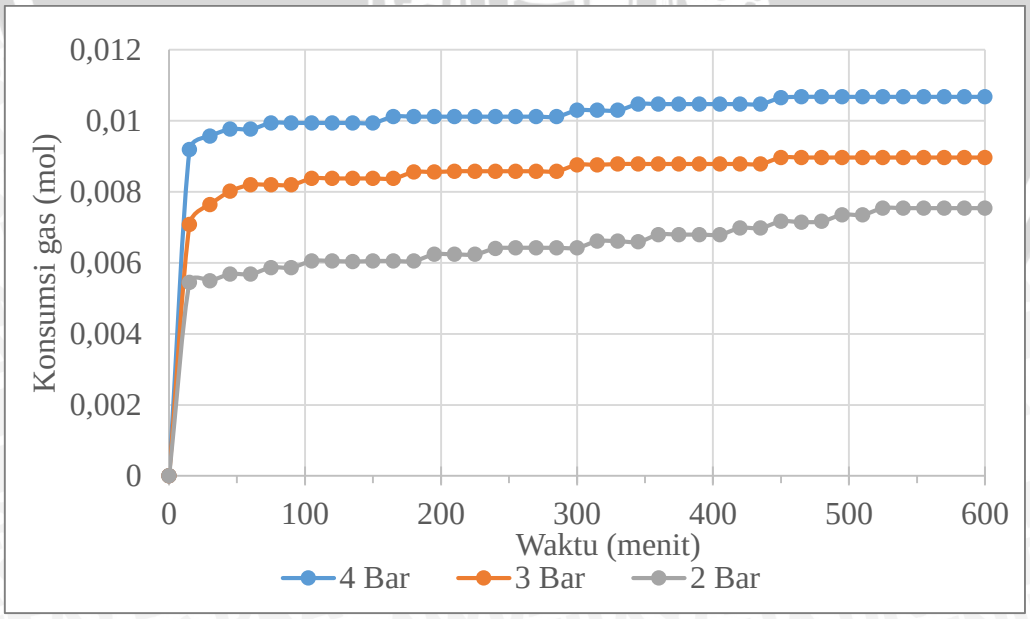
$$Kp = 0.233351\ V/V$$

Keterangan :

K_P : Jumlah kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana (V/V)

4.3 Pembahasan Grafik

4.3.1 Analisis Grafik Jumlah Konsumsi Gas pada laju Pembentukan Hidrat



Gambar 4.1 Grafik perbandingan konsumsi gas propana-butana terhadap waktu pada laju pembentukan hidrat

Pada gambar 4.1 di atas menunjukkan grafik hubungan antara jumlah konsumsi gas propana butana terhadap waktu pembentukan hidrat dengan variasi tekanan sebesar 2 bar, 3 bar dan 4 bar. Jumlah konsumsi gas dalam bentuk mol menunjukkan banyaknya gas yang terkonsumsi menjadi hidrat. Proses pembentukan hidrat dipengaruhi oleh kinetik, perpindahan panas dan perpindahan massa gas.

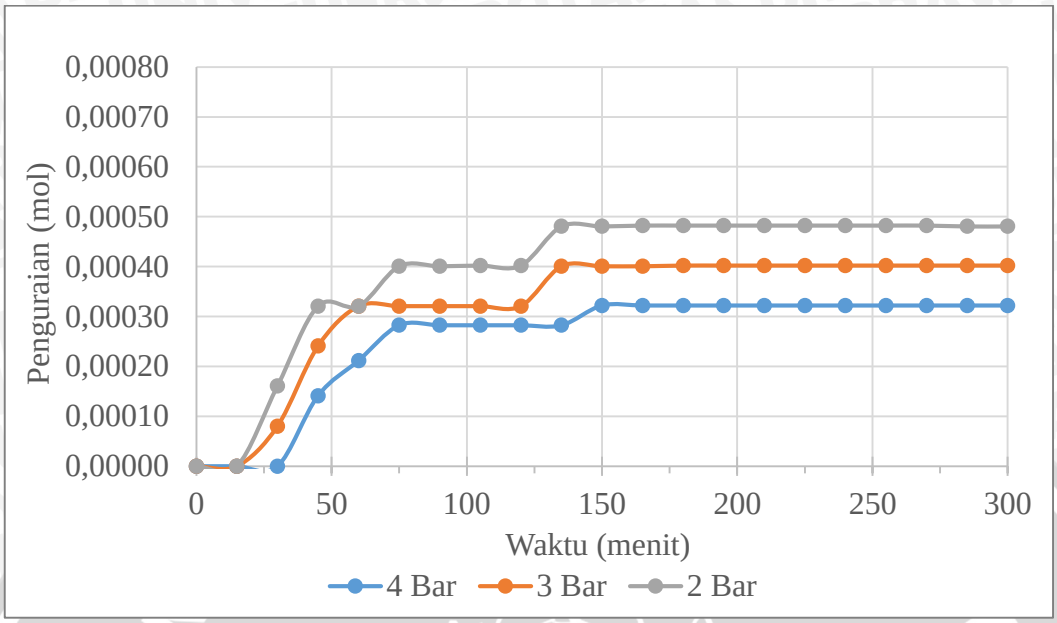
Dari gambar 4.1 terlihat bahwa jumlah konsumsi gas terus meningkat seiring bertambahnya waktu. Adanya konsumsi gas yang terus meningkat menunjukkan proses pembentukan hidrat yang masih berlangsung. Semakin banyak jumlah gas yang terkonsumsi berbanding lurus dengan jumlah hidrat yang terbentuk.

Dari grafik pembentukan di atas dapat dilihat bahwa semakin besar variasi tekanan yang diberikan maka laju pembentukan hidrat akan semakin cepat yang ditandai dengan jumlah laju konsumsi gas yang semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan teori yang telah dibahas sebelumnya, bahwa semakin besar tekanan yang diberikan pada gas maka laju pembentukan hidrat akan semakin cepat dan tingkat konsumsi gas akan semakin meningkat.

Dari grafik dapat dilihat bahwa urutan laju pembentukan hidrat dari yang tercepat ke terendah dimulai dari variasi tekanan 4 bar, 2 bar dan 3 bar. Pada variasi tekanan 4 bar mengalami laju pembentukan hidrat yang paling cepat. Hal ini terjadi karena semakin besar tekanan yang diberikan diimbangi dengan gaya sentrifugal dari pengaduk menyebabkan tingkat agitasi (turbulensi), kinetik dan perpindahan massa molekul gas semakin cepat, sehingga jumlah molekul gas yang masuk kedalam rongga es untuk menjadi hidrat lebih maksimum. Kondisi ini berbanding terbalik pada variasi tekanan 2 bar. Pada variasi 2 bar, tekanan yang diberikan pada gas relatif lebih kecil sehingga tingkat agitasi, kinetik dan pepindahan massa molekul gas juga cenderung lebih kecil. Hal ini mengakibatkan pembentukan hidrat kurang maksimum.

Data yang diperoleh dari gambar 4.1 diketahui bahwa hidrat mulai terbentuk pada menit ke 30, ketika temperatur sistem sudah mengalami kondisi kesetimbangan hidrat. Selanjutnya, setelah sistem mengalami pembentukan hidrat selama 600 menit, didapatkan jumlah hidrat yang terbentuk pada variasi tekanan 2 bar adalah yang terkecil, yaitu sebesar 0,00754 mol. Pada variasi tekananan 3 bar terbentuk hidrat sebesar 0,00897 mol. Dan jumlah pembentukan hidrat yang terbesar ada pada variasi tekanan 4 bar, yang dapat membentuk hidrat sebesar 0,01068 mol.

4.3.2 Analisis Grafik Pengujian Stabilitas Hidrat



Gambar 4.2 Grafik perbandingan antara jumlah penguraian hidrat campuran propana butana terhadap waktu stabilitas

Gambar 4.2 menunjukkan grafik hubungan jumlah penguraian hidrat campuran propana butana terhadap waktu dalam pengujian stabilitas hidrat dengan variasi tekanan sebesar 2 bar, 3 bar dan 4 bar. Jumlah penguraian dalam bentuk mol menunjukkan jumlah hidrat yang terurai menjadi fase gas dalam waktu yang telah ditentukan untuk menguji kestabilan dari hidrat yang terbentuk. Semakin sedikit jumlah gas yang terurai saat pengujian stabilitas, menunjukkan bahwa tingkat kestabilan hidrat yang terbentuk semakin baik.

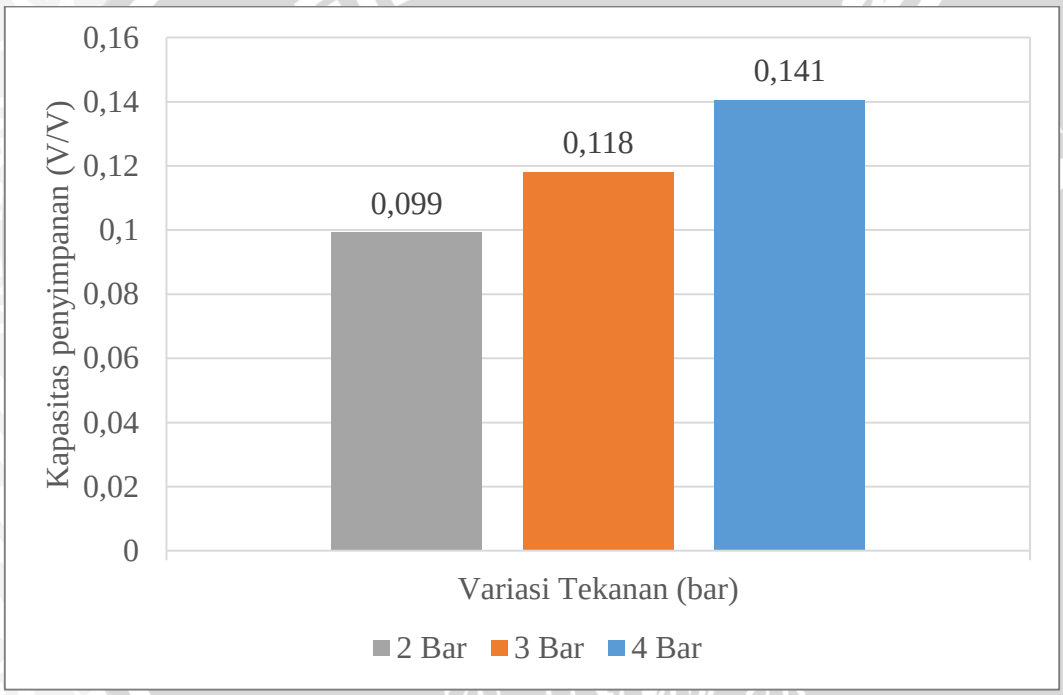
Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa jumlah gas terurai paling besar berada pada variasi tekanan 2 bar, kemudian variasi tekanan 3 bar dan yang terkecil berada pada variasi tekanan 4 bar. Hal ini menunjukkan bahwa, semakin besar tekanan yang diberikan menyebabkan tingkat kestabilan hidrat yang lebih tinggi, terbukti dari jumlah gas terurai yang lebih kecil ketika dilakukan proses pengujian stabilitas.

Pada variasi tekanan 2 bar memiliki stabilitas hidrat yang cenderung lebih rendah dibanding variasi tekanan 3 bar dan 4 bar. Hal ini dapat terjadi karena besar tekanan yang diberikan pada variasi tekanan 2 bar saat proses pembentukan cenderung lebih kecil, sehingga molekul gas memiliki tingkat agitasi, kinetik dan perpindahan massa yang rendah. Kondisi ini berakibat pada dorongan molekul gas yang masuk pada rongga ikatan hidrogen kurang maksimal, sehingga keadaan molekul gas kurang stabil. Pada variasi tekanan 3 bar dan 4 bar, molekul gas diberikan tekanan yang lebih besar dan memiliki kondisi yang lebih

maksimal untuk masuk kedalam rongga ikatan hidrogen. Sehingga molekul gas akan benar-benar masuk dengan stabil ke dalam rongga.

Proses penguraian hidrat yang memisahkan molekul air dan gas dapat terjadi karena merupakan proses endoterm dengan adanya bantuan kalor luar yang masuk ke dalam sistem. Kalor ini mengakibatkan ikatan hidrogen perlahan terlepas dan terurai, kemudian mengakibatkan molekul gas yang terjebak didalamnya akan keluar. Namun, hidrat akan tetap stabil selama temperatur dijaga konstan selama mungkin. Adanya penambahan temperatur akan menyebabkan gas hidrat terurai dengan sendirinya.

4.3.3 Analisis Diagram Kapasitas Penyimpanan Hidrat



Gambar 4.3 diagram perbandingan jumlah kapasitas penyimpanan terhadap variasi tekanan yang diberikan pada hidrat propana butana

Gambar 4.3 menunjukkan diagram kapasitas penyimpanan hidrat propana butana dengan variasi tekanan yang diberikan pada saat pembentukan sebesar 2 bar, 3 bar dan 4 bar. Kapasitas penyimpanan hidrat merupakan perbandingan antara jumlah mol gas propana butana yang dapat menjadi hidrat secara aktual dibanding dengan jumlah mol gas yang dapat menjadi hidrat secara teoritis. Jumlah kandungan gas yang dapat menjadi hidrat secara teoritis adalah sebesar 15,5%.

Dari Gambar 4.3 diatas dapat diketahui bahwa variasi tekanan 4 bar memiliki kapasitas penyimpanan yang paling besar yaitu sebesar 0,141 V/V. Variasi tekanan 3 bar memiliki

kapsitas penyimpanan sebesar 0,118 V/V. Sedangkan kapasitas penyimpanan paling kecil dimiliki oleh variasi tekanan 2 bar yaitu sebesar 0,099 V/V. Hal ini sesuai dengan dasar teori, bahwa semakin besar tekanan gas yang diberikan saat proses pembentukan maka kapasitas penyimpanan hidrat juga akan semakin besar.

Dari data yang diperoleh menunjukkan semakin besar variasi tekanan yang diberikan berbanding lurus dengan besar kapasitas penyimpanan hidrat. Hal ini dapat terjadi karena berkaitan erat dengan laju pembentukan hidrat. Semakin besar tekanan yang diberikan menyebabkan jumlah mol gas hidrat yang terbentuk semakin tinggi, sehingga jumlah mol gas yang terurai saat dilakukan proses pengujian kapasitas penyimpanan juga semakin tinggi.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap karakteristik hidrat, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar variasi tekanan yang diberikan menyebabkan laju pembentukan gas hidrat propana butana semakin tinggi. Urutan mol pembentukan yang terbesar ke yang terkecil setelah dilakukan proses pembentukan hidrat selama 600 menit adalah variasi 4 bar sebesar 0,01068 mol, variasi 3 bar sebesar 0,00897 mol dan variasi 2 bar sebesar 0,00754 mol.
2. Dari pengujian stabilitas hidrat diketahui bahwa tingkat kestabilan hidrat berbanding lurus dengan variasi tekanan yang diberikan. Semakin besar tekanan yang diberikan menyebabkan tingkat kestabilan hidrat yang semakin baik. Dari data yang diperoleh setelah pengujian stabilitas hidrat selama 5 jam, diperoleh urutan kestabilan hidrat dari yang tertinggi ke terendah adalah variasi tekanan 4 bar, 3 bar dan 2 bar.
3. Kapasitas penyimpanan hidrat dipengaruhi oleh besar gas yang terbentuk menjadi hidrat. Semakin besar tekanan pembentukan gas hidrat maka semakin besar pula hidrat yang terbentuk sehingga kapasitas penyimpanan hidrat akan semakin besar. Kapasitas penyimpanan hidrat terbesar berada pada variasi tekanan 4 bar yang memiliki kapasitas penyimpanan 0,141 V/V, kemudian variasi tekanan 3 bar sebesar 0,118 V/V dan terkecil pada variasi tekanan 2 bar sebesar 0,099 V/V.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat dimaksimalkan dengan beberapa hal yang dapat menjadi bahan masukan. Berikut saran yang dapat diterapkan agar penelitian selanjutnya dapat lebih sempurna dan bermanfaat:

1. Perlu adanya variasi molaritas gas pada penelitian hidrat propana butana agar diketahui karakteristik maksimum yang mampu dicapai hidrat ketika diberikan input gas yang semakin besar.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2. Perlu adanya kontrol temperatur yang sedikit lebih baik pada sistem *cooling bath*. Hal ini diperlukan agar temperatur sistem dapat berjalan konstan pada nilai yang ditentukan, sehingga tidak menjadi faktor yang menjadikan data penelitian sedikit tidak valid.
3. Perlu penggunaan *data logger* untuk mempermudah jalannya penelitian yang berlangsung selama 16 jam serta agar perubahan nilai variabel bebas dapat dilihat secara signifikan.
4. Waktu penelitian pada pembentukan hidrat dapat ditambah lagi dengan lebih dari 10 jam, untuk mengetahui pengaruh lamanya pembentukan dalam meningkatkan karakteristik hidrat.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

Almatsany, Ahmad A. 2015. *Pengaruh Kecepatan Putaran terhadap Laju Pembentukan, Stabilitas dan Kapasitas Penyimpanan Hidrat Campuran Propana Butana*. Malang: Universitas Brawijaya.

Beltran Juan G. 2009. *Equilibrium and morphology studies of clathrate hydrates*. Montreal: McGill University.

Carroll, J. 2009. *Natural Gas Hydrates: A Guide for Engineers Second Edition*. Oxford: Elsevier.

Cengel, Y. A. dan Boles, M. A. 2004. *Thermodynamics: An Engineering Approach 5th edition*. New York: Mc Graw-Hill Book.

Cottrell, T. L. 1958. *The Strength of Chemical Bonds*. London: Butterworths Publication Ltd.

Davidson, D. W. 1983. *Natural Gas Hydrates: Properties, Occurrence and Recovery*. Boston: Butterworths.

Durham, W. B., Strern, L. A. dan Kirby, S. H. 2003. *Ductile Flow of Methane Hydrate*. Can J. Phys. 81: 373-380.

Englezos, P.; Kalogerakis, N.; Dholabhai, P.D. and Bishnoi, P.R., 1987a. *Kinetics of formation of methane and ethane gas hydrates*. Chemical Engineering Science,42: 2647{2658.

Ganji, H., Manteghian, M., Zadeh, K. S., Omidkhah, M. R. dan Mofrad, H. R. 2007. *Effect of Different Surfactants on Methane Hydrate Formation Rate, Stability and Storage Capacity*. Fuel. 86:434-441.

Jeffrey, G. A. dan McMullan, R. K. 1967. *The Clathrate Hydrates*. Prog. Inorg. Chem. 8: 43-108.

Larson, R., Makogan, T, Knight, C. dan Sloan, E. D. 1996. *Growth and Imubition Phenomena of Single Hydrate Crystals*. Proc. Second International Conference on Gas Hydrates. 1: 558-562.

Linga, P., Kumar, R., Lee, J. D., Ripmeester, J. dan Englezos, P. 2010. *A New Apparatus to Enhance the Rate of Gas Hydrate Formation: Application to Capture of Carbon Dioxide*. International Journal of Greenhouse Gas Control. 4:630-637.

Sloan, E. D. dan Koh, C. A. 2008. *Clathrate Hydrates of Natural Gas: Third Edition*. New York: CRC Press.

Speight, J. G. 2007. Natural Gas: *A Basic Handbook*. Texas: Gulf Publishing Company

Stoll, R. D. dan Bryan, G. M. 1979. *Physical Properties of The Sediments Containing Gas Hydrates*. J. Geophys. Res. 84: 1629