

**PENGARUH VARIASI TEKANAN TERHADAP KARAKTERISTIK
PEMBENTUKAN GAS HIDRAT PROPANA BUTANA**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**ONY IKA PRAHESTI
NIM. 115060207111044-62**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2015

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH VARIASI TEKANAN TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBENTUKAN GAS HIDRAT PROPANA BUTANA

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh

ONY IKA PRAHESTI
NIM. 115060207111044-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

Dosen Pembimbing II

Purnami, ST., MT.
NIP. 19770707 200812 1 005

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI TEKANAN TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBENTUKAN GAS HIDRAT PROPANA BUTANA

SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

ONY IKA PRAHESTI
NIM. 115060207111044-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 16 Juni 2015

Majelis Pengaji

Skripsi I

Skripsi II

Skripsi III

Prof. Ir. Sudjito, Ph.D.
NIP. 19470330 198002 1 001

0

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001
199802 1 001

Ir. Hastono Wijaya, MT.
NIP. 19601204 198601 1 002

199903 1 004

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT
NIP. 19750802 199903 2 002



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Pengaruh Variasi Tekanan Terhadap Karakteristik Pembentukan Gas Hidrat Propana Butan" sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dan sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaiannya skripsi ini, terutama kepada :

1. Ibu dan bapak saya tercinta, Ibu Ani dan Bapak Muaji yang selalu memberikan kasih sayang, cinta, doa, motivasi, materiel, kepercayaan, dan dukungan kepada penulis. Tetap pengabdian saya hanya untuk keluarga.
2. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST.,M.Eng. selaku Ketua Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan yang telah membantu memberikan pengarahan selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT. selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Program Studi SI Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan pengarahan, ilmu dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Purnami, ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing II dan Sekretaris Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan pengarahan, dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Konversi Enegi.
6. Bapak Prof. Ir. Sudjito, Ph,D. selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan dalam menempuh perkuliahan pada setiap semesternya serta sebagai Majelis Penguji Skripsi I.
7. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Majelis Penguji Skripsi II.
8. Bapak Ir. Hastono Wijaya, MT. selaku Majelis Penguji Skripsi III.
9. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Administrasi Jurusan Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung baik dalam perkuliahan maupun selama penyusunan skripsi ini.

10. Bapak Djoko Sumantri, A.Md. selaku pranata Laboratorium Fenomena Dasar Mesin yang telah meminjamkan tempat dan peralatan yang ada di laboratorium guna memperlancar penyusunan skripsi ini.
11. Kedua adik saya tersayang, Olly Via Trias Fanani dan Oddy Geo Fernanda yang telah memberi motivasi, semangat dan doa kepada penulis.
12. Keluarga besar Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Mas Angga, Erwin, Bintoro, Irul, Alvi, Ryan, Gede, Ragang, Endang, Janwar, Indra, Ayu, Mas Raka, Mas Fauzi, Mas Pungkas, Mas Hamid dan Mas Farid yang telah bersedia menghabiskan waktu bersama-sama serta terimakasih atas doa, semangat dan dukungannya kepada penulis.
13. M'Gals 2011 Veronika, Veli, Sulis, Kiki, Marita dan Tuestika yang telah menjadi sahabat sekaligus keluarga dan telah memberi waktu, nasehat, dukungan, semangat dan doa kepada penulis
14. Saudara seperjuangan “KAMIKAZE” yang telah menjadi keluarga dan memberikan banyak pelajaran dan nasehat kepada saya. Semoga kita selalu diberi kemudahan, kelancaran dan kekuatan.
15. Faisal Daniar yang selalu memberi motivasi, dukungan, semangat, kasih sayang nasehat dan doa kepada penulis.
16. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
17. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar terciptanya karya tulis yang lebih baik . Semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

Malang, Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Hidrat Gas Alam	5
2.3 Gas Alam (Natural Gas)	6
2.3.1 <i>Liquified Petroleum Gas (LPG)</i>	7
2.3.2 Gas Butana	8
2.3.3 Gas Propana	9
2.4 Pembentukan Hidrat.....	9
2.5 Kelarutan Gas Alam dalam Air.....	11
2.6 Pertumbuhan Hidrat	12
2.7 Penguraian Hidrat	13
2.8 Struktur Hidrat Gas Alam.....	15
2.8.1 Macam-macam Struktur Molekul Hidrat Gas Alam.....	15
2.8.1.1 Struktur Kubus I.....	17
2.8.1.2 Struktur Kubus II.....	18
2.8.1.3 Struktur Heksagonal.....	18



2.8.2 Ikatan Hidrogen	19
2.8.3 Karakteristik Molekul Gas Alam pada Hidrat.....	20
2.8.4 Perbandingan Hidrat dengan Es.....	21
2.9 Sifat Mekanik	22
2.10 Sifat Termal	22
2.11 Gas Ideal dan Teori Kinetika Molekul Gas.....	24
2.11.1 Gas Ideal.....	24
2.11.2 Persamaan Gas Ideal.....	24
2.11.3 Persamaan Gas Nyata	25
2.11.4 Teori Kinetika Molekul Gas.....	25
2.11.4.1 Pendekatan Teori Kinetika dengan Tekanan Gas Ideal.....	26
2.11.4.2 Pendekatan Teori Kinetika dengan Temperatur Gas Ideal.....	26
2.11.5 Konsep Mol.....	27
2.12 Hipotesa.....	27
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	 28
3.1 Metode Penelitian	28
3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	28
3.3 Variabel Penelitian	28
3.4 Alat Dan Bahan Penelitian	29
3.4.1 Alat Penelitian.....	29
3.4.2 Bahan Penelitian	32
3.5 Instalasi Alat Penelitian	33
3.6 Prosedur Penelitian	34
3.6.1 Persiapan Penelitian	34
3.6.2 Pengambilan Data.....	34
3.6.2.1 Laju Pembentukan Hidrat.....	34
3.6.2.2 Penguraian Hidrat.....	35
3.6.2.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat.....	35
3.6.3 Pengolahan Data.....	35
3.6.3.1 Laju Pembentukan Hidrat.....	35
3.6.3.2 Penguraian Hidrat.....	36
3.6.3.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat.....	36
3.7 Diagram Alir Penelitian	37

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Pengolahan Data	38
4.2 Data Hasil Pengujian.....	38
4.2.1 Data Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana.....	38
4.2.2 Data Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana.....	39
4.2.3 Data Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana.....	39
4.3 Contoh Perhitungan.....	40
4.3.1 Perhitungan Mol Konsumsi Gas Propana Butana saat Laju Pembentukan Hidrat.....	40
4.3.2 Perhitungan Volume Kapasitas Penyimpanan.....	43
4.4 Pembahasan.....	45
4.4.1 Analisa Laju Pembentukan Hidrat Propana Butana dengan Variasi Tekanan	46
4.4.1.1 Analisa Grafik Hubungan antara Tekanan dan Temperatur terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana.....	46
4.4.1.2 Analisa Grafik Hubungan antara Konsumsi Gas Propana Butana terhadap Waktu.....	48
4.4.1.3 Analisa Grafik Hubungan antara Gas Propana Butana dalam Hidrat terhadap Temperatur Pembentukan Hidrat.....	50
4.4.2 Analisa Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana	51
4.4.2.1 Analisa Grafik Hubungan antara Tekanan Disosiasi Gas Hidrat Propana Butana terhadap Waktu Stabilitas.....	51
4.4.2.2 Analisa Grafik Hubungan antara Tekanan Hidrat terhadap Waktu Stabilitas.....	53
4.4.3 Analisa Diagram Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana.....	55
BAB V PENUTUP	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....	58
LAMPIRAN	60

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Rentang komposisi dari gas alam.....	8
Tabel 2.2	Karakteristik umum dari gas alam.....	8
Tabel 2.3	larutan dari komponen hidrat gas alam pada temperatur 298 K.....	11
Tabel 2.4	Perbandingan antara struktur kubus I dan II serta struktur heksagonal.	17
Tabel 2.5	Perbandingan sifat dari es, hidrat sI dan sII.....	22
Tabel 4.1	Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana.....	38
Tabel 4.2	Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana.....	39
Tabel 4.3	Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana.....	40



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram fase beberapa gas alam hidrokarbon yang membentuk hidrat ...	6
Gambar 2.2	Pengaruh waktu terhadap konsumsi gas pada pembentukan hidrat	10
Gambar 2.3	Garis hubungan tekanan dan temperatur pada hidrat metana	10
Gambar 2.4	Mekanisme pertumbuhan kristal hidrat.....	12
Gambar 2.5	Disosiasi radial.....	14
Gambar 2.6	Disosiasi aksial.....	14
Gambar 2.7	Uji X-Ray CT Metana.....	14
Gambar 2.8	Struktur kristal es	15
Gambar 2.9	Struktur kristal gas hidrat	15
Gambar 2.10	Struktur kristal gas hidrat rongga besar	15
Gambar 2.11	Struktur kristal hidrat. (a) sI, (b) sII dan (c) sH	16
Gambar 2.12	Struktur kubus I (a) tetrakaidekahedron (b) dodecahedron.....	18
Gambar 2.13	Struktur kubus I (a) heksakaidekahedron (b) dodecahedron.....	18
Gambar 2.14	Struktur Heksagonal	19
Gambar 2.15	Ikatan hidrogen antara dua molekul	20
Gambar 2.16	Ikatan hidrogen antara empat molekul	21
Gambar 2.17	Konduktivitas termal dari gas, air, es dan hidrat.....	23
Gambar 2.18	Hubungan temperatur terhadap ekspansi termal linier hidrat sI, sII dan es Ih	23
Gambar 3.1	Instalasi alat penelitian.....	33
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Tekanan dan Temperatur terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana	46
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Konsumsi Gas Propana Butana terhadap Waktu Pembentukan Gas Hidrat.....	48
Gambar 4.3	Grafik Hubungan antara Gas Propana Butana dalam Hidrat terhadap Temperatur Pembentukan Hidrat	50
Gambar 4.4	Grafik Hubungan antara Tekanan Disosiasi Gas Hidrat Propana Butana terhadap Waktu Stabilitas	51
Gambar 4.5	Grafik Hubungan antara Tekanan Hidrat terhadap Waktu Stabilitas.....	53
Gambar 4.6	Grafik Hubungan antara Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana terhadap Variasi Tekanan	55

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Data Hasil Penelitian Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana	60
Lampiran 2	Data Hasil Kalibrasi Penelitian Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana	61
Lampiran 3	Data Hasil Perhitungan Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana..	63
Lampiran 4	Data Hasil Penelitian Tekanan Disosiasi pada Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana	66
Lampiran 5	Data Hasil Kalibrasi Penelitian Tekanan Disosiasi pada Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana.....	68
Lampiran 6	Data Hasil Penelitian Tekanan Hidrat pada Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana	70
Lampiran 7	Data Hasil Penelitian Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana	73
Lampiran 8	Data Hasil Kalibrasi Penelitian Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana	73
Lampiran 9	Data Hasil Perhitungan Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana	73
Lampiran 10	Tabel A-1	74
Lampiran 11	Diagram A-30a	75
Lampiran 12	Data Presentase Gas Propana Butana dalam LPG	76

RINGKASAN

Ony Ika Prahesti, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2015, *Pengaruh Variasi Tekanan terhadap Karakteristik Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana*. Dosen Pembimbing: Widya Wijayanti dan Purnami.

Hidrat merupakan kristal padat berbentuk es yang terdiri dari air dan gas yang terbentuk karena tekanan tinggi dan temperatur rendah. Molekul air memiliki ikatan hidrogen membentuk sebuah kerangka yang memiliki rongga, dan rongga akan di tempati oleh molekul gas. Saat ini banyak penelitian tentang hidrat yang dijadikan sebagai alternatif lain untuk sistem penyimpanan dan transportasi gas alam. Karakteristik dari hidrat telah dianggap hal yang penting dalam penerapan penyimpanan dan transportasi gas dalam industri pembuatan hidrat gas alam. Karakteristik hidrat meliputi laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat.

Penelitian pada laju pembentukan hidrat, *crystallizer* dibersihkan dengan air demineralizer dan 50 cm^3 air demineralizer dimasukkan ke dalam *crystallizer*. Campuran propana butana dimasukkan ke dalam *crystallizer* dengan variasi tekanan yang telah ditentukan (2 bar, 3 bar dan 4 bar) pada temperatur 300 K. *Crystallizer* dimasukkan ke dalam *cooling bath*, kemudian temperatur *cooling bath* diatur sesuai dengan temperatur pembentukan hidrat (274 K) dan mengatur kecepatan putar motor sebesar 200 rpm. Penelitian laju pembentukan hidrat dilakukan selama 10 jam pada setiap variasi tekanan. Setelah proses pembentukan hidrat dilanjutkan dengan pengujian stabilitas hidrat. Gas yang tidak menjadi hidrat pada laju pembentukan hidrat dibuang terlebih dahulu sebelum pengujian stabilitas. Pembuangan gas dilakukan setelah sistem mencapai suhu kesetimbangan tiga fasa stabilitas. Pengujian stabilitas dilakukan selama 5 jam dengan temperatur *cooling bath* konstan (268 K) pada setiap variasi tekanan. Pengujian kapasitas penyimpanan hidrat dilakukan setelah stabilitas hidrat. Untuk meneliti kapasitas penyimpanan hidrat, sistem dibiarkan sampai mencapai suhu ruangan, sehingga menyebabkan gas yang terperangkap dalam hidrat terlepas. Besar kapasitas penyimpanan dihitung dari perbandingan volume gas yang terdekomposisi sampai suhu ruangan dengan volume gas hidrat secara teoritis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan karakteristik hidrat akan meningkat dengan peningkatan tekanan yang diberikan. Dari variasi tekanan yang telah ditentukan yaitu 2 bar, 3 bar dan 4 bar, nilai karakteristik pembentukan hidrat adalah sebagai berikut. Laju pembentukan hidrat tertinggi terjadi pada variasi tekanan 4 bar sebesar 1.71959 bar dengan tingkat konsumsi gas sebesar 0.745654 mol. Tingkat maksimum stabilitas hidrat terjadi pada variasi tekanan 4 bar sebesar 1.62055 bar. Tekanan disosiasi tertinggi pada saat stabilitas hidrat terjadi pada variasi tekanan 2 bar sebesar 0.10916 bar. Kapasitas penyimpanan hidrat tertinggi ada pada variasi tekanan 4 bar sebesar 39.61727 V/V.

Kata kunci : Gas hidrat, tekanan, laju pembentukan, stailitas, kapasitas penyimpanan



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan bagian terpenting untuk kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Manusia terus-menerus melakukan upaya untuk mengoptimalkan dan memanfaatkan sumber daya alam sebagai sumber energi, untuk memenuhi kebutuhan yang terus meningkat demi kesejahteraan masyarakat. Ketersediaan sumber daya energi yang berasal dari bahan bakar fosil terutama minyak semakin menipis, karena minyak merupakan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui dan juga bukan merupakan sumber energi terbarukan sehingga menyebabkan timbulnya krisis energi. Pencarian energi alternatif yang ramah lingkungan dan lebih efisien pun terus dilakukan demi menjaga kelangsungan hidup dan kesejahteraan masyarakat.

Seiring dengan berkurangnya pasokan minyak bumi dunia, saat ini gas telah mengalami era keemasan. Di Indonesia, dimulai dengan diadakannya program konversi dari menggunakan minyak tanah diganti dengan menggunakan *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, kebutuhan komersial hingga kebutuhan industri. Eksplorasi gas sendiri yang dulunya masih mencari gas-gas *conventional*, sekarang para perusahaan minyak bumi dan gas alam sudah mulai melirik gas-gas *unconventional* mengingat potensinya yang cukup besar, teknologi dan pengetahuan geologi yang semakin maju dan canggih. Ada enam kategori utama gas-gas *unconventional* yang mulai gencar dieksplorasi baik diluar maupun di Indonesia sendiri, diantaranya: *Deep Gas*, *Tight Gas*, *Shale Gas*, *Coal Bed Methane*, *Geopressurized Gas* dan *Methane Hydrate*.

Dari keenam gas-gas *unconventional*, *Methane Hydrate* merupakan sumber daya gas *unconventional* yang paling banyak terdapat di bumi, dengan jumlah mencapai 7,000 hingga 73,000 tfc, angka ini jauh lebih tinggi dibandingkan gas-gas *unconventional* lainnya. *Methane Hydrate* yang tergolong dalam *Natural Gas Hydrate* dianggap sebagai sumber energi masa depan yang besar. Hidrat yang berada di kutub utara di mana hidrat pertama kali ditemukan dalam sedimen laut yang berada dalam kedalaman 150-2000 meter di bawah permukaan laut. Eksplorasi NGH dari dasar laut masih memerlukan waktu 30-40 tahun untuk menjadi ekonomis, sehingga NGH dapat digunakan sebagai cadangan sumber energi ketika energi fosil sudah habis.

Hidrat gas alam bukan semata-mata sebagai sumber daya alam untuk energi masa depan yang besar serta pengganti bahan bakar fosil. Pada proses pengelolaan minyak bumi dan gas alam, khususnya transportasi gas alam dengan metode pemipaan sering kali hidrat menjadi masalah sebagai penyumbatan hidrat gas pada pipa distribusi, regulator tekanan dan peralatan transportasi gas lainnya. Metode pemipaan gas alam bertekanan tinggi pada daerah yang dingin, berpotensi menimbulkan hidrat gas alam. Akibatnya distribusi gas alam berkurang dan mempengaruhi fasilitas operasi normal distribusi dan transportasi gas alam.

Saat ini banyak ilmuwan yang mempelajari hidrat gas alam sebagai alternatif sistem transportasi dan penyimpanan gas alam dalam bentuk padat, yang selama ini didominasi oleh sistem pemipaan, *Liquefied Natural Gas* (LNG) dan *Compressed Natural Gas* (CNG). Mengingat metode pemipaan tidak efisien untuk transportasi dalam jarak yang jauh. Sedangkan metode pencairan membutuhkan biaya yang mahal serta instalasi yang rumit. Serta metode *Compressed Natural Gas* (CNG) memerlukan kapal khusus dengan container bertekanan untuk mengangkut CNG dan pompa besar serta waktu yang lama untuk pengisian gas. Sehingga diperlukan alternatif lain untuk sistem transportasi dan penyimpanan gas alam, salah satunya dengan sistem gas padat.

Hidrat gas alam diproduksi dari percampuran gas alam dengan air pada tekanan dan suhu yang tepat untuk membentuk kristal es. Gas alam padat terjadi ketika partikel dari gas alam seperti metana, etana, propana dan butana menstabilkan ikatan hidrogen dengan air untuk membentuk struktur rongga 3 dimensi dengan molekul gas alam terjebak dalam rongga tersebut. Gas alam padat akan menjadi media baru untuk penyimpanan dan transportasi gas, karena memiliki stabilitas yang tinggi pada suhu dibawah 0°C pada tekanan atmosfer. Kestabilan tersebut disebabkan karena lapisan es menutupi hidrat dan mencegah penguraian lebih lanjut.

Penelitian ini akan mempelajari hidrat gas alam sebagai media penyimpanan dan transportasi gas dalam bentuk padat. Di mana untuk penelitian ini hal yang paling penting dalam hidrat gas alam adalah karakteristik yang dimiliki oleh hidrat tersebut. Karakteristik dari hidrat gas alam meliputi laju pembentukan, stabilitas (disosiasi) dan kapasitas penyimpanan hidrat. Gas alam yang akan di simpan dalam bentuk padat adalah campuran propana dan butana, yang mana penelitian ini akan melihat karakteristik hidrat yang dipengaruhi oleh berbagai variasi tekanan. Di mana NGH akan terbentuk pada tekanan tinggi dengan suhu rendah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas sebelumnya, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut, bagaimana pengaruh variasi tekanan terhadap karakteristik pembentukan gas hidrat propana butana.

1.3 Batasan Masalah

Agar rumusan permasalahan yang dibahas lebih terfokuskan dan penelitian yang dilakukan mencapai tujuan yang lebih terarah, maka penulis memberikan beberapa batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Perilaku gas ideal diterapkan pada gas hidrat propana dan butana.
2. Penelitian terhadap karakteristik hidrat meliputi laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan terhadap karakteristik pembentukan gas hidrat propana butana yang meliputi laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memanfaatkan hidrat sebagai sistem penyimpanan dan transportasi gas alam.
2. Memanfaatkan hidrat gas alam sebagai cadangan sumber daya alam untuk energi masa depan pengganti bahan bakar fosil yang semakin menipis.
3. Menanggulangi permasalahan di industri permifyakan dan gas alam mengenai pembentukan hidrat pada pipa pendistribusian gas.
4. Memberikan referensi mengenai karakteristik hidrat gas alam lainnya yang meliputi laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Khokhar, *et al* (1998) dalam penelitiannya mengenai penyimpanan gas hidrat pada struktur hidrat H menunjukkan bahwa penyimpanan gas metana pada hidrat terlihat sangat menguntungkan pada struktur hidrat H daripada struktur hidrat I maupun II ketika gas metana menempati rongga kecil. Karena pada struktur hidrat H rongga besar akan ditempati oleh molekul tamu dengan ukuran yang besar sedangkan rongga kecil akan ditempati oleh molekul tamu gas metana. Kemampuan penyimpanan di struktur H hidrat diuji menggunakan air murni.

Ganji, *et al* (2007) dalam penelitiannya mengenai pengaruh dari surfaktan anion, kation dan non-ion pada laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat metana. Setiap surfaktan diuji dengan konsentrasi 300, 500 dan 1000 ppm. Pada penelitian laju pembentukan hidrat metana, 75 cm³ air dicampurkan dengan surfaktan yang kemudian direaksikan dengan gas metana pada tekanan 8.3 MPa dan temperatur 298.2 K dengan kecepatan putar pengaduk 200 rpm. Pada penelitian stabilitas hidrat metana, hidrat yang sudah terbentuk didiamkan selama 10 jam pada temperatur 268.2 K. Setelah didiamkan sampai titik kesetimbangan 3 fase katup gas dibuka dengan tujuan mengeluarkan gas sisa metana yang tidak menjadi hidrat, kemudian katup ditutup kembali. Sedangkan pada penelitian kapasitas penyimpanan hidrat metana, hidrat yang tersisa setelah penelitian stabilitas hidrat, sistem dibiarkan hingga mencapai temperatur ruangan sehingga hidrat melepas gas metana yang terjebak di dalamnya.

Linga, *et al* (2010) dalam penelitiannya mengenai peningkatan pembentukan gas hidrat dengan menggunakan alat baru yang diaplikasikan untuk menangkap karbon dioksida. Komponen dari alat baru ini terdiri dari *crystallizer* sebagai wadah pembentukan hidrat, *external refrigerator* sebagai pengatur temperatur sistem, katup sebagai pengatur distribusi air dan gas, *thermocouple* dan *pressure transmitter* yang digunakan sebagai sensor temperatur dan sensor tekanan pada *crystallizer*. Di dalam *crystallizer* terdapat pengaduk yang berfungsi untuk mencampur gas dengan air sehingga terjadi hidrat.

2.2 Hidrat Gas Alam

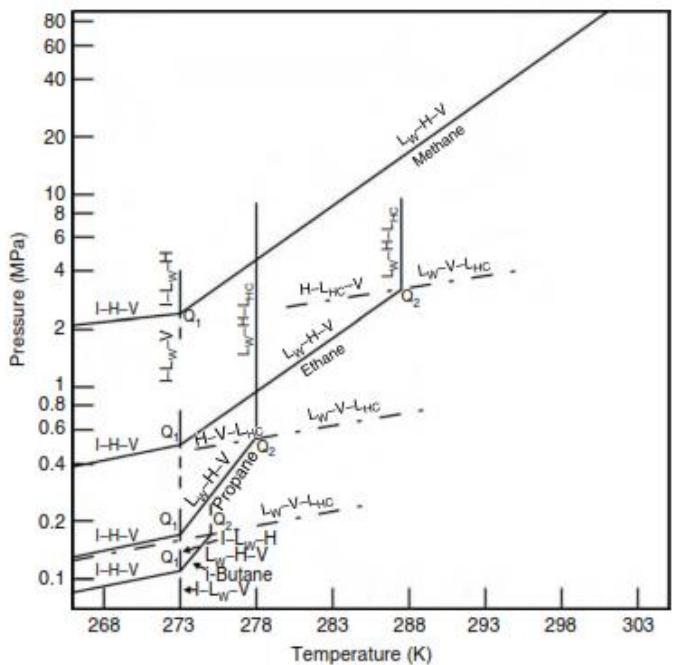
Hidrat gas alam merupakan kristal padat berbentuk es yang terdiri dari air dan gas pada tekanan dan temperatur tertentu. Molekul air memiliki ikatan hidrogen membentuk sebuah kerangka yang memiliki rongga. Di dalam rongga antar molekul air terdapat molekul gas yang terjebak pada berbagai macam bentuk dan ukuran (Ganji, 2007).

Molekul gas yang mengisi hidrat disebut klatrat. Klatrat merupakan senyawa kimia inklusi dimana molekul kimia terjebak di dalam rongga molekul kristal es (Webster, 1994). Molekul gas alam yang sering terdapat pada hidrat adalah metana, etana, propana, butana dan karbon dioksida. Gas metana adalah molekul gas alam yang paling banyak terdapat pada hidrat.

Gas hidrat tidak terdapat ikatan antara molekul air yang berbentuk kristal es dengan molekul gas yang terjebak di dalamnya. Molekul gas bebas untuk berotasi di dalam rongga dari kristal es. Hidrat gas merupakan campuran yang dapat dideskripsikan menjadi larutan padat (Carrol, 2009).

Hidrat gas alam memiliki tiga jenis struktur utama, yaitu: struktur I, struktur II dan struktur H. Dari ketiga struktur memiliki susunan yang berbeda dari ikatan molekul air sehingga menghasilkan bentuk, ukuran, dan rongga yang berbeda. Formasi dari struktur yang terbentuk tergantung pada berbagai aspek gas tamu yang terjebak dalam molekul air.

Untuk membentuk hidrat gas alam pada setiap gas memiliki temperatur dan tekanan yang berbeda. Pada gambar 2.1 menunjukkan diagram fasa untuk pembentukan gas hidrat pada beberapa hidrokarbon. Pada gambar, H menunjukkan hidrat, I menunjukkan es, V menunjukkan uap, L_w menunjukkan fase cair air, L_{HC} menunjukkan fase cair hidrokarbon, Q_1 menunjukkan titik *quadruple* bawah dan Q_2 menunjukkan titik *quadruple* atas. Untuk setiap 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 dalam kondisi cair atau es dan fase gas dalam kondisi uap atau cair.



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

Q_1 ($I-L_w-H-V$) dan Q_2 ($L_w-H-V-L_{HC}$) ditunjukkan oleh garis perpotongan tiga fase. Q_1 dan Q_2 pada setiap pembentukan hidrat menghasilkan klasifikasi kuantitatif untuk komponen hidrat gas alam. Setiap titik *quadruple* menunjukkan perpotongan dari empat garis tiga fase. Q_1 merupakan transisi dari L_w menjadi I sehingga terjadi penurunan temperatur. Q_1 menunjukkan dimana pembentukan hidrat berhenti dari uap dan air dan dimana pembentukan hidrat terjadi dari uap dan es. Q_2 menunjukkan batas temperatur tertinggi untuk pembentukan hidrat. Untuk memenuhi perpotongan pada gambar 2.1 maka tekanan uap pada temperatur kritis dapat direndahkan. Pada gas metana tidak memiliki batas temperatur tertinggi untuk membentuk hidrat.

2.3 Gas Petroleum dan Gas Alam

Minyak di dalam perut bumi umumnya mengandung campuran hidrokarbon yang sangat kompleks yang juga mengandung air dan garam. Ketika dibor dan dipompa ke permukaan bumi di mana tekanannya lebih rendah dari perut bumi dan temperaturnya adalah temperatur lingkungan maka akan terjadi pemisahan antara fase gas dan fase cair. Gas yang diperoleh dengan cara ini masih lembab karena mengandung uap hidrokarbon, sebaliknya cairan minyak mengandung gas. Jadi untuk bisa dipakai maka produk kasar tersebut harus diolah terlebih dahulu. Gas tidak mencair pada suhu ruangan dan pada tekanan beberapa bar diatas tekanan atmosfir. Gas yang berasal dari penyulingan minyak

bumi adalah propana dan butana yang kemudian dipisahkan dan dicairkan. Cairan yang diperoleh dikenal sebagai *Liquified Petroleum Gas* (LPG).

Sedangkan gas alam terdiri dari alkana suku rendah, yaitu metana, etana, propana dan butana, dengan metana sebagai komponen utamanya. Selain alkana, juga terdapat berbagai gas lain, seperti nitrogen, karbon dioksida dan hidrogen sulfida. Beberapa sumur gas juga mengandung helium. Metana terutama digunakan sebagai bahan bakar sumber hidrogen dan bahan pembuatan metanol. Etana dalam gas alam biasanya dipisahkan untuk keperluan industri.

2.3.1 Liquified Petroleum Gas (LPG)

Liquified Petroleum Gas (LPG) biasanya terdiri dari gas propana dan butana. Gas-gas tersebut diperoleh dari distilasi minyak mentah. Hasil destilasi minyak mentah adalah :

• LPG	1-2 %
• Naphtha ringan	5-30 %
• Naphtha berat	5-10 %
• Kerosin	10-15 %
• Minyak gas	15-20 %
• Minyak residu	40-50 %

Ada dua tipe umum LPG yaitu dalam bentuk propana komersial. Jenis ini terdiri dari 90 % propana dan propylene sedangkan sisanya adalah etana, ethene, butana dan butene. Tekanan uapnya pada 50 °C adalah antara 11,5 sampai 19,3 bar *gauge*. Sedangkan temperatur penguapannya adalah lebih kecil atau sama dengan 15°C. Bentuk lain dari LPG adalah butana komersial. Jenis ini sebagian besar terdiri dari butana dan butene. Sedangkan sisanya kurang dari 19% mengandung propana dan propylene. Tekanan uap jenis pada 50°C adalah kurang dari sama dengan 6,9 bar *gauge*. Temperatur penguapannya adalah kurang dari sama dengan 1°C.

LPG yang dijual di Indonesia terdiri dari 50 % gas propana dan 50 % gas butana. Beberapa sifat hidrokarbon yang membentuk LPG beserta komposisinya akan dibahas pada tabel 2.1 dan 2.2.

2.3.2 Gas Butana

Gas butana merupakan salah satu dari gas alam yang merupakan campuran dari gas hidrokarbon. Gas hidrokarbon merupakan gas alam yang mudah terbakar (Mokhatab *et al*, 2006). Gas butana merupakan komponen gas alam dengan empat atom karbon yang tidak memiliki warna. Komposisi gas butana pada gas alam sebelum dimurnikan ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rentang komposisi dari gas alam

Gas	Composition	Range
Methane	CH ₄	70-90%
Ethane	C ₂ H ₆	
Propane	C ₃ H ₈	0-20%
Butane	C ₄ H ₁₀	
Pentane and higher hydrocarbons	C ₅ H ₁₂	0-10%
Carbon dioxide	CO ₂	0-8%
Oxygen	O ₂	0-0.2%
Nitrogen	N ₂	0-5%
Hydrogen sulfide, carbonyl sulfide	H ₂ S, COS	0-5%
Rare gases: Argon, Helium, Neon, Xenon	A, He, Ne, Xe	trace

Sumber: Speight (2007, 62)

Massa jenis gas butana sebesar 2.11 kg/m³ pada temperatur ruangan. Kelarutan gas butana dalam air sebesar 61 mg/L pada temperatur 20°C. Gas butana memiliki berat molekul sebesar 58 g/mol. Berat molekul gas butana lebih besar dari gas metana (CH₄), etana (C₂H₆) dan propana (C₃H₈) yang masing-masing memiliki berat molekul 16, 30 dan 42 gram/mol. Karakteristik umum dari gas butana ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik umum dari gas alam

	Molecular Weight	Specific Gravity air = 1	Vapor Density	Boiling Point °C	Ignition Temperature °C	Flash Point °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)

2.3.3 Gas Propana

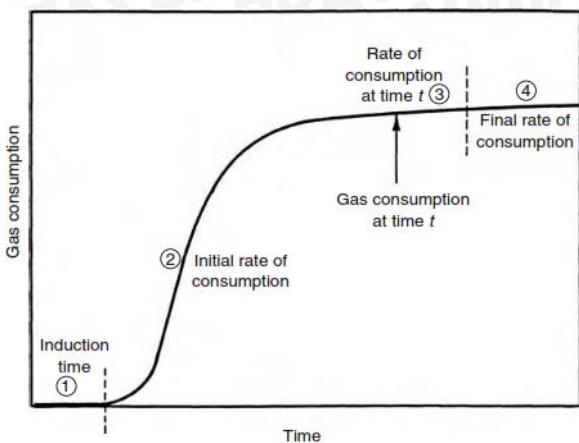
Gas propana merupakan gas hidrokarbon dengan tiga atom karbon dan delapan atom hidrogen (C_3H_8) yang berwujud gas dalam keadaan normal, tetapi dapat dikompresi dengan tekanan tertentu sehingga menjadi cairan. Gas propana umumnya digunakan sebagai bahan bakar untuk mesin, *barbeque* (pemanggang), dan rumah tangga Propana dijual sebagai bahan bakar, propana dikenal juga sebagai campuran LPG (*Liquified Petroleum Gas* - gas petroleum cair).

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 . Komposisi gas propana dalam gas alam serta karakteristik umum gas propana dapat di lihat pada tabel 2.1 dan 2.2.

2.4 Pembentukan Hidrat

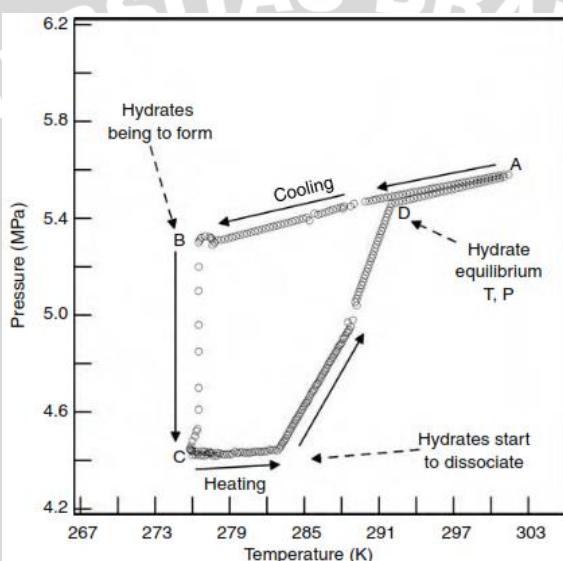
Pembentukan hidrat ditunjukkan pada gambar 2.2, di mana menjelaskan hubungan antara waktu dengan konsumsi gas dalam pembentukan dan pertumbuhan hidrat dalam sistem agitasi (kavitasi atau turbulensi) yang dikontrol pada tekanan dan temperatur konstan. Sel autoklaf (bejana) yang mengandung air ditekan dengan gas dengan tujuan mendapatkan kondisi P dan T yang tepat yang dapat membentuk hidrat. Untuk menjaga agar gas tetap menjadi hidrat maka gas ditambahkan dari suatu bejana dengan tekanan tetap konstan. Tingkat konsumsi gas adalah tingkat pembentukan gas hidrat yang dapat dikendalikan dengan kinetik atau perpindahan panas atau massa.

Waktu induksi menunjukkan waktu yang berlalu sampai terbentuknya fase hidrat gas, atau waktu dimana sampai jumlah mampu konsumsi mol gas hidrat yang terdeteksi, hal ini ditunjukkan pada gambar 2.2. Waktu induksi merupakan nukleasi hidrat atau jeda waktu dari hidrat. Waktu merupakan waktu yang dibutuhkan untuk hidrat dapat dideteksi secara makroskopik, setelah nukleasi dan terjadinya pertumbuhan, sedangkan nukleasi yang terjadi dalam skala ukuran kecil sulit untuk dideteksi. Selama waktu induksi, kondisi temperatur hidrat dikondisikan pada kondisi stabil. Akan tetapi hidrat tidak terbentuk pada waktu ini karena hidrat masih dalam kondisi menstabil (kemampuan suatu sistem *non-equilibrium* untuk bertahan dalam jangka waktu yang panjang). Penelitian lain dari pembentukan hidrat dan penguraian hidrat ditunjukkan pada gambar 2.3, yang menjelaskan hubungan antara tekanan dan temperatur. Pada penelitian ini besarnya temperatur akan berubah dan volume tetap konstan selama proses penelitian.



Gambar 2.2 Pengaruh waktu terhadap konsumsi gas pada pembentukan hidrat.

Sumber: Sloan (2008, 115)



Gambar 2.3 Garis hubungan tekanan dan temperatur pada hidrat metana.

Sumber: Sloan (2008, 115)

Pada sistem dengan kondisi menstabil mencegah terjadinya pembentukan hidrat secara cepat pada titik D (tekanan dan temperatur kesetimbangan hidrat) yang ditunjukkan gambar 2.3. Titik A menuju titik B merupakan periode induksi. Pada titik B hidrat sudah mulai terbentuk. Tekanan menurun secara cepat ke titik C sampai 1.01 MPa atau 10 atm dalam waktu setengah jam. Kemudian titik B ke titik C termasuk pada periode pertumbuhan.

Periode induksi dipengaruhi oleh luas permukaan dari sistem, tingkat panas atau perpindahan massa dan tingkat agitasi (kavitas atau turbulensi). Periode induksi juga merupakan fungsi dari variabel dependen waktu seperti air, komposisi gas, dan partikel asing.

2.5 Kelarutan Gas Alam dalam Air

Kelarutan gas non-polar pada air dalam fase cair sangat kecil pada tekanan di atas maupun di bawah titik pembentukan hidrat. Kelarutan gas non-polar pada air lebih rendah dari kelarutan gas non-polar dalam sikloheksana. Nilai kelarutan, entalpi pengenceran, entropi dan kapasitas panas dari larutan pada temperatur 298 K ditunjukkan pada tabel 2.3. Entropi adalah ukuran ketidakteraturan, entropi negatif terbesar dari tabel 2.3 dianggap sebagai bukti penciptaan struktur dalam air. Baru-baru ini telah diteliti bahwa penciptaan rongga dapat penurunan entropi pada struktur. Besar perubahan kapasitas panas juga menunjukkan efek penataan zat terlarut pada molekul air.

Kelarutan dan sifat termodinamika gas non-polar dalam air dengan fase cair menyebabkan pembentukan hidrat dengan gas-gas tertentu lebih stabil daripada yang lainnya. Dalam konsep termodinamika (Frank dan Reid, 1973) menunjukkan bahwa berbagai ukuran molekul optimal untuk kelarutan maksimumnya sama dengan kestabilan hidrat. Frank dan Reid mencatat, bahwa struktur klatrat berumur panjang berada pada stabilisasi struktur air oleh zat terlarut non polar yang menyerupai stabilisasi klarat dalam molekul air. Struktur klatrat berumur panjang yang ada pada larutan. Stabilitas struktur air oleh zat terlarut non-polar menyerupai stabilitas air dalam kisi klatrat. Kalor yang dibutuhkan untuk pembentukan hidrat (termasuk metana, etana, propana dan hidrogen sulfida) besarnya sama dengan kalor pembentukan hidrat dari gas dan es sehingga menunjukkan interaksi zat terlarut dengan molekul air disekitarnya.

Tabel 2.3 Sifat larutan dari komponen hidrat gas alam pada temperatur 298 K

Component	Solubility ^a $10^5 x_2$	$-\Delta H_{\text{soln}}$ ^b kJ/mol	$-\Delta S_{\text{soln}}$ ^c J/(K mol)	ΔC_p ^d kJ/(K mol)
Methane	2.48	13.26	44.5	55
Ethane	3.10	16.99	57.0	66
Propane	2.73	21.17	71.0	70
Iso-butane ^e	1.69	25.87	86.8	NA
Nitrogen	1.19	10.46	35.1	112
Hydrogen sulfide ^f	177.9	26.35	88.4	36
Carbon dioxide ^g	60.8	19.43	65.2	34

^aSolubility at 101.3 kPa from Miller and Hildebrand (1968) except i-C₄H₁₀, H₂S, and CO₂, as indicated below.

^b $\bar{H}_{L2}^o - \bar{H}_G^*$, transfer from gas to infinite dilution liquid, from Franks and Reid (1973).

^c $\bar{S}_{L2}^o - \bar{S}_G^*$, transfer from gas to liquid, standard state, fugacity = 101.3 kPa.

^dC_p from Alexander et al. (1971) except CH₄, C₂H₆, and H₂S from D'Orazio and Wood (1963).

^ei-C₄H₁₀ properties calculated from Wetlaufer et al. (1964).

^fH₂S properties calculated from Carroll (1990), Selleck et al. (1952), and hypothetical ΔH_{soln}, ΔS_{soln} extrapolated below Q₂ (302 K).

^gCO₂ properties calculated from Alexander et al. (1971).

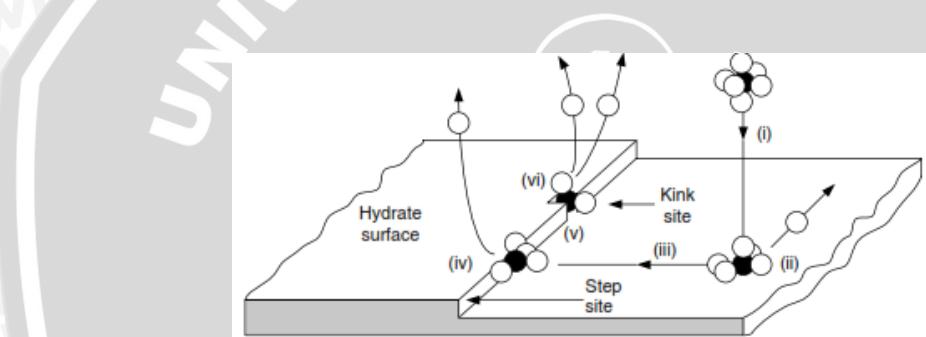
Sumber: Sloan (2008, 120)



2.6 Pertumbuhan Hidrat

Selama proses pertumbuhan hidrat hal yang terpenting adalah perpindahan massa dan panas. Pada gambar 2.3, pertumbuhan hidrat ditunjukkan pada periode antara titik B dan C yang secara signifikan gas dimasukkan ke dalam fase hidrat. Pada gambar 2.2, periode pertumbuhan hidrat ditunjukkan oleh nomor 2. Proses yang paling mendominasi pada saat pertumbuhan hidrat adalah ketika perpindahan massa gas menuju ke permukaan hidrat. Hal ini dikarenakan hidrat mengandung lebih dari 15% mol gas. Selain itu, panas eksotermis dari pembentukan hidrat juga dapat mengontrol pertumbuhan hidrat

Pada tingkat molekul, pertumbuhan hidrat dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu kinetika pertumbuhan kristal pada permukaan hidrat, perpindahan massa dari komponen dari permukaan kristal yang tumbuh dan perpindahan panas dari panas eksotermis dari pembentukan hidrat yang jauh dari permukaan kristal hidrat yang tumbuh.



Gambar 2.4 Mekanisme pertumbuhan kristal hidrat
Sumber: Sloan (2008, 151)

Pada gambar 2.4 menunjukkan proses pertumbuhan kristal hidrat dengan tahapan sebagai berikut:

- i. Molekul gas pada gugus air sementara dipindahkan menuju permukaan kristal yang mengalami pertumbuhan. Gugus ini menuju permukaan dengan energi bebas Gibbs yang dihasilkan permukaan kristal.
- ii. Gugus tersebut teradsorpsi pada permukaan kristal. Kristal padat menghasilkan medan gaya ke dalam fluida sehingga menyebabkan gugus tersebut mengikuti permukaan. Setelah adsorbsi (penyerapan), beberapa molekul air terlepas dari gugus dan berdifusi menjauh.
- iii. Difusi gugus pada permukaan memasuki tahap di dalam kristal. Spesimen yang terabsorpsi menyebar hanya dalam dua dimensi sepanjang permukaan karena terdapat medan gaya yang tegak lurus dengan permukaan kristal.

- iv. Gugus menempel pada *step* kristal dengan melepas molekul pelarut. Dua permukaan padat dari *step* memberikan sebuah gaya (dengan dua interaksi permukaan reaktan) pada sepesimen yang bergerak.
- v. Gugus hanya dapat bergerak pada satu dimensi sepanjang *step*. Gugus berdifusi dari daerah *step* menuju ke daerah *kink* (titik cacat pada daerah *step*).
- vi. Gugus telah diadsorpsi pada daerah *kink*. Pada daerah ini terdapat tiga atau lebih permukaan padat sehingga memberikan gaya yang lebih besar pada spesimen.
- vii. Setelah fase VI gugus akan bergerak pada tiga dimensi (tidak ditampilkan).

Pada gambar 2.4 nomor (ii), (iv) dan (vi) gugus diintegrasikan ke permukaan kristal. Gugus tersebut akan masuk ke dalam rongga yang tepat dan molekul pelarut berlebih akan dilepaskan. Jika molekul gas terlalu besar dan tidak dapat masuk ke dalam rongga, maka rongga akan mengalami penataan ulang selama beberapa waktu. Penataan ulang dalam rongga yang tepat dapat menjadi tingkat kinetik dan tidak ada rongga yang meregang. Ikatan rongga selesai dengan integrasi akhir dari gugus ke daerah *kink*. Molekul gugus berlebih akan dilepaskan dan spesimen kehilangan energi residu pergerakan sepanjang permukaan kristal.

2.7 Penguraian Hidrat

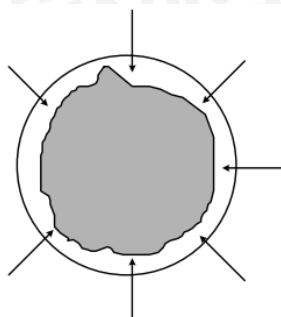
Penguraian hidrat merupakan kunci penting dalam proses produksi gas dari hidrat gas alam dan masalah pemipaan. Penguraian hidrat merupakan proses endotermik dengan panas yang bersumber dari luar sistem untuk memecah ikatan hidrogen antara molekul air untuk menguraikan hidrat menjadi air dan gas.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk proses penguraian hidrat dalam distribusi perpipaan ataupun eksplorasi hidrat gas alam antara lain: *depressurization, thermal stimulation, thermodynamic inhibitor injection atau methods combination*.

Proses penguraian hidrat dimulai ketika hidrat dipanaskan dari titik C sehingga tekanan sistem meningkat yang ditunjukkan oleh gambar 2.3. Pada awal pemanasan tekanan sistem meningkat perlahan dan menjadi tajam sepanjang garis disosiasi hidrat (antara titik C dan titik D). Pada titik D, hidrat telah menjadi air dan gas. Titik D merupakan kondisi setimbang hidrat (tekanan dan temperatur penguraian hidrat).

Gambaran konseptual modern dari penguraian hidrat melibatkan penguraian hidrat radial yang ditunjukkan pada gambar 2.5 daripada penguraian hidrat aksial pada gambar 2.6. Gambaran paling akurat berdasarkan perpindahan panas dari penguraian hidrat, dimana hidrat berada di tengah dikelilingi fasa air stasioner. Fasa air stasioner

dapat menghasilkan panas untuk penguraian hidrat (Davies et al., 2006). Disosiasi radial merupakan fenomena fisik yang terjadi secara kebetulan karena penguraian hidrat lebih cepat secara signifikan dibandingkan dengan disosiasi aksial. Hal ini disebabkan oleh dimensi radial lebih kecil dibandingkan dimensi longitudinal dan daerah perpindahan panas permukaan radial lebih besar daripada permukaan aksial.

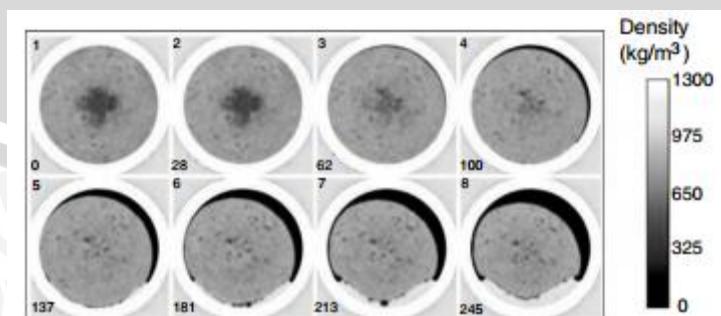


Gambar 2.5 Disosiasi radial
Sumber: Sloan (2008, 177)



Gambar 2.6 Disosiasi aksial
Sumber: Sloan (2008, 177)

Struktur disosiasi radial didukung dengan bukti secara langsung dari *X-ray Computed Tomography* (CT) saat melakukan penelitian disosiasi metana pada inti hidrat (Gupta, 2007). Penelitian dengan gambar CT X-Ray menangkap kepadatan dari profil inti hidrat, dan menunjukkan hidrat memisah secara disosiasi radial.

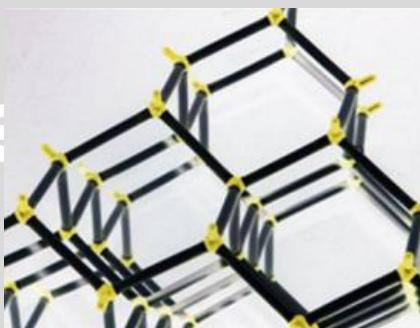


Gambar 2.7 Uji X-Ray CT Metana
Sumber: Sloan (2008, 177)

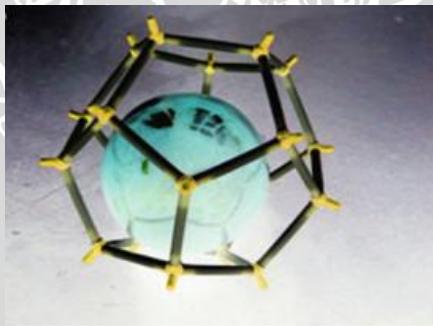
2.8 Struktur Hidrat Gas Alam

2.8.1 Macam-macam Struktur Molekul Hidrat Gas Alam

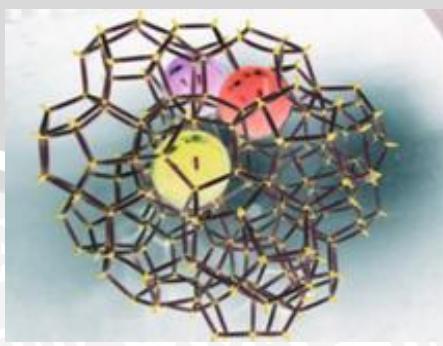
Tekanan yang tinggi dan suhu yang rendah akan mengubah mol air sehingga menyebabkan terbentuknya geometri 3 dimensi dan interkoneksi antar molekul air. Hal ini membentuk struktur kristal yang memiliki rongga dan di dalamnya dapat di tumpati oleh molekul tamu. Hidrat diklasifikasikan berdasarkan molekul air yang membentuk kristal es (Carrol, 2009).



Gambar 2.8 Struktur kristal es
Sumber: Thakur (2011, 53)

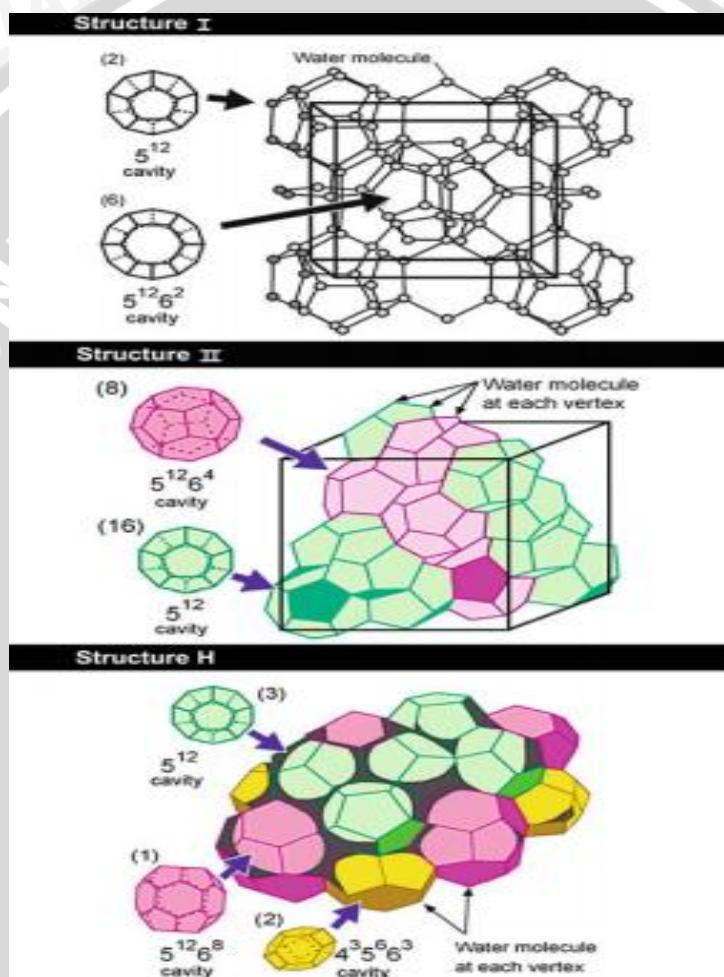


Gambar 2.9 Struktur kristal gas hidrat
Sumber: Thakur (2011, 53)



Gambar 2.10 Struktur kristal gas hidrat rongga besar
Sumber: Thakur (2011, 53)

Secara umum hidrat gas alam termasuk pada tiga jenis struktur kristal yaitu struktur kubus I (sI), struktur kubus II (sII) dan struktur heksagonal (sH) yang ditunjukkan gambar 2.11. Akan tetapi pada ketiga struktur hidrat tersebut mengandung sekitar 85% air, sehingga sebagian besar sifat mekanik dari hidrat mirip dengan es. Struktur kubus I dan struktur kubus II termasuk struktur hidrat yang sederhana sedangkan struktur heksagonal memiliki struktur yang lebih kompleks. Perbandingan dari ketiga struktur hidrat yaitu struktur kubus I dan II serta struktur heksagonal ditunjukkan oleh tabel 2.4.



Gambar 2.11 Struktur kristal hidrat. (a) sI, (b) sII dan (c) sH.
Sumber: Thakur (2011, 55)

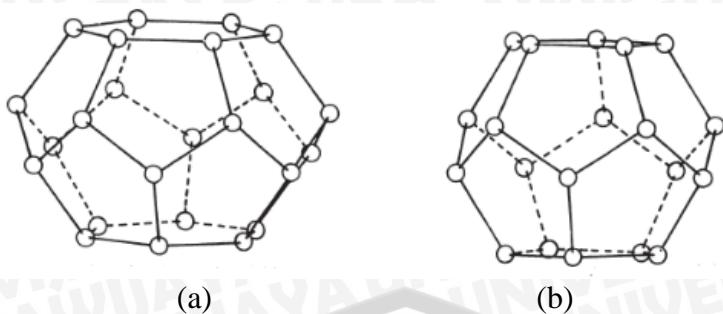
Tabel 2.4 Perbandingan antara struktur kubus I dan II serta struktur heksagonal

	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 ₂ O	X . 5 2/3 H ₂ O	5X . Y . 34 H ₂ O
Mole fraction hydrate former	0.1481	0.1500	0.1500
Only large cages filled	X . 7 2/3 H ₂ O	X . 17 H ₂ O	—
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	

Sumber: Carroll (2009, 18)

2.8.1.1 Struktur Kubus I

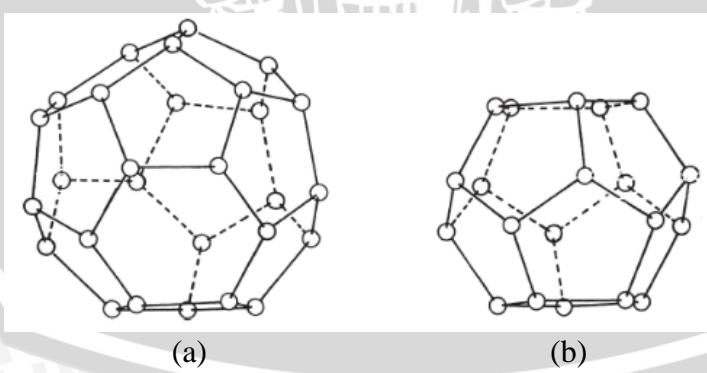
Struktur hidrat yang paling sederhana adalah struktur kubus I. Struktur kubus I terdiri 46 molekul air. Pada struktur kubus I molekul air akan membentuk dua struktur yaitu dodekahedron, yang merupakan polihedron yang memiliki 12 sisi yang tiap sisinya berbentuk segilima beraturan. Atau struktur tetrakaidekahedron yang merupakan polihedron yang memiliki 14 sisi dengan 12 sisi pentagonal dan 2 sisi heksagonal, masing-masing struktur ditunjukkan pada gambar 2.12. Struktur kubus I juga dibentuk oleh molekul gas tamu yang memiliki diameter antara 4.2 – 6 Å seperti gas metana (CH₄), etana (C₂H₆), karbon dioksida (CO₂) dan hidrogen sulfida (H₂S). Molekul gas CH₄, CO₂ dan H₂S dapat menempati kedua struktur. Sedangkan molekul gas C₂H₆ hanya mampu menempati struktur polihedron 14 sisi. Ukuran dari dodekahedron lebih kecil dari tetrakaidekahedron, tetrakaidekahedron memiliki rongga yang lebih besar untuk di tempati molekul gas alam.



Gambar 2.12 Struktur kubus I (a) tetrakaidekahedron (b) dodekahedron.
Sumber : Carrol (2009, 19)

2.8.1.2 Struktur Kubus II

Struktur kubus II merupakan struktur hidrat yang lebih kompleks dari struktur kubus I, pada struktur ini terdiri dari 136 molekul air. Molekul air akan membentuk dua struktur dodekahedron atau heksakaidekahedron, yaitu struktur yang merupakan polihedron yang memiliki 16 sisi dengan 12 sisi pentagonal dan 4 sisi heksagonal. Kedua struktur kubus II ditunjukkan pada gambar 2.13. Ukuran dari dodekahedron lebih kecil dari heksakaidekahedron. Struktur kubus II juga dibentuk oleh molekul gas yang memiliki diameter kecil ($d < 4.2 \text{ \AA}$) seperti gas nitrogen (N_2) sebagai gas tunggal. Diameter molekul yang lebih besar antara 6 - 7 \AA seperti propana (C_3H_8), pentana (C_5H_{12}) dan iso-butana juga akan membentuk struktur kubus II. Molekul gas N_2 dapat menempati kedua struktur, sedangkan molekul gas C_3H_8 , C_5H_{12} dan iso-butana hanya menempati struktur heksakaidekahedron.



Gambar 2.13 Struktur kubus I (a) heksakaidekahedron (b) dodekahedron.
Sumber: Carrol (2009, 19)

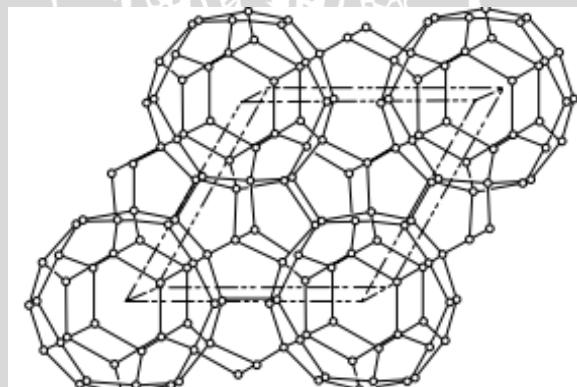
2.8.1.3 Struktur Heksagonal

Struktur heksagonal merupakan struktur hidrat yang lebih kompleks dan juga jarang ditemui jika dibandingkan dengan struktur kubus I dan II. Satuan kristal hidrat dibentuk dari 34 molekul air dengan tiga struktur dodekahedron (kecil), dua struktur

dodekahedron tidak beraturan (sedang) atau satu struktur ikosahedron tidak beraturan (besar).

Molekul air akan membentuk tiga strukur, yang meliputi dodekahedron, dodekahedron tidak beraturan atau ikosahedron tidak beraturan. Dodekahedron tidak beraturan merupakan polihedron yang memiliki 12 sisi dengan 3 sisi persegi, 6 sisi pentagonal dan 3 sisi heksagonal. Sedangkan ikosahedron tidak beraturan merupakan polihedron yang memiliki 20 sisi dengan 12 sisi pentagonal dan 8 sisi heksagonal.

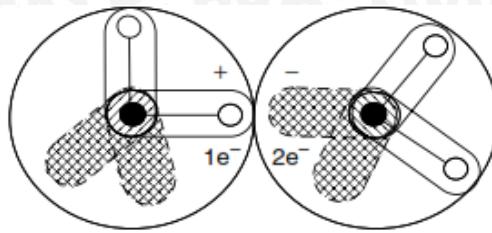
Struktur heksagonal juga dibentuk oleh 2 molekul gas yaitu melekul besar (termasuk beberapa jenis hidrokarbon) dan molekul kecil yang membentuk struktur H. Molekul besar memiliki diameter antara 7 – 9 Å seperti gas 2-metilbutana (iso-butana), 2,2-dimetilbutana (neo-heksana), 2,3 dimetilbutana, 2,2,3-trimetilbutana, 2,2-dimetilpentana, 3,3-dimetilpentana, metilsiklopentana, etilsiklopentana, metilsikloheksana, sikloheptana dan siklooctana. Selain itu struktur H juga dapat dibentuk oleh molekul yang lebih kecil seperti metana, hidrogen sulfida atau nitrogen.



Gambar 2.14 Struktur Heksagonal
Sumber: Sloan (2008, 14)

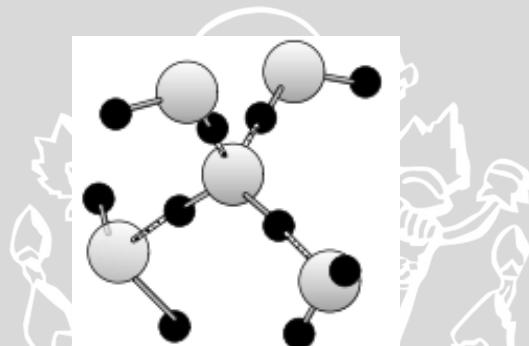
2.8.2 Ikatan Hidrogen

Dalam penelitiannya, Latimer dan Rodebush (1920) tentang ikatan hidrogen menggunakan muatan titik elektrostatik sederhana sebagai model untuk molekul air. Molekul air dideskripsikan memiliki dua yaitu kutub positif dan dua kutub negatif. Ikatan hidrogen pada air ditunjukkan pada gambar 2.15 disebabkan oleh gaya tarik-menarik antara kutub positif satu molekul dan kutub negatif molekul lainnya. Pada es dan hidrat, hanya satu ikatan hidrogen antara dua atom oksigen dengan jarak antar inti oksigen 2.76 Å. Sudut ikatan O-O-O rata-rata pada es dan hidrat sebesar 109.5° (Davidson, 1983).



Gambar 2.15 Ikatan hidrogen antara dua molekul
Sumber: Sloan (2008, 50)

Melalui ikatan hidrogen, setiap molekul air yang melekat pada empat molekul lain menyumbangkan dua dan menerima dua ikatan hidrogen yang ditunjukkan pada gambar 2.16. Setiap proton dari molekul tertarik ke kutub negatif dari molekul lainnya. Dua kutub negatif pada molekul awal menarik kutub positif dari dua molekul air lainnya. Empat molekul sekitarnya disusun tetrahedral sekitar molekul yang menjadi pusatnya.



Gambar 2.16 Ikatan hidrogen antara empat molekul
Sumber: Sloan (2008, 50)

Energi yang dibutuhkan untuk memutus satu ikatan hidrogen sebesar 5 kcal/mol lebih besar daripada memutus ikatan van der Waals yang sebesar 0.3 kcal/mol seperti molekul nonpolar pada suatu fluida. Energi ikatan hidrogen berbeda dari ikatan kovalen kimia yang sebesar 102 kcal/mol seperti ikatan hidrogen dengan oksigen pada molekul air (Cottrell, 1958).

2.8.3 Karakteristik Molekul Gas Alam pada Hidrat

Penelitian Jeffrey (1967) menunjukkan bahwa karakteristik molekul gas hidrat dibagi menjadi empat, yaitu senyawa hidrofobik, gas asam yang larut dalam air, senyawa polar yang larut dalam air dan garam alkilamonium yang larut dalam air. Sifat kimia berdasarkan skema klasifikasi dengan menyatakan molekul gas tidak harus mengandung ikatan hidrogen tunggal atau kelompok ikatan hidrogen yang kuat untuk menjadikannya hidrat gas alam. Sebagian besar molekul gas alam yang membentuk hidrat merupakan

golongan hidrofobik kecuali hidrogen sulfida dan karbon dioksida, yang termasuk golongan gas asam yang larut dalam air. Etilen oksida (EO) pada struktur kubus I dan tetrahidofuran (THF) pada struktur kubus II termasuk dalam golongan senyawa polar yang larut dalam air.

Penelitian Davidson (1971) menunjukkan bahwa semua molekul gas antara ukuran molekul gas argon (3.8 Å) dan siklobutanon (6.5 Å) dapat membentuk hidrat gas alam dengan membentuk kristal struktur kubus I dan II. Struktur sederhana terbesar yang dapat membentuk struktur kubus II adalah tetrahidrofiran (THP) dengan ikatan van der Waals berdiameter 6.95 Å. Molekul gas lain yang mendekati THP adalah m-dioksana, p-dioksana dan karbon tetraklorida yang setiap molekulnya memiliki diameter 6.8 Å. Molekul gas yang memiliki ukuran antara 7.1-9 Å dapat membentuk struktur heksagonal, struktur yang lebih menguntungkan karena bisa di tempati lebih dari satu jenis gas alam.

2.8.4 Perbandingan Hidrat dengan Es

Semua rongga pada struktur kubus I dan II ditempati molekul gas pengisi sebagai hidrat sederhana. Misalnya, dengan xenon atau argon, molekul air minimum menunjukkan molekul tiap gas. Kedua struktur ini menghasilkan struktur dengan 85% mol air. Jika semua jenis rongga terisi membentuk struktur H dengan dua gas pengisi, fraksi mol juga sebesar 85%. Pada hidrat non-stoikiometri, fraksi mol air selalu lebih tinggi dari 85%.

Dengan tingginya kandungan air, hal ini bermanfaat untuk pendekatan sifat-sifat hidrat sebagai variasi dari es. Davidson (1973) menyatakan bahwa perbandingan ikatan hidrogen pada hidrat rata-rata lebih panjang 1% daripada es dan besar sudut O-O-O berbeda dari es yang memiliki struktur tetrahedral. Struktur tetrahedral memiliki sudut O-O-O sebesar 3.7° sedangkan struktur kubus I dan II sebesar 3.0°.

Tabel 2.5 Perbandingan sifat dari es, hidrat sI dan sII

Property	Ice	Structure I	Structure II
Structure and dynamics			
Crystallographic unit cell space group	P6 ₃ /mmc	Pm3n	Fd3m
No. of H ₂ O 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 ₂ O reorientation time at 273 K (μs)	21	~10	~10
H ₂ O 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) at 263 K	2.23	0.49 ± 0.02	0.51 ± 0.02
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)

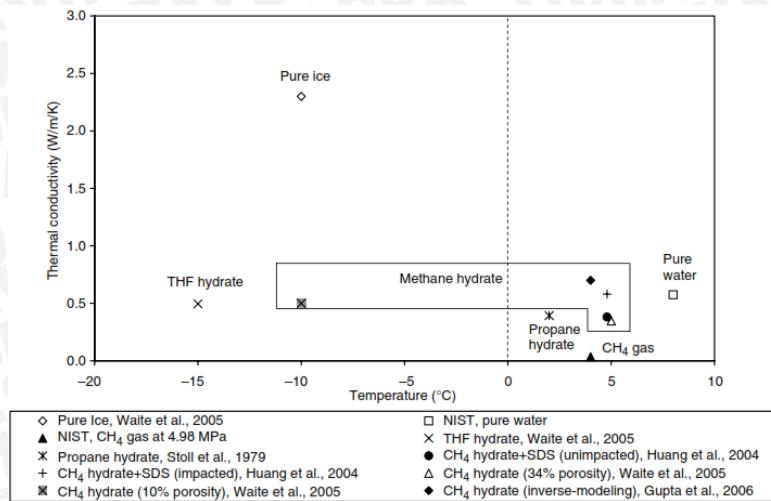
2.9 Sifat Mekanik

Pengukuran deformasi kompresi pada temperatur 260-273 K dan tegangan konstan dari gas hidrat metana menghasilkan kekuatan (ketahanan mulur) dua puluh kali lebih kuat daripada kekuatan es (Stern et al., 1996).

Pada penerapan tegangan yang sama, es mengalami deformasi lebih cepat daripada hidrat metana murni. Tingginya kekuatan mekanik dari hidrat metana dibandingkan dengan es berhubungan dengan laju difusi dari air dalam hidrat metana dua kali lebih lambat daripada es (Durham, 2003).

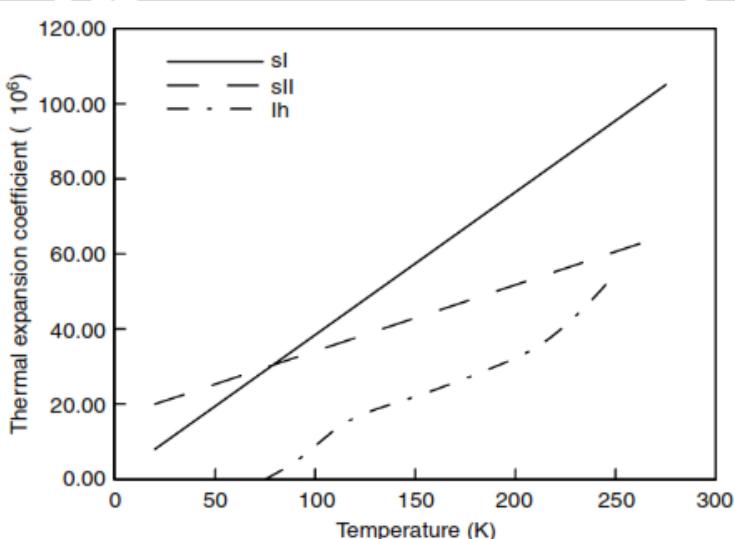
2.10 Sifat Termal

Stroll dan Bryan (1979) mengukur konduktivitas termal dari hidrat propana sebesar 0.393 W/mK pada temperatur 215.15 K lebih kecil dari es (2.23 W/mK). Konduktivitas termal hidrat yang kecil sesuai dengan nilai konduktivitas termal tiap struktur yang ditunjukkan pada tabel 2.5. Konduktivitas termal hidrat padat sebesar 0.5-0.58 W/mK mendekati besarnya konduktivitas termal air pada fase cair (0.605 W/mK). Perbandingan konduktivitas termal dari struktur air ketika menjadi air, es dan hidrat ditunjukkan pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Konduktivitas termal dari gas, air, es dan hidrat.

Sumber: Sloan (2008, 98)



Gambar 2.18 Hubungan temperatur terhadap ekspansi termal linier hidrat sI, sII dan es Ih
Sumber: Sloan (2008, 101)

Koefisien ekspansi termal linier dari struktur hidrat I, II dan H dapat ditentukan melalui dilatometri (Roberts et al., 1984), difraksi bubuk neutron dan x-ray. Koefisien ekspansi termal hidrat dengan struktur H pada temperatur 200 K diukur menggunakan heksametiletana dan 2,2-metilbutana pada 150-200 K sama dengan koefisien ekspansi termal pada struktur kubus I dan II. Akan tetapi perbedaan terjadi pada ekspansi linier pada struktur H. Pada temperatur 200 K, ekspansi termal linier untuk sI adalah $77 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, sII adalah $52 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, sH adalah $a = 67 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $c = 59 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ dan es adalah $a = 56 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $c = 57 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Pada gambar 2.20 menunjukkan hubungan temperatur terhadap ekspansi termal linier pada hidrat sI, sII dan es Ih.

2.11 Gas Ideal dan Teori Kinetika Molekul Gas

2.11.1 Gas Ideal

Gas ideal adalah gas teoritis yang terdiri dari partikel-partikel titik yang bergerak secara acak dan tidak saling berinteraksi. Gas ideal merupakan zat imajiner yang memenuhi persamaan 1. Konsep gas ideal sangat berguna karena memenuhi hukum gas ideal, sebuah persamaan keadaan yang disederhanakan, sehingga dapat dianalisis dengan mekanika statistika. Sebuah eksperimen telah mengamati bahwa hubungan gas ideal erat kaitannya dengan pendekatan P-v-T pada perilaku gas ideal dengan kepadatan rendah. Pada tekanan rendah dan suhu tinggi kepadatan gas akan menurun sehingga gas berperilaku sebagai gas ideal

Pada kondisi normal seperti temperatur dan tekanan standar, kebanyakan gas nyata tidak sesuai dengan gas ideal, namun dapat diberlakukan seperti gas ideal. Banyak gas seperti nitrogen, oksigen, hidrogen, gas mulia, karbon dioksida dan gas alam dapat diperlakukan seperti gas ideal dengan perbedaan yang masih dapat ditolerir.

2.11.2 Persamaan Gas Ideal

Persamaan gas ideal ditunjukkan pada persamaan berikut, yaitu:

$$V = m v \rightarrow P V = m R T \quad (1)$$

$$m R = (MN)R = N R_\mu \rightarrow P V = N R_\mu T \quad (2)$$

$$V = N \bar{v} \rightarrow P \bar{v} = R_\mu T \quad (3)$$

(Cengel, 2006;138)

Keterangan:

P = Tekanan gas (Pa)

V = Volume gas pada sistem (m^3)

N = Jumlah mol gas (mol)

R = Konstanta gas (KJ/kg.K)

T = Temperatur absolute (K)

m = Massa gas (kg)

v = Volume spesifik (m^3/kg)

\bar{v} = Volume spesifik molar(($m^3/kmol$)

R_μ = Konstanta gas universal (8.314 KJ/kmol.K)

2.11.3 Persamaan Gas Nyata

Persamaan gas nyata pada persamaan 4 dengan penambahan faktor kompresibilitas pada persamaan gas ideal, yaitu:

$$P V = N Z R T \quad (\text{Ganji, 2007}) \quad (4)$$

Keterangan:

Z = Faktor kompresibilitas

Faktor kompresibilitas (Z) adalah rasio molar volume gas terhadap volume gas ideal pada tekanan dan temperatur sama. Faktor kompresibilitas merupakan salah satu properti termodinamika yang berguna untuk memodifikasi hukum gas ideal untuk melihat perilaku gas nyata. Secara umum penyimpangan terjadi dari keadaan ideal ketika gas mendekati perubahan fasa, suhu yang semakin rendah atau tekanan yang semakin tinggi. Sehingga digunakan faktor kompresibilitas untuk mengukur penyimpangan dari perilaku gas ideal.

Nilai faktor kompresibilitas untuk gas ideal sebesar 1, untuk gas yang memiliki nilai faktor kompresibilitas jauh dari angka 1 maka dapat dikatakan bahwa terjadi penyimpangan dari perilaku gas ideal. Gas berperilaku berbeda atau tidak berperilaku seperti gas ideal ketika gas pada suhu rendah dan tekanan tinggi, akan tetapi gas akan berperilaku seperti gas ideal ketika suhu dan tekanan normal sama dengan suhu dan tekanan kritisnya.

Dengan adanya persamaan gas ideal maupun persamaan gas nyata digunakan untuk menentukan besar gas yang menjadi hidrat. Karena terjadinya hidrat ditandai dengan adanya perubahan tekanan dan perubahan suhu pada sistem.

2.11.4 Teori Kinetika Molekul Gas

Teori kinetik molekul gas menjelaskan tentang sifat-sifat makroskopis gas, seperti tekanan, temperatur, volume dengan menganggap komposisi dan gerak molekul. Secara esensial, teori ini mengungkapkan bahwa tekanan bukan tolakan antara molekul diam, namun tumbukan antara molekul-molekul yang bergerak dengan kecepatan tertentu. Teori kinetik disebut juga teori kinetik molekul atau teori tumbukan. Asumsi dasar teori kinetik molekul gas adalah sebagai berikut.

1. Gas bergerak secara garis lurus, pergerakan molekul gas harus sesuai dengan Hukum Newton. Gas merupakan kumpulan dari partikel kecil (molekul).

2. Molekul-molekul pada suatu gas tidak memiliki volume dan merupakan sebuah titik.
3. Satu molekul dengan molekul lainnya saling bertumbukan secara elastis sempurna sehingga tidak ada energi yang diperoleh maupun yang hilang selama tumbukan.
4. Tidak ada gaya tarik atau gaya tolak antara setiap molekul.
5. Adanya energi kinetik rata-rata molekul gas.

2.11.4.1 Pendekatan Teori Kinetika dengan Tekanan Gas Ideal

Suatu gas di dalam bejana yang memiliki dinding-dinding elastik sempurna akan mengalami tumbukan antar partikel, namun tumbukan ini tidak akan mempengaruhi kecepatan partikel sehingga perubahan momentum partikel sama dengan $2mv$. Ketika partikel mencapai tempat tertentu tanpa menumbuk partikel lainnya maka banyaknya tumbukan persatuan waktu oleh partikel adalah $2mv \times v/2l$. Sehingga dari gaya tersebut bisa dihitung tekanan (P) yang diberikan partikel ke dinding dengan membagi gaya tersebut dengan luasan.

$$P = \frac{\sum m v^2}{l^2}$$

Jika N adalah jumlah seluruh partikel dalam wadah dan NV adalah banyaknya partikel persatuan volume yang tak lain mv adalah massa persatuan volume (ρ). Untuk setiap partikel yang menempati suatu volume maka $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$, karena terdapat banyak partikel yang bergerak secara acak maka nilai kecepatan adalah sepertiga dari nilai rata-rata v^2 , sehingga di dapatkan:

$$P = \frac{1}{3} \rho v^2 \quad (\text{Wardana, 2008;53}) \quad (5)$$

Keterangan:

P = Tekanan (Pa)

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

v = Kecepatan partikel gas (m/s)

2.11.4.2 Pendekatan Teori Kinetika dengan Temperatur Gas Ideal

Jika rumus pada persamaan 4 dikalikan dengan volume maka ρV adalah massa dari gas keseluruhan. Dapat juga dituliskan massa suatu gas sebagai NM , di mana N merupakan banyaknya mol gas. Kuantitas $1/3 NMv^2$ adalah $2/3$ dari keseluruhan energi

kinetik molekul-molekul. Dengan menggabungkannya dengan persamaan gas ideal pada persamaan 1 maka didapatkan persamaan 6:

$$E_k = \frac{3}{2} k T \quad (\text{Wardana, 2008;54}) \quad (6)$$

Persamaan 6 menunjukkan temperatur suatu gas adalah energi kinetik partikel-partikel gas atau getaran molekul-molekulnya.

2.11.5 Konsep Mol

Partikel materi (atom, molekul atau ion) mempunyai ukuran yang sangat kecil. Namun sekecil apapun jumlah zat akan mengandung sejumlah besar partikel, sehingga dalam penggunaan bilangan yang sangat besar ini digunakan satuan mol. Mol berasal dari bahasa latin moles yaitu sejumlah massa. Istilah molekul merupakan bentuk lain dari kata moles yang artinya sejumlah kecil massa.

$$1 \text{ mol} = 6,02 \times 10^{23} \text{ (molekul)}$$

Bilangan $6,02 \times 10^{23}$ disebut tetapan Avogadro. Tetapan Avogadro adalah satuan jumlah yang luar biasa besarnya. Hubungan mol dengan jumlah partikel adalah:

$$x = N \times 6.02 \cdot 10^{23}$$

N menunjukkan jumlah mol. Jumlah mol tentu berbeda dengan massa molar, di mana massa molar menyatakan jumlah massa 1 mol zat sebesar:

$$m = M N \quad (\text{Cengel, 2006;138}) \quad (7)$$

m menyatakan massa dari zat sedangkan M menyatakan massa molar.

2.12 Hipotesa

Berdasarkan kajian teori yang telah dibahas sebelumnya maka didapatkan hubungan antara karakteristik pembentukan gas hidrat propana butana sebanding dengan semakin tinggi tekanan yang diberikan, karena gas hidrat propana butana akan terbentuk dengan diberikannya tekanan awal pembentukan yang tinggi, yang diimbangi dengan temperatur sistem yang rendah.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mengetahui pengaruh variasi tekanan terhadap karakteristik pembentukan gas hidrat propana butana.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian dilaksanakan pada tanggal 1 April – 30 Mei 2015.

3.3 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel yang digunakan yaitu:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besar nilainya ditentukan oleh peneliti dan harganya dapat diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari objek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduannya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi tekanan sebesar 2 bar, 3 bar dan 4 bar.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung dari nilai variabel bebasnya dan tidak dapat ditentukan sendiri oleh peneliti. Variabel terikat dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besar nilainya ditentukan sebelum penelitian dan nilainya dikondisikan konstan selama proses penelitian berlangsung. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah:

- Volume air demin yang dimasukkan pada *crystallizer* adalah 50 cm³
- Temperatur *cooling bath* saat pembentukan dan stabilitas yaitu 1°C dan -5°C

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Crystallizer*

Crystallizer digunakan sebagai tempat untuk membuat gas hidrat dari gas propana butana dengan air demin. *Crystallizer* berbentuk tabung berongga seperti pada gambar di bawah ini.

Spesifikasi:

- Bahan : *Stainless steel*
- Volume : 150 cm³

2. Regulator gas

Regulator gas digunakan untuk mengatur tekanan gas yang keluar dari kompresor menuju *crystallizer*.

Spesifikasi:

- Merk : SMC
- Tekanan max: 9.9 kgf/cm² / 150 psi

3. Motor listrik

Motor listrik digunakan sebagai alat untuk memutar *crystallizer* sehingga gas propana butana dengan air demin di dalam *crystallizer* tercampur.

Spesifikasi:

- Merk : Vema
- Tipe : Y2-712-4
- Fase : 3 fase
- Rangkaian : Δ, Y
- Putaran max : 1370 rpm
- Tegangan : 220/380 V
- Daya : 0.5 Hp
- Frekuensi : 50 Hz

4. *Inverter*

Inverter digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor.

Spesifikasi:

- Merk : Telemekanique Altivar 31
- Tipe : ATV 31H018 M2A
- Tegangan : 200/240 V
- Daya : 0.25 Hp/0.18 kW

5. Pressure gauge

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

Spesifikasi:

- Merk : Tekiro
- Tekanan max: 10 bar/140 psi

6. Thermocouple

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

Spesifikasi:

- Tipe : Pt
- Suhu : -100°C – 400°C

7. Pressure sensor

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

Spesifikasi:

- Merk : Autonics
- Model : PSAN-L1CPV-R1/8
- Power : 12-24VDC(MALE)
- Port : R(PT)1/8

8. Data logger

Data logger digunakan untuk menyimpan data dari *thermocouple* dan *pressure sensor*.

Spesifikasi:

- Merk : OMEGA
- Tipe : DAQPRO 5300

9. Styrofoam

Styrofoam digunakan sebagai tempat untuk *cooling bath*.



10. Katup

Katup digunakan untuk mengatur keluar masuknya gas ke dalam *crystallizer*.

11. Selang gas

Selang gas digunakan untuk menyalurkan gas dari tabung menuju *crystallizer*.

12. Gelas ukur

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

Spesifikasi:

- Merk : PYREX
- Volume : 250 ml

13. Regulator LPG

Regulator LPG digunakan untuk mengatur tekanan gas yang keluar dari tabung gas LPG ke dalam kompresor

Spesifikasi:

- Inlet : 0.5 – 10 bar
- Outlet : 0 – 2 bar
- Kapasitas : 0 – 08 kg/h

14. Kompressor

Kompressor digunakan untuk menyalurkan gas dari tabung ke dalam *crystallizer* dengan tekanan tinggi.

Spesifikasi:

- Merk : Panasonic
- Type : 2K22S225BUA
- Frekuensi : 50Hz
- Voltage : 220 – 240 V

3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Es

Es digunakan sebagai bahan untuk membuat *cooling bath*. Sebelum dimasukkan ke dalam *cooling bath*, es dipotong dengan ukuran yang lebih kecil untuk memperoleh distribusi secara merata.

2. Garam

Garam digunakan sebagai bahan untuk membuat *cooling bath*. Garam akan dicampur dengan es. Garam berfungsi untuk membantu menurunkan suhu pada *cooling bath*.

3. Gas Propana Butana (LPG)

Gas Propana Butana (LPG) dalam tabung digunakan sebagai bahan pembuatan gas hidrat.

Spesifikasi:

- Komposisi : 50 % Propana dan 50 % Butana

4. Air demin

Air demin digunakan sebagai bahan untuk membuat gas hidrat yang dicampurkan bersama gas propana butana di dalam *crystallizer*.

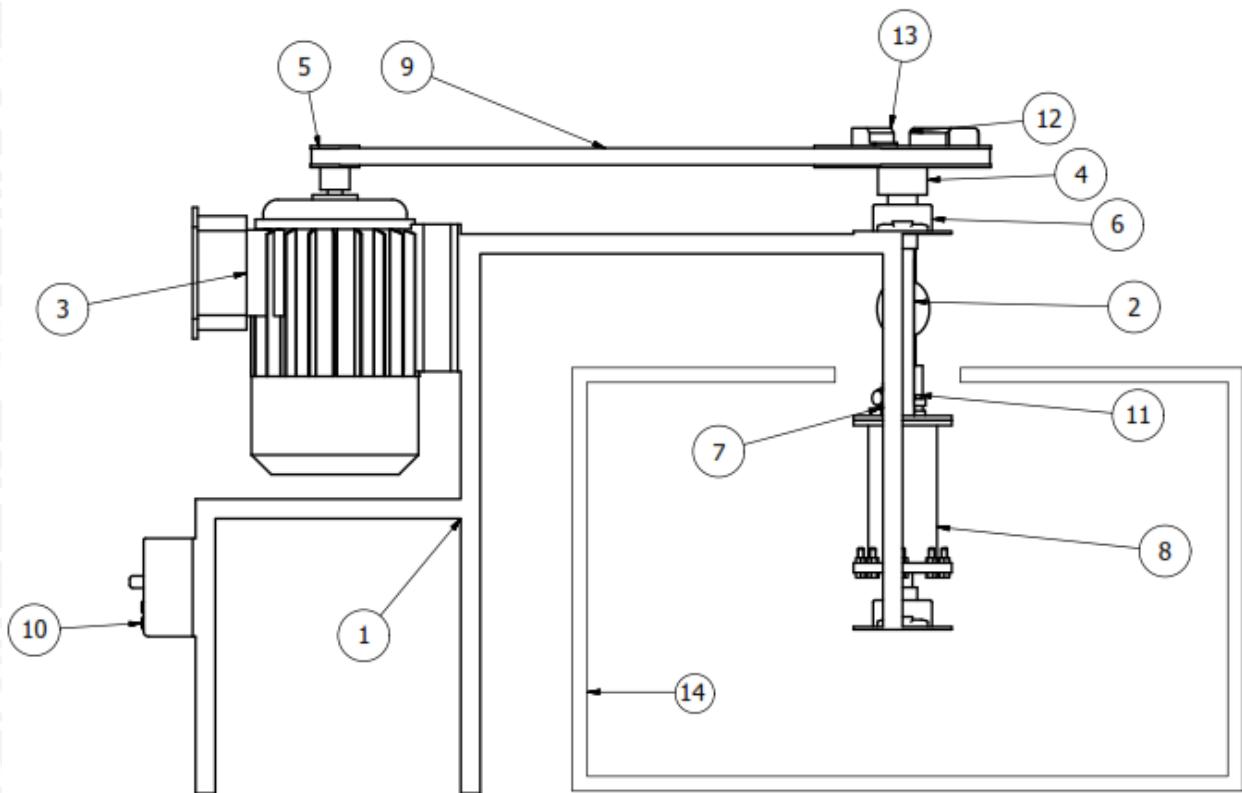
Spesifikasi:

- Merk : Hydrobatt
- Resistivity : $100 \times 10^4 \Omega \text{ cm}$



3.5 Instalasi Alat Penelitian

Instalasi alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:



Gambar 3.1 Instalasi alat penelitian
Sumber: Arsip pribadi

Keterangan:

1. Frame
2. Frame Crystallizer
3. Motor listrik
4. Pulley besar
5. Pulley kecil
6. Rumah bearing
7. Tutup Crystallizer
8. Crystallizer
9. Belt
10. Inverter
11. Thermocouple
12. Data logger
13. Pressure sensor
14. Cooling bath

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Persiapan Penelitian

1. Mengkalibrasi semua alat ukur yang digunakan.
2. Mengecek semua instalasi penelitian untuk memastikan keselamatan dan tidak ada kesalahan saat pengambilan data.
3. Membuat *cooling bath* dengan mencampurkan air dan es, sehingga suhu *cooling bath* mencapai 274 K untuk laju pembentukan hidrat serta mencampurkan es dengan garam, sehingga suhu *cooling bath* mencapai 268 K untuk penguraian hidrat.
4. Menyiapkan air demin dan gas propana butana yang akan dimasukkan ke dalam *crystallizer*.
5. Membersihkan *crystallizer* dengan menggunakan air demin sehingga tidak terdapat kotoran di dalamnya.

3.6.2 Pengambilan Data

3.6.2.1 Laju Pembentukan Hidrat

1. Menyiapkan 50 cm³ air demin dengan menggunakan gelas ukur. Kemudian air demin dimasukkan ke dalam *crystallizer*.
2. Meletakkan *crystallizer* pada *styrofoam* yang masih dalam suhu ruangan.
3. Memvakumkan *crystallizer* sehingga tekanan dalam *crystallizer* 0 bar.
4. Masukkan gas propana butana ke dalam *crystallizer* sesuai dengan variasi tekanan, tekanan gas propana butana yang pertama dimasukkan ke dalam tabung *crystallizer* sebesar 3 bar pada temperatur 300 K. Kemudian melepas selang penghubung antara tabung kompresor dengan *crystallizer*.
5. Memasukkan campuran air dengan es pada *cooling bath* setelah sistem mencapai kesetimbangan pada tekanan dan temperatur awal. Temperatur *cooling bath* yang telah disiapkan pada tahap persiapan yaitu sebesar 274 K (Titik kesetimbangan 3 fase), sesuai dengan temperatur pembentukan hidrat.
6. Mengatur kecepatan putaran *crystallizer* sebesar 200 rpm.
7. Menentukan waktu pembentukan gas hidrat propana butana selama 10 jam.
8. Mengambil data temperatur, tekanan dan waktu selama pembentukan hidrat propana butana untuk mendapatkan data laju pembentukan hidrat propana butana.
9. Ketika sistem mencapai tekanan kesetimbangan 3 fase pada suhu 274 K dan tekanan sistem konstan di atas tekanan setimbang, maka sistem sudah mencapai konversi maksimum.

3.6.2.2 Penguraian Hidrat

1. Menurunkan temperatur *cooling bath* menjadi 268 K dengan masukkan campuran es dengan garam. Setelah itu, sistem didiamkan sampai mencapai kondisi kesetimbangan pada suhu 268 K.
2. Membuka katup gas setelah sistem mencapai kondisi kesetimbangan pada suhu 268 K. Pembukaan katup ini bertujuan untuk membuang gas sisa yang tidak menjadi gas hidrat.
3. Menutup katup gas sehingga sistem kembali terisolasi. Setelah itu, sistem didiamkan kembali selama 5 jam untuk proses stabilitas hidrat dan temperatur sistem dijaga konstan 268 K.
4. Mengambil data tekanan, temperatur dan waktu selama proses stabilitas gas hidrat.

3.6.2.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat

1. Menaikkan temperatur *crystallizer* pada temperatur ruang sehingga hidrat mengalami dekomposisi dan melepas gas propana butana yang terjebak pada hidrat.
2. Mengambil data gas tekanan, temperatur dan waktu hidrat yang terdekomposisi dengan menentukan tekanan maksimum di dalam *crystallizer*.

Mengulangi langkah pengambilan data laju pembentukan hidrat, penguraian hidrat dan kapasitas penyimpanan hidrat dengan merubah variasi tekanan yang telah ditentukan.

3.6.3 Pengolahan Data

3.6.3.1 Laju Pembentukan Hidrat

1. Melakukan perhitungan mol dari laju pembentukan hidrat dengan menggunakan persamaan gas ideal.
2. Membuat grafik laju pembentukan hidrat dengan membandingkan pengaruh waktu terhadap tekanan dan temperatur pembentukan.
3. Membuat grafik laju pembentukan hidrat dengan membandingkan pengaruh waktu terhadap konsumsi gas propana butana yang terbentuk menjadi hidrat.
4. Membuat grafik laju pembentukan hidrat dengan membandingkan pengaruh temperatur terhadap tekanan dalam hidrat.

3.6.3.2 Penguraian Hidrat

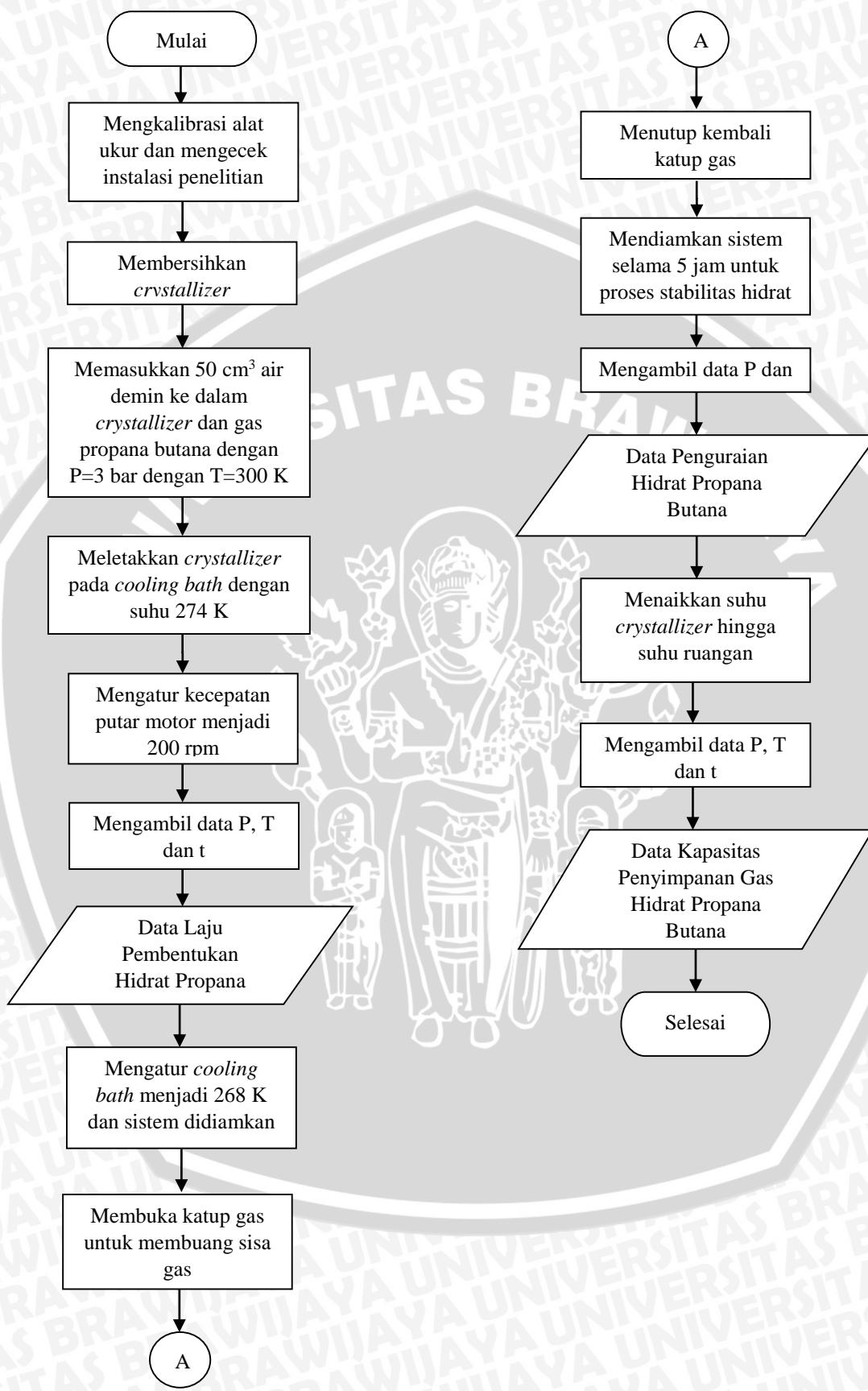
1. Membuat grafik penguraian gas hidrat propana butana dengan membandingkan pengaruh waktu terhadap tekanan disosiasi gas hidrat.
2. Membuat grafik stabilitas gas hidrat propana butana dengan membandingkan pengaruh waktu terhadap tekanan gas hidrat.

3.6.3.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat

1. Menghitung volume gas hidrat secara teoritis dan aktual setelah sistem mencapai suhu ruangan.
2. Membuat grafik kapasitas penyimpanan hidrat dengan membandingkan pengaruh variasi tekanan terhadap perbandingan antara volume gas hidrat yang mencapai suhu 27°C dengan volume gas hidrat secara teoritis.



3.7 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

Hasil penelitian tentang pengaruh variasi tekanan terhadap karakteristik pembentukan gas hidrat propana butana sesuai dengan teori dan hipotesa yang telah dibuat. Pada bab ini akan membahas tentang data hasil pengujian, contoh perhitungan serta grafik beserta analisa dan pembahasannya.

4.2 Data Hasil Pengujian

Penelitian ini dilakukan 3 kali sesuai dengan variasi tekanan yang telah ditentukan, yaitu pembentukan gas hidrat propana butana dengan tekanan awal 2 bar, 3 bar dan 4 bar. Masing-masing variasi tekanan gas dimasukkan dalam *crystallizer* dan bercampur dengan air demineralizer dengan volume 50 cm^3 , kemudian *crystallizer* diputar dengan putaran 200 rpm untuk setiap variasi. Dari penelitian ini akan didapatkan karakteristik dari gas hidrat propana butana yang meliputi laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan.

Data yang didapatkan adalah tekanan dan temperatur. Untuk mendapatkan temperatur dipasang termokopel tipe Pt dan tekanan dipasang *pressure digital sensor* pada *crystallizer*. Selanjutnya termokopel dan *pressure digital sensor* dihubungkan ke data logger untuk melihat perubahan temperatur dan tekanan yang terjadi dalam *crystallizer*. Adapun data yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

4.2.1 Data Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana

Pembentukan gas hidrat propana butana dilakukan selama 10 jam dengan suhu *cooling bath* dijaga konstan selama pembentukan. Suhu pembentukan sebesar $\pm 1^\circ\text{C}$ sesuai dengan suhu pembentukan gas hidrat propana butana.

Tabel 4.1 Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana

Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana				
Variasi Tekanan	T_{0B} ($^\circ\text{C}$)	P_{0B} (bar)	T_{1B} ($^\circ\text{C}$)	P_{1B} (bar)
2 Bar	26.6225668	1.7374354	0.855475	1.1544142
3 Bar	27.3656332	2.9067532	0.6920782	1.5605638
4 Bar	26.2053214	3.5127022	0.8827078	1.7931172

Keterangan :

- T_{0B} ($^{\circ}$ C) : Temperatur awal sistem pada saat pembentukan gas hidrat propana butana
- T_{1B} ($^{\circ}$ C) : Temperatur akhir sistem pada saat pembentukan gas hidrat propana butana
- P_{0B} (bar) : Tekanan awal gas pada saat pembentukan gas hidrat propana butana pada *crystallizer*
- P_{1B} (bar) : Tekanan akhir gas pada saat pembentukan gas hidrat propana butan pada *crystallizer*

4.2.2 Data Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana

Stabilitas gas hidrat propana butana dilakukan selama 5 jam dengan suhu $\pm 5^{\circ}$ C sesuai dengan diagram kesetimbangan tiga fasa gas hidrat.

Tabel 4.2 Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana

Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana			
Variasi Tekanan	T_s ($^{\circ}$ C)	P_{0S} (bar)	P_{1S} (bar)
2 Bar	-5.0618234	0	0.109162
3 Bar	-6.5693534	0	0.1041
4 Bar	-4.941221	0	0.099031

Keterangan :

- T_s ($^{\circ}$ C) : Temperatur sistem pada saat stabilitas gas hidrat propana butana
- P_{0S} (bar) : Tekanan awal gas pada saat stabilitas gas hidrat propana butana
- P_{1S} (bar) : Tekanan akhir gas pada saat stabilitas gas hidrat propana butana

4.2.3 Data Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana

Dari stabilitas dilanjutkan dengan kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana dengan membiarkan sistem terdekomposisi dalam suhu ruangan (27° C). Kapasitas penyimpanan gas hidrat kurang lebih membutuhkan waktu 5 jam untuk mencapai suhu ruangan dari suhu stabilitas hidrat (-5° C).

Tabel 4.3 Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana

Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana			
Variasi Tekanan	t (menit)	T _P (°C)	P _P (bar)
2 Bar	301	27.429	0.423223
3 Bar	298	27.129	0.29152
4 Bar	398	27.041	0.250996

Keterangan :

- T_P (°C) : Temperatur sistem pada saat kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana
- P_P (bar) : Tekanan gas pada saat kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana
- t (menit) : Waktu yang diperlukan untuk hidrat mencapai suhu 27 °C dari suhu -5 °C

4.3 Contoh Perhitungan

4.3.1 Perhitungan Mol Konsumsi Gas Propana Butana saat Laju Pembentukan Hidrat

Contoh perhitungan diambil dari variasi tekanan 2 bar pada laju pembentukan gas hidrat propana butana saat menit ke 600. Laju pembentukan gas hidrat dihitung nilai mol dari gas yang terbentuk pada hidrat.

- Data Penelitian

$$T_{0B} : 26.62257 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$T_{1B} : 0.855475 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$P_{0B} : 1.737435 \text{ (bar)}$$

$$P_{1B} : 1.154414 \text{ (bar)}$$

- Perhitungan Tekanan Gas dalam Hidrat

$$\Delta P_H = P_{0B} - P_{1B}$$

$$\Delta P_H = 1.737435 - 1.154414$$

$$\Delta P_H = 0.583021 \text{ bar}$$

Keterangan :

ΔP_H : Tekanan Gas dalam Hidrat (bar)

- Perhitungan faktor kompresibilitas

$$\Delta P_H = 0.583021 \times 0.1$$

$$\Delta P_H = 0.0583021 \text{ MPa}$$

$$T = T_B + 273$$

$$T = 0.855475 + 273$$

$$T = 273.855475 \text{ K}$$

Mencari P_{cr}

Tekanan Butana (P_B) = 3.80 MPa

Tekanan propana (P_P) = 4.26 MPa

$$P_{cr} = \frac{P_B + P_P}{2}$$

$$P_{cr} = \frac{3.80 + 4.26}{2}$$

$$P_{cr} = 4.03 \text{ MPa}$$

Mencari P_r

$$P_r = \frac{\Delta P_H}{P_{cr}}$$

$$P_r = \frac{0.0583021 \text{ MPa}}{4.03 \text{ MPa}}$$

$$P_r = 0.014467$$

Mencari T_{cr}

Temperatur Butana (T_B) = 425.2 K

Temperatur Propana (T_P) = 370 K

$$T_{cr} = \frac{T_B + T_P}{2}$$

$$T_{cr} = \frac{425.2 + 370}{2}$$

$$T_{cr} = 397.6 \text{ K}$$

Mencari T_r

$$T_r = \frac{T}{T_{cr}}$$

$$T_r = \frac{273.855475\text{ K}}{397.6\text{ K}}$$

$$T_r = 0.688771315$$

Maka didapatkan :

$$P_r = 0.014467$$

$$T_r = 0.688771315$$

Dengan menggunakan grafik A30a maka didapatkan nilai $Z = 0.98$

Keterangan :

T : Temperatur hidrat (K)

P_{cr} : Tekanan kritis gas propana butana (MPa)

P_r : Tekanan *reducer* gas propana butana

T_{cr} : Temperatur kritis gas propana butana (K)

T_r : Temperatur *reducer* gas propana butana

Z : Faktor kompresibilitas

- Perhitungan volume gas

$$y = 15.437x + 73.18$$

$$y = (15.437 \times 1.154414) + 73.18$$

$$y = 91.00069$$

Keterangan :

y : volume gas (cm^3)

- Perhitungan nilai mol gas hidrat

$$N = \frac{P \times V}{Z \times R \times T}$$

$$N = \frac{\Delta PH \times y}{Z \times R \times T_{1B}}$$



$$N = \frac{1.583021 \times 91.00069}{0.98 \times 0.815144 \times (0.855475 + 273)}$$

$$N = 0.002377645 \text{ mol}$$

Keterangan :

Konstanta Gas: $R(0.815144 \text{ cm}^3 \frac{\text{bar}}{\text{gr K}})$

N : Jumlah konsumsi gas propana butana (mol)

4.3.2 Perhitungan Volume Kapasitas Penyimpanan

Contoh perhitungan diambil dari variasi tekanan 2 bar pada kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana yang mencapai suhu 27.429 °C dengan waktu yang dibutuhkan 301 menit. Kapasitas penyimpanan hidrat dihitung volume gas yang terdekomposisi hingga suhu ruangan dengan volume gas hidrat secara teoritis dengan volume air 50 cm³.

- Perhitungan massa air

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

$$m = 1 \text{ gr/cm}^3 \times 50 \text{ cm}^3$$

$$m = 50 \text{ gr}$$

Keterangan :

m : massa air (gr)

ρ : massa jenis air (1 gr/cm^3)

- Perhitungan mol air (H₂O)

$$Nh = \frac{m}{Mr(H_2O)}$$

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

$$Nh = 2.78 \text{ mol}$$

Keterangan :

N_h : mol air (mol)



- Perhitungan massa gas propana butana yang bisa menjadi hidrat secara teoritis dengan air yang digunakan seberat 50 gr

$$H_g = m \times 15.5 \%$$

$$H_g = 50 \text{ gr} \times 0.155$$

$$H_g = 7.75 \text{ gr}$$

Keterangan :

H_g : Massa gas propana butana yang bisa menjadi hidrat secara teoritis (gr)

- Perhitungan mol gas propana butana yang bisa menjadi hidrat secara teoritis dengan air yang digunakan seberat 50 gr

$$N_t = \frac{m}{M_r(LPG)}$$

$$N_t = \frac{H_g}{M_r(LPG)}$$

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

$$N_t = 0.07598 \text{ mol}$$

Keterangan :

N_t : Mol gas propana butana yang bisa menjadi hidrat secara teoritis (mol)

- Perhitungan volume gas hidrat propana butana secara aktual

$$PV = N Z R T$$

Diasumsikan bahwa nilai Z, $R\mu$ dan T gas hidrat propana butana baik aktual maupun teoritis dalam keadaan standar yaitu tekanan 1 atm dan temperatur 27 °C teoritis adalah sama.

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

$$Va = \frac{0.24252}{0.42322}$$

$$Va = 0.57303 \text{ cm}^3$$



Keterangan :

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

n_a : Jumlah mol aktual pembentukan hidrat (mol)

- Perhitungan volume gas hidrat propana butana secara teoritis

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

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

$$V_t = 0.07498 \text{ } cm^3$$

Keterangan :

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

P_t : Tekanan atmosfer (bar)

- Perhitungan kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana

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

$$K_p = \frac{0.57303}{0.07498}$$

$$K_p = 7.641733694 \text{ } V/V$$

Keterangan :

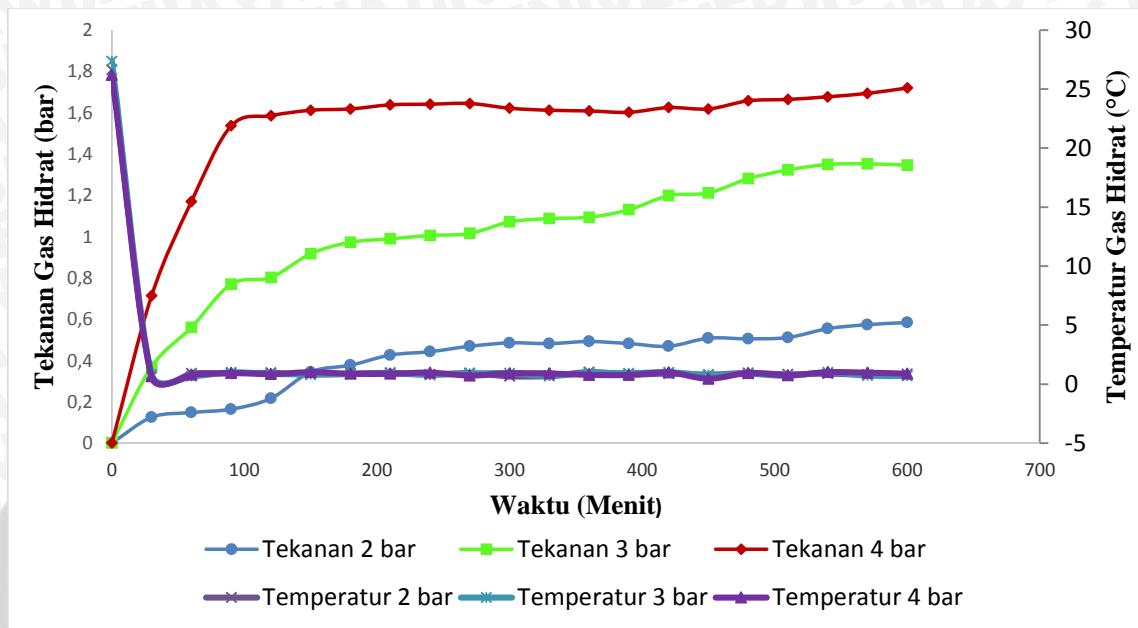
K_p : Kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana (V/V)



4.4 Pembahasan

4.4.1 Analisa Laju Pembentukan Hidrat Propana Butana dengan Variasi Tekanan

4.4.1.1 Analisa Grafik Hubungan antara Tekanan dan Temperatur terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Tekanan dan Temperatur terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana

Gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara tekanan dan temperatur terhadap waktu pembentukan gas hidrat propana butana. Tekanan gas hidrat menunjukkan tekanan gas yang tersimpan dalam hidrat atau gas yang menjadi hidrat dengan temperatur pembentukan hidrat konstan. Waktu dibagi menjadi dua, waktu induksi yang menunjukkan waktu kondisi hidrat dalam kesetimbangan tekanan dan temperatur sampai fasa terbentuknya hidrat, dalam waktu induksi belum terjadi hidrat. Waktu pembentukan menunjukkan waktu terbentuknya hidrat, atau waktu di mana jumlah mampu konsumsi gas hidrat terdeteksi. Gambar 2.3 menunjukkan bahwa pada suhu lingkungan sebesar 27 °C tidak terjadi hidrat. Hidrat akan terbentuk ketika temperatur diturunkan sesuai temperatur kesetimbangan 3 fasa terbentuknya hidrat, yaitu sebesar 1 °C dengan fasa cair pada air (L_w), hidrat (H) dan uap (V). Dari suhu 1 °C inilah hidrat akan mulai mengalami pembentukan yang selanjutnya akan diikuti proses pertumbuhan hidrat.

Gambar 2.2 menjelaskan tentang pembentukan dan pertumbuhan hidrat terhadap waktu dalam sistem agitasi (kavitasi dan turbulensi) yang dikontrol oleh temperatur konstan dengan tabung *crystallizer* yang berisi air dengan diberi tekanan dengan tujuan

gas hidrat terbentuk. Untuk membentuk gas hidrat pada setiap hidrokarbon memiliki temperatur dan tekanan yang berbeda, sesuai dengan gambar 2.1. Agar gas hidrat propana butana terbentuk dibutuhkan tekanan dan temperatur awal 3 bar pada temperatur 27 °C. Kemudian dari tekanan 3 bar dibandingkan dengan tekanan 2 bar dan 4 bar untuk temperatur sistem dan volume air tetap.

Pembentukan hidrat ditandai dengan penurunan tekanan pada *crystallizer*, namun penurunan tekanan pada awal pembentukan hidrat belum menunjukkan terjadinya pembentukan hidrat. Penurunan tekanan tersebut dipengaruhi oleh penurunan temperatur dari 27 °C sampai 1 °C. Pada kondisi ini sistem dalam keadaan menstabil antara tekanan dan temperatur. Dimulai dari menit ke 25, temperatur sistem sudah mencapai 1 °C dan berjalan konstan hingga 10 jam pembentukan hidrat. Pada saat temperatur 1 °C inilah mulai terjadi pembentukan hidrat dengan terjadinya nukleasi pada hidrat serta dengan ditandai penurunan tekanan pada *crystallizer* sebagai akibat terjadinya hidrat atau gas mulai berdifusi, sehingga tekanan pada *crystallizer* turun. Pada kondisi awal pembentukan hidrat hingga menit ke 25 menunjukkan waktu induksi. Dan menit ke 30 hingga 600 menunjukkan waktu pembentukan gas hidrat propana butana.

Dari hasil data awal laju pembentukan hidrat dengan variasi tekanan sebesar 2 bar untuk tekanan dan temperatur sebesar 1.737435 bar dan 26.62257 °C. Variasi tekanan 3 bar, tekanan dan temperatur sebesar 2.906753 bar dan 27.36563 °C dan variasi tekanan 4 bar, tekanan dan temperatur sebesar 3.512702 bar dan 26.20532 °C. Untuk setiap variasi setelah ± 25 menit berjalan temperatur sistem mencapai temperatur ± 1 °C dan pembentukan hidrat dimulai dengan diikutinya penurunan tekanan pada sistem.

Variasi tekanan 4 bar memiliki tingkat pembentukan hidrat tertinggi dan setelah 90 menit berlangsung tekanan hidrat cenderung konstan hingga menit ke 450. Variasi tekanan 3 bar memiliki tingkat pembentukan hidrat di bawah variasi tekanan 4 bar, dan terus mengalami peningkatan tekanan sampai menit ke 540. Sementara variasi tekanan 2 bar tingkat pembentukan setelah 30 menit lebih kecil daripada variasi tekanan 3 bar dan 4 bar, variasi tekanan 2 bar mengalami peningkatan tekanan setelah menit ke 90.

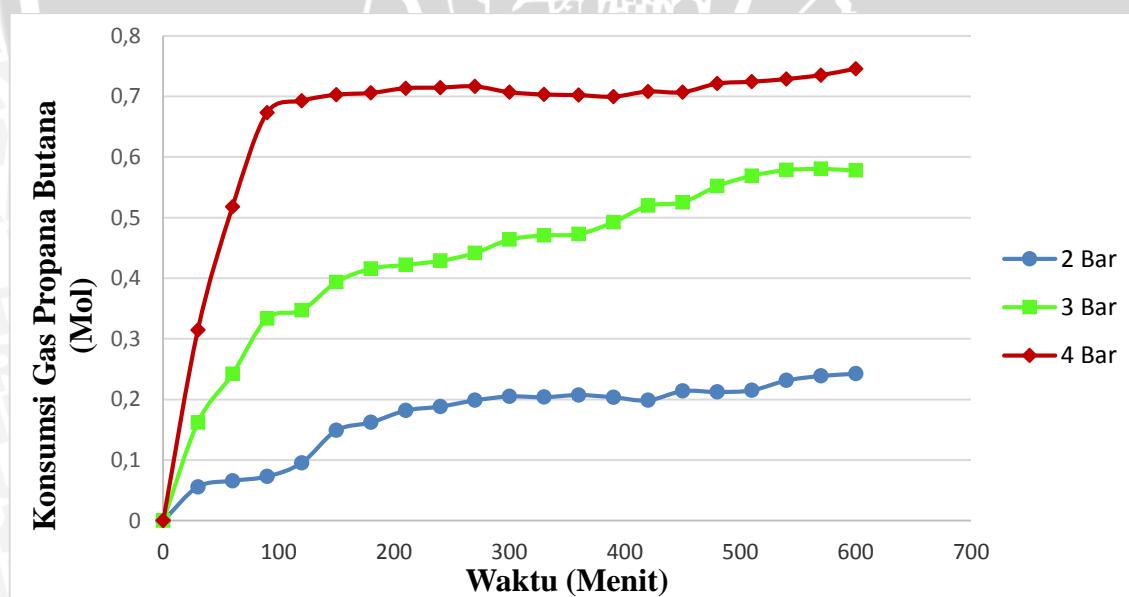
Variasi tekanan 4 bar mengalami waktu pembentukan gas hidrat paling cepat, pembentukan maksimum dan setelah pembentukan maksimum konsumsi gas cenderung konstan diantara variasi tekanan lainnya. Hal ini dikarenakan tekanan yang diberikan tinggi, dengan semakin tingginya tekanan maka perpindahan massa dan energi kinetik gas propana butana akan semakin besar. Laju pembentukan hidrat dipengaruhi oleh perpindahan massa dan energi kinetik, di mana perpindahan massa dalam tingkat

mikroskopik sebagai akibat difusi gas propana butana ke dalam rongga ikatan hidrogen, difusi juga dipengaruhi oleh sistem aliran turbulen. Sedangkan energi kinetik merupakan bergeraknya molekul gas menuju permukaan hidrat.

Laju pembentukan hidrat juga dipengaruhi oleh kecepatan putar motor yang menyebabkan adanya gaya sentrifugal pada tabung *crystallizer* sehingga sistem terjadi turbulensi, gas dan air akan semakin cepat tercampur. Serta laju perpindahan panas dari sistem menuju lingkungan (*cooling bath*) yang tinggi akibat perbedaan temperatur sistem dan lingkungan yang semakin tinggi. Gas hidrat akan terbentuk ketika gas dengan air dicampurkan dalam keadaan temperatur rendah dan tekanan gas yang diberikan semakin tinggi.

Variasi tekanan 2 bar, 3 bar dan 4 bar setelah proses pembentukan hidrat selama 10 jam menghasilkan tekanan gas hidrat sebesar 0.583021 bar dengan tekanan 1.154414 bar yang tidak menjadi hidrat pada variasi tekanan 2 bar, 1.346189 bar dengan tekanan 1.560564 bar yang tidak menjadi hidrat pada variasi tekanan 3 bar serta 1.719585 bar dengan tekanan 1.793117 bar tidak menjadi hidrat pada variasi tekanan 4 bar.

4.4.1.2 Analisa Grafik Hubungan antara Konsumsi Gas Propana Butana terhadap Waktu Pembentukan Gas Hidrat



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Konsumsi Gas Propana Butana terhadap Waktu Pembentukan Gas Hidrat

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara konsumsi gas propana butana dalam bentuk mol terhadap waktu. Tingkat konsumsi gas propana butana menunjukkan tingkat

pembentukan gas hidrat yang dikendalikan oleh energi kinetik, perpindahan massa dan perpindahan panas. Waktu menunjukkan waktu induksi dan waktu terbentuknya gas hidrat propana butana.

Dapat dilihat pada gambar 4.2 bahwa kecenderungan tingkat konsumsi gas semakin meningkat seiring bertambahnya waktu. Perbandingan dari ketiga variasi tekanan yang telah ditentukan terlihat bahwa konsumsi gas terbesar adalah tekanan 4 bar, 3 bar selanjutnya 2 bar. Pada gambar 4.2 rata-rata setiap variasi tekanan setelah 30 menit waktu induksi dapat mengkonsumsi gas dan memulai waktu pembentukan gas hidrat. Data yang diperoleh pada gambar 4.2 ini sesuai dengan teori bahwa dengan diberikannya tekanan yang semakin tinggi maka tingkat konsumsi gas yang menjadi hidrat akan semakin meningkat serta waktu pembentukan hidrat yang semakin cepat. Ketika tekanan yang diberikan semakin besar dengan diimbangi adanya gaya sentrifugal maka tingkat agitasi (kavitasi atau turbulensi) akan semakin besar, energi kinetik dari molekul gas akan semakin besar serta perpindahan massa gas yang akan menjadi hidrat juga semakin besar. Pada laju pembentukan hidrat suhu pada sistem dijaga konstan sebesar $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Tingkat konsumsi gas hidrat di hitung dalam jumlah mol. Nilai mol didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 3.

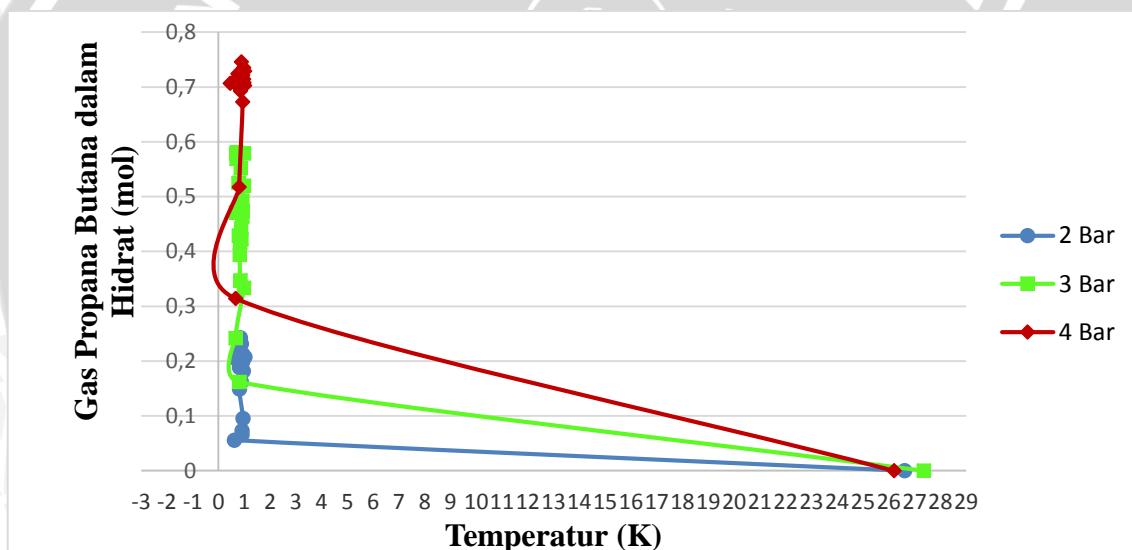
Dari data pada variasi tekanan sebesar 2 bar setelah temperatur mencapai kesetimbangan pembentukan hidrat pada menit ke 30 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.055851 mol. Ketika mencapai menit ke 600 dengan temperatur tetap konsumsi gas sebesar 0.24252 mol. Variasi tekanan sebesar 3 bar untuk laju pembentukan hidrat setelah mencapai kesetimbangan pembentukan hidrat pada menit ke 30 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.161882 mol. Ketika mencapai menit ke 600 dengan temperatur tetap, konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.578 mol. Variasi tekanan sebesar 4 bar untuk laju pembentukan hidrat setelah mencapai kesetimbangan pembentukan hidrat pada menit ke 30 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.314418 mol. Ketika mencapai menit ke 600 dengan temperatur tetap konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.745654 mol.

Variasi tekanan sebesar 2 bar hanya bisa membentuk gas hidrat sebesar 0.24252 mol karena dengan tekanan yang kecil akan menghasilkan tingkat agitasi, energi kinetik dan perpindahan massa yang lebih kecil. Sehingga untuk mendorong gas agar memasuki rongga molekul air kurang maksimum. Agar tingkat laju pembentukan dan pertumbuhan hidrat untuk menempati rongga molekul air lebih tinggi maka diperlukan tekanan yang

lebih besar. Dengan adanya tekanan yang besar maka pembentukan hidrat akan semakin tinggi, serta waktu yang diperlukan untuk pembentukan hidrat juga semakin cepat.

Tingkat konsumsi mol gas untuk setiap variasi terlihat bahwa tingkat konsumsi gas tertinggi ada pada variasi tekanan 4 bar sebesar 0.745654 mol. Kemudian diikuti dengan tekanan 3 bar dan 2 bar dengan tingkat konsumsi gas sebesar 0.578 mol dan 0.24252 mol. Hal ini sesuai dengan hipotesa yang menjelaskan bahwa nilai karakteristik pembentukan gas hidrat akan meningkat dengan kenaikan tekanan yang diberikan. Untuk kenaikan tekanan yang diberikan harus disesuaikan dengan diagram fasa pembentukan hidrat yang dapat dilihat pada gambar 2.1, karena untuk membentuk gas hidrat setiap gas alam memiliki temperatur dan tekanan yang berbeda.

4.4.1.3 Analisa Grafik Hubungan antara Gas Propana Butana dalam Hidrat terhadap Temperatur Pembentukan Hidrat



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Gas Propana Butana dalam Hidrat terhadap Temperatur Pembentukan Hidrat

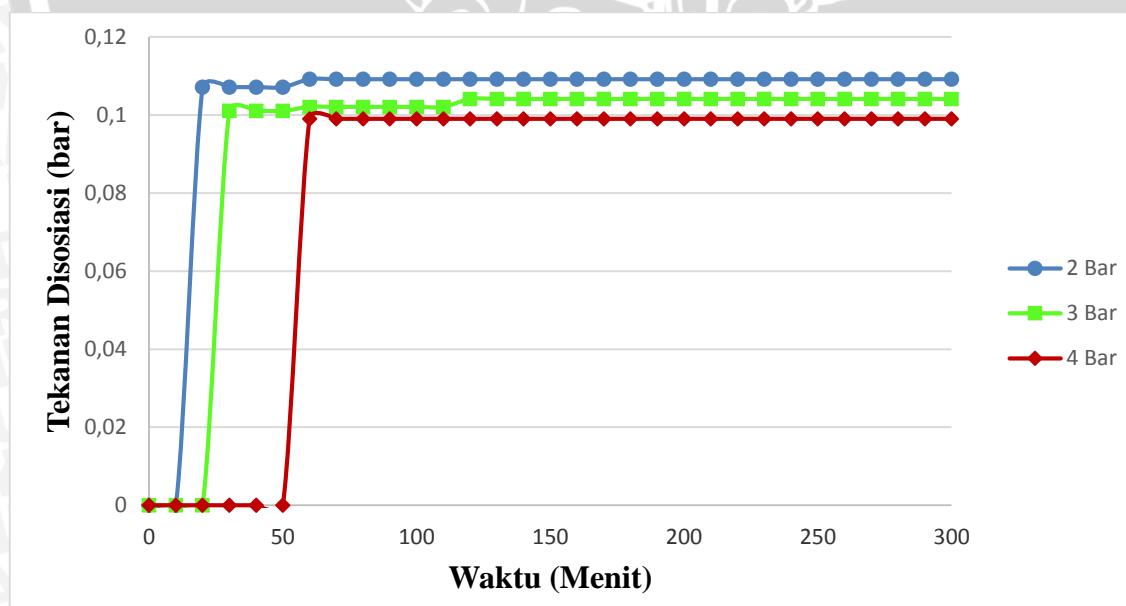
Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara gas propana butana dalam hidrat terhadap temperatur pembentukan hidrat. Gas propana butana menunjukkan besarnya gas yang menjadi hidrat dalam besaran mol, sementara temperatur menunjukkan pada temperatur berapa $^{\circ}\text{C}$ hidrat akan terbentuk. Pembentukan hidrat akan terjadi ketika tekanan pada sistem tinggi, dan temperatur pada sistem rendah. Selain itu hidrat akan terbentuk dengan adanya perpindahan panas dari sistem ke lingkungan serta adanya gaya sentrifugal akibat putaran pada *crystallizer*.

Pembentukan hidrat juga dipengaruhi oleh perpindahan massa akibat gas yang berdifusi ke dalam rongga antar ikatan hidrogen serta energi kinetik dari gerakan gas menuju permukaan hidrat. Semakin besar variasi tekanan pada laju pembentukan, maka gas hidrat yang akan terbentuk akan semakin besar serta waktu yang diperlukan untuk pembentukan akan semakin singkat.

Hidrat akan terbentuk ketika temperatur pada sistem mencapai titik kesetimbangan tiga fasa sesuai dengan diagram kesetimbangan pembentukan hidrat. Ketika temperatur dan tekanan sistem belum sampai pada titik kesetimbangan tiga fasa pembentukan hidrat maka hidrat tidak akan terbentuk. Untuk campuran gas propana butana pada variasi tekanan yang diberikan, ketika sistem berada pada temperatur di atas 5 °C pembentukan hidrat tidak akan terjadi. Terlihat pada gambar 4.3 bahwa laju pembentukan gas hidrat propana butana terjadi ketika temperatur sistem mencapai 1 °C. Konsumsi gas dalam hidrat tertinggi ada pada variasi tekanan 4 bar sebesar 0.745654 mol dan dimulai pada menit ke 30 ketika temperatur pada sistem mencapai 0.659982 °C dengan gas yang menjadi hidrat sebesar 0.314418 bar.

4.4.2 Analisa Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana

4.4.2.1 Analisa Grafik Hubungan antara Tekanan Disosiasi Gas Hidrat Propana Butana terhadap Waktu Stabilitas



Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara Tekanan Disosiasi Gas Hidrat Propana Butana terhadap Waktu Stabilitas

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara tekanan disosiasi gas hidrat propana butana terhadap waktu stabilitas. Tekanan disosiasi merupakan tekanan penguraian dari gas hidrat. Penguraian hidrat merupakan proses endotermik dengan panas yang bersumber dari luar sistem untuk memecah ikatan hidrogen antara molekul air untuk menguraikan hidrat menjadi gas dan air. Gambar 2.3 menjelaskan proses penguraian hidrat dimulai ketika hidrat dipanaskan setelah proses pembentukan hidrat sehingga tekanan akan meningkat. Gambar 2.5 menjelaskan tentang proses penguraian hidrat berdasarkan proses perpindahan panas dan hidrat akan mengurai secara radial, di mana hidrat berada di tengah yang dikelilingi oleh fasa air stasioner, fasa ini dapat menghasilkan panas sehingga dapat menguraikan hidrat.

Tingkat stabilitas dari gas hidrat akan dipengaruhi oleh seberapa besar tekanan gas yang mengurai, semakin kecil nilai tekanan disosiasi (tekanan penguraian), maka semakin besar tingkat stabilitas gas hidrat. Dari gambar 4.4 terlihat bahwa tekanan disosiasi cenderung konstan setelah menit ke 50 untuk variasi tekanan 2 bar dan 4 bar. Variasi tekanan 3 bar setelah menit ke 120 tekanan disosiasinya mulai konstan.

Tekanan penguraian terbesar terjadi pada variasi tekanan hidrat 2 bar, selanjunya variasi tekanan 3 bar dan 4 bar tekanan. Pada variasi tekanan 2 bar penguraian dimulai pada menit ke 20 hingga menit ke 60 dan selanjutnya tekanan penguraian konstan. Pada variasi tekanan 3 bar penguraian dimulai pada menit ke 30 dan terjadi peningkatan tekanan penguraian pada menit ke 60 sampai menit ke 120 yang selanjutnya tekanan pengurainya konstan. Sedangkan pada variasi tekanan 4 bar penguraian terjadi pada menit ke 60 dan selanjutnya tekanan penguraian konstan sampai menit ke 300.

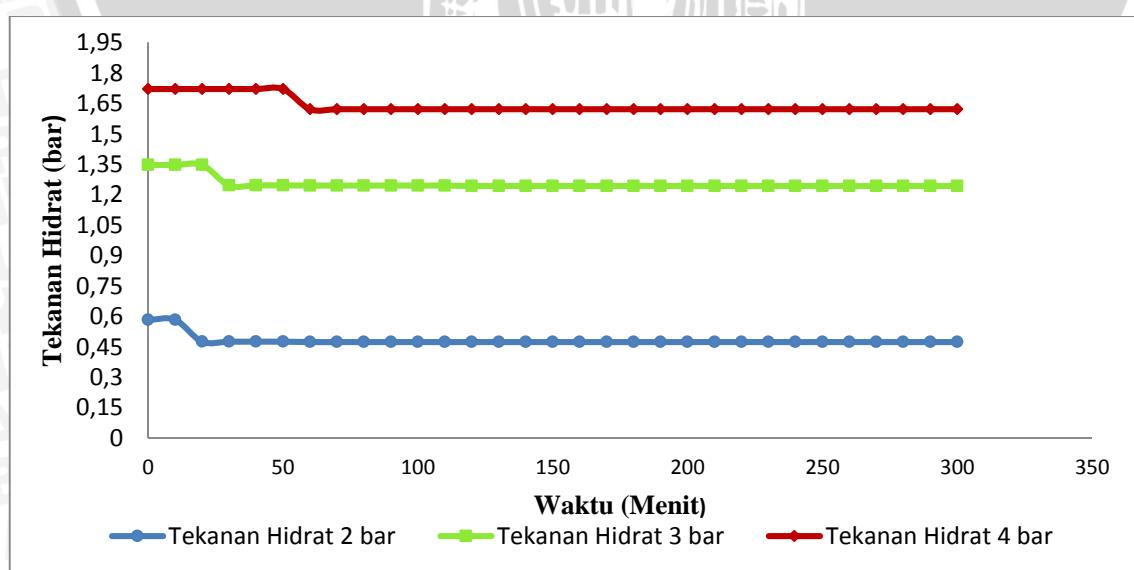
Tekanan penguraian pada variasi tekanan 2 bar lebih besar, karena tekanan awal yang diberikan pada proses pembentukan gas hidrat campuran propana butana terlalu kecil sehingga tingkat pembentukan hidrat kurang maksimal. Serta saat laju pembentukan hidrat, konsumsi gas terus meningkat hingga menit ke 600, bisa jadi saat laju pembentukan hidrat selesai, gas propana butana belum menstabilkan ikatan hidrogen, sehingga gas hidrat mudah mengurai. Pembentukan hidrat oleh tingkat agitasi, energi kinetik, perpindahan panas dan perpindahan massa. Dengan diberinya tekanan 2 bar saat laju pembentukan hidrat gas yang memasuki rongga ikatan hidrogen belum begitu stabil dan tidak maksimal sehingga gas hidrat akan mudah mengurai.

Variasi tekanan 3 bar dan 4 bar menunjukkan bahwa tekanan penguraian hidrat lebih kecil dari pada variasi tekanan 2 bar. Hal ini karena tekanan awal yang diberikan untuk proses pembentukan hidrat propana butana lebih tinggi sehingga laju pembentukan

hidrat terjadi secara maksimum dengan diikuti pertumbuhan hidrat yang maksimum. Gas dalam hidrat akan benar-benar memasuki rongga molekul air dan menstabil dalam ikatan hidrogen, sehingga stabilitas gas hidrat propana butana maksimal. Namun pemberian tekanan harus disesuaikan dengan gas yang akan dijadikan hidrat. Tekanan penguraian hidrat konstan selama temperatur sistem dijaga konstan, berapapun lamanya. Ketika temperatur sistem dinaikkan maka akan diikuti dengan tekanan penguraian yang meningkat.

Proses stabilitas hidrat dilakukan selama 5 jam dengan suhu $\pm -5^{\circ}\text{C}$. Penentuan suhu tersebut sesuai dengan suhu kesetimbangan tiga fasa hidrat untuk stabilitas dari gas hidrat itu sendiri. Untuk kesetimbangan tiga fasa dengan suhu -5°C , fasa kesetimbangan terdiri dari *ice*, *hydrate* dan *vapor*. Sebelum melakukan proses stabilitas gas hidrat, tekanan gas yang tidak menjadi hidrat dibuang terlebih dahulu. Hal ini dilakukan setelah proses pembentukan hidrat, dan sistem mencapai kondisi kesetimbangan fasa stabilitas, yaitu temperatur pada sistem sebesar -5°C . Setelah sistem mencapai kondisi kesetimbangan, tekanan gas yang tidak menjadi hidrat dibuang. Sehingga tekanan dalam tabung *crystallizer* 0 bar saat proses stabilitas berlangsung. Hal ini bermaksud untuk mengetahui seberapa besar tekanan penguraian yang terjadi pada hidrat. Pada variasi tekanan 2 bar besar tekanan penguraianya sebesar 0.10916 bar, variasi tekanan 3 bar sebesar 0.1041 bar dan variasi tekanan 4 bar sebesar 0.09903 bar.

4.4.2.2 Analisa Grafik Hubungan antara Tekanan Hidrat terhadap Waktu Stabilitas



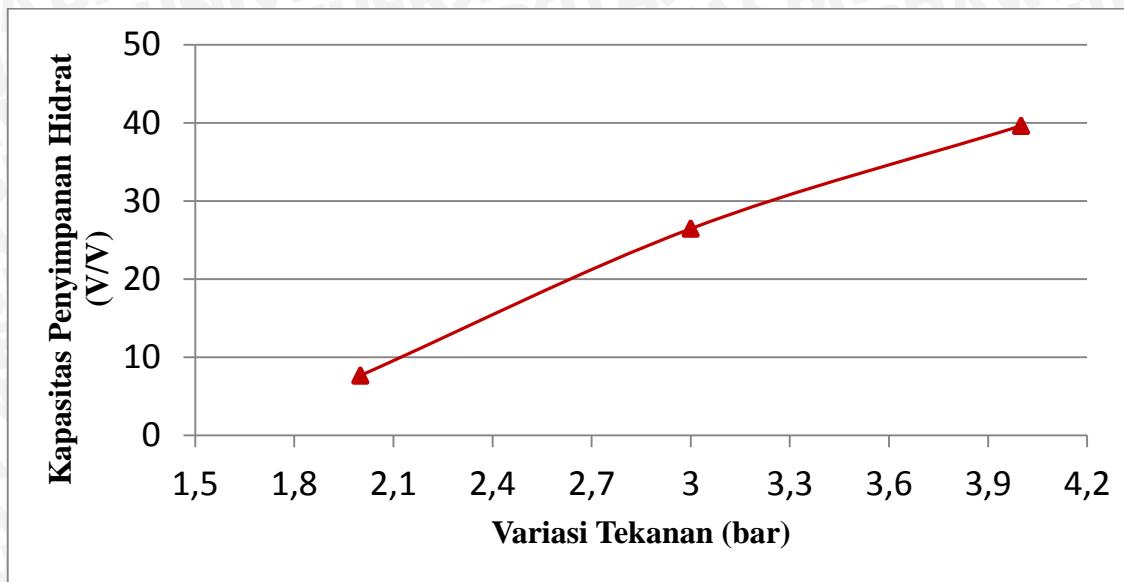
Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara Tekanan Hidrat terhadap Waktu Stabilitas

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara tekanan hidrat dengan waktu stabilitas. Tekanan hidrat merupakan tekanan gas yang masih terperangkap dalam hidrat selama proses stabilitas berlangsung dalam waktu 5 jam. Bedanya dengan gambar 4.4 adalah gambar 4.4 menunjukkan tekanan gas yang mengurai dari hidrat sampai waktu 5 jam sedangkan gambar 4.5 menunjukkan tekanan gas hidrat yang masih tersimpan dalam hidrat sampai waktu 5 jam, bisa dikatakan bahwa gambar 4.5 menunjukkan stabilitas.

Tingkat stabilitas gas hidrat erat kaitannya dengan pembentukan gas hidrat dalam proses laju pembentukan hidrat. Semakin besar gas hidrat yang terbentuk maka stabilitas hidrat akan semakin besar. Pembentukan hidrat dipengaruhi oleh tekanan yang diberikan, semakin besar tekanan yang diberikan maka gas yang terbentuk untuk menjadi hidrat akan semakin besar sehingga stabilitas dari hidrat akan semakin besar. Dengan tekanan yang besar maka pertumbuhan hidrat akan semakin besar. Stabilitas juga dipengaruhi oleh laju pendinginan pada sistem *cooling bath*, semakin cepat laju pendinginan maka distribusi Kristal es semakin rata dan seragam sehingga luas bidang kontak semakin besar dan ikatan antar molekul kristal semakin kuat. Stabilitas juga dipengaruhi oleh lapisan es dalam hidrat yang melindungi gas propana butana.

Pembentukan hidrat dengan variasi tekanan 2 bar mampu mengkonsumsi gas sebesar 0.0002378 mol dengan tekanan gas hidrat 0.583021 bar. Setelah 5 jam proses stabilitas tekanan penguraian sebesar 0.10916 bar. Sehingga tekanan dalam hidrat tersisa 0.473861 bar. Untuk variasi tekanan 3 bar mampu mengkonsumsi gas sebesar 0.00567 mol dengan tekanan gas hidrat 1.346189 bar. Setelah 5 jam proses stabilitas tekanan penguraian sebesar 0.1041 bar. Sehingga tekanan dalam hidrat tersisa 1.242089 bar. Dan untuk variasi tekanan 4 bar mampu mengkonsumsi gas sebesar 0.00731 mol dengan tekanan gas hidrat 1.719585 bar. Setelah 5 jam proses stabilitas tekanan penguraian sebesar 0.09903 bar. Sehingga tekanan dalam hidrat tersisa 1.620555 bar. Tekanan penguraian akan konstan selama temperatur sistem dijaga konstan.

4.4.3 Analisa Grafik Hubungan antara Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana terhadap Variasi Tekanan



Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana terhadap Variasi Tekanan

Gambar 4.6 menunjukkan grafik hubungan antara kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana terhadap variasi tekanan. Kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana merupakan perbandingan antara volume gas yang terdekomposisi dari stabilitas hidrat sampai suhu 27°C dengan volume gas hidrat secara teoritis.

Volume gas yang terdekomposisi diperoleh dari tekanan gas yang terdekomposisi sampai suhu mencapai 27°C dengan sejumlah konsumsi mol gas yang menjadi hidrat. Sedangkan volume gas hidrat secara teoritis diperoleh dari 15.5 % air (50 cm^3) yang akan ditempati hidrat. 15.5 % dari 50 gr air akan di tempati gas propana butana (7.75 gr). Dari 7.75 gr gas propana butana didapatkan gas yang dapat dikonsumsi sebesar 0.07598 mol dengan volume hidrat 0.07498 cm^3 .

Dari perhitungan antara kapasitas penyimpanan hidrat secara aktual dan teoritis didapatkan bahwa dengan suhu dan volume air yang sama, kapasitas penyimpanan hidrat tertinggi terjadi pada variasi tekanan 4 bar sebesar 7.641733694 V/V , diikuti variasi tekanan 3 bar dan 2 bar sebesar 26.44074608 V/V dan 39.61726779 V/V .

Kapasitas penyimpanan hidrat erat kaitannya dengan laju pembentukan hidrat serta stabilitas dari hidrat itu sendiri. Semakin besar tingkat laju pembentukan hidrat dan stabilitas, maka semakin besar pula kapasitas penyimpanan hidrat.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisa pengaruh variasi tekanan terhadap karakteristik pembentukan gas hidrat propana butana maka dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan maka semakin besar dan semakin cepat tingkat pembentukan hidrat dan kapasitas penyimpanan hidrat serta akan diikuti dengan stabilitas hidrat dalam waktu yang lebih lama.

Laju pembentukan gas hidrat propana butana akan semakin meningkat dengan meningkatnya tekanan yang diberikan. Laju pembentukan hidrat dapat dilihat dari tekanan pada hidrat dan sejumlah konsumsi mol gas untuk menjadi hidrat. Tingkat konsumsi gas tertinggi pada variasi tekanan 4 bar sebesar 0.745654 mol dan tekanan hidrat tertinggi pada variasi tekanan 4 bar sebesar 1.71959 bar.

Tingkat stabilitas hidrat berbanding terbalik dengan tekanan penguraian pada hidrat, semakin besar tekanan penguraian hidrat maka tingkat stabilitas hidrat semakin rendah begitu juga sebaliknya. Tekanan penguraian tertinggi terjadi pada variasi tekanan 2 bar sebesar 0.10916 bar. Tingkat maksimum stabilitas hidrat terjadi pada variasi tekanan 4 bar sebesar 1.62055 bar.

Kapasitas penyimpanan hidrat diperoleh dengan membandingkan volume gas yang terurai hingga suhu 27 °C dengan volume gas hidrat secara teoritis. Nilai kapasitas penyimpanan hidrat tertinggi ada pada variasi tekanan 4 bar sebesar 39.61727 V/V.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian tentang pengaruh variasi tekanan terhadap karakteristik pembentukan gas hidrat propana butana ada beberapa saran yang penulis harapkan, diantaranya sebagai berikut:

1. Penelitian tentang karakteristik pembentukan gas hidrat propana butana dapat di variasikan dengan jumlah air yang akan dijadikan hidrat dengan tekanan gas yang diambil adalah tekanan maksimumnya. Selain itu penelitian ini dapat divariasikan dengan melihat karakteristik gas hidrat dari gas hidrocarbon lainnya.
2. Proses pencampuran gas dengan air untuk menjadi hidrat bisa divariasikan dengan menggunakan pengaduk seperti *stirrer* yang dipasang dalam tabung *crystallizer*.

3. Sistem *cooling bath* untuk mendinginkan suhu tabung *crystallize* bisa divariasikan dengan sistem evaporator agar suhu pendinginan benar-benar konstan.
4. Waktu untuk laju pembentukan hidrat sebaiknya ditambahkan untuk melihat apakah dengan waktu lebih dari 10 jam akan menghasilkan konsumsi gas yang lebih banyak.
5. Tingkat stabilitas hidrat bisa divariasikan dalam beberapa temperatur, selama temperatur tersebut masih dalam daerah kesetimbangan fasa hidrat.
6. Hidrat dapat diciptakan sebagai alternatif lain dari sistem penyimpanan dan transportasi gas, dalam hal ini yang harus diperhatikan adalah tingkat pembentukan hidrat yang diimbangi dengan kapasitas penyimpanan hidrat serta tingkat stabilitas hidrat yang diperlukan dalam jangka waktu panjang.
7. Untuk menjadikan hidrat gas alam (*Methane Hydrate*) sebagai cadangan sumber daya energi adalah dengan memperhatikan tingkat disosiasi hidrat, agar gas terpisah dengan air sehingga gas bisa digunakan sebagai sumber energi.
8. Pada sistem transportasi minyak bumi dan gas alam salah satu hal yang harus dihindari adalah terjadinya hidrat pada pipa pendistribusian. Untuk itu ketika melakukan distribusi gas alam maupun minyak bumi harus memperhatikan tekanan dan temperatur sistem agar hidrat tidak terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Carroll, John. 2009. *Natural Gas Hydrate A Guide for Engineers. Second Edition.* British Library, USA.
- Cengel, Y. A. dan Boles, M. A. 2006. *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., Stern, L. A. dan Kirby, S. H. 2003. *Ductile Flow of Methane Hydrate.* *Can J. Phys.* 81: 373-380.
- Ganji, H., Manteghian, M., Zadeh, Sadaghiani, K., Omiddkhah, R.M. & Mofrad, Rahimi, H. 2007. *Effect of Different Surfactants on Methane Hydrate Formation Rate, Stability and Storage Capacity.* Iran .
- Guo, Boyun., Ghalambor, Ali. 2005. *Natural Gas Engineering Handbook.* University of Louisiana at Lafayette, USA.
- Hilyard, Joseph F. 2012. *The Oil & Gas Industry A Nontechnical Guide.* Pennwell, USA.
- Jeffrey, G. A. dan McMullan, R. K. 1967. *The Clathrate Hydrates.* *Prog. Inorg. Chem.* 8: 43-108.
- Khokhar, A. A., Gudmundsson, J. S. dan Sloan E. D. 1998. *Gas Storage in Structure H Hydrates. Fluid Phase Equilibria.* 150-151:383-392.
- Kotz, Treichel and Townsend. 2012. *Chemistry&Chemical Reactivity. Eighth Edition.* Brooks/Cole. Cengage Learning. Kanada.
- 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.
- Latimer, W. M. dan Rodebush, W. H. 1920. *Polarity and Ionization from The Standp Of The Lewis Theory of Valence.* *J. Am. Chem. Soc.* 42: 1419.
- Linga, Praveen., Kumar, Rajnish., Lee, Dong Ju., Ripmeester, John. & Englezos, Peter. 2010. *A New Apparatus to Enhace The Race of Gas Hydrate Formation: Application to Capture of Carbon Dioxide.* *International Jurnal of Greenhouse Gas Control,* Canada.



- Mokhatab, S., Poe, W. A., and Speight, J. G. 2006. *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*. Amsterdam: Elsevier.
- Sloan, E.D., Koh, Carolyn, A. 2008. *Clathrate Hydrate of Natural Gases. Third Edition*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Speight, J. G. 2007. *Natural Gas: A Basic Handbook*. Texas: Gulf Publishing Company.
- Thakur, Kumar, Naresh., Rajput, Sanjeev. 2011. *Exploration of Gas Hydrate. Geophysical Techniques*. Springer, London New York.
- Wardana, ING. 2008. Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran. PT. Danar Wijaya. Brawijaya University Press: Malang



Lampiran 1 Data Hasil Penelitian Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana

Data Penelitian (Tekanan Gauge)											
1 bar				2 bar				3 bar			
Time	Minute	T (°C)	P (mV)	Time	Minute	T (°C)	P (mV)	Time	Minute	T (°C)	P (mV)
17:56:13	0	28.118	5.401	18:42:52	0	28.882	5.758	14:58:35	0	27.689	5.943
18:26:13	30	1.376	5.363	19:12:52	30	1.588	5.645	15:28:35	30	1.424	5.725
18:56:13	60	1.689	5.356	19:42:52	60	1.429	5.587	15:58:35	60	1.571	5.586
19:26:13	90	1.688	5.351	20:12:52	90	1.765	5.523	16:28:35	90	1.712	5.474
19:56:13	120	1.729	5.335	20:42:52	120	1.624	5.513	16:58:35	120	1.624	5.459
20:26:13	150	1.576	5.296	21:12:52	150	1.596	5.478	17:28:35	150	1.782	5.451
20:56:13	180	1.654	5.286	21:42:52	180	1.606	5.461	17:58:35	180	1.653	5.449
21:26:13	210	1.735	5.271	22:12:52	210	1.659	5.456	18:28:35	210	1.641	5.443
21:56:13	240	1.588	5.266	22:42:52	240	1.553	5.451	18:58:35	240	1.747	5.442
22:26:13	270	1.706	5.258	23:12:52	270	1.651	5.448	19:28:35	270	1.494	5.441
22:56:13	300	1.429	5.253	23:42:52	300	1.694	5.431	19:58:35	300	1.688	5.448
23:26:13	330	1.453	5.254	00:12:52	330	1.447	5.426	20:28:35	330	1.676	5.451
23:56:13	360	1.794	5.251	00:42:52	360	1.712	5.424	20:58:35	360	1.547	5.452
00:26:13	390	1.588	5.254	01:12:52	390	1.694	5.413	21:28:35	390	1.547	5.454
00:56:13	420	1.659	5.258	01:42:52	420	1.765	5.392	21:58:35	420	1.759	5.447
01:26:13	450	1.576	5.246	02:12:52	450	1.541	5.388	22:28:35	450	1.218	5.449
01:56:13	480	1.712	5.247	02:42:52	480	1.635	5.367	22:58:35	480	1.712	5.437
02:26:13	510	1.606	5.245	03:12:52	510	1.465	5.354	23:28:35	510	1.518	5.435
02:56:13	540	1.658	5.232	03:42:52	540	1.759	5.346	23:58:35	540	1.782	5.431
03:26:13	570	1.571	5.226	04:12:52	570	1.476	5.345	00:28:35	570	1.747	5.426
03:56:13	600	1.625	5.223	04:42:52	600	1.457	5.347	00:58:35	600	1.653	5.418

Lampiran 2 Data Hasil Kalibrasi Penelitian Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana

Data Kalibrasi (Tekanan Gauge)											
1 bar				2 bar				3 bar			
Time	Minute	T (°C)	P (bar)	Time	Minute	T (°C)	P (bar)	Time	Minute	T (°C)	P (bar)
17:56:13	0	26.62257	0.737435	18:42:52	0	27.36563	1.906753	14:58:35	0	26.20532	2.512702
18:26:13	30	0.613298	0.61297	19:12:52	30	0.819489	1.536633	15:28:35	30	0.659982	1.798665
18:56:13	60	0.917721	0.590042	19:42:52	60	0.664845	1.34666	15:58:35	60	0.802955	1.343384
19:26:13	90	0.916749	0.573665	20:12:52	90	0.991639	1.137034	16:28:35	90	0.940091	0.97654
19:56:13	120	0.956625	0.521259	20:42:52	120	0.854502	1.10428	16:58:35	120	0.854502	0.927409
20:26:13	150	0.807818	0.393518	21:12:52	150	0.82727	0.989641	17:28:35	150	1.008173	0.901205
20:56:13	180	0.88368	0.360764	21:42:52	180	0.836996	0.933959	17:58:35	180	0.882708	0.894655
21:26:13	210	0.962461	0.311633	22:12:52	210	0.888543	0.917582	18:28:35	210	0.871037	0.875002
21:56:13	240	0.819489	0.295256	22:42:52	240	0.785448	0.901205	18:58:35	240	0.974132	0.871727
22:26:13	270	0.934256	0.269053	23:12:52	270	0.880763	0.891379	19:28:35	270	0.728064	0.868451
22:56:13	300	0.664845	0.252676	23:42:52	300	0.922584	0.835697	19:58:35	300	0.916749	0.891379
23:26:13	330	0.688188	0.255952	00:12:52	330	0.682352	0.81932	20:28:35	330	0.905078	0.901205
23:56:13	360	1.019844	0.246125	00:42:52	360	0.940091	0.81277	20:58:35	360	0.779612	0.904481
00:26:13	390	0.819489	0.255952	01:12:52	390	0.922584	0.77674	21:28:35	390	0.779612	0.911032
00:56:13	420	0.888543	0.269053	01:42:52	420	0.991639	0.707957	21:58:35	420	0.985803	0.888104
01:26:13	450	0.807818	0.229748	02:12:52	450	0.773777	0.694855	22:28:35	450	0.459627	0.894655
01:56:13	480	0.940091	0.233024	02:42:52	480	0.865201	0.626072	22:58:35	480	0.940091	0.85535
02:26:13	510	0.836996	0.226473	03:12:52	510	0.699859	0.583492	23:28:35	510	0.751407	0.848799
02:56:13	540	0.887571	0.183893	03:42:52	540	0.985803	0.557288	23:58:35	540	1.008173	0.835697
03:26:13	570	0.802955	0.16424	04:12:52	570	0.710558	0.554013	00:28:35	570	0.974132	0.81932
03:56:13	600	0.855475	0.154414	04:42:52	600	0.692078	0.560564	00:58:35	600	0.882708	0.793117

Data Kalibrasi (Tekanan Absolute)

2 bar				3 bar				4 bar			
Time	Minute	T (°C)	P (bar)	Time	Minute	T (°C)	P (bar)	Time	Minute	T (°C)	P (bar)
17:56:13	0	26.62257	1.737435	18:42:52	0	27.36563	2.906753	14:58:35	0	26.20532	3.512702
18:26:13	30	0.613298	1.61297	19:12:52	30	0.819489	2.536633	15:28:35	30	0.659982	2.798665
18:56:13	60	0.917721	1.590042	19:42:52	60	0.664845	2.34666	15:58:35	60	0.802955	2.343384
19:26:13	90	0.916749	1.573665	20:12:52	90	0.991639	2.137034	16:28:35	90	0.940091	1.97654
19:56:13	120	0.956625	1.521259	20:42:52	120	0.854502	2.10428	16:58:35	120	0.854502	1.927409
20:26:13	150	0.807818	1.393518	21:12:52	150	0.82727	1.989641	17:28:35	150	1.008173	1.901205
20:56:13	180	0.88368	1.360764	21:42:52	180	0.836996	1.933959	17:58:35	180	0.882708	1.894655
21:26:13	210	0.962461	1.311633	22:12:52	210	0.888543	1.917582	18:28:35	210	0.871037	1.875002
21:56:13	240	0.819489	1.295256	22:42:52	240	0.785448	1.901205	18:58:35	240	0.974132	1.871727
22:26:13	270	0.934256	1.269053	23:12:52	270	0.880763	1.891379	19:28:35	270	0.728064	1.868451
22:56:13	300	0.664845	1.252676	23:42:52	300	0.922584	1.835697	19:58:35	300	0.916749	1.891379
23:26:13	330	0.688188	1.255952	00:12:52	330	0.682352	1.81932	20:28:35	330	0.905078	1.901205
23:56:13	360	1.019844	1.246125	00:42:52	360	0.940091	1.81277	20:58:35	360	0.779612	1.904481
00:26:13	390	0.819489	1.255952	01:12:52	390	0.922584	1.77674	21:28:35	390	0.779612	1.911032
00:56:13	420	0.888543	1.269053	01:42:52	420	0.991639	1.707957	21:58:35	420	0.985803	1.888104
01:26:13	450	0.807818	1.229748	02:12:52	450	0.773777	1.694855	22:28:35	450	0.459627	1.894655
01:56:13	480	0.940091	1.233024	02:42:52	480	0.865201	1.626072	22:58:35	480	0.940091	1.85535
02:26:13	510	0.836996	1.226473	03:12:52	510	0.699859	1.583492	23:28:35	510	0.751407	1.848799
02:56:13	540	0.887571	1.183893	03:42:52	540	0.985803	1.557288	23:58:35	540	1.008173	1.835697
03:26:13	570	0.802955	1.16424	04:12:52	570	0.710558	1.554013	00:28:35	570	0.974132	1.81932
03:56:13	600	0.855475	1.154414	04:42:52	600	0.692078	1.560564	00:58:35	600	0.882708	1.793117

Lampiran 3 Data Hasil Perhitungan Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana

Data Perhitungan Laju Pembentukan Gs Hidrat Variasi Tekanan 2 bar						
Time	Minute	T (°C)	P (bar)	PHy(bar)	V (cm3)	n (mol)
17:56:13	0	26,62257	1,737435	0	100,00008	0
18:26:13	30	0,613298	1,61297	0,124465	98,07942	0,055851
18:56:13	60	0,917721	1,590042	0,147393	97,72548	0,065827
19:26:13	90	0,916749	1,573665	0,16377	97,47267	0,072952
19:56:13	120	0,956625	1,521259	0,216176	96,66368	0,095484
20:26:13	150	0,807818	1,393518	0,343917	94,69174	0,148888
20:56:13	180	0,88368	1,360764	0,376671	94,18612	0,162152
21:26:13	210	0,962461	1,311633	0,425802	93,42768	0,181774
21:56:13	240	0,819489	1,295256	0,442179	93,17487	0,188353
22:26:13	270	0,934256	1,269053	0,468382	92,77037	0,198565
22:56:13	300	0,664845	1,252676	0,484759	92,51756	0,20515
23:26:13	330	0,688188	1,255952	0,481484	92,56812	0,203857
23:56:13	360	1,019844	1,246125	0,49131	92,41644	0,207426
00:26:13	390	0,819489	1,255952	0,481484	92,56812	0,20376
00:56:13	420	0,888543	1,269053	0,468382	92,77037	0,198598
01:26:13	450	0,807818	1,229748	0,507687	92,16363	0,213919
01:56:13	480	0,940091	1,233024	0,504412	92,21419	0,212553
02:26:13	510	0,836996	1,226473	0,510962	92,11306	0,215158
02:56:13	540	0,887571	1,183893	0,553543	91,45575	0,231382
03:26:13	570	0,802955	1,16424	0,573195	91,15238	0,238876
03:56:13	600	0,855475	1,154414	0,583021	91,00069	0,24252

Data Perhitungan Laju Pembentukan Gs Hidrat Variasi Tekanan 3 bar						
Time	Minute	T (°C)	P (bar)	PHy(bar)	V (cm3)	n (mol)
18:42:52	0	27,36563	2,906753	0	100,0001	0
19:12:52	30	0,819489	2,536633	0,37012	97,52566	0,161882
19:42:52	60	0,664845	2,34666	0,560093	96,25559	0,241918
20:12:52	90	0,991639	2,137034	0,769719	94,85414	0,333573
20:42:52	120	0,854502	2,10428	0,802473	94,63517	0,347138
21:12:52	150	0,82727	1,989641	0,917112	93,86875	0,393556
21:42:52	180	0,836996	1,933959	0,972794	93,49649	0,41578
22:12:52	210	0,888543	1,917582	0,989171	93,387	0,422205
22:42:52	240	0,785448	1,901205	1,005548	93,27751	0,428853
23:12:52	270	0,880763	1,891379	1,015374	93,21182	0,441601
23:42:52	300	0,922584	1,835697	1,071056	92,83955	0,463886
00:12:52	330	0,682352	1,81932	1,087433	92,73007	0,470837
00:42:52	360	0,940091	1,81277	1,093984	92,68627	0,473004
01:12:52	390	0,922584	1,77674	1,130013	92,4454	0,492474
01:42:52	420	0,991639	1,707957	1,198796	91,98555	0,51972
02:12:52	450	0,773777	1,694855	1,211898	91,89795	0,525318
02:42:52	480	0,865201	1,626072	1,280681	91,4381	0,552171
03:12:52	510	0,699859	1,583492	1,323262	91,15343	0,569097
03:42:52	540	0,985803	1,557288	1,349465	90,97825	0,578646
04:12:52	570	0,710558	1,554013	1,35274	90,95635	0,580494
04:42:52	600	0,692078	1,560564	1,346189	91,00015	0,578

Data Perhitungan Laju Pembentukan Gs Hidrat Variasi Tekanan 4 bar

Time	Minute	T (°C)	P (bar)	PHy(bar)	V (cm3)	n (mol)
14:58:35	0	26,20532	3,512702	0	99,99978	0
15:28:35	30	0,659982	2,798665	0,714037	96,26265	0,314418
15:58:35	60	0,802955	2,343384	1,169318	93,87981	0,517736
16:28:35	90	0,940091	1,97654	1,536163	91,95981	0,673004
16:58:35	120	0,854502	1,927409	1,585294	91,70267	0,692803
17:28:35	150	1,008173	1,901205	1,611497	91,56553	0,702806
17:58:35	180	0,882708	1,894655	1,618048	91,53124	0,705722
18:28:35	210	0,871037	1,875002	1,6377	91,42839	0,713521
18:58:35	240	0,974132	1,871727	1,640975	91,41124	0,714545
19:28:35	270	0,728064	1,868451	1,644251	91,3941	0,716481
19:58:35	300	0,916749	1,891379	1,621323	91,5141	0,70693
20:28:35	330	0,905078	1,901205	1,611497	91,56553	0,703071
20:58:35	360	0,779612	1,904481	1,608221	91,58267	0,702095
21:28:35	390	0,779612	1,911032	1,601671	91,61696	0,699497
21:58:35	420	0,985803	1,888104	1,624598	91,49696	0,708047
22:28:35	450	0,459627	1,894655	1,618048	91,53124	0,706814
22:58:35	480	0,940091	1,85535	1,657352	91,32553	0,72109
23:28:35	510	0,751407	1,848799	1,663903	91,29124	0,724167
23:58:35	540	1,008173	1,835697	1,677005	91,22267	0,728637
00:28:35	570	0,974132	1,81932	1,693382	91,13696	0,735153
00:58:35	600	0,882708	1,793117	1,719585	90,99982	0,745654

Lampiran 4 Data Hasil Penelitian Tekanan Disosiasi pada Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana

Tekanan Disosiasi											
2 Bar				3 Bar				4 Bar			
Waktu	Menit	T (°C)	P Tab (bar)	Waktu	Menit	T (°C)	P Tab (bar)	Waktu	Menit	T (°C)	P Tab (bar)
04:49:13	0	-4.85	0	05:24:52	0	5.128	0	01:49:35	0	5.002	0
04:59:13	10	5.524	0	05:34:52	10	4.288	0	01:59:35	10	4.341	0
05:09:13	20	5.718	0.018	05:44:52	20	4.959	0	02:09:35	20	4.165	0
05:19:13	30	5.176	0.018	05:54:52	30	4.976	0.012	02:19:35	30	4.676	0
05:29:13	40	5.424	0.018	06:04:52	40	4.782	0.012	02:29:35	40	6.512	0
05:39:13	50	5.494	0.018	06:14:52	50	4.865	0.012	02:39:35	50	6.341	0
05:49:13	60	5.476	0.02	06:24:52	60	4.888	0.013	02:49:35	60	6.418	0.01
05:59:13	70	5.459	0.02	06:34:52	70	5.135	0.013	02:59:35	70	6.841	0.01
06:09:13	80	5.388	0.02	06:44:52	80	5.065	0.013	03:09:35	80	6.176	0.01
06:19:13	90	5.353	0.02	06:54:52	90	5.171	0.013	03:19:35	90	6.247	0.01
06:29:13	100	5.247	0.02	07:04:52	100	5.198	0.013	03:29:35	100	6.282	0.01
06:39:13	110	5.482	0.02	07:14:52	110	4.791	0.013	03:39:35	110	6.212	0.01
06:49:13	120	5.594	0.02	07:24:52	120	4.582	0.015	03:49:35	120	6.088	0.01

06:59:13	130	- 5.753	0.02	07:34:52	130	- 4.659	0.015	03:59:35	130	- 6.053	0.01
07:09:13	140	- 5.718	0.02	07:44:52	140	- 4.059	0.015	04:09:35	140	- 5.894	0.01
07:19:13	150	- 5.741	0.02	07:54:52	150	- 5.082	0.015	04:19:35	150	- 5.765	0.01
07:29:13	160	- 5.871	0.02	08:04:52	160	- 5.012	0.015	04:29:35	160	- 5.665	0.01
07:39:13	170	- 5.029	0.02	08:14:52	170	- 5.465	0.015	04:39:35	170	- 5.524	0.01
07:49:13	180	- 4.835	0.02	08:24:52	180	- 4.935	0.015	04:49:35	180	- 5.259	0.01
07:59:13	190	-4.8	0.02	08:34:52	190	- 5.076	0.015	04:59:35	190	- 5.047	0.01
08:09:13	200	- 4.694	0.02	08:44:52	200	- 5.518	0.015	05:09:35	200	- 4.941	0.01
08:19:13	210	- 4.465	0.02	08:54:52	210	- 5.012	0.015	05:19:35	210	- 5.782	0.01
08:29:13	220	- 4.324	0.02	09:04:52	220	- 5.506	0.015	05:29:35	220	- 5.659	0.01
08:39:13	230	- 4.253	0.02	09:14:52	230	- 4.456	0.015	05:39:35	230	- 5.447	0.01
08:49:13	240	- 4.024	0.02	09:24:52	240	- 4.265	0.015	05:49:35	240	- 5.306	0.01
08:59:13	250	- 4.518	0.02	09:34:52	250	- 4.139	0.015	05:59:35	250	- 5.076	0.01
09:09:13	260	- 4.394	0.02	09:44:52	260	- 5.841	0.015	06:09:35	260	- 4.971	0.01
09:19:13	270	- 5.894	0.02	09:54:52	270	- 6.086	0.015	06:19:35	270	- 4.865	0.01
09:29:13	280	- 5.753	0.02	10:04:52	280	- 6.024	0.015	06:29:35	280	- 4.582	0.01

09:39:13	290	-	4.341	0.02	10:14:52	290	-	6.113	0.015	06:39:35	290	-	4.441	0.01
09:49:13	300	-	4.459	0.02	10:24:52	300	-	6.009	0.015	06:49:35	300	-	4.335	0.01

Lampiran 5 Data Hasil Kalibrasi Penelitian Tekanan Disosiasi pada Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana

Kalibrasi Tekanan Disosiasi												
2 Bar				3 Bar				4 Bar				
Waktu	Menit	T (°C)	P Tab (bar)	Waktu	Menit	T (°C)	P Tab (bar)	Waktu	Menit	T (°C)	P Tab (bar)	
04:49:13	0	5.44211	0	05:24:52	0	5.71249	0	01:49:35	0	5.58995	0	
04:59:13	10	6.09764	0	05:34:52	10	4.89551	0	01:59:35	10	4.94706	0	
05:09:13	20	6.28633	0.107136	05:44:52	20	5.54812	0	02:09:35	20	4.77588	0	
05:19:13	30	5.75918	0.107136	05:54:52	30	5.56466	0.101057	02:19:35	30	5.27288	0	
05:29:13	40	6.00038	0.107136	06:04:52	40	5.37597	0.101057	02:29:35	40	7.05857	0	
05:39:13	50	6.06846	0.107136	06:14:52	50	-5.4567	0.101057	02:39:35	50	6.89226	0	
05:49:13	60	6.05096	0.109162	06:24:52	60	5.47907	0.10207	02:49:35	60	6.96715	0.099031	
05:59:13	70	6.03442	0.109162	06:34:52	70	-5.7193	0.10207	02:59:35	70	7.37856	0.099031	
06:09:13	80	5.96537	0.109162	06:44:52	80	5.65122	0.10207	03:09:35	80	6.73178	0.099031	
06:19:13	90	5.93133	0.109162	06:54:52	90	5.75431	0.10207	03:19:35	90	6.80083	0.099031	
06:29:13	100	-	5.82823	0.109162	07:04:52	100	5.78057	0.10207	03:29:35	100	6.83487	0.099031

06:39:13	110	- 6.05679	0.109162	07:14:52	110	- 5.38473	0.10207	03:39:35	110	- 6.76679	0.099031
06:49:13	120	- 6.16572	0.109162	07:24:52	120	- 5.18145	0.104097	03:49:35	120	- 6.64619	0.099031
06:59:13	130	- 6.32037	0.109162	07:34:52	130	- 5.25634	0.104097	03:59:35	130	- 6.61215	0.099031
07:09:13	140	- 6.28633	0.109162	07:44:52	140	- 4.67278	0.104097	04:09:35	140	- -6.4575	0.099031
07:19:13	150	- -6.3087	0.109162	07:54:52	150	- 5.66775	0.104097	04:19:35	150	- 6.33204	0.099031
07:29:13	160	- 6.43513	0.109162	08:04:52	160	- 5.59967	0.104097	04:29:35	160	- 6.23478	0.099031
07:39:13	170	- 5.61621	0.109162	08:14:52	170	- 6.04026	0.104097	04:39:35	170	- 6.09764	0.099031
07:49:13	180	- 5.42752	0.109162	08:24:52	180	- 5.52478	0.104097	04:49:35	180	- -5.8399	0.099031
07:59:13	190	- 5.39348	0.109162	08:34:52	190	- 5.66192	0.104097	04:59:35	190	- 5.63371	0.099031
08:09:13	200	- 5.29038	0.109162	08:44:52	200	- 6.09181	0.104097	05:09:35	200	- 5.53062	0.099031
08:19:13	210	- 5.06766	0.109162	08:54:52	210	- 5.59967	0.104097	05:19:35	210	- 6.34857	0.099031
08:29:13	220	- 4.93052	0.109162	09:04:52	220	- 6.08014	0.104097	05:29:35	220	- 6.22894	0.099031
08:39:13	230	- 4.86147	0.109162	09:14:52	230	- 5.05891	0.104097	05:39:35	230	- 6.02275	0.099031
08:49:13	240	- 4.63874	0.109162	09:24:52	240	- 4.87314	0.104097	05:49:35	240	- 5.88562	0.099031
08:59:13	250	- 5.11921	0.109162	09:34:52	250	- 4.75059	0.104097	05:59:35	250	- 5.66192	0.099031
09:09:13	260	- -4.9986	0.109162	09:44:52	260	- 6.40596	0.104097	06:09:35	260	- 5.55979	0.099031

09:19:13	270	-6.4575	0.109162	09:54:52	270	-6.64424	0.104097	06:19:35	270	-5.4567	0.099031
09:29:13	280	-6.32037	0.109162	10:04:52	280	-6.58394	0.104097	06:29:35	280	-5.18145	0.099031
09:39:13	290	-4.94706	0.109162	10:14:52	290	-6.6705	0.104097	06:39:35	290	-5.04432	0.099031
09:49:13	300	-5.06182	0.109162	10:24:52	300	-6.56935	0.104097	06:49:35	300	-4.94122	0.099031

Lampiran 6 Data Hasil Penelitian Tekanan Hidrat pada Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana

Kalibrasi Tekanan Hidrat											
2 Bar				3 Bar				4 Bar			
Waktu	Menit	T (°C)	P Hy (bar)	Waktu	Menit	T (°C)	P Hy (bar)	Waktu	Menit	T (°C)	P Hy (bar)
04:49:13	0	-5.44211	0.583021	05:24:52	0	-5.71249	1.346189	01:49:35	0	-5.58995	1.719585
04:59:13	10	-6.09764	0.583021	05:34:52	10	-4.89551	1.346189	01:59:35	10	-4.94706	1.719585
05:09:13	20	-6.28633	0.475885	05:44:52	20	-5.54812	1.346189	02:09:35	20	-4.77588	1.719585
05:19:13	30	-5.75918	0.475885	05:54:52	30	-5.56466	1.245132	02:19:35	30	-5.27288	1.719585
05:29:13	40	-6.00038	0.475885	06:04:52	40	-5.37597	1.245132	02:29:35	40	-7.05857	1.719585
05:39:13	50	-6.06846	0.475885	06:14:52	50	-5.4567	1.245132	02:39:35	50	-6.89226	1.719585
05:49:13	60	-6.05096	0.473859	06:24:52	60	-5.47907	1.244119	02:49:35	60	-6.96715	1.620554
05:59:13	70	-6.03442	0.473859	06:34:52	70	-5.7193	1.244119	02:59:35	70	-7.37856	1.620554
06:09:13	80	-5.96537	0.473859	06:44:52	80	-5.65122	1.244119	03:09:35	80	-6.73178	1.620554

06:19:13	90	- 5.93133	0.473859	06:54:52	90	- 5.75431	1.244119	03:19:35	90	- 6.80083	1.620554
06:29:13	100	- 5.82823	0.473859	07:04:52	100	- 5.78057	1.244119	03:29:35	100	- 6.83487	1.620554
06:39:13	110	- 6.05679	0.473859	07:14:52	110	- 5.38473	1.244119	03:39:35	110	- 6.76679	1.620554
06:49:13	120	- 6.16572	0.473859	07:24:52	120	- 5.18145	1.242093	03:49:35	120	- 6.64619	1.620554
06:59:13	130	- 6.32037	0.473859	07:34:52	130	- 5.25634	1.242093	03:59:35	130	- 6.61215	1.620554
07:09:13	140	- 6.28633	0.473859	07:44:52	140	- 4.67278	1.242093	04:09:35	140	- -6.4575	1.620554
07:19:13	150	- -6.3087	0.473859	07:54:52	150	- 5.66775	1.242093	04:19:35	150	- 6.33204	1.620554
07:29:13	160	- 6.43513	0.473859	08:04:52	160	- 5.59967	1.242093	04:29:35	160	- 6.23478	1.620554
07:39:13	170	- 5.61621	0.473859	08:14:52	170	- 6.04026	1.242093	04:39:35	170	- 6.09764	1.620554
07:49:13	180	- 5.42752	0.473859	08:24:52	180	- 5.52478	1.242093	04:49:35	180	- -5.8399	1.620554
07:59:13	190	- 5.39348	0.473859	08:34:52	190	- 5.66192	1.242093	04:59:35	190	- 5.63371	1.620554
08:09:13	200	- 5.29038	0.473859	08:44:52	200	- 6.09181	1.242093	05:09:35	200	- 5.53062	1.620554
08:19:13	210	- 5.06766	0.473859	08:54:52	210	- 5.59967	1.242093	05:19:35	210	- 6.34857	1.620554
08:29:13	220	- 4.93052	0.473859	09:04:52	220	- 6.08014	1.242093	05:29:35	220	- 6.22894	1.620554
08:39:13	230	- 4.86147	0.473859	09:14:52	230	- 5.05891	1.242093	05:39:35	230	- 6.02275	1.620554
08:49:13	240	- 4.63874	0.473859	09:24:52	240	- 4.87314	1.242093	05:49:35	240	- 5.88562	1.620554

08:59:13	250	- 5.11921	0.473859	09:34:52	250	- 4.75059	1.242093	05:59:35	250	- 5.66192	1.620554
09:09:13	260	-4.9986	0.473859	09:44:52	260	- 6.40596	1.242093	06:09:35	260	- 5.55979	1.620554
09:19:13	270	-6.4575	0.473859	09:54:52	270	- 6.64424	1.242093	06:19:35	270	-5.4567	1.620554
09:29:13	280	- 6.32037	0.473859	10:04:52	280	- 6.58394	1.242093	06:29:35	280	- 5.18145	1.620554
09:39:13	290	- 4.94706	0.473859	10:14:52	290	-6.6705	1.242093	06:39:35	290	- 5.04432	1.620554
09:49:13	300	- 5.06182	0.473859	10:24:52	300	- 6.56935	1.242093	06:49:35	300	- 4.94122	1.620554

Lampiran 7 Data Hasil Penelitian Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana

Penguraian Hidrat Sampai Suhu Ruang						
P (Bar)	t (menit)	T (°C)	P KP (bar)	P Dis (bar)	P Hy (bar)	Pkp-Pd (bar)
2 Bar	301	28.94715	0.33	0.02	0.253021	0.31
3 Bar	298	28.6387	0.2	0.015	1.146189	0.185
4 Bar	398	28.54822	0.16	0.01	1.559585	0.15

Lampiran 8 Data Hasil Kalibrasi Penelitian Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana

Kalibrasi Penguraian Hidrat Sampai Suhu Ruang						
P (Bar)	t (menit)	T (°C)	P KP (bar)	P Dis (bar)	P Hy (bar)	Pkp-Pd (bar)
2 Bar	301	27.429	0.423223	0.109162	0.159798	0.402961
3 Bar	298	27.129	0.29152	0.104097	1.054669	0.276324
4 Bar	398	27.041	0.250996	0.099031	1.468589	0.240865

Lampiran 9 Data Hasil Perhitungan Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana

Data Perhitungan Kapasitas Penyimpanan Hidrat							
P (Bar)	t (menit)	T (°C)	P KP (bar)	P KP/Patm	n (mol)	V aktual (cm3)	Vak/Vstd (V/V)
2 Bar	301	27,429	0,423223	0,417689	0,24252	0,573031	7,641734
3 Bar	298	27,129	0,29152	0,287708	0,578	1,982712	26,44075
4 Bar	398	27,041	0,250996	0,247714	0,745654	2,97078	39,61727

TABLE A-1
Molar mass, gas constant, and critical-point properties

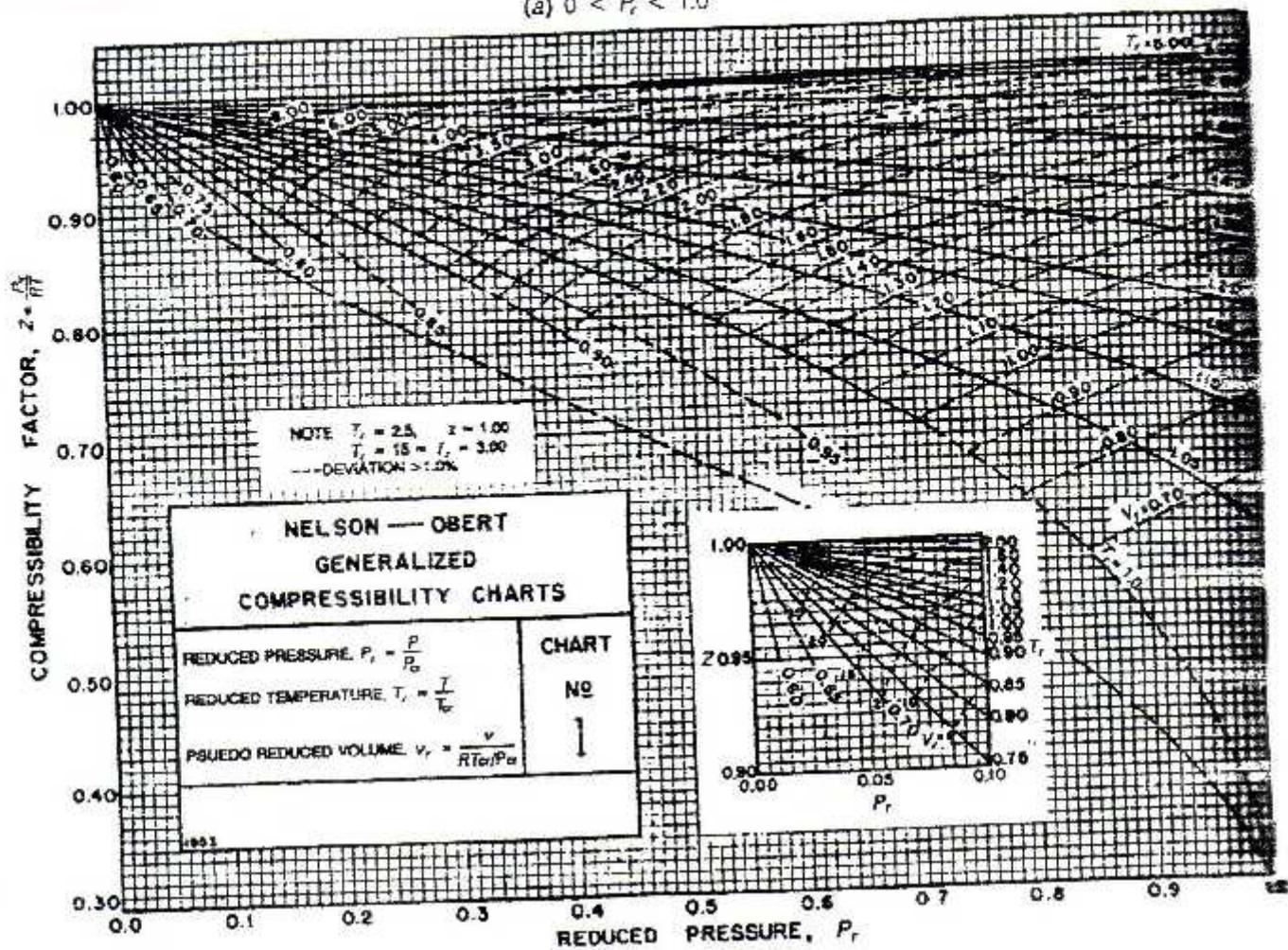
Substance	Formula	Molar mass kg/kmol	R kJ/(kg · K)*	Temperature K	Pressure MPa	Volume m ³ /kmol
Ammonia	NH ₃	17.03	0.4563	405.5	11.28	0.0724
Argon	A _r	39.948	0.2061	151	4.86	0.0749
Bromine	Br ₂	159.806	0.0520	584	10.34	0.1355
Carbon dioxide	CO ₂	44.01	0.1889	304.2	7.39	0.0943
Carbon monoxide	CO	28.011	0.2968	133	3.50	0.0930
Chlorine	Cl ₂	70.906	0.1173	417	7.71	0.1242
Deuterium (normal)	D ₂	4.00	2.0785	36.4	1.66	—
Helium	H _e	4.003	2.0769	5.3	0.23	0.0578
Hydrogen (normal)	H ₂	2.016	4.1240	33.3	1.30	0.0649
Krypton	K _r	83.80	0.09921	209.4	5.50	0.0924
Neon	Ne	20.183	0.4119	44.5	2.73	0.0417
Nitrogen	N ₂	28.013	0.2968	126.2	3.39	0.0899
Nitrous oxide	N ₂ O	44.013	0.1889	309.7	7.27	0.0961
Oxygen	O ₂	31.999	0.2598	154.8	5.08	0.0780
Sulfur dioxide	SO ₂	64.063	0.1298	430.7	7.86	0.1217
Water	H ₂ O	18.015	0.4615	647.3	22.09	0.0568
Xenon	Xe	131.30	0.06332	289.8	5.88	0.1186
Benzene	C ₆ H ₆	78.115	0.1064	562	4.92	0.2603
n-Butane	C ₄ H ₁₀	58.124	0.1430	425.2	3.80	0.2547
Carbon tetrachloride	CCl ₄	153.82	0.05405	556.4	4.56	0.2759
Chloroform	CHCl ₃	119.38	0.06964	536.6	5.47	0.2403
Dichlorodifluoromethane (R-12)	CCl ₂ F ₂	120.91	0.06876	384.7	4.01	0.2179
Dichlorofluoromethane	CHCl ₂ F	102.92	0.08078	451.7	5.17	0.1973
Ethane	C ₂ H ₆	30.070	0.2765	305.5	4.88	0.1460
Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH	46.07	0.1805	516	6.39	0.1673
Ethylene	C ₂ H ₄	28.054	0.2964	282.4	5.12	0.1242
n-Hexane	C ₆ H ₁₄	86.178	0.09647	507.9	3.03	0.3677
Methane	CH ₄	16.043	0.5182	191.1	4.64	0.0993
Methyl alcohol	CH ₃ OH	32.042	0.2595	513.2	7.95	0.1180
Methyl chloride	CH ₃ Cl	50.488	0.1647	416.3	6.68	0.1430
Propane	C ₃ H ₈	44.097	0.1885	370	4.26	0.1998
Propene	C ₃ H ₆	42.081	0.1976	365	4.62	0.1810
Propyne	C ₃ H ₄	40.065	0.2075	401	5.35	—
Trichlorofluoromethane	CCl ₃ F	137.37	0.06052	471.2	4.38	0.2478
Air	—	28.97	0.2870	—	—	—

*The unit kJ/(kg · K) is equivalent to MPa · m³/(kg · K). The gas constant is calculated from $R = R_v / M$, where $R_v = 8.314 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{K)}$ and M is the molar mass.

Source: Gordon J. Van Wylen and Richard E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, English/SI Version, 3d ed., Wiley, New York, 1986, p. 685, table A-6SI. Originally published in K. A. Kobo and P. E. Lynn, Jr., *Chemical Review*, vol. 52, pp. 117-21, 1953.

FIGURE A-30a

Nelson—Obert generalized compressibility chart—*low pressures*. (Used with permission of Dr. Edward E. Obert, University of Wisconsin.)

(a) $0 < P_r < 1.0$ 

LEMBAGA PENGETAHUAN INDONESIA
BAGIAN PENGETAHUAN BUMI

JL. CILEDUG RAYA CIPULIR KEBAYORAN LAMA JAKARTA SELATAN 12230 INDONESIA

Laporan Nomor 276/9.2/LH/UXII/2016

DEPARTEMEN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINYAK DAN GAS BUMI

2016

KELompok TEKNOLOGI ANALISIS GAS

JL. CILEDUG RAYA CIPULIR KEBAYORAN LAMA JAKARTA SELATAN 12230 INDONESIA
PO BOX 1089, JAKARTA 12110, INDONESIA PHONE: 7398276 (direct line), 7394422 EXT. 3629, 1660, 1661, FAX: 021-7246150

PT. PERTAMINA LUBRICANTS



LABORATORIUM PRODUCTION UNIT GRESIK

Jalan Harun Tohir Desa Pulau Pancikan Gresik - 61113

Phone 031-3293892, Fax. 031-3294965, Email : labplm@pertamina.com

ASLI

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Type of Sample : LPG MIX COA No : 0193/PL2203/COA-G/2014
 Customer : LPG & Gas Products Region V Date of COA : 04.02.2014
 Ex. Storage Location : Tanki Timbun III A (MT/LPG C NAVIGATOR GLOBAL) Sample Drawn by : -
 Sample No. : - Sample Drawn : -
 Sample Delivery No : 08/F15451/TD-B/02/2014 Received Date : 03.02.2014
 Sample Delivery Date : 29.01.2014 Type Test : -

NO	TEST	UNIT	METHOD	LIMIT	RESULT
1.	Specific Gravity at 60 / 60 °F	-	ASTM D 1657	Reported	-
2.	Vapor Pressure at 100 °F	psig	ASTM D 1267	Max. 145	106
3.	Copper Corrosion 1 hr / 100 °F	-	ASTM D 1838	ASTM No. 1	ASTM No.1
4.	Composition :		ASTM D 2163 Gas Chromatography		
	C2	% Vol		Max. 0.8	0,11
	C3			-	29,57
	C4			-	50,11
	C5	% Vol		Max. 2.0	0,21
5.	Molekul Weight (in Liquid)	-	-	-	50,17

Note : This report relates only to the sample tested and does not guarantee the bulk of material to be of equality.

*) Sesuai dengan Spesifikasi Dirjen Migas No. 22394.K/10/DJM.T/2009, terggol 11 Nopember 2009

Distribusi:

To : LPG & Gas Products Region V
 Cc : File

Jakarta, 04 April 2013
 Junior Analyst QC, lab. Prod. Unit Gresik

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINYAK DAN GAS BUMI

LEMIGAS

LABORATORIUM KELompOK TEKNOLOGI ANALISIS GAS

JALAN CILEDUG RAYA KAVELING 109 – CIPULIR – KEBAYORAN LAMA – JAKARTA SELATAN 12230
TELEPON: 62-21-7394422 ext. 1688, 1680, 1661 FAKSIMILE: 62-21-7246150

Jakarta, 23 Desember 2014

Yang terhormat,

HSE Manager

PT. Optima Sinergi Comvestama
Gandaria 8 Office Building
Lantai 16 Blok G – H

Telepon 021 – 2930 3800/ 3734
Fax 021 – 2930 3736
Hp. 0812 9096 733

Up. Bapak Herclif Sayan

Sehubungan dengan service order Saudara Nomor 022-SO-100-JKT-XII-2014 tanggal 22 Desember 2014 hal analisis gas LPG, bersama ini kami sampaikan Laporan Hasil Uji Nomor 274/9.2/LHU/XII/2014 mengenai analisis komposisi gas LPG dimaksud yang sampainya kami terima pada tanggal 22 Desember 2014.

Terkait dengan hal tersebut, terlampir kami sampaikan pula Lembaran Pengukuran Kepuasan Pelanggan untuk diisi dan dikembalikan ke PPPTMGB "LEMIGAS" pada kesempatan pertama.

Atas perhatian dan kerja sama Saudara, kami ucapan terima kasih.

Kepala Kelompok Teknologi Analisis Gas,

Dra. Yayun Andriani, M.Si

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINYAK DAN GAS BUMI "LEMIGAS"

LEMIGAS

LABORATORIUM PPPTMGB "LEMIGAS"

JL. CILEDUG RAYA-CIPULIR-KEBAYORAN LAMA-JAKARTA SELATAN 12230 INDONESIA
PO. BOX 12000JKT, JAKARTA 12000, INDONESIA PHONE: 7384022 (Ext. 1401, 1402, 1403) FAX: 47188, 47171 TELX: 47188 7348100

LAPORAN HASIL UJI LABORATORIUM
REPORT OF LABORATORY TEST RESULT

No. Arsip/Archive Number	: 274/9.2/XII/2014	Satuan Kerja	: KTP3 Teknologi Gas
Nomor PKJ/Work Order Number	: 022-SO-100-JKT-XII-2014	Kelompok/Group	: BLM 9.2

DISIAPKAN UNTUK PELANGGAN/PREPARED FOR CUSTOMER

Nama/Name	: Bapak Herdin Sayan – HSE Manager
Alamat/Address	: PT Optima Sinergi Comvestama Gandaria 8 Office Building Lantai 16 Blok G - H
Nomor Telepon/Phone No(s).	: 021 – 2930 3800/ 3734
Nomor Facsimile/Fax. No(s).	: 021 – 2930 3736
Nomor Surat Permintaan/No. of service/Work Order Letter	: 022-SO-100-JKT-XII-2014
Tanggal Permintaan/Date of Order	: 22 Desember 2014

IDENTIFIKASI LAPORAN HASIL UJI/REPORT IDENTIFICATION

Lokasi Pengujian/Place Of Testing	: Laboratorium Teknologi Analisis Gas
Nomor Laporan (LHU)/Report Number	: 274/9.2/LHU/XII/2014
Disiapkan oleh/Prepared by	: Dwi Noviyanti, SE
Disahkan oleh/Authorized by	: Dra. Yayun Andriani, M.Si
Tanggal Penerbitan/Date of Issued	: 23 Desember 2014

DATA PERCONTOH/SAMPLE DATA:

Nomor/Number	: 448/9.2/C/XII/2014
Jenis/Type	: LPG
Identifikasi/Identification	: Satu
Jumlah/Quantity (volume)	: 20 Desember 2014
Tanggal Sampling/Sampling Date	: Pihak PT. Optima Sinergi Comvestama
PPC/Sampler	: 22 Desember 2014
Metode Sampling/Sampling Method	: 23 Desember 2014
Tanggal Diterima/Received Date	: Terlampir
Tanggal Analisis/Date of Analysis	: Terlampir
Jenis Pengujian/Test Type	: Metoda Uji/Test Method

LAPORAN HASIL UJI selengkapnya disajikan pada halaman berikut:

The detailed report of the laboratory testing result is presented on the following pages.

Lampiran. 2 (dua) Lembar Hasil Uji

Disahkan Oleh/Authorized by

Ketua Kelompok Teknologi Analisis Gas / Head of Analytical Gas Technology Group

(Dra. Yayun Andriani, M.Si)

Tanggal/Date 23 Desember 2014

Semua rekaman, data, laporan, dan informasi lainnya yang dikeluarkan pada analisa laboratorium akan dijaga kerahasiananya. Menghindari sebagian atau keseluruhan laporan hanya bisa dilakukan dengan jin tertulis dan perusahaan.
All records, data, reports, and other information conducted in the laboratory analysis shall be treated as confidential. Copy of part or hole of the report,
Hasil pengujian hanya berlaku untuk percontohan yang diberikan, dan tidak untuk kepentingan iklan maupun promosi.
This Result valid only for sample received, and not for promotion or publication.

No. Form:	F 10 IXK 93-A
No. Revisi:	II i
Halaman:	I dan I