

**PENGARUH PENAMBAHAN SURFAKTAN EKSTRAK BIJI  
MENGKUDU (*Morinda citrifolia*) TERHADAP KARAKTERISTIK  
HIDRAT PROPANA BUTANA PADA TEKANAN 2 BAR**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN MESIN**

**MALANG**

**2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGARUH PENAMBAHAN SURFAKTAN EKSTRAK BIJI**  
**MENGGUDU (*Morinda citrifolia*) TERHADAP KARAKTERISTIK**  
**HIDRAT PROPANA BUTANA PADA TEKANAN 2 BAR**

**SKRIPSI**  
**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**RIZKY OKTAMA TRIYATMA AJI**  
**NIM. 145060201111935**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
Pada tanggal 28 Desember 2018

Mengetahui  
Ketua Program Studi



Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
NIP 19740930 200012 1 001

Dosen Pembimbing

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



**JUDUL SKRIPSI**

Pengaruh Penambahan Surfaktan Ekstrak Biji Mengkudu (*Morinda Citrifolia*) Terhadap Karakteristik Hidrat Propana Butana Pada Tekanan 2 Bar

Nama Mahasiswa : Rizky Oktama Triyatma Aji

NIM : 145060201111035

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Teknik Konversi Energi

**KOMISI PEMBIMBING**

Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Widya Wijayanti ST., MT.

**TIM DOSEN PENGUJI**

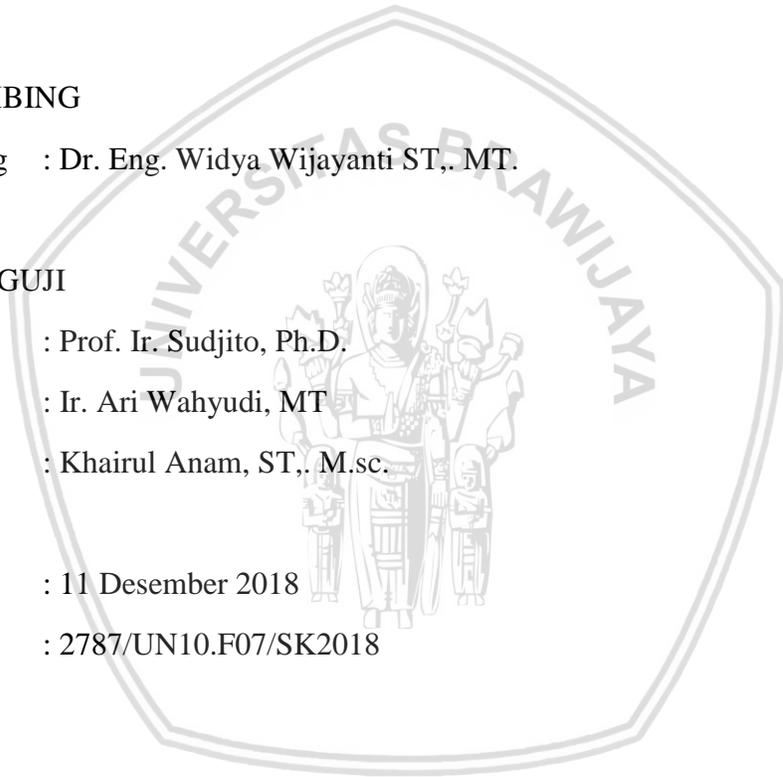
Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. Sudjito, Ph.D.

Dosen Penguji 2 : Ir. Ari Wahyudi, MT

Dosen Penguji 3 : Khairul Anam, ST., M.sc.

Tanggal Ujian : 11 Desember 2018

SK Penguji : 2787/UN10.F07/SK2018



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebarkan sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 28 Desember 2018  
Mahasiswa,



Rizky Oktama Triyatma Aji  
NIM. 145060201111035



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang karena berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **Pengaruh Penambahan Surfaktan Ekstrak Biji Mengkudu (*Morinda Citrifolia*) Terhadap Karakteristik Hidrat Propana Butana Pada Tekanan 2 Bar**, yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yaitu:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT. P.hD. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, P.hD selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang telah memfasilitasi penulis dalam menyusun tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah membantu proses administrasi.
3. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing dan Ketua Kelompok Jabatan Fungsional Konversi Energi yang telah memberikan bimbingan, ilmu, pengarahan, dan saran kepada penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak (Alm) Ir. Endi Sutikno, MT dan Ibu Dr. Putu Hadi Setyorini, ST.,MT selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan dalam menempuh perkuliahan di setiap semester.
5. Seluruh dosen pengajar, staf, dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuannya untuk penyusunan skripsi ini.
6. 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.
7. Ibunda Mami Suyatmi dan Ayahanda Hadi Prasetyo, S.Pd yang tiada lelah untuk memberikan kasih sayang, do'a, motivasi dan dukungan kepada penulis.
8. Kakak-kakak saya Mbak Dian, Mas Adhi dan Mas Farid, yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis

9. “ *Hidrate Squad* ” , Jeki, Satrio dan Evan yang selalu memberikan bantuan, dukungan, dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
10. Indywati Octavia Putri yang selalu memberikan motivasi, semangat, dan kasih sayang kepada penulis
11. Keluarga Besar Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Mas Rezza, Mbak Ayuk, Mas Naufal, Mas Unggar, Mas Bayu, Bara, Putri, Monik, Natasha, Ilham, Dono, Arul, Erlangga, Rizalul, Naufal WT, Ipay, dan Ifada yang telah menghabiskan waktu, memberikan dukungan, dan berbagi ilmu bersama penulis.
12. Rekan-rekan seperjuangan “M14” yang telah menjadi keluarga dan sudah berbagi banyak suka dan duka bersama penulis
13. Teman-temanku Rama, Syahel, Ikbar, Budi, Mad, Ikram, Apep, Sekur, Asep dan Ryan, yang memberi semangat dan pengalaman kepada penulis
14. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Penulis tentu saja menyadari bahwa tugas akhir ini tak luput dari kesalahan, maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran membangun dari para pembaca agar dapat menyusun skripsi ini dengan baik. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Malang, Desember 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>SUMMARY</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	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 .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Hidrat Gas Alam .....	6
2.3 Struktur Hidrat .....	6
2.4 Pembentukan Hidrat dan Proses Penguraian .....	9
2.5 Gas Alam.....	10
2.5.1 Propana .....	11
2.5.2 Butana .....	11
2.5.3 <i>Luqified Petroleum Gas</i> .....	12
2.6 Ikatan Hidrogen .....	12
2.7 Kelarutan Gas dalam Air.....	14
2.8 Promoter .....	15
2.9 Surfaktan .....	15
2.9.1 Pengertian Surfaktan .....	15
2.9.2 Jenis-jenis Surfaktan .....	16
2.9.3 Surfaktan sebagai Promoter Kinetik .....	17
2.10 Peran Surfaktan dalam Pembentukan Hidrat .....	18



2.10.1	Temperatur Krafft dan CMC dari Surfaktan dan Perannya dalam Pembentukan Hidrat Gas .....	21
2.10.2	Pengaruh Adsorpsi Surfaktan pada <i>Interface</i> Hidrat.....	22
2.11	Buah Mengkudu .....	23
2.12	<i>Fatty Acid Morinda Citrifolia (FAMC)</i> .....	24
2.13	Persamaan Gas Nyata .....	25
2.14	Hipotesa .....	30
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>31</b>
3.1	Metode Penelitian.....	31
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian .....	31
3.3	Variabel Penelitian .....	31
3.4	Alat dan Bahan Penelitian.....	32
3.4.1	Bahan Penelitian.....	32
3.4.2	Alat Penelitian.....	33
3.5	Instalasi Alat Penelitian.....	39
3.6	Prosedur Penelitian.....	39
3.6.1	Persiapan Penelitian .....	39
3.6.2	Pengambilan Data .....	40
3.6.2.1	Laju pembentukan Hidrat.....	40
3.6.2.2	Penguraian Hidrat.....	40
3.6.2.3	Kapasitas Penyimpanan Hidrat .....	40
3.6.3	Pengolahan Data.....	41
3.7	Diagram Alir Penelitian .....	42
<b>BAB IV Hasil dan Pembahasan .....</b>		<b>45</b>
4.1	Data Hasil Penelitian .....	45
4.1.1	Data Hasil Penelitian Laju Pembentukan Hidrat .....	45
4.1.2	Data Hasil Penelitian Stabilitas Hidrat .....	46
4.1.3	Data Hasil Penelitian Kapasitas Penyimpanan Hidrat .....	46
4.2	Contoh Perhitungan Data Hasil Penelitian dan Pembahasan .....	47
4.2.1	Laju Pembentukan .....	47
4.2.1.1	Contoh Perhitungan .....	47
4.2.1.2	Pembahasan .....	50
4.2.2	Stabilitas Hidrat .....	56
4.2.2.1	Contoh Perhitungan .....	56



4.2.2.2 Pembahasan .....	59
4.2.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat .....	60
4.2.3.1 Contoh Perhitungan .....	60
4.2.3.2 Pembahasan .....	62
4.3 Analisis Validasi Perbandingan antara Konsumsi Gas Teoritis Menggunakan Perhitungan dan Konsumsi Gas Aktual Hidrat Menggunakan Pengukuran Terhadap Waktu pada Laju Pembentukan Hidrat Gas Campuran Propana Butana .....	63
<b>BAB V Kesimpulan dan Saran .....</b>	<b>.68</b>
5.1 Kesimpulan .....	68
5.2 Saran .....	68
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Karakteristik umum dari gas alam .....	11
Tabel 2.2	Konstanta pada masing-masing persamaan keadaan gas nyata .....	30
Tabel 4.1	Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana .....	45
Tabel 4.2	Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana .....	46
Tabel 4.3	Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana .....	46

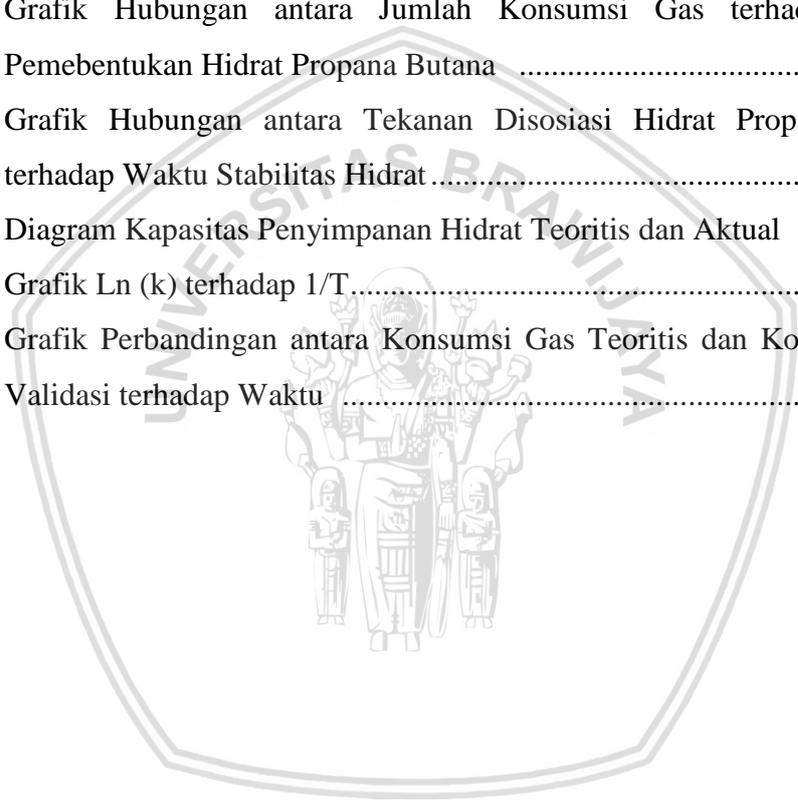


## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Struktur I Hidrat .....	7
Gambar 2.2	Struktur II Hidrat .....	8
Gambar 2.3	Struktur H Hidrat .....	9
Gambar 2.4	Pengaruh waktu terhadap konsumsi gas pada pembentukan hidrat .....	9
Gambar 2.5	Ikatan hidrogen antar molekul air dan molekul amonia .....	13
Gambar 2.6	Kelarutan gas dalam air terhadap temperatur .....	14
Gambar 2.7	Interpretasi molekular dari Hukum Henry, ketika tekanan parsial gas diatas cairan meningkat dari (a) ke (b). konsentrasi gas yang terlarut juga meningkat .....	15
Gambar 2.8	Molekul surfaktan .....	16
Gambar 2.9	Klasifikasi surfaktan .....	17
Gambar 2.10	Sifat-sifat molekul surfaktan .....	19
Gambar 2.11	<i>Micelle formation</i> dalam media <i>aqueous</i> terkait molekul surfaktan .....	20
Gambar 2.12	Hubungan kelarutan surfaktan, CMC dan <i>Kraft Point temperature</i> .....	21
Gambar 2.13	Pengaruh surfaktan terhadap sudut kontak .....	22
Gambar 2.14	Zeta potensial sebagai fungsi dari konsentrasi SDS pada hidrat CP dan THF dan adsorpsi SDS pada hidrat CP/interface air .....	23
Gambar 2.15	Buah Mengkudu .....	24
Gambar 2.16	Struktur FAMC .....	25
Gambar 3.1	Ekstrak Biji Mengkudu .....	32
Gambar 3.2	<i>Crystallizer</i> .....	33
Gambar 3.3	Motor listrik .....	34
Gambar 3.4	<i>Inverter</i> .....	34
Gambar 3.5	Gelas ukur .....	35
Gambar 3.6	Regulator gas .....	36
Gambar 3.7	Katub gas .....	36
Gambar 3.8	<i>Flowmeter Gas</i> .....	37
Gambar 3.9	<i>Thermocouple</i> .....	37
Gambar 3.10	<i>Pressure Sensor</i> .....	38
Gambar 3.11	<i>Cooling bath</i> .....	38



Gambar 3.12	Mesin Pendingin .....	39
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Tekanan terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana .....	50
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Temperatur terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana .....	51
Gambar 4.3	Struktur Surfaktan Ekstrak Biji Mengkudu (FAMC) .....	52
Gambar 4.4	Penurunan Tegangan Permukaan .....	52
Gambar 4.5	Grafik Hubungan antara Tekanan terhadap Temperatur Pembentukan Hidrat Propana Butana .....	54
Gambar 4.6	Grafik Hubungan antara Jumlah Konsumsi Gas terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana .....	55
Gambar 4.7	Grafik Hubungan antara Tekanan Disosiasi Hidrat Propana Butana terhadap Waktu Stabilitas Hidrat .....	59
Gambar 4.8	Diagram Kapasitas Penyimpanan Hidrat Teoritis dan Aktual .....	62
Gambar 4.9	Grafik Ln (k) terhadap 1/T .....	65
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan antara Konsumsi Gas Teoritis dan Konsumsi Gas Validasi terhadap Waktu .....	69



## DAFTAR LAMPIRAN

**Lampiran 1** Data Hasil Laju Pembentukan Hidrat

**Lampiran 2** Data Hasil Stabilitas Hidrat

**Lampiran 3** Komposisi *Liquified Petroleum Gas* (LPG)



## RINGKASAN

**Rizky Oktama Triyatma Aji**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2018, Pengaruh Penambahan Surfaktan ekstrak Biji Mengkudu (*Morinda Citrifolia*) terhadap Karakteristik Hidrat Propana Butana pada Tekanan 2 Bar, Dosen Pembimbing: Dr.Eng Widya Wijayanti, ST., MT.

Gas alam adalah bahan bakar fosil yang paling bersih dan sangat melimpah tersedia di alam baik dalam bentuk konvensional maupun dalam bentuk yang tidak konvensional. Diantara bahan bakar fosil, penggunaan gas alam sebagai energi primer akan terus meningkat. Sehingga diperlukan teknologi yang efektif untuk menyimpan dan mengangkut gas alam secara efisien. Menyimpan dan mengangkut gas alam dalam bentuk hidrat klatrat atau bisa disebut *solidified natural gas* (SNG) merupakan alternatif yang menjanjikan. Salah satu upaya untuk meningkatkan karakteristik dari hidrat adalah dengan menambahkan surfaktan.

Penelitian penambahan Surfaktan dari ekstrak biji mengkudu (FAMC) pada hidrat campuran propana butana dengan variasi kadar surfaktan 0 ppm, 500 ppm, 1000 ppm dan 1500 ppm, dilakukan pengambilan data berupa laju pembentukan, stabilitas, dan kapasitas penyimpanan pada temperature *cooling bath* 273 K dengan putaran *crystallizer* 200 rpm dan tekanan pembentukan 2 bar, dilakukan untuk mengetahui apakah surfaktan ekstrak biji mengkudu (FAMC) dapat meningkatkan karakteristik dari hidrat propana butana

Dan didapatkan hasil bahwa semakin rendah variasi kadar surfaktan maka laju pembentukan, stabilitas, dan kapasitas penyimpanannya lebih baik bila dibandingkan dengan variasi yang lebih tinggi. Dan tekanan 2 bar masih belum cukup untuk melarutkan gas kedalam hidrat propana butana dengan penambahan surfaktan ekstrak biji mengkudu

**Kata Kunci** : Gas hidrat, Hidrat Propana Butana, Surfaktan, Tegangan Permukaan

## SUMMARY

**Rizky Oktama Triyatma Aji**, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Brawijaya University, November 2018, The Effect of Adding Noni Extract Surfactant (*Morinda Citrifolia*) on the Characteristics of Propane Butane Hydrate at 2 Bar Pressure, Supervisor: Dr. Eng Widya Wijayanti, ST. , MT.

Natural gas is the cleanest and most abundant fossil fuel available in both conventional and unconventional forms. Among fossil fuels, the use of natural gas as primary energy will continue to increase. So that effective technology is needed to store and transport natural gas efficiently. Storing and transporting natural gas in the form of clatrate hydrate or *solidified natural gas* (SNG) is a promising alternative. One effort to improve the characteristics of hydrates is to add surfactants.

Research on adding surfactant from Noni seed extract (FAMC) to the mixture of propane butane hydrate with variations in levels of surfactant 0 ppm, 500 ppm, 1000 ppm and 1500 ppm, data collection was carried out in the form of formation rate, stability and storage capacity at temperature *cooling bath* 273 K with rotation *crystallizer* 200 rpm and 2 bar formation pressure were carried out to find out whether Noni extract (FAMC) surfactant can improve the characteristics of propane butane hydrate. The

Results showed that the lower the variation in surfactant levels, the better the formation rate and stability compared to with higher variations. And the pressure of 2 bars is still not enough to dissolve the gas into propane butane hydrate by adding noni extract extract surfactant

. **Keywords** : Gas hydrate, Hydrate Propane Butane, Surfactant, Surface tension

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gas alam adalah bahan bakar fosil yang paling bersih dan sangat melimpah tersedia di alam baik dalam bentuk konvensional maupun dalam bentuk yang tidak konvensional. Gas alam secara dominan mengandung metana bersama dengan presentase kecil dari gas hidrokarbon yang lebih tinggi seperti etana, propana, dan butana. Diantara bahan bakar fosil, penggunaan gas alam sebagai energi primer akan terus meningkat, menurut hal ini dibuktikan dengan riset dari outlook energi Indonesia bahwa berdasarkan sektor pengguna energi, kebutuhan energi final nasional hingga tahun 2025 masih akan didominasi oleh sektor transportasi dan industri, setelah tahun 2025, sektor industri akan mendominasi kebutuhan energi final nasional sejalan dengan peningkatan aktifitas industri dan perlambatan aktifitas kendaraan pribadi akibat adanya perpindahan moda ke transportasi masal, sektor industri merupakan pengguna gas yang cukup besar, kebutuhan energi final sektor industri tahun 2050 mencapai 292 juta TOE (BaU), 191 juta TOE (ALT1) dan 269 juta (ALT2). Untuk skenario BaU, pangsa batubara 29%, gas 27%, listrik 19%, BBM 7%, non BBM 6% dan EBT 11% tahun 2050. Untuk skenario ALT1, pangsa pada tahun 2050 berubah menjadi batubara 13%, gas 30%, listrik 26%, BBM 12%, dan EBT 15%. Untuk skenario ALT2, pangsa batubara 13%, gas 31%, listrik 21%, BBM 9%, non BBM 8%, dan EBT 17%. Pada ketiga skenario peran gas masih dominan.

Dengan pergeseran yang tak terelakkan ini menjadi ekonomi berbasis gas bumi secara global, ada kebutuhan yang terus meningkat untuk mengembangkan teknologi yang efektif untuk menyimpan dan mengangkut gas alam secara efisien. Beberapa pendekatan telah dipertimbangkan diseluruh dunia untuk transportasi gas, pendekatan yang paling umum adalah transportasi melalui pipa gas yang tidak selalu praktis mengingat jarak, biaya, kelayakan, dan aksesibilitas pengiriman lokasi. Pendekatan lain untuk transportasi dan penyimpanan gas alam dengan cara penyimpanan dengan volume yang lebih kecil yaitu dengan gas alam terkompresi (CNG). Namun masalah keamanan dan kapasitas penyimpanan volumetrik yang buruk adalah kelemahan CNG. Transportasi gas alam dalam bentuk cair, *liquidified natural gas* (LNG) telah dianggap sebagai pendekatan yang paling sesuai untuk skala besar dan transportasi jarak jauh karena kapasitas penyimpanan volumetrik yang tinggi. Saat ini tanker LNG digunakan untuk mengangkut gas alam dari sumber gas ke area permintaan. *Adsorbed natural gas* (ANG) atau gas alam

teradsorbssi adalah pendekatan lain yang memungkinkan untuk mengangkut gas alam dengan cara meyerap gas alam ke penyerap seperti karbon nanotube (CNT) graphene, kerangka organic logam (MOFs),dll.

Gas alam dapat disimpan dalam bentuk cair, padat dan gas. Perlu dicatat bahwa CNG memerlukan kebutuhan takanan yang sangat tinggi (200 bar) praktis membuatnya tidak praktis untuk penyimpanan NG skala besar, LNG persyaratan suhu yang sangat rendah (-162) sehingga tidak sesuai untuk skala besar dan penyimpanan jangka panjang, sedangkan pada ANG ada pengurangan kandungan dalam volume penyimpanannya. Menyimpan dan mengangkut gas alam dalam bentuk hidrat klatrat atau bisa disebut *solidified natural gas* (SNG) merupakan alternatif yang menjanjikan karena beberapa keuntungan yaitu : proses pembentukan klatrat hidrat ramah lingkungan karena menggunakan air dan konsentrasi promotor yang rendah, gas tamu (propana butana atau metana) disimpan dalam bentuk molekulnya masing-masing, pemanfaatannya sangat sederhana yaitu dengan depressurization atau rangsangan termal, suhu dan tekanan yang diperlukan untuk pembentukan hidrat dan penyimpanan hidrat dalam kondisi yang tidak ekstrem, mode penyimpanan yang kompak dengan kandungan energi yang relative tinggi per satuan volume, dan mode penyimpanan yang sangat aman karena sifatnya yang non-eksplusif

Teknologi SNG sesuai digunakan untuk penyimpanan dan transportasi gas alam, tetapi klatrat hidrat murni yang ditemukan di alam masih memiliki beberapa kekurangan sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan karakteristik hidrat yaitu laju pembentukan hidrat, stabilitas, dan kapasitas penyimpanan hidrat, dari penelitian sebelumnya disebutkan bahwa penambahan surfaktan akan meningkatkan karakteristik hidrat, seperti yang kita tahu sebagian besar surfaktan didapatkan dari sintesis minyak bumi, sehingga memerlukan proses yang sulit untuk mendapatkannya, selain itu karena didapatkan dari sintesis minyak bumi surfaktan sintetis ini sulit untuk terurai sehingga tidak ramah lingkungan. Maka diperlukan solusi alternatif pengganti surfaktan sintetis pada proses pembentukan hidrat yaitu dengan menggunakan surfaktan alami

*Fatty acid* dari biji tanaman dapat digunakan sebagai surfaktan alami,dan Salah satu penelitian kami adalah menggunakan surfaktan yang terbuat dari minyak biji mengkudu sebagai surfaktan alami pengganti surfaktan sintetis, yang dapat berfungsi sebagai promotor hidrat untuk meningkatkan karakteristik hidrat propana-butana. Karena ekstrak dari biji mengkudu ini mempunyai rantai panjang *polyunsaturated* yang memiliki karekateristik lipofilik yang ideal digunakan sebagai surfaktan. Selain itu seringkali biji

mengkudu menjadi bagian dari buah mengkudu yang belum dimanfaatkan dan mudah didapatkan.

Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penambahan surfaktan ekstrak biji mengkudu terhadap peningkatan laju pembentukan hidrat, kapasitas penyimpanan hidrat, dan stabilitas hidrat pada tekanan 2 bar, yang merupakan tekanan minimum pembentukan hidrat propana butana, sehingga diharapkan surfaktan alami ekstrak biji mengkudu dapat digunakan sebagai surfaktan alternatif pengganti surfaktan sintesis .

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dibahas sebelumnya, dapat dirumuskan sebuah permasalahan yaitu bagaimana pengaruh kadar ekstrak minyak biji mengkudu terhadap laju pembentukan hidrat, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat campuran propana butana pada tekanan yang sama.

## 1.3 Batasan Masalah

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

1. Perilaku gas nyata diaplikasikan pada gas hidrat propana dan butana.
2. Tidak terjadi kebocoran pada *crystallizer* saat pengujian dilaksanakan.
3. Selama pengujian dilaksanakan tekanan didalam *crystallizer* dianggap tidak berubah atau konstan.
4. Toleransi pada temperatur *cooling bath*  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
5. Kapasitas penyimpanan hidrat bukan berarti kapasitas penyimpanan maksimum hidrat.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah

1. Dapat membantu menyelesaikan permasalahan penyimpanan dan pendistribusian gas alam
2. Dapat digunakan sebagai cara baru penggunaan surfaktan alami dalam peningkatan karakteristik hidrat
3. Sebagai cara awal meningkatkan kualitas hidrat sebagai energi masa depan.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memecahkan permasalahan dalam penyimpanan dan pendistribusian gas alam
2. Memanfaatkan karakteristik dari hidrat gas sebagai pengembangan produksi maupun distribusi dari bahan bakar gas.
3. Dapat digunakan sebagai referensi tentang pengaruh surfaktan alami terhadap karakteristik laju pembentukan, penguraian dan kapasitas gas hidrat lainnya.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Ganji, dkk. (2007) dalam penelitiannya mengenai pengaruh antara surfaktan anion, kation dan non-ion dalam hidrat metana terhadap laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan. Setiap surfaktan diuji dengan konsentrasi 300, 500 dan 1000 ppm. Pada penelitian laju pembentukan hidrat metana, 75 cm<sup>3</sup> air murni 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 pada 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, system dibiarkan hingga mencapai temperatur ruang sehingga hidrat melepas gas metana yang terjebak di dalamnya. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa surfaktan anion merupakan yang terbaik dalam memanfaatkan metana untuk penyimpanan dan transportasi gas. Surfaktan anion memiliki laju pembentukan yang cukup tinggi, dan stabilitas hidratnya terbentuk sangat memuaskan pada temperatur 268.2 K, serta kapasitas penyimpanan hidrat merupakan yang paling tinggi yaitu 155 V/V.

Ony, dkk. (2015) dalam penelitiannya mengenai pengaruh variasi tekanan terhadap karakteristik pembentukan gas hidrat propana butana. Dengan menggunakan tekanan pembentukan sebesar 0.2 MPa, 0.3 MPa dan 0.4 MPa. Dan data diambil dengan temperatur pembentukan hidrat sebesar 274 K. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa variasi tekanan sangat berpengaruh dalam menentukan nilai karakteristik dari gas hidrat yang terbentuk terutama propana butana, dimana semakin besar tekanannya maka karakteristik gas hidrat akan semakin meningkat.

Gede, dkk. (2016) dalam penelitiannya mengenai pengaruh variasi temperatur *cooling bath* terhadap karakteristik hidrat gas campuran propana butana pada tekanan 2 bar. Data diambil pada temperatur pembentukan 269 K, 271 K, 273 K, 275 K dan 277 K. Dengan kecepatan putar *crystallizer* sebesar 200 rpm. Didapatkan hasil bahwa pada temperatur pembentukan 269 K memiliki karakteristik hidrat yang semakin tinggi. Hal ini disebabkan

karena penurunan temperatur akan menyebabkan proses perpindahan panas yang terjadi akan semakin besar.

## 2.2 Hidrat Gas Alam

Hidrat gas alam adalah campuran gas dan air yang sudah terkristalisasi menjadi es yang membutuhkan tekanan tinggi dan temperatur yang rendah. Molekul air yang terkandung didalam es tersebut memiliki ikatan hidrogen sehingga akan terbentuk sebuah kerangka yang memiliki rongga didalamnya. Didalam rongga antar molekul air terdapat molekul gas yang terjebak pada berbagai macam bentuk dan ukuran (Ganji, 2007). Gas yang terperangkap didalam rongga kristal es tersebut disebut klatrat. Klatrat merupakan senyawa yang terinklusi didalam rongga kristal es (Webster, 1994). Molekul gas alam yang mudah ditemukan adalah gas metana, butana, propana, etana dan karbon dioksida.

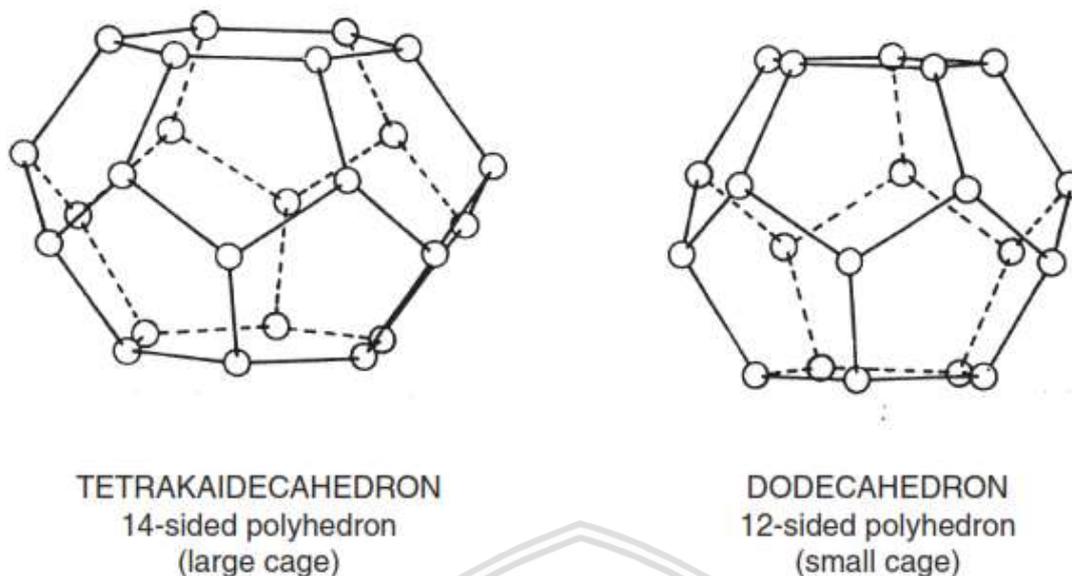
Pada industri gas alam, dalam proses transportasi gas menggunakan metode pemipaan dengan tekanan tinggi dan temperatur rendah, hal ini menjadi salah satu faktor pendukung untuk terjadinya pembentukan hidrat di pipa. Terbentuknya hidrat didalam pipa bisa menyebabkan tersumbatnya saluran pipa kecuali pada kondisi dimana temperatur tidak mencapai suhu titik beku.

## 2.3 Struktur Hidrat

Hidrat diklasifikasikan berdasarkan susunan molekul air didalam Kristal, dan karena struktur kristalnya. Dua tipe hidrat yang umumnya ditemui pada bisnis petroleum adalah tipe I dan tipe II, terkadang disebut juga struktur I dan struktur II. Tipe ketiga hidrat yang juga bisa ditemui adalah tipe H (juga disebut struktur H) tapi jarang ditemui.

### 1. Struktur I hidrat

Struktur hidrat yang paling sederhana adalah struktur I, struktur ini terbuat dari dua tipe kerangka; (1) dodecahedron, 12 sisi polyhedron dimana setiap sisi adalah sebuah pentagon biasa, dan (2) tetrakaidecahedron, 14 sisi polyhedron dengan 12 sisi pentagonal dan 2 sisi hexagonal. Kerangka dodecahedral lebih kecil dari pada kerangka tetrakaidecahedron. Struktur I hidrat mengandung 46 molekul air, jika molekul tamu menempati setiap kerangka, rumus teoritis hidrat adalah  $X \cdot 5 \frac{3}{4} H_2O$ , dimana X adalah pembentuk hidrat. Beberapa pembentuk struktur I hidrat umumnya adalah metana, etana, karbondioksida, dan hidrogen sulfida.

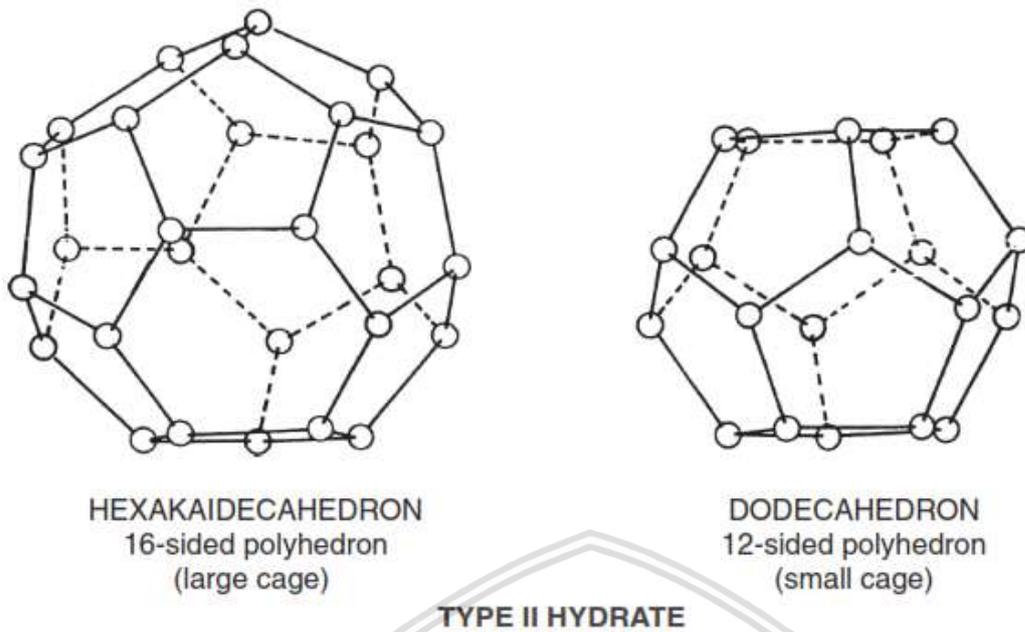


**TYPE I HYDRATE**

*Gambar 2.1* Struktur I Hidrat  
Sumber : John Carroll (2009,p.19)

## 2. Struktur II hidrat

Struktur II hidrat secara signifikan lebih rumit dibandingkan dengan struktur I hidrat. Struktur II hidrat juga tersusun dari dua tipe kerangka. Bagian dari struktur II hidrat adalah (1) dodecahedron, 12 sisi polyhedron dengan setiap sisi adalah pentagon biasa, dan (2) hexakaidecahedron, 16 sisi polyhedron dengan 12 sisi pentagonal dan 4 sisi hexagonal, kerangka dodecaheral lebih kecil dibandingkan dengan kerangka hexakaidecahedron. Struktur I hidrat mengandung 136 molekul air, jika molekul tamu menempati setiap kerangka, rumus teoritis hydrat adalah  $X \cdot 5 \frac{2}{3} \text{H}_2\text{O}$ , dimana X adalah pembentuk hidrat, atau beberapa kasus jika molekul tamu menempati hanya pada kerangka yang besar maka rumus teoritisnya adalah  $X \cdot 17 \text{H}_2\text{O}$ , sama seperti struktur I, struktur II juga non stokiometrik, sehingga komposisi aktual hidrat berbeda dengan nilai teoritisnya. Pembentuk struktur II hidrat ini pada umumnya nitrogen, propana, dan isobutana.

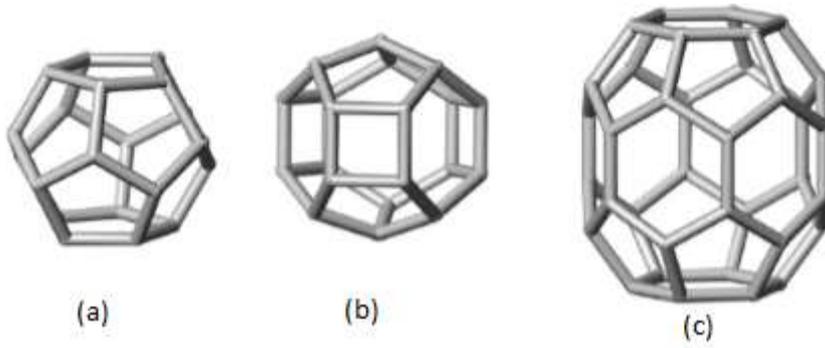


Gambar 2.2 Struktur II Hidrat  
Sumber : John Carroll (2009,p.19)

### 3. Struktur H hidrat

Struktur H hidrat kurang umum dibandingkan dengan struktur I maupun struktur II. Untuk membentuk hidrat tipe ini membutuhkan molekul yang kecil, seperti metana contoh pembentuk Struktur H hidrat. Struktur H hidrat juga tersusun dari dua tipe kerangka. Bagian dari struktur II hidrat adalah (1) dodecahedron, 12 sisi polyhedron dengan setiap sisi adalah pentagon biasa, (2) dodecahedron tak beraturan, dengan tiga sisi persegi, 6 sisi pentagonal, dan tiga sisi hexagonal, dan (3) icosahedron tak beraturan, 12 sisi polyhedron dengan 12 sisi pentagonal dan 8 sisi hexagonal.

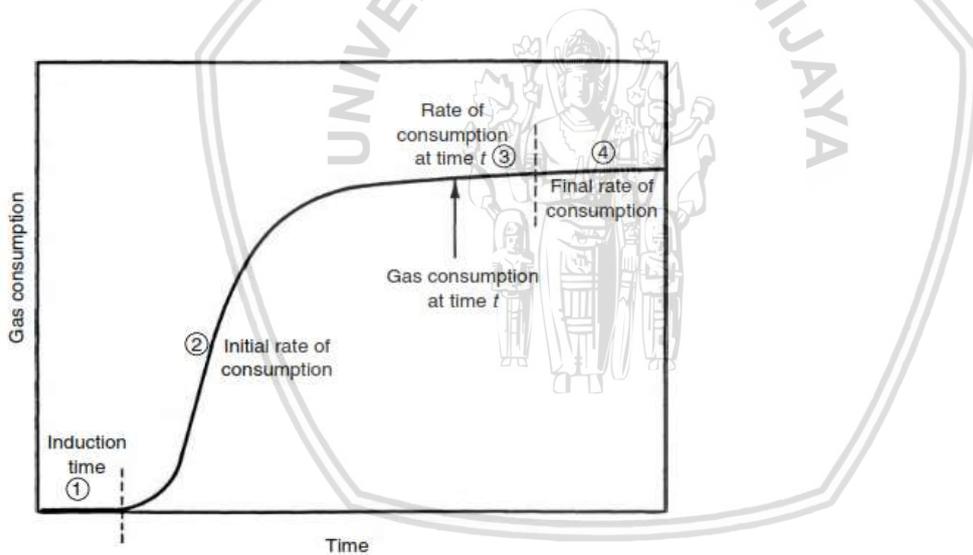
Tiap satuan dari Kristal terbuat dari 3 kerangka dodecahedral (kecil) dua kerangka dodecahedral tak beraturan (medium) dan satu kerangka icosahedral (besar), dan struktur ini terbuat dari 34 molekul air. Struktur H hidrat selalu terdiri dari hidrat ganda. Molekul tamu yang kecil seperti metana, menempati kerangka yang kecil dan medium dari struktur, sedangkan molekul yang lebih besar menempati kerangka yang besar.



Gambar 2.3 Struktur H hidrat  
 Sumber: Birkedal (2009,p.31)

**2.4 Pembentukan Hidrat dan Proses Penguraian**

Hidrat gas alam dapat terbentuk jika syarat pembentukan hidrat sudah terpenuhi. Dimana syarat pembentukan hidrat ialah adanya gas pengisi hidrat atau disebut dengan klarat, terdapat air bebas dan adanya gaya yang membuat gas alam akan terlarut dalam air. Dengan kondisi tekanan tinggi dan temperatur rendah sampai mendekati titik beku air.



Gambar 2.4 Pengaruh waktu terhadap konsumsi gas pada pembentukan hidrat.  
 Sumber: Sloan (2008,p.115)

Gambar diatas menjelaskan tentang hubungan konsumsi gas terhadap waktu, dimana dalam siklus tersebut terjadi empat proses. Proses pertama yaitu waktu induksi merupakan waktu terbentuknya inti hidrat atau terbentuknya fase hidrat gas. Namun pada kondisi ini struktur hidrat belum dapat terbentuk karena masih dalam kondisi metastabil (kemampuan suatu sistem *non-equilibrium* untuk bertahan dalam jangka waktu yang panjang). Pada kondisi kedua masa pertumbuhan hidrat terbentuk dan konsumsi gas begitu cepat dilakukan. Sampai akhirnya pada kondisi ketiga konsumsi gas mulai semakin sedikit dan



berakhir pada kondisi keempat. Dari diagram tersebut dapat dijelaskan bahwa hidrat dapat terbentuk dengan jumlah gas yang tertentu. Karena gas hidrat memiliki konsumsi gas yang dapat dijadikan hidrat tergantung dari komposisi air dan temperatur maupun tekanan yang digunakan ketika pembentukan tersebut.

Pertumbuhan hidrat dalam tingkat molekul dapat dipertmbangkan sebagai kombinasi dari 3 faktor; (1) pertumbuhan Kristal secara kinetik pada permukaan hidrat, (2) perpindahan massa komponen ke permukaan Kristal yang sedang tumbuh, dan (3) perpindahan panas dari panas eksotermik pembentukan hidrat dari permukaan kristal yang sedang tumbuh

Penguraian hidrat adalah proses pemisahan hidrat menjadi air dan gas kembali dengan proses endotermik( panas yang bersumber dari luar sistem). Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk proses penguraian hidrat dalam industri distribusi gas alam menggunakan sistem pemipaan. Beberapa metode yang ada antara lain adalah *depressurization, thermal stimulation, thermodynamic inhibitor injection* atau *methods combination*.

## 2.5 Gas Alam

Gas alam memiliki komponen utama yaitu metana ( $\text{CH}_4$ ), yang merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan. Selain mengandung metana, gas alam juga mengandung molekul hidrokarbon yang lebih berat seperti etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) dan butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ).

Gas alam merupakan campuran hidrokarbon ringan dan senyawa non-hidrokarbon yang terbentuk secara alami dan mudah untuk terbakar. Senyawa non-hidrokarbon didalam gas alam sangat bervariasi. Beberapa dari senyawa ini terdiri dari senyawa yang lemah, seperti hidrogen sulfida dan karbon dioksida. Dan lainnya terdiri dari gas inert seperti nitrogen, argon dan helium. Adanya hidrogen sulfida dan karbon dioksida pada gas alam akan memberikan dampak buruk ketika gas alam dipergunakan oleh masyarakat. Karena hidrogen sulfida dapat menghasilkan gas racun yang berbahaya dan karbon dioksida dapat mengurangi nilai panas gas. Sehingga sebelum gas alam dipergunakan maka harus diproses terlebih dahulu untuk menghilangkan zat pengotor.

Menurut teori kinetik jika energi kinetik molekul-molekul gas diturunkan dengan menurunkan temperatur secukupnya, maka gaya antar molekul akan menjadi efektif dalam mengikat. Partikel-partikel tekanan akan menjadikan gaya antar molekul efektif. Bila molekul-molekul itu berjauhan maka gaya tarik-menarik akan menjadi lemah, tetapi

dengan semakin mendekatnya molekul-molekul dengan yang lainnya maka tarikan itu akan meningkat. Gas akan menjadi cair jika tarikanya cukup besar. Gas mempunyai temperatur yang disebut dengan temperatur kritis. Temperatur kritis ialah dimana gas tidak dapat dicairkan meskipun diberikan tekanan yang besar. Tekanan yang dapat diberikan untuk mencairkan gas pada temperatur kritis disebut dengan tekanan kritis.

### 2.5.1 Propana

Gas hidrokarbon adalah gas alam yang mudah terbakar (Mokhatab *et al*, 2006). Selain gas butana gas alam juga terdiri dari komponen lain yaitu gas propana ( $C_3H_8$ ). Gas propana lebih sering digunakan untuk bahan bakar. Gas propana terbentuk dari struktur komponen tiga atom karbon yang berwujud gas pada keadaan normal.

Berat molekul dari gas propana adalah 44 g/mol. Gas propana memiliki berat molekul tertinggi dibandingkan gas metana dan gas etana. Beberapa karakteristik umum dari gas propana dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1  
Karakteristik Umum Dari Gas Alam

	<i>Molecular Weight</i> g/mol	<i>Specific Gravity</i>	<i>Vapor Density</i> Air=1	<i>Boiling Point</i> °C	<i>Ignition Temperature</i> °C	<i>Flash Point</i> °C
<i>Methane</i>	16	0.553	0.56	-160	537	-221
<i>Ethane</i>	30	0.572	1.04	-89	515	-135
<i>Propane</i>	44	0.504	1.5	-42	468	-104
<i>Butane</i>	58	0.601	2.11	-1	405	-60
<i>Pentane</i>	72	0.626	2.48	36	260	-40
<i>Hexane</i>	86	0.659	3.00	69	225	-23
<i>Benzene</i>	78	0.879	2.80	80	560	-11
<i>Heptane</i>	100	0.668	3.50	98	215	-4
<i>Octane</i>	114	0.707	3.90	126	220	13
<i>Toluene</i>	92	0.867	3.20	161	533	4
<i>Ethyl benzene</i>	106	0.867	3.70	136	432	15
<i>Xylene</i>	106	0.861	3.70	138	464	17

Sumber: Speight (2007,p.81)

### 2.5.2 Butana

Salah satu komponen dari gas alam yang mudah terbakar adalah gas butana ( $C_4H_{10}$ ). Gas butana memiliki komponen empat atom karbon yang tidak memiliki warna. Gas butana memiliki berat molekul 58 g/mol dan lebih berat jika dibandingkan dengan berat molekul gas propana yang memiliki berat 44 gram/mol. Gas butana mempunyai massa jenis dalam temperatur ruangan sebesar  $2.11\text{kg/m}^3$ . Pada temperatur sebesar  $20\text{ }^\circ\text{C}$

kelarutan gas butana dalam air murni sebesar 61 mg/L. Beberapa karakteristik umum dari butana dapat dilihat pada tabel 2.1

### 2.5.3 *Liquified Petroleum Gas*

*Liquified Petroleum Gas* adalah *propane* komersial dan *butane* komersial. Propana komersial terdiri dari 90% propana dan propylene sedangkan sisanya adalah etana, ethena, butana dan butena. Tekanan uapnya sebesar 11.5 hingga 19.3 bar gauge. Sedangkan temperatur penguapannya adalah lebih kecil atau sama dengan 15<sup>0</sup>C. Bentuk lain dari *Liquified Petroleum Gas* adalah butana komersial. Komposisi gas ini sebagian besar didominasi oleh butana dan butena. Dan mengandung propylen dan propana kurang dari 19%. Pada temperatur 50<sup>0</sup>C tekanan uapnya kurang dari atau sama dengan 6.9 bar gauge. Temperatur penguapan LPG jenis ini kurang dari atau sama dengan 1<sup>0</sup>C

LPG yang diproduksi oleh PT.Pertamina terbagi menjadi 3 yaitu:

#### 1. LPG Propana

95% propana dan mempunyai bau yang menyengat dan digunakan untuk kebutuhan khusus.

#### 2. LPG Butana

Bahan bakar untuk kebutuhan industri adalah bahan bakar jenis ini. Terdiri dari 97,5% butana dan mempunyai bau yang menyengat.

#### 3. LPG Campuran

Bahan bakar LPG digunakan untuk kebutuhan rumah, industri dan komersial. Terdiri dari campuran propana dan butana. Terdiri dari 50% volume butana dan 50% propana dan mempunyai bau yang menyengat.

LPG memiliki berat yang lebih tinggi daripada udara dengan berat jenis sekitar 2.01 lebih besar dari berat jenis udara. Dalam kondisi atmosfer, LPG akan berbentuk gas. Akan tetapi pemasar LPG ke masyarakat dalam bentuk cair, hal ini disebabkan volume LPG dalam bentuk cair lebih ringan bila dibandingkan dengan bentuk gasnya meskipun dalam jumlah berat yang sama. Selain itu, ketika dibuat dalam bentuk cair penyimpanan LPG akan lebih mudah dibandingkan dalam bentuk gas.

## 2.6 Ikatan Hidrogen

Ikatan hidrogen adalah sejenis gaya tarik antarmolekul yang terjadi antara dua muatan listrik parsial dengan polaritas yang berlawanan. Walaupun lebih kuat dari kebanyakan gaya antarmolekul, ikatan hidrogen jauh lebih lemah dari ikatan kovalen dan ikatan ion.

Dalam makromolekul seperti protein dan asam nukleat, ikatan ini dapat terjadi antara dua bagian dari molekul yang sama. dan berperan sebagai penentu bentuk molekul keseluruhan yang penting.



Gambar 2.5 Ikatan Hidrogen Antar Molekul Air dan Molekul Amonia  
Sumber : McMurry (2016, p.12)

Ikatan hidrogen terjadi ketika sebuah molekul memiliki atom N, O, atau F yang mempunyai pasangan elektron bebas (*lone pair electron*). Hidrogen dari molekul lain akan berinteraksi dengan pasangan elektron bebas ini membentuk suatu ikatan hidrogen dengan besar ikatan bervariasi mulai dari yang lemah ( $1-2 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) hingga tinggi ( $>155 \text{ kJ mol}^{-1}$ ).

Kekuatan ikatan hidrogen ini dipengaruhi oleh perbedaan elektronegativitas antara atom-atom dalam molekul tersebut. Semakin besar perbedaannya, semakin besar ikatan hidrogen yang terbentuk.

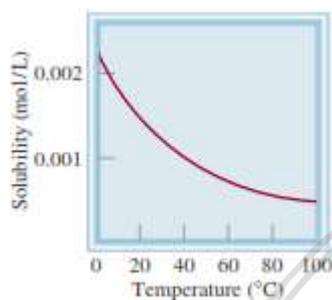
Ikatan hidrogen mempengaruhi titik didih suatu senyawa. Semakin besar ikatan hidrogennya, semakin tinggi titik didihnya. Namun, khusus pada air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), terjadi dua ikatan hidrogen pada tiap molekulnya. Akibatnya jumlah total ikatan hidrogennya lebih besar daripada asam florida ( $\text{HF}$ ) yang seharusnya memiliki ikatan hidrogen terbesar (karena paling tinggi perbedaan elektronegativitasnya) sehingga titik didih air lebih tinggi daripada asam florida.

Dalam kasus hidrat gas alam, adanya ikatan hidrogen secara tidak langsung juga mempengaruhi laju pembentukan hidrat. Ikatan hidrogen menjadi penyebab adanya fenomena tegangan permukaan pada air. Adanya tegangan permukaan ini akan menyebabkan partikel-partikel asing menjadi sukar untuk masuk kedalam celah-celah molekul air. Partikel-partikel asing tersebut akan tertahan di bagian permukaan air, dimana molekul-molekul air berkontraksi untuk membentuk semacam membrane yang mampu mencegah partikel-partikel asing untuk memasuki atau berpenetrasi menuju ke molekul-molekul air dibagian yang lebih dalam. Tentu hal ini akan menjadi permasalahan pada proses pembentukan hidrat dimana air yang menjadi bahan utama untuk menciptakan

kristal pada hidrat harus mampu terisi oleh molekul gas alam di setiap celah yang memungkinkan.

## 2.7 Kelarutan Gas dalam Air

Kelarutan gas dalam air biasanya menurun seiring dengan meningkatnya temperature, ketika air dipanaskan di dalam gelas kimia, maka akan terlihat gelembung udara pada sisi gelas sebelum air tersebut mendidih. Seiring dengan naiknya temperature, molekul udara yang terlarut mulai mendidih dalam larutan jauh sebelum air mendidih.



Gambar 2.6 Kelarutan gas dalam air terhadap temperatur  
Sumber : Raymond Chang (2010,p.556)

Untuk tujuan praktik, tekanan eksternal tidak mempengaruhi kelarutan zat cair maupun benda padat, tapi hal ini sangat mempengaruhi kelarutan gas, hubungan kuantitatif antara kelarutan gas dan tekanan dijelaskan dengan **Hukum Henry**, yang menyatakan “kelarutan gas dalam air didalam zat cair sebanding dengan tekanan gas diatas larutan “

$$c = KP \dots \dots \dots (2.1)$$

(Raymond Chang. 2010: 524)

Keterangan :

$c$  = konsentrasi molar gas yang terlarut (mol/L)

$P$  = tekanan gas diatas larutan dalam keadaan setimbang (atm)

$K$  = konstanta tergantung hanya pada temperature (mol/L.atm)

**Hukum Henry** dapat dipahami secara kualitatif dalam hal teori molekul kinetic. Jumlah gas yang akan larut didalam pelarut tergantung pada seberapa sering molekul gas bertabrakan dengan permukaan cairan dan terperangkap dalam waktu yang singkat. Misalkan ada gas dalam kesetimbangan dinamik dengan larutan (gambar 2.) secara instan, jumlah dari molekul gas yang memasuki larutan sama dengan jumlah molekul yang terlarut

yang bergerak ke fase gas. Jika tekanan parsial dari gas meningkat, semakin banyak molekul yang terlarut dalam cairan karena semakin banyak molekul yang menyerang permukaan cairan.



*Gambar 2.7* Interpretasi molekular dari Hukum Henry, ketika tekanan parsial gas diatas cairan meningkat dari (a) ke (b). konsentrasi gas yang terlarut juga meningkat. Sumber : Raymond Chang (2010, p.557)

## 2.8 Promoter

Promoter adalah zat adiktif kimia yang digunakan untuk meningkatkan proses pembentukan hidrat, promoter untuk proses pembentukan hidrat dibagi menjadi 2 yaitu promoter kinetik dan promoter termodinamik,

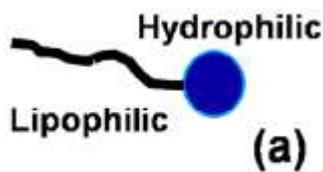
Promotor kinetik adalah aditif yang membantu untuk meningkatkan laju pembentukan hidrat tanpa mempengaruhi properti termodinamika. Jadi, kondisi pembentukan hidrat (suhu dan tekanan) dan struktur hidrat tidak akan dipengaruhi oleh masuknya promotor kinetik. Sebagian besar jurnal tentang promotor pembentukan hidrat gas alam melaporkan bahwa sejumlah jenis surfaktan telah berfungsi efektif sebagai promotor kinetik untuk pembentukan hidrat.

Sedangkan promoter termodinamik adalah senyawa yang mengubah atau menggeser kondisi kesetimbangan formasi hidrat, penambahan promoter termodinamik untuk hasil pembentukan hidrat yang lebih moderat (tekanan yang lebih rendah dan suhu yang lebih tinggi), menyebabkan kebutuhan energi yang lebih rendah selama pembentukan hidrat, akan tetapi kelemahan penerapan promoter termodinamik adalah pengurangan kapasitas penyimpanan hidrat.

## 2.9 Surfaktan

### 2.9.1 Pengertian Surfaktan

Surfaktan merupakan molekul yang memiliki gugus polar yang suka air (hidrofilik) dan gugus non polar yang suka minyak (lipofilik) sekaligus, sehingga dapat mempersatukan campuran yang terdiri dari minyak dan air. Surfaktan adalah bahan aktif permukaan, yang bekerja menurunkan tegangan permukaan cairan, sifat aktif ini diperoleh dari sifat ganda molekulnya. Bagian polar molekulnya dapat bermuatan positif, negatif ataupun netral, bagian polar mempunyai gugus hidroksilsemetara bagian non polar biasanya merupakan rantai alkil yang panjang.



Gambar 2.8 Molekul surfaktan  
Sumber : Kumar (2015,p 3)

Surfaktan digunakan dalam berbagai aplikasi baik itu dibidang industri maupun makanan, penambahan surfaktan pada sistem multiphase dapat meningkatkan aktifitas pada permukaan zat, seperti mempengaruhi *spreadability*, *wetting*, *foaming*, *detergency* dan sebagainya. Surfaktan pada umumnya disintesis dari turunan minyak bumi dan limbahnya dapat mencemari lingkungan, karena sifatnya yang sulit terdegradasi, selain itu minyak bumi merupakan sumber bahan baku yang tidak dapat diperbaharui, sehingga muncul lah banyak sekali penelitian tentang bio-surfaktan, yaitu surfaktan alami yang terbuat dari bahan yang ramah lingkungan.

### 2.9.2 Jenis-Jenis Surfaktan

Surfaktan dibagi menjadi beberapa jenis yaitu :

#### 1. Surfaktan anionik

Yaitu surfaktan yang bagian alkilnya terang pada bagian anion. Contohnya adalah garam alkana sulfonat, garam olefin sulfonat, garam sulfonat asam lemak serat panjang.

#### 2. Surfaktan kationik

Yaitu surfaktan yang bagian alkilnya terang pada saat kation. Contohnya garam alkil trimethyl ammonium, garam dialkil-dimethyl amonium dan garam alkil dimethyl benzil amonium.

### 3. Surfaktan nonionik

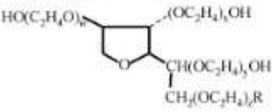
Yaitu surfaktan yang bagian alkilnya tidak bermuatan. Contohnya ester gliserin asam lemak, ester sorbitan asam lemak, ester sukrosa asam lemak, polietilena alkil amina, glukamina, alkil poliglukosida, mono alkanol amina, dialkanol amina dan alkil amina oksida.

### 4. Surfaktan amfoter

Yaitu surfaktan yang bagian alkilnya memiliki muatan positif dan negatif. Contohnya surfaktan yang mengandung asam amino, betain, fosfobetain.

### 5. Surfaktan Alkanolamida

Amida adalah turunan asam karboksilat yang paling tidak reaktif, karena itu golongan senyawa ini banyak ada di alam. Amida yang terbalik adalah protein. Amida dapat mengeluarkan dengan asam dan reaksi ini tidak sebagai garam karena amida merupakan basa yang sangat lemah. Selain itu senyawa amida merupakan nukleofilik yang sangat berbahaya dan lambat dengan alkil halida. Asam amida lemak pada industri oleokimia dapat dibuat dengan mereaksikan amina dengan trigliserida, asam lemak atau metil ester asam lemak. Senyawa amina yang mata dalam reaksi yang sangat bervariasi seperti etanolamina dan dietanolamina, yang dibuat dengan mereaksikan amonia dengan etilen oksida. Alkanolamina seperti etanolamina, jika direaksikan dengan asam lemak akan membentuk alkanolamida dan melepaskan udara. Alkanolamida merupakan kelompok surfaktan nonionik yang berkembang dengan pesat.

Class	Examples	Structures
Anionic	Na stearate Na dodecyl sulfate Na dodecyl benzene sulfonate	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COO}^- \text{Na}^+$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{SO}_4^- \text{Na}^+$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3^- \text{Na}^+$
Cationic	Laurylamine hydrochloride Trimethyl dodecylammonium chloride Cetyl trimethylammonium bromide	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{NH}_3^+ \text{Cl}^-$ $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{Cl}^-$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{Br}^-$
Non-ionic	Polyoxyethylene alcohol Alkylphenol ethoxylate Polysorbate 80 $w + x + y + z = 20$ $\text{R} = (\text{C}_{17}\text{H}_{33})\text{COO}$ Propylene oxide-modified polymethylsiloxane (EO = ethyleneoxy, PO = propyleneoxy)	$\text{C}_n\text{H}_{2n+1}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_m\text{OH}$ $\text{C}_6\text{H}_{13}-\text{C}_6\text{H}_4-(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_m\text{OH}$  $(\text{CH}_3)_2\text{SiO}((\text{CH}_3)_2\text{SiO})_n(\text{CH}_2\text{SiO})_m\text{Si}(\text{CH}_3)_2$ $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}(\text{EO})_m(\text{PO})_n\text{H}$
Zwitterionic	Dodecyl betaine Lauramidopropyl betaine Cocoamido-2-hydroxypropyl sulfobetaine	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{N}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{COO}^-$ $\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{CONH}(\text{CH}_2)_3\text{N}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{COO}^-$ $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{CONH}(\text{CH}_2)_3\text{N}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{SO}_3^-$

Gambar 2.9 Klasifikasi surfaktan  
Sumber : Marangoni-Scram (2003,p.6)

### 2.9.3 Surfaktan sebagai Promoter Kinetik

Penelitian tentang hubungan antara penggunaan surfaktan dalam pembuatan gas hidrat sudah dimulai sejak awal tahun 1990-an, dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan surfaktan dalam pembuatan hidrat gas dapat meningkatkan pembentukan hidrat secara kinetik dengan pesat, dan sudah digunakan secara luas dalam penelitian skala lab yang berbeda-beda.

*Karaaslan et al* menggunakan tiga tipe surfaktan yang berbeda (anionik, cationik, dan non anionik) dan dilaporkan bahwa pembentukan hidrat secara kinetik meningkat secara signifikan dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan surfaktan. *Okutani et al* mempelajari efek dari tiga homolog surfaktan anionik (*Sodium dodecyl sulfate* (SDS), *sodium tetradecyl sulfate* (STS) dan *sodium hexadecyl sulfate* (SHS)) pada pembentukan hidrat metana, pada konsentrasi 1000 ppm atau lebih, ditemukan bahwa SDS secara efektif meningkatkan laju pembentukan hidrat metana murni.

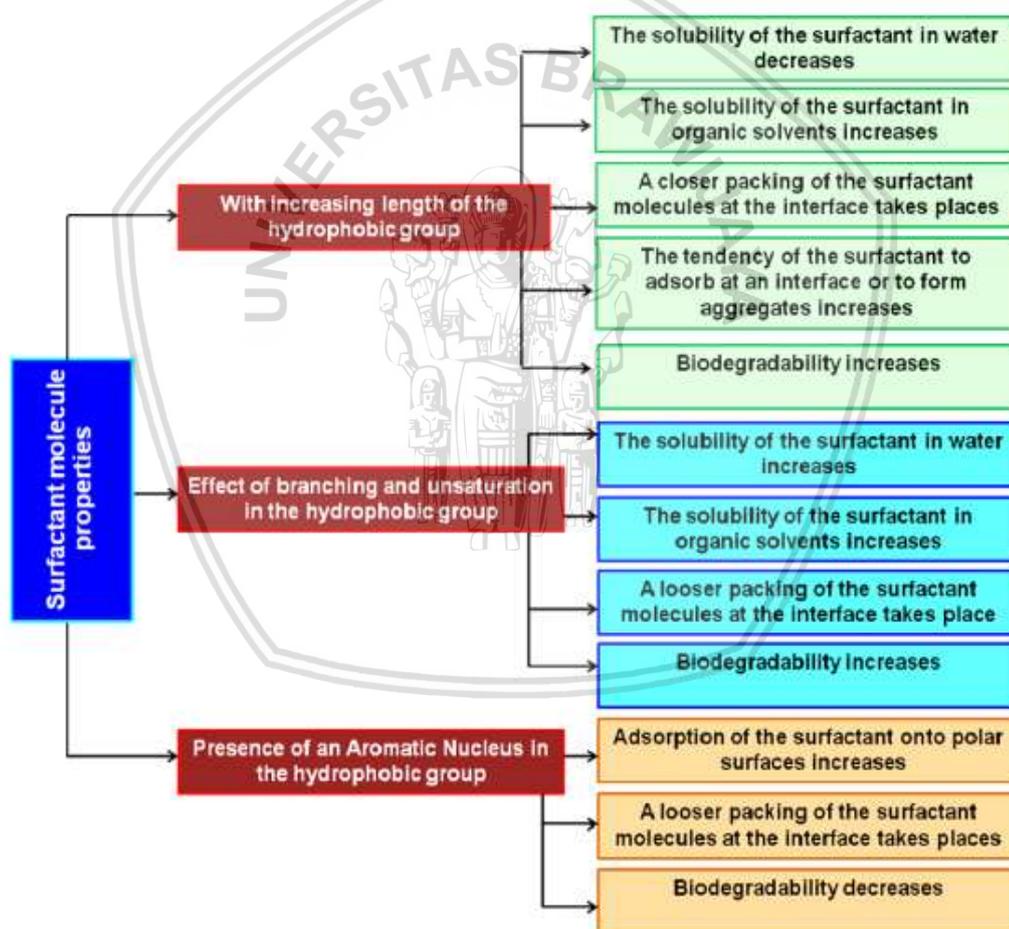
*Kumar et al* (2015) mempelajari dari tiga tipe surfaktan (anionic, cationic, dan non anionic) pada  $\text{CO}_2$  pembentukan hidrat kinetic, ditemukan bahwa surfaktan anionik (SDS) menjadi Surfaktan yang paling efektif dalam meningkatkan laju pembentukan hidrat dan juga mengurangi waktu induksinya

*Gayet et al* mempelajari kondisi kesetimbangan pada hidrat metana dengan adanya 0,02 % SDS dan ditemukan bahwa SDS tidak mempunyai efek apapun terhadap kondisi kesetimbangan gas hidrat namun meningkatkan laju pembentukan hidrat. Dari sejumlah penelitian, SDS adalah surfaktan yang paling banyak disarankan sebagai promoter hidrat.

## 2.10 Peran Surfaktan dalam Pembentukan Hidrat Klatrat

Secara umum telah ditemukan bahwa surfaktan dengan kelompok hidropobik yang besar dan kelompok hidrofilik yang besar menunjukkan nilai tegangan permukaan yang lebih rendah dibandingkan dengan surfaktan yang sama dengan berat molekul yang lebih rendah dan dengan kelompok hidrofilik dan hidropobik yang seimbang.

Ketika kelompok hidropobik ini bergeser ke posisi yang lebih ke tengah dari rantai, CMC dari surfaktan akan meningkat, dan akan menyebabkan dampak pada pembentukan hidrat secara kinetik dan dekomposisi. Gambar dibawah ini menggambarkan sifat-sifat dari molekul surfaktan yang mungkin dapat mempengaruhi pembentukan hidrat secara kinetik

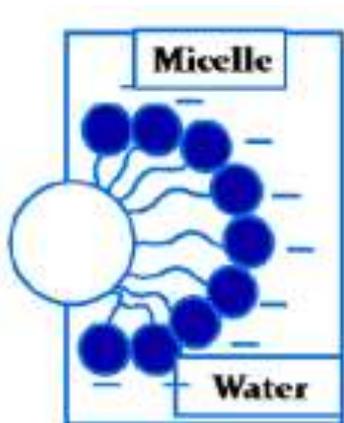


Gambar 2.10 Sifat-sifat molekul surfaktan

Sumber : Kumar (2015, p.6)

Pembatasan perpindahan massa yang diidentifikasi menjadi salah satu alasan utama dari rendahnya konversi dari air menjadi hidrat pada *stirred tank reactor*, penggunaan *surface-active agent* memberikan konversi air menjadi hidrat yang lebih baik. Secara

umum surfaktan anionik menjadi pilihan terbaik untuk meningkatkan laju pembentukan hidrat.

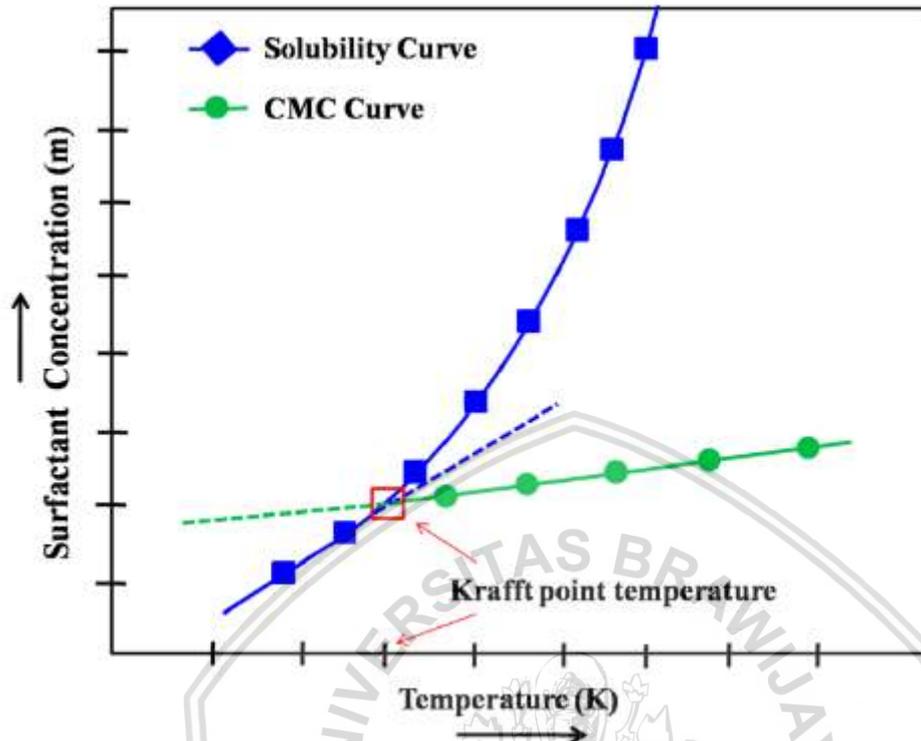


Gambar 2.11 Micelle formation pada media *aqueous* terkait dengan molekul surfaktan  
Sumber : Kumar (2015, p.3)

Dengan adanya surfaktan maka menyebabkan adanya struktur *micellar* (pengumpulan molekul surfaktan menjadi seperti bola) didalam larutan, yang mempercepat pertumbuhan hidrat dengan cara mengurangi pembatas nukleasi hidrat. Selain itu surfaktan tidak mempengaruhi batas fase termodinamik hidrat,

*Sun et al* menunjukkan bahwa struktur *micellar* surfaktan dalam campuran meningkatkan laju pembentukan hidrat dan kapasitas penyimpanan, *Watanabe et al* melaporkan bahwa pentingnya konsentrasi surfaktan didalam system dan bagaimana kelarutan surfaktan dalam larutan cair mungkin memiliki peran dalam mempengaruhi pertumbuhan hidrat, penelitian Watanabe melaporkan bahwa adanya kecurigaan bahwa *micelle*-surfaktan dapat meningkatkan pembentukan hidrat, kecurigaan ini berdasarkan fakta bahwa *micelles* tidak dapat terbentuk dibawah temperature yang bisa disebut dengan temperature krafft.

### 2.10.1 Temperatur Krafft dan CMC dari Surfaktan dan Perannya dalam Pembentukan Hidrat Gas



Gambar 2.12 Hubungan antara kelarutan surfaktan, CMC, dan *Krafft point temperature*  
 Sumber : Kumar (2015, p.7)

Dari grafik diatas dapat dilihat adanya peningkatan yang tajam didalam kelarutan surfaktan terjadi diatas temperature tertentu, yang merupakan karakteristik dari setiap senyawa tertentu, temperature inilah yang disebut dengan *krafft point*. *Krafft point* adalah temperature minimum dimana *micelle* dapat terbentuk. Kelarutan dari surfaktan meningkat secara eksponensial diatas krafft point, dimana mengindikasikan pembentukan *micelle* dan berkurangnya tegangan permukaan pada fase cair.

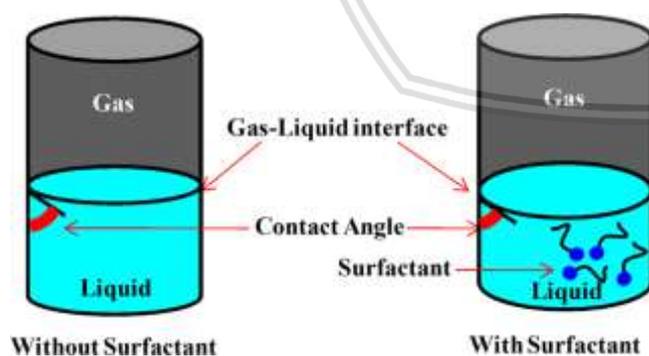
Surfaktan tidak akan terbentuk *micelle* pada temperature dibawah krafft point maupun dibawah konsentrasi tertentu yang disebut sebagai *critical micelle concentration* (CMC), pada grafik diatas pada krafft point, kelarutan dari surfaktan sama dengan CMC nya. Sehingga dapat diasumsikan bahwa pada eksperimen pembentukan gas hidrat walaupun dengan adanya surfaktan tapi dengan temperature dibawah krafft point, maka pembentukan *micelle* pun juga tidak akan terjadi. Beberapa literature menyimpulkan bahwa pembentukan *micelle* lah yang bertanggung jawab terhadap peningkatan laju pembentukan hidrat.

Selain itu nilai CMC yang rendah juga menjadi salah satu factor kritis dalam meningkatkan pembentukan hidrat. Seperti dilihat pada grafik diatas, kelarutan dari surfaktan akan meningkat drastis sekali setelah mencapai nilai CMC. Fenomena ini secara aktual dapat mempengaruhi pembentukan hidrat, sehingga beberapa teknik untuk mendapatkan nilai CMC yang rendah adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan masa molekular dari bagian hidropobik
2. Menurunkan temperature
3. Menambahkan elektrolit pada system
4. Adanya kelompok *polyoxypropylene*
5. Adanya fluorocarbon pada struktur surfaktan
6. Adanya senyawa organic polar
7. Penambahan *xylose* dan *fructose*

### 2.10.2 Pengaruh Adsorpsi Surfaktan pada *Interface* Hidrat

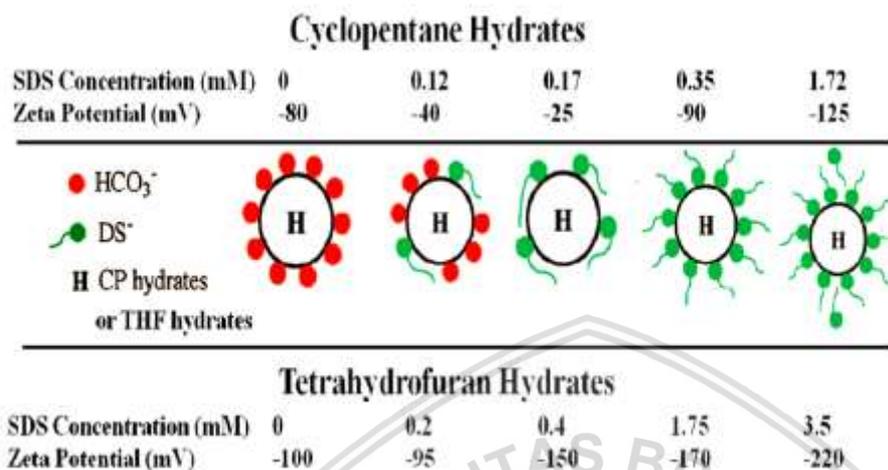
Beberapa penelitian menyatakan bahwa sudut kontak juga berperan penting dalam pembentukan hidrat gas dengan adanya surfaktan. *Wettability* dari permukaan padat pada cairan ditentukan oleh sudut kontak. Sudut kontak diukur melalui cairan pada titik dimana *interface* gas-cairan bertemu permukaan padat. *Yoslim et al* mengamati bahwa penurunan level *interface* gas-air selama pertumbuhan hidrat, jelas menunjukkan konsumsi air secara terus-menerus untuk pembentukan hidrat. Penambahan surfaktan mengurangi tegangan permukaan dari air, dimana juga berarti turunnya sudut kontak.



Gambar 2.13 Pengaruh surfaktan terhadap sudut kontak  
Sumber : Kumar (2015, p.9)

Kesetimbangan sudut kontak menjelaskan tentang kekuatan relatif dari interaksi cair,uap, dan padat. Gambar diatas menunjukkan sudut kontak pada *interface* gas-cair dengan dan tanpa surfaktan didalam sistem. Karena dengan menurunnya sudut kontak

dengan adanya surfaktan, *interface* serupa selaput tipis terbentuk disepanjang dinding wadah, selaput inilah yang diyakini sebagai tempat nukleasi dan mulainya pertumbuhan hidrat.



Gambar 2.14 Zeta potensial sebagai fungsi dari konsentrasi SDS pada hidrat CP dan THF dan adsorpsi SDS pada hidrat CP/*interface* air  
Sumber : Kumar (2015, p.10)

Pada gambar diatas muatan negatif ada pada *interface* hidrat/air di ketiadaan SDS pada dua kasus (hidrat CP dan THF), dimana selama penyerapan anion pada *interface* hidrat/air terdapat hidroksida ( $\text{OH}^-$ ), bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dan karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) pada air yang sudah deionisasi. Disimpulkan bahwa dengan tidak adanya SDS, bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) terserap pada *interface* hidrat/air, kemungkinan mekanisme untuk penyerapan bikarbonat adalah terbentuknya ikatan hidrogen pada *interface* hidrat/air. Ketika SDS ada pada system, SDS bersaing dengan ion bikarbonat pada zona penyerapan. Ion  $\text{DS}^-$  berinteraksi dengan hidrat melalui mekanisme penyerapan yang sama pada ion bikarbonat. Sehingga dapat disimpulkan dia kemungkinan mekanisme SDS mengurangi waktu induksi dan meningkatkan pertumbuhan hidrat, yaitu yang pertama tegangan permukaan pada hidrat-air berkurang setelah penyerapan  $\text{DS}^-$  atau yang kedua pembentuk hidrat seperti metana, CP dan THF telah larut didalam wilayah hidropobik yang terbentuk oleh penyerapan  $\text{DS}^-$  yang dimana meningkatkan konsentrasi dari pembentuk hidrat pada permukaan hidrat-air.

## 2.11 Buah Mengkudu

Mengkudu (*Morinda Citrifolia*) adalah tanaman yang berasal dari Asia Tenggara yang tergolong dalam famili *Rubiaceae*. Tanaman ini tumbuh di dataran rendah hingga pada ketinggian 1500 m. Tinggi pohon mengkudu mencapai 3–8 m, memiliki bunga bongkol

berwarna putih. Buahnya merupakan buah majemuk, yang masih muda berwarna hijau mengkilap dan memiliki totol-totol, dan ketika sudah tua berwarna putih dengan bintik-bintik hitam.

Mengkudu mengandung beberapa zat aktif utama, bahan aktif diantaranya adalah *scopoletin*, *actoanic acid*, *kalium*, *vitamin C*, *alkaloid*, *antrakuinon*, *bsitosteril*, *karoten*, *vitamin A*, *glikosida flavon*, *linoleate acid*, *alizarin*, *amina acid*, *acubin*, *L-asperuloside*, *kaproat acid*, *kaprilat acid*, *ursolat acid*, *rutin*, *pro-xeronine* dan *terpenoid*. Mengkudu diketahui memiliki banyak manfaat untuk kesehatan manusia.



Gambar 2.15 Buah Mengkudu  
Sumber : Cici Yuliana s (2015 ,p.3)

### 2.12 Fatty Acid *Morinda Citrifolia* (FAMC)

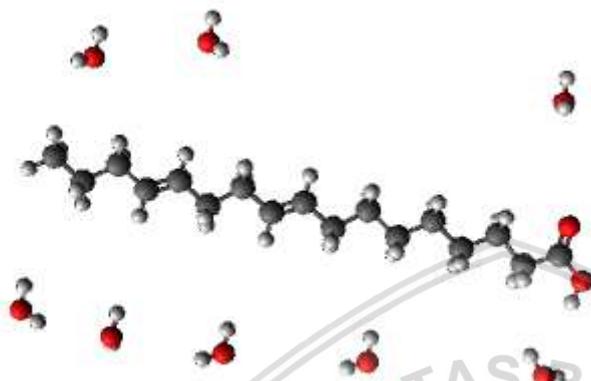
*Fatty acid* dari biji tanaman dapat digunakan sebagai surfaktan alami dan *Fatty acid morinda citrifolia* (FAMC) adalah hasil dari ekstraksi biji mengkudu (*Morinda Citrifolia*) dengan ekstraksi metode soxhlet 4-8 jam dengan tipe rantai panjang *polyunsaturated*. Dari hasil studi menunjukkan bahwa minyak biji mengkudu mengandung komponen *fatty acid* tak jenuh, dengan spesifikasi  $C_{19}H_{34}O_2$  dan  $C_{21}H_{38}O_2$ , yang mengandung dua ikatan ganda pada strukturnya, dengan kandungan seperti itu maka mengandung apa yang dibutuhkan untuk karakter lipofilik sebagai surfaktan yang ideal, Karena bagian lipofilik/hidrofobik dari struktur FAMC ini memiliki potensi interaksi *intermolecular* yang tinggi dengan minyak, .(Trismawati *et al* , 2017)



FAMC main constituent

Major: PUFA C19:2 and C21:2

Minor: PSFA C16:0 and C17:0



Gambar 2.15 Struktur FAMC  
Sumber : Trismawati *et al* (2017, p,5)

### 2.13 Persamaan Gas Nyata

Gas nyata adalah kebalikan dari gas ideal. Pada gas ideal, volume pada molekul gas diabaikan (tidak memiliki volume) dan dianggap sebagai titik. Dan pada kenyataannya, molekul gas memiliki volume 0.1% dari total volume gas dan volume molekul gas tetap sama dibandingkan penurunan volume total gas. Penurunan volume gas terjadi dikarenakan adanya penurunan temperatur dan peningkatan tekanan. Namun, volume molekul tidak dapat diabaikan.

Pada gas ideal, kekuatan tarik antar molekul dianggap tidak ada. Kekuatan tarik antar molekul dapat diabaikan ketika berlaku pada tekanan rendah dengan temperatur tinggi karena pada kondisi tersebut molekul gas saling berjauhan. Tapi pada tekanan tinggi dan temperatur rendah, volume gas menjadi kecil sehingga kekuatan tarik antar molekul ada meskipun sangat kecil.

Terdapat empat model persamaan keadaan gas nyata, diantaranya adalah:

#### 1. Persamaan keadaan van der Waals

Persamaan keadaan van der Waals yang ditunjukkan Persamaan 2-3 adalah model pertama yang menggambarkan keadaan gas nyata. Molekul dilihat sebagai partikel yang memiliki volume, sehingga besaran  $V$  tidak boleh kurang dari suatu konstanta. Selain itu, molekul juga saling berinteraksi pada jarak tertentu sehingga membuat

pengaruh pada tekanan yang terjadi. Oleh karena itu, adanya penyesuaian dari gas ideal menjadi gas nyata dengan mengganti nilai  $V$  (volume) diganti dengan  $(V-b)$  dan nilai  $p$  (tekanan) diganti dengan  $(p+\frac{a}{V^2})$ .

$$(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = nRT \dots\dots\dots(2-5)$$

(Cengel. 2006: 346)

dengan:

$p$  = Tekanan gas (Pa)

$V$  = Volume sistem suatu gas ( $m^3$ )

$a, b$  = Konstanta persamaan keadaan van der Waals

$n$  = Jumlah mol gas (mol)

$R$  = Konstanta gas (8.314 J/mol.K)

$T$  = Temperatur absolut (K)

## 2. Persamaan keadaan Redlich-Kwong

Persamaan keadaan Redlich-Kwong yang ditunjukkan oleh Persamaan 2-5 adalah perbaikan dari persamaan keadaan van der Waals. Konstanta  $a$  dan  $b$  pada persamaan keadaan Redlich-Kwong dipengaruhi oleh tekanan kritis dan temperatur kritis gas. Persamaan keadaan Redlich-Kwong cukup akurat untuk nantinya memprediksi sifat-sifat gas pada kondisi sesuai Persamaan 2-4.

$$\frac{p}{p_c} < \frac{T}{2T_c} \dots\dots\dots(2-6)$$

$$p = \frac{nRT}{V-b} - \frac{a}{T^{0.5}V(V+b)} \dots\dots\dots(2-7)$$

(Cengel. 2006: 347)

dengan:

$p$  = Tekanan gas (Pa)

$p_c$  = Tekanan kritis gas (Pa)

$V$  = Volume sistem suatu gas ( $m^3$ )

$n$  = Jumlah mol gas (mol)

$R$  = Konstanta gas (8.314 J/mol.K)

$T$  = Temperatur absolut (K)

$T_c$  = Temperatur kritis absolut (K)

$a$  = Konstanta persamaan keadaan Redlich-Kwong  $\left( a = 0.42748 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{p_c} \right)$

$b$  = Konstanta persamaan keadaan Redlich-Kwong  $\left( b = 0.08662 \frac{RT_c}{p_c} \right)$

### 3. Persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong

Persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong yang ditunjukkan oleh Persamaan 2-8 merupakan perbaikan dari persamaan keadaan Redlich-Kwong. Pada persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong terdapat konstanta  $\alpha$  yang dipengaruhi oleh faktor asentrik ( $\omega$ ), tekanan tereduksi ( $P_r$ ) dan temperatur tereduksi ( $T_r$ ) yang ditunjukkan pada Persamaan 2-8. Faktor asentrik merupakan ukuran ketidak bulatan suatu molekul yang ditunjukkan pada Persamaan 2-9. Persamaan 2-10 dan 2-12 masing-masing merupakan tekanan dan temperatur tereduksi yang mempengaruhi konstanta  $\alpha$ .

$$p = \frac{nRT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V(V+b)} \dots\dots\dots(2-8)$$

$$\alpha = \{1 + (0.48508 + 1.55171\omega - 0.15613\omega^2)(1 - T_r^{0.5})\}^2 \dots\dots\dots(2-9)$$

$$\omega = -1 - \log P_r \dots\dots\dots(2-10)$$

$$p_r = \frac{p}{p_c} \dots\dots\dots(2-11)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \dots\dots\dots(2-12)$$

(Cengel. 2006: 358)

dengan:

$p$  = Tekanan gas (Pa)

$p_c$  = Tekanan kritis gas (Pa)

$p_r$  = Tekanan tereduksi gas (Pa)

$V$  = Volume sistem suatu gas ( $m^3$ )

$n$  = Jumlah mol gas (mol)

$R$  = Konstanta gas (8.314 J/mol.K)

$T$  = Temperatur absolut (K)

$T_c$  = Temperatur kritis absolut (K)

$T_r$  = Temperatur tereduksi gas (K)

- a = Konstanta persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong  $\left( a = 0.42748 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{p_c} \right)$
- b = Konstanta persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong  $\left( b = 0.08662 \frac{RT_c}{p_c} \right)$
- $\alpha$  = Konstanta yang dipengaruhi  $P_r$  dan  $T_r$
- $\omega$  = Faktor asentrik

#### 4. Persamaan keadaan Peng-Robinson

Persamaan keadaan Peng-Robinson yang ditunjukkan pada Persamaan 2-11 merupakan perbaikan dari persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong. Konstanta  $\alpha$  dan faktor asentrik yang digunakan pada persamaan keadaan Peng-Robinson ditunjukkan masing-masing pada Persamaan 2-12 dan 2-8. Kelebihan persamaan keadaan Peng-Robinson daripada persamaan keadaan lainnya adalah sebagai berikut:

- Parameter yang ada dapat dinyatakan dalam sifat kritis dan faktor asentrik ( $\omega$ ). Faktor asentrik adalah ukuran ketidakbulatan suatu molekul.
- Model harus dapat memprediksi berbagai karakteristik di sekitar titik kritis, terutama perhitungan faktor kompresibilitas dan densitas cairan.
- *Mixing rule* tidak tergantung pada temperatur, tekanan maupun komposisi.
- Persamaan berlaku pada semua perhitungan karakteristik pada gas alam.

$$p = \frac{nRT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V^2 + 2bV - b^2} \dots\dots\dots (2-13)$$

$$\alpha = \left\{ 1 + (0.37464 + 1.54226\omega - 0.2699\omega^2)(1 - T_r^{0.5}) \right\}^2 \dots\dots\dots (2-14)$$

(Cengel. 2006: 367)

dengan:

p = Tekanan gas (Pa)

V = Volume sistem suatu gas ( $m^3$ )

n = Jumlah mol gas (mol)

R = Konstanta gas (8.314 J/mol.K)

T = Temperatur absolut (K)

$T_r$  = Temperatur tereduksi gas (K)

a = Konstanta persamaan keadaan Peng-Robinson  $\left( a = 0.42748 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{p_c} \right)$

$b$  = Konstanta persamaan keadaan Peng-Robinson ( $b = 0.08662 \frac{RT_c}{p_c}$ )

$\alpha$  = Konstanta yang dipengaruhi  $P_r$  dan  $T_r$

$\omega$  = Faktor asentrik

Untuk membandingkan antara gas ideal dengan gas nyata maka diperlukan faktor koreksi. Persamaan 2-13 merupakan persamaan gas ideal dengan penambahan faktor kompresibilitas. Faktor koreksi tersebut disebut faktor kompresibilitas yang didapatkan dari persamaan kubik pada model persamaan keadaan gas nyata.

$$pV = nZRT \dots \dots \dots (2-15)$$

(Cengel. 2006: 341)

dengan:

$p$  = Tekanan gas (Pa)

$V$  = Volume sistem suatu gas ( $m^3$ )

$n$  = Jumlah mol gas (mol)

$Z$  = Faktor kompresibilitas.

$R$  = Konstanta gas (8.314 J/mol.K)

$T$  = Temperatur absolut (K)

Faktor kompresibilitas dari masing-masing persamaan keadaan gas nyata sesuai dengan bentuk umum pada Persamaan 2-16. Perbandingan masing-masing konstanta pada masing-masing persamaan keadaan ditunjukkan pada Tabel 2.2. Faktor kompresibilitas didapatkan dari akar persamaan kubik dengan nilai tertinggi. Nilai A dan B masing-masing dari Persamaan 2-17 dan 2-18 merupakan penjabaran dari konstanta pada Persamaan 2-16.

$$Z^3 - c_2 Z^2 + c_1 Z - c_0 = 0 \dots \dots \dots (2-16)$$

$$A = \frac{\Omega_a \alpha p_r}{T_r^2} \dots \dots \dots (2-17)$$

$$B = \frac{\Omega_b p_r}{T_r} \dots \dots \dots (2-18)$$

(Cengel. 2006: 369)

dengan:

$Z$  = Faktor kompresibilitas.

$\Omega_a, \Omega_b$  = Konstanta persamaan kubik

$\alpha$  = Konstanta yang dipengaruhi  $P_r$  dan  $T_r$

$p_r$  = Tekanan tereduksi gas (Pa)

$T_r$  = Temperatur tereduksi gas (K)

Tabel 2.2

Konstanta pada masing-masing persamaan keadaan gas nyata

Persamaan Keadaan	Konstanta				
	$c_2$	$c_1$	$c_0$	$\Omega_a$	$\Omega_b$
van der Waals	$-B - 1$	$A$	$-AB$	0.42188	0.125
Redlich-Kwong	-1	$A - B - B^2$	$-AB$	0.42748	0.08664
Soave-Redlich-Kwong	-1	$A - B - B^2$	$-AB$	0.42748	0.08664
Peng-Robinson	$B - 1$	$A - 2B - 3B^2$	$AB - B^2 - B^3$	0.45724	0.07779

Sumber: Rao (2003,p.13)

## 2.14 Hipotesa

Berdasarkan kajian pustaka yang telah dibahas sebelumnya maka didapatkan hubungan bahwa karakteristik pembentukan hidrat gas propana butana berbanding lurus dengan variasi penambahan surfaktan, karena ekstrak biji mengkudu menghasilkan *fatty acid morinda citrifolia (FAMC)* yang memiliki karakteristik sebagai surfaktan, maka dengan menambahkan ekstrak biji mengkudu ke dalam larutan hidrat akan menurunkan tegangan permukaan pada permukaan air, sehingga dengan menurunnya tegangan permukaan maka akan semakin memudahkan partikel-partikel gas untuk larut kedalam air. Dengan semakin banyaknya partikel gas yang larut dalam air maka meningkatkan laju pembentukan hidrat dan kapasitas penyimpanan, serta dengan semakin banyak partikel gas yang mengisi rongga pada struktur Kristal, maka akan membuat struktur hidrat semakin stabil. Dan meningkatkan stabilitas hidrat.

## 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 penambahan surfaktan ekstrak biji mengkudu (*morinda citrifolia*) terhadap karakteristik pembentukan gas hidrat propana butana. Kajian literatur dari berbagai sumber, baik berupa buku maupun jurnal yang terkait dengan penelitian ini digunakan untuk menambahkan informasi yang diperlukan.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan September – Desember

### 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 keduanya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kadar surfaktan ekstrak biji mengkudu sebesar 0 ppm, 500 ppm, 1000 ppm dan 1500 ppm

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 cm<sup>3</sup>
- Tekanan pada *crystallizer* sebesar 2 bar.
- Kecepatan putar *crystallizer* sebesar 200 rpm.

### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

##### 1. Aquades

Aquades merupakan air yang sudah dimineralisari (kandungan mineral dalam air sudah dihilangkan). Aquades seperti pada gambar 3.1 digunakan sebagai bahan untuk membuat hidrat gas yang dicampurkan bersama gas butana di dalam *crystallizer*.

##### 2. LPG

Gas LPG merupakan bahan bakar gas yang disimpan dalam tangki dalam bentuk cair .

##### 3. Es

Es digunakan untuk menjaga temperatur dalam *cooling bath*, agar cenderung konstan.

##### 4. Garam

Garam yang digunakan sebagai bahan untuk membuat *cooling bath*. Dimana garam digunakan untuk menurunkan titik beku air.

##### 5. Ekstrak minyak biji mengkudu

Pada gambar 3.1 menunjukkan gambar ekstrak minyak biji mengkudu yang didapat dari ekstraksi biji mengkudu dengan metode soxhlet.



Gambar 3.1 Ekstrak biji mengkudu

### 3.4.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 1. *Crystallizer*

*Crystallizer* digunakan sebagai tempat untuk membuat hidrat gas. *Crystallizer* berbentuk tabung berongga seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.2 *Crystallizer*

Spesifikasi:

- Bahan : *Stainless steel*
- Volume :  $150 \text{ cm}^3/0.00015 \text{ m}^3$

#### 2. Motor listrik

Motor listrik pada gambar 3.6 digunakan sebagai alat untuk memutar *crystallizer* sehingga gas dan air di dalam *crystallizer* tercampur.



Gambar 3.3 Motor listrik

Spesifikasi:

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

### 3. Inverter

Pada gambar 3.4 menunjukkan *inverter* yang digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor.



Gambar 3.4 Inverter

Spesifikasi:

- Merk : Telemecanique Altivar 31

- Tipe : ATV 31H018 M2A
- Fase : 1 fase ke 3 fase
- Tegangan : 200/240 V
- Daya : 0.25 Hp/0.18 kW

#### 4. Gelas ukur

Gelas ukur seperti pada gambar 3.5 digunakan untuk mengukur volume air aquades yang akan dimasukkan ke dalam *crystallizer*.



Gambar 3.5 Gelas ukur

#### Spesifikasi:

- Merk : PYREX
- Volume : 25 ml

#### 5. Regulator gas

Regulator gas seperti pada gambar 3.6 digunakan untuk mengatur tekanan gas yang keluar dari tabung LPG.





Gambar 3.6 Regulator gas

Spesifikasi:

- Merk : FESTO
- Tekanan maks : 1 MPa

#### 6. Katup

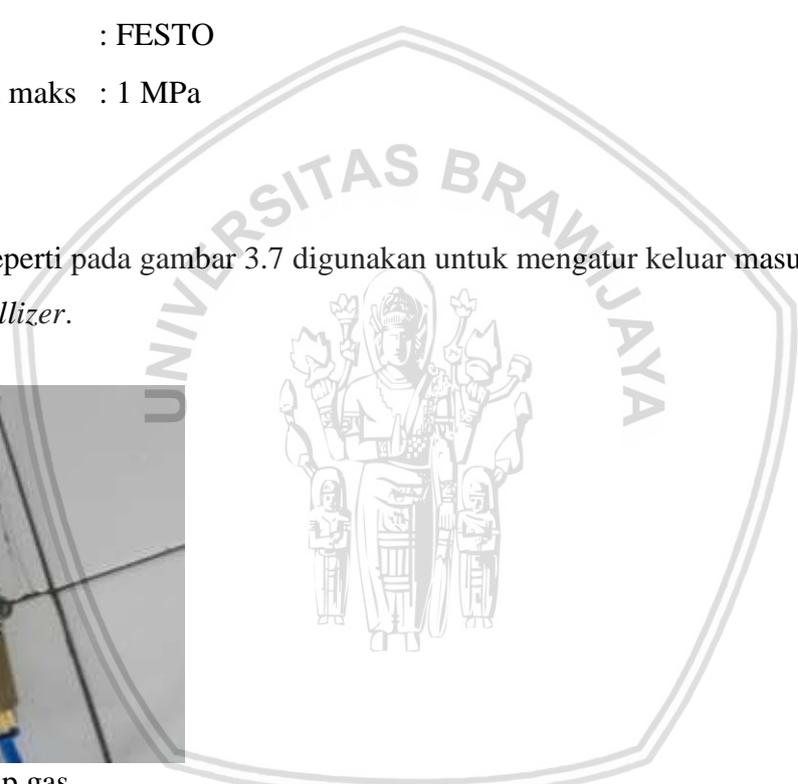
Katup seperti pada gambar 3.7 digunakan untuk mengatur keluar masuknya gas ke dalam *crystallizer*.



Gambar 3.7 Katup gas

#### 7. *Flowmeter* gas

*Flowmeter* gas digunakan untuk mengukur besar volume aliran yang masuk ke dalam *crystalizer*.





Gambar 3.8 Flowmeter gas

Spesifikasi:

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

#### 8. *Thermocouple*

*Thermocouple* seperti pada gambar 3.9 digunakan sebagai sensor untuk mengambil data temperatur di dalam *crystallizer*.



Gambar 3.9 Thermocouple

Spesifikasi:

- Tipe : Pt
- Temperatur : -100°C – 400°C

#### 9. *Pressure sensor*

*Pressure sensor* seperti pada gambar 3.10 digunakan sebagai alat untuk mengambil data tekanan di dalam *crystallizer*.



Gambar 3.10 Pressure sensor

Spesifikasi:

- Merk : Autonics
- Model : PSAN-L1CA-R1/8
- Power : 12/24 V
- Tipe : Tekanan positif
- Tekanan : Max 1 Mpa

#### 10. Cooling bath

*Cooling bath* yang terbuat dari *Styrofoam*



Gambar 3.11 Cooling bath

#### 11. Mesin Pendingin

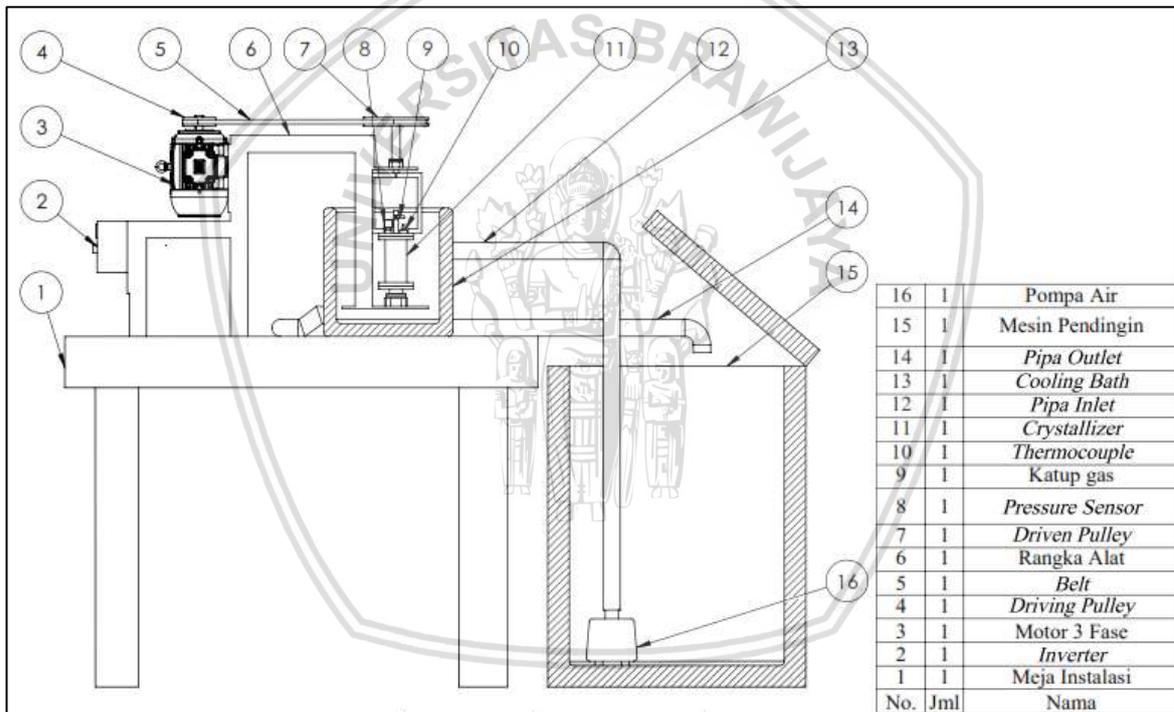
Mesin pendingin digunakan untuk menjaga temperatur *cooling bath*. Sesuai pada gambar 3.12



Gambar 3.12 Mesin Pendingin

### 3.5 Instalasi Alat Penelitian

Instalasi alat yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Instalasi alat penelitian

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian yang pertama dilakukan adalah mengkalibrasi semua alat ukur yang digunakan. Masukkan *aquades* dan cairan ekstrak biji mengkudu sesuai variable bebas (kadar surfaktan) yang telah ditentukan dengan total volume campuran keduanya sebanyak 50 cm<sup>3</sup> kedalam *crystallizer*. Tutup *crystallizer*, lalu pasang *crystallizer* pada dudukan alat pemutar. Letakkan *cooling bath* ke tengah-tengah alat pemutar dan isi dengan air bersuhu ruang sampai *crystallizer* terendam. Setelah *crystallizer* terendam air, masukan gas



campuran propana butana kedalam *crystalizer* dan pastikan massa alir gas yang masuk ke *crystalizer* di hitung. Tutup katup gas setelah tekanan didalam *crystalizer* mencapai 2 bar .

Setelah selesai memasukan gas campuran propana butana, pasang intalasi alat seperti gambar 3.17. Untuk persiapan air pendinginan, pertama masukanlah air kedalam mesin pendingin sebanyak 50 liter dan tambahkan garam dapur sebanyak 1.5 Kg. Aturlah temperatur mesin pendingin sampai suhu paling rendah. Tunggu suhu pada termocouple mesin pendingin menunjukkan suhu 273 K dan jaga temperatur agar tetap konstan pada suhu tersebut dengan mengatur *thermocontrol* pada mesin pendingin. Jika airnya sudah mencapai suhu 273 K, maka air pendinginan sudah siap untuk disirkulasikan. Sebelum menyirkulasikan air pendinginan melewati *cooling bath*, buang terlebih dahulu air bersuhu ruang didalam *cooling bath* sampai kosong,

### **3.6.2 Pengambilan Data**

#### **3.6.2.1 Laju Pembentukan Hidrat**

Pasanglah instalasi seperti pada gambar 3.13 Setelah persiapan penelitian dilakukan nyalakan pompa air pada mesin pendingin untuk disalurkan menuju *cooling bath*. Atur lagi *thermocontrol* pada mesin pendingin sampai temperatur termocouple pada *cooling bath* menunjukkan 273 K. Aturlah frekwensi motor melalui alat inverter untuk mendapatkan putaran *crystalizer* sebesar 200 rpm. Ambil data penurunan tekanan pada *pressure transducer* selama proses berlangsung. Pengambilan data selesai ketika penurunan tekanan pada *crystalizer* konstan atau tidak terjadi perubahan tekanan pada *crystalizer*.

#### **3.6.2.2 Penguraian Hidrat**

Setelah selesai pengambilan data laju pembentukan hidrat. Turunkan temperatur *coling bath* menjadi 268 K dengan cara mengatur *thermocontrol* pada mesin pendingin. Buka katup gas pada *crystalizer* agar gas propana butana yang tidak menjadi hidrat terbuang keluar *crystalizer*. Tutup kembali katup gas. Setelah temperatur *cooling bath* konstan maka ambil data temperatur dan tekanan didalam *crystalizer* selama 5 jam.

#### **3.6.2.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat**

Setelah selesai pengambilan data penguraian hidrat. Naikan temperatur *cooling bath* menjadi temperatur ruang agar hidrat mengalami dekomposisi dan melepas gas propanan butanan yang terjebak pada struktur hidrat. Ambil data tekanan gas, waktu dan temperatur selama proses sampai temperatur didalam *crystalizer* sebesar 300 K .

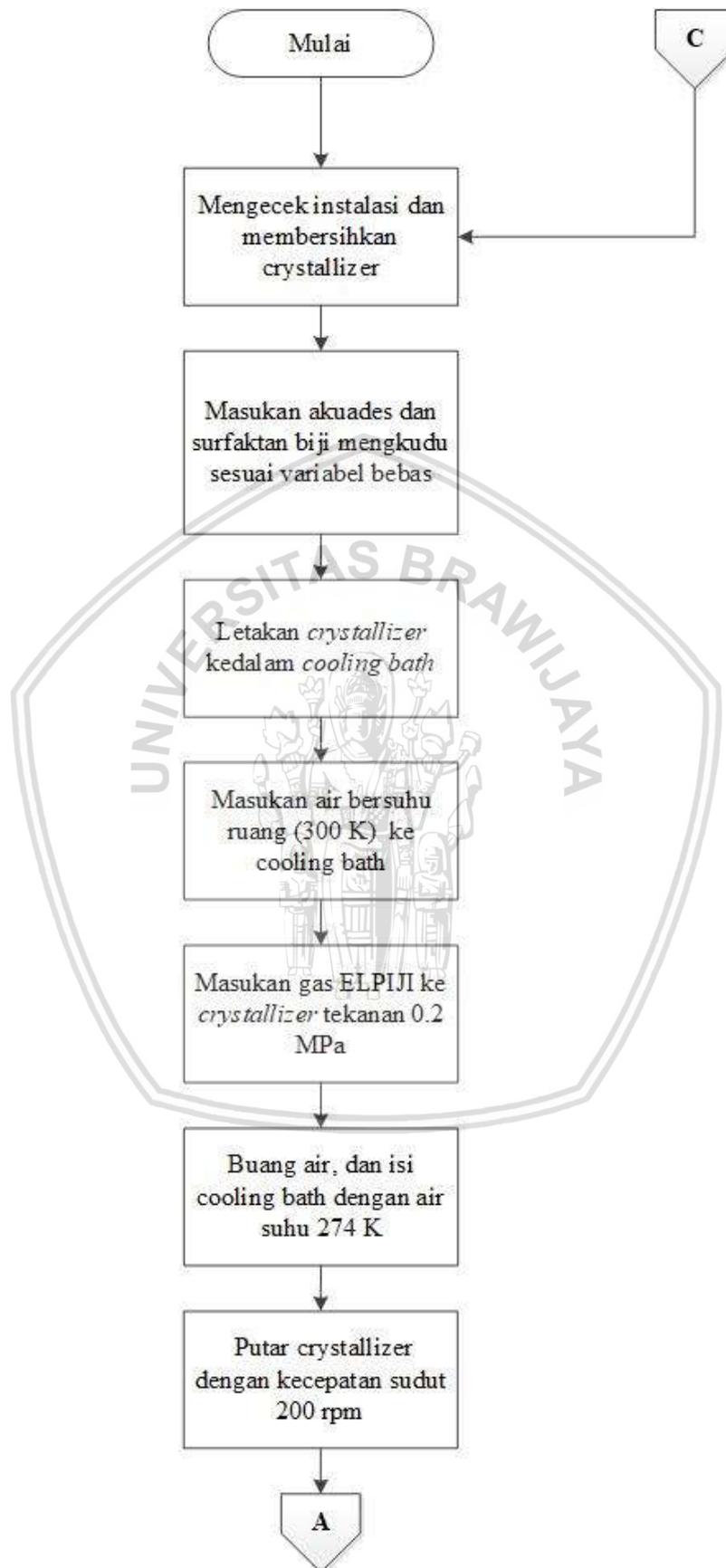
Ulangilah langkah pengambilan data laju pembentukan hidrat, penguraian hidrat dan kapasitas penyimpanan hidrat dengan merubah variasi temperatur *cooling bath* sesuai dengan variabel yang digunakan.

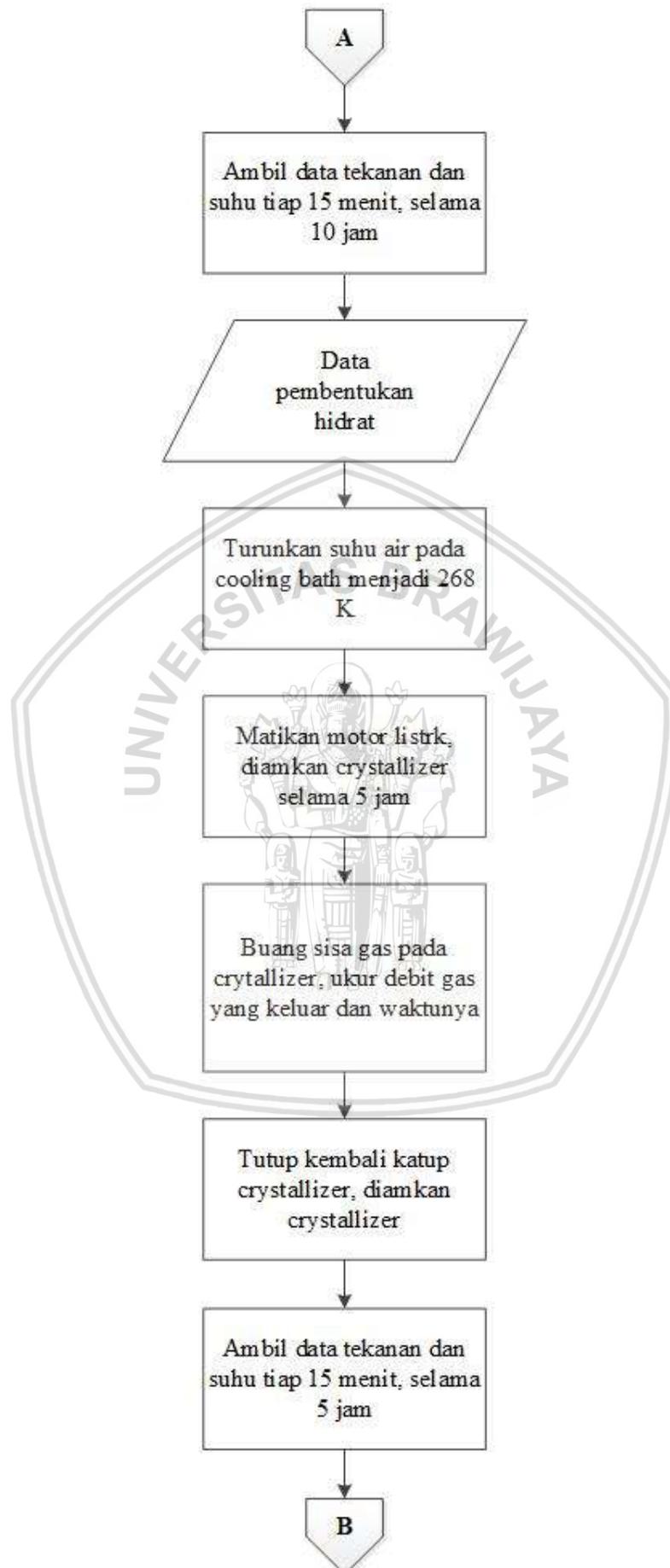
### 3.6.3 Pengolahan Data

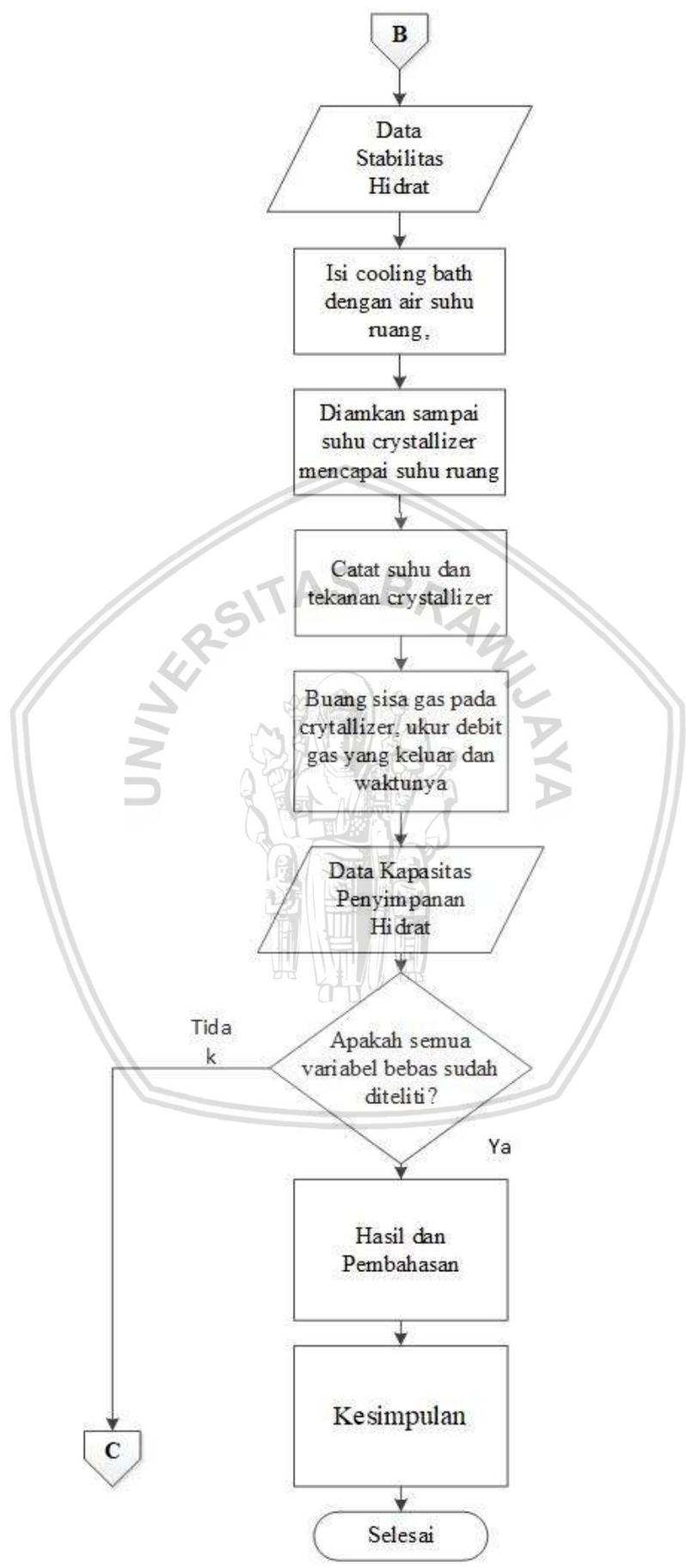
Setelah semua data tekanan dan temperatur yang diambil, pindahkan data ke komputer untuk diolah menggunakan rumus persamaan gas nyata. Hitunglah berapa mol gas yang menjadi hidrat selama laju pembentukan hidrat.



## 3.7 Diagram Alir Penelitian







## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Penelitian

Data didapatkan dengan melakukan pengujian sesuai dengan penambahan variasi surfaktan ekstrak biji mengkudu (*morinda citrifolia*) dan temperatur *cooling bath* yang telah ditentukan, yaitu pembentukan gas hidrat propana butana pada temperatur 273K dan variasi 0 ppm, 500 ppm, 1000 ppm, 1500 ppm surfaktan ekstrak biji mengkudu. Data yang didapatkan berupa tekanan (bar) dan temperatur (°C).

#### 4.1.1 Data Hasil Penelitian Laju Pembentukan Hidrat

Pembentukan gas hidrat propana butana dilakukan selama 10 jam dengan temperatur *cooling bath* dijaga konstan, sesuai dengan variasinya masing-masing. Tekanan awal pembentukan yaitu sebesar 2 bar.

Tabel 4.1  
Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana

Variasi surfaktan ekstrak biji mengkudu (ppm)	T <sub>0p</sub> (K)	P <sub>0p</sub> (bar)	T <sub>1p</sub> (K)	P <sub>1p</sub> (bar)
0 ppm	296	2	273	0.63
500 ppm	296	2	273	0.60
1000 ppm	296	2	273	0.68
1500 ppm	296	2	273	0.75

Keterangan:

- T<sub>0p</sub> : Temperatur awal sistem pada saat pembentukan gas hidrat propana butana (K)
- T<sub>1p</sub> : Temperatur akhir sistem pada saat pembentukan gas hidrat propana butana (K)
- P<sub>0p</sub> : Tekanan awal gas pada saat pembentukan gas hidrat propana butana pada *crystallizer* (bar)
- P<sub>1p</sub> : Tekanan akhir gas pada saat pembentukan gas hidrat propana butana pada *Crystallizer* (bar)

#### 4.1.2 Data Hasil Penelitian Stabilitas Hidrat

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

Tabel 4.2  
Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana

Variasi surfaktan ekstrak biji mengkudu (ppm)	$T_s$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$P_{0s}$ (bar)	$P_{1s}$ (bar)
0 ppm	-5	0	0,02
500 ppm	-5	0	0,02
1000 ppm	-5	0	0,02
1500 ppm	-5	0	0.03

Keterangan:

$T_s$  : Temperatur sistem pada saat stabilitas gas hidrat propana butana (K)

$P_{0s}$  : Tekanan awal gas pada saat stabilitas gas hidrat propana butana (bar)

$P_{1s}$  : Tekanan akhir gas pada saat stabilitas gas hidrat propana butana (bar)

#### 4.1.3 Data Hasil Penelitian Kapasitas Penyimpanan Hidrat

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

Tabel 4.3  
Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana

Variasi Kadar Surfaktan	t (sekon)	P (bar)	P (MPa)
0 ppm	6,64	0,3	0,03
500 ppm	6,1	0,27	0,027
1000 ppm	5,6	0,25	0,025
1500 ppm	5,2	0,23	0,023

Keterangan :

t (sekon) : Waktu yang dibutuhkan flowmeter untuk mengeluarkan gas yang terjebak pada hidrat propana butana dari dalam *crystallizer*

P (bar) : Tekanan gas pada saat kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana

## 4.2 Contoh Perhitungan Data Hasil Penelitian dan Pembahasan

### 4.2.1 Laju Pembentukan Hidrat

#### 4.2.1.1 Contoh Perhitungan

Contoh perhitungan diambil dari variasi surfaktan 500 ppm dengan temperatur *cooling bath* 273 K pada laju pembentukan gas hidrat propana butana saat menit ke 600. Laju pembentukan gas hidrat dihitung nilai mol dari gas yang terbentuk pada hidrat.

- Perhitungan Faktor Kompresibilitas

$$\text{Tekanan kritis Gas Propana } (P_{c, \text{Propana}}) = 4,26 \text{ MPa}$$

$$\text{Tekanan kritis Gas n-Butana } (P_{c, \text{n-Butana}}) = 3,8 \text{ MPa}$$

$$\text{Temperatur kritis Gas Propana } (T_{c, \text{Propana}}) = 370 \text{ K}$$

$$\text{Temperatur kritis Gas n-Butana } (P_{c, \text{n-Butana}}) = 425 \text{ K}$$

$$\text{Tekanan di dalam } \textit{crystallizer} \text{ pada saat menit 600 } (p_{t=600}) = 0,87 \text{ bar}$$

$$= 0,087 \text{ Mpa}$$

$$\text{Temperatur di dalam } \textit{crystallizer} \text{ pada saat menit 600 } (T_{t=600}) = 273 \text{ K}$$

a) Nilai  $P_c$

$$\begin{aligned} p_c &= \frac{P_{c, \text{Propana}} + P_{c, \text{n-Butana}}}{2} \\ &= \frac{4,26 + 3,8}{2} \\ &= 4,025 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b) Nilai  $P_r$

$$\begin{aligned} p_r &= \frac{p_{t=600}}{P_c} \\ &= \frac{0,087}{4,025} \\ &= 0,02162 \end{aligned}$$

c) Nilai  $T_c$

$$\begin{aligned} T_c &= \frac{T_{c, \text{propana}} + T_{c, \text{n-butana}}}{2} \\ &= \frac{370 + 425}{2} \\ &= 397,5 \text{ K} \end{aligned}$$

d) Nilai  $T_r$

$$\begin{aligned} T_r &= \frac{T_{t=600}}{T_c} \\ &= \frac{273}{397.5} \\ &= 0,68662 \end{aligned}$$

e) Faktor asentrik ( $\omega$ )

$$\begin{aligned} \omega &= -1 - \log p_r \\ &= -1 - \log 0,02161 \\ &= 0,66525 \end{aligned}$$

f) Koefisien yang dipengaruhi  $p_r$  dan  $T_r$  ( $\alpha$ )

$$\begin{aligned} \alpha &= \{1 + (0,37464 + 1,54226\omega - 0,2699\omega^2)(1 - T_r^{0.5})\}^2 \\ &= \{1 + (0,37464 + 1,54226 \cdot 0,66525 - 0,2699 \cdot 0,66525^2)(1 - 0,68662^{0.5})\}^2 \\ &= 1,48733 \end{aligned}$$

g) Konstanta Persamaan keadaan Peng Robinson

$$\begin{aligned} A &= \frac{\Omega_a \alpha p_r}{T_r^2}; \Omega_a = 0,45724 \\ &= \frac{0,45724 \times 1,48733 \times 0,02161}{0,68662^2} \end{aligned}$$

$$= 0,03118$$

$$B = \frac{\Omega_b p_r}{T_r}; \Omega_b = 0,07779$$

$$= \frac{0,07779 \times 0,02161}{0,68662}$$

$$= 0,00245$$

$$c_2 = B - 1$$

$$= 0,00245 - 1$$

$$= -0,99755$$

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

$$= 0,03118 - 2 \times 0,00245 - 3 \times 0,00245^2$$

$$= 0,02626$$

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

$$= 0,03118 \times 0,00245 - 0,00245^2 - 0,00245^3$$

$$= 0,00007$$

h) Determinan persamaan keadaan Peng Robinson

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{3c_2 - c_1^2}{3} \\
 &= \frac{3 \times (-0,99755) - 0,02626^2}{3} \\
 &= -0,99778 \\
 L &= \frac{2c_2^3 - 9c_2c_1 + 27c_0}{27} \\
 &= \frac{2(-0,99755)^3 - 9(-0,99755)(0,02626) + 27(0,00007)}{27} \\
 &= 0,08252 \\
 D &= \frac{K^3}{27} + \frac{L^2}{4} \\
 &= \frac{-0,99778^3}{27} + \frac{0,08252^2}{4} \\
 &= -0,03509
 \end{aligned}$$

i) Faktor kompresibilitas (Z)

$$\begin{aligned}
 \Phi &= \cos^{-1} \left( -\sqrt{\frac{L^2/4}{K^3/27}} \right) \\
 &= 1,35401 \\
 Z_1 &= 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos \Phi - \frac{c_2}{3} \\
 &= 0,58061 \\
 Z_2 &= 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos (\Phi + 120) - \frac{c_2}{3} \\
 &= -0,1195 \\
 Z_3 &= 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos (\Phi + 240) - \frac{c_2}{3} \\
 &= -0,65163
 \end{aligned}$$

Jadi, faktor kompresibilitas yang digunakan untuk menghitung jumlah mol gas pada menit ke-600 dengan temperatur *cooling bath* 273K adalah 0,58061. Untuk nilai faktor kompresibilitas data pada setiap 15 menit hanya mengganti nilai  $p_{t=600}$  dengan  $p$  pada waktu tersebut.

## j) Perhitungan Jumlah Volume Gas

$$\begin{aligned}
 y_{p=600} &= (3,29x + 93.42)/1000000 \\
 &= (3,29 \cdot 0,81 + 80,567)/1000000 \\
 &= 0,00009628 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

## k) Perhitungan Jumlah Mol Gas

$$\begin{aligned}
 n_{t=600} &= \frac{P_{t=600} \cdot V}{Z \cdot R \cdot T} \\
 &= \frac{0,087 \times 10^6 \times 0,00009628}{0,58061 \times 8,31447 \times 273} \\
 &= 0,00636 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

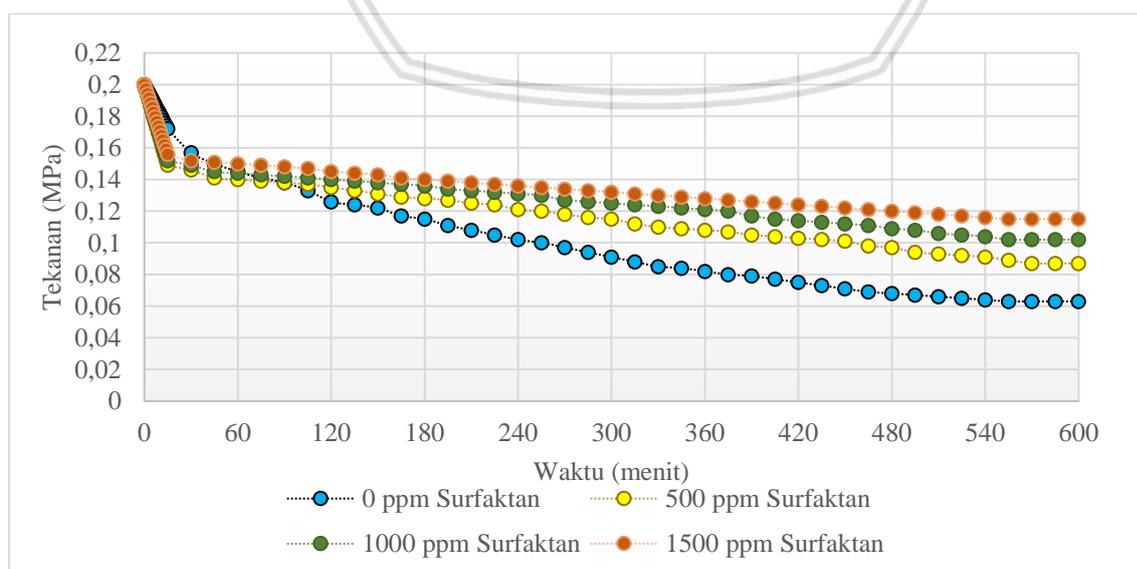
## l) Perhitungan Konsumsi Gas Pada Hidrat

Konsumsi gas merupakan hasil pengurangan dari jumlah mol gas pada  $t=0$  dengan jumlah mol gas ketika  $t \neq 0$ . Contoh perhitungan ketika  $t=600$  adalah :

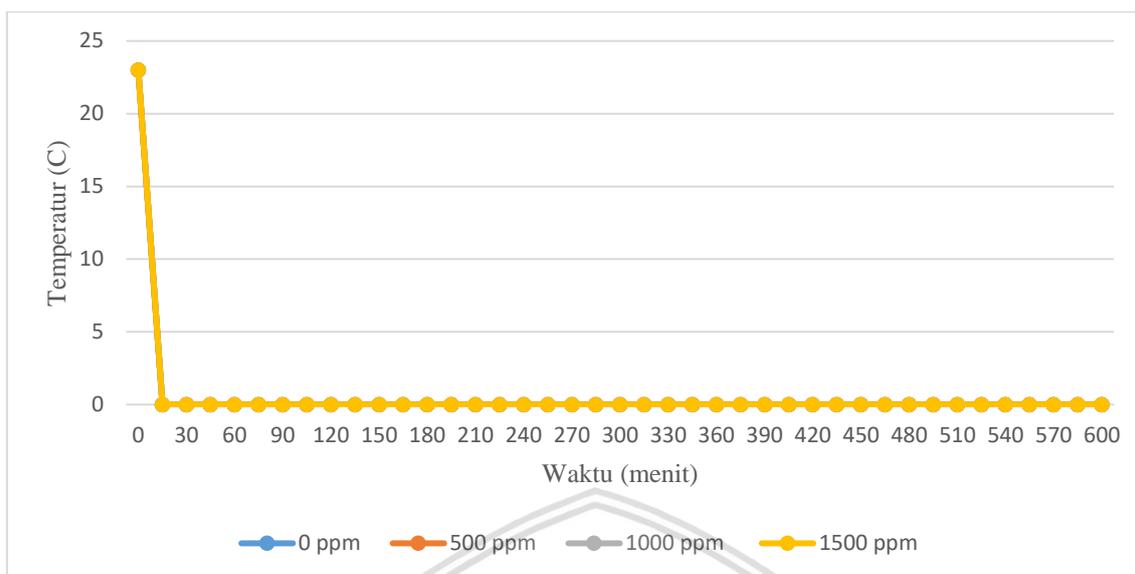
$$\begin{aligned}
 N_{t=600} &= n_{t=0} - n_{t=600} \\
 &= 0,01369 - 0,00636 \\
 &= 0,00734 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

## 4.2.1.2 Pembahasan

## a. Analisa Grafik Hubungan Antara Tekanan dan Temperatur terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana



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

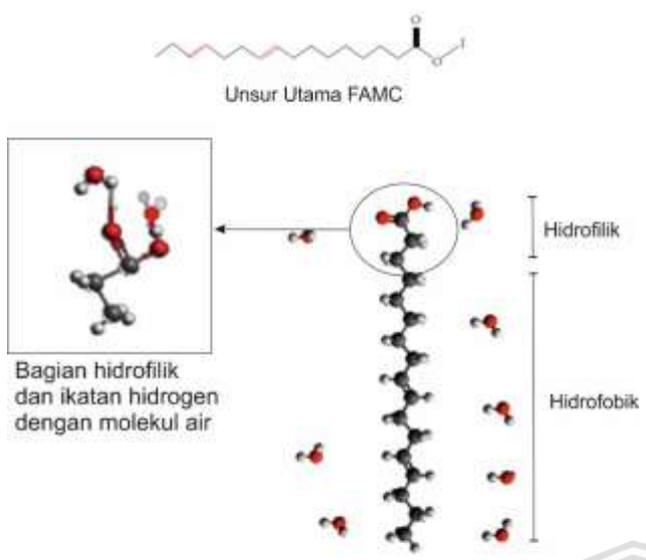


Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Temperatur terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana

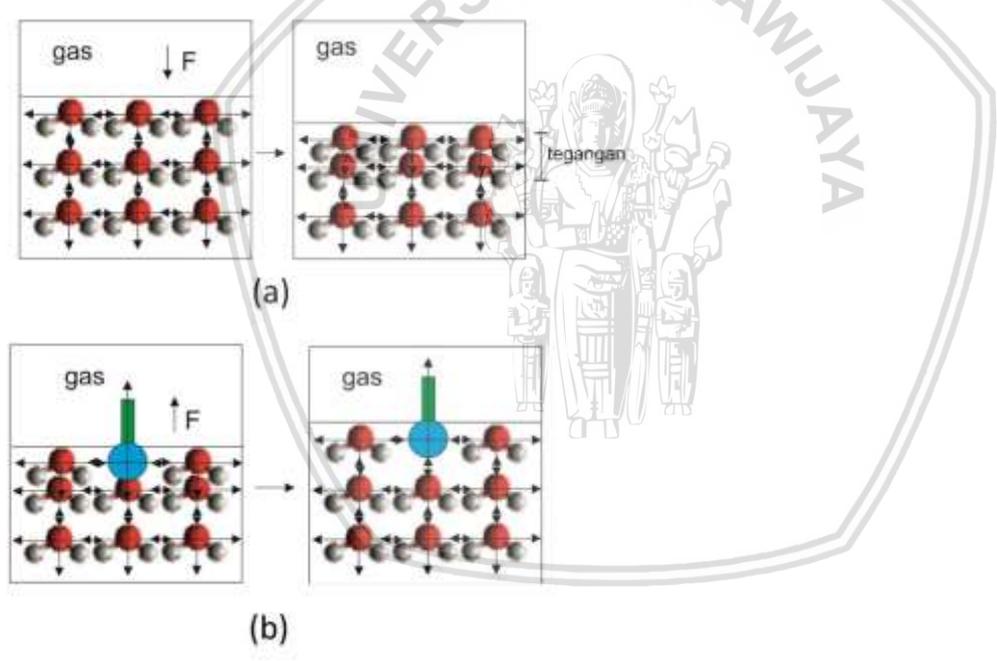
Gambar 4.1 menunjukkan grafik hubungan antara tekanan terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana. Tekanan hidrat yang terdapat pada grafik menunjukkan tekanan gas yang tersimpan dalam hidrat dengan temperatur pembentukan hidrat konstan.

Dengan penambahan kadar surfaktan yang berbeda-beda pada hidrat propane butane tekanan 2 bar yaitu 0 ppm, 500 ppm, 1000 ppm dan 1500 ppm, menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan pembentukannya. Dari grafik bisa diketahui bahwa pada menit-menit awal (0-60 menit) tekanan akan turun drastis hal ini menunjukkan laju pembentukan, setelah itu tekanan akan turun perlahan, dan hal ini menunjukkan konsumsi gas.

Pada grafik diketahui kadar 1500 ppm mengalami penurunan tekanan yang drastis diikuti dengan kadar 1000 ppm 500 ppm dan 0 ppm, hal ini menunjukkan bahwa penambahan surfaktan akan meningkatkan laju pembentukan, hal ini disebabkan karena dengan penambahan surfaktan akan menurunkan tegangan permukaan larutan, sehingga akan memudahkan proses difusi gas ke dalam larutan.



Gambar 4.3 Struktur Surfaktan Ekstrak Biji Mengkudu (FAMC)



Gambar 4.4 Penurunan Tegangan Permukaan

Gambar 4.4 (a) adalah proses terjadinya tegangan permukaan, proses ini diawali dari molekul air yang memiliki ikatan hydrogen, *molecular interaction* antar molekul air ini menyebabkan molekul air akan saling tarik menarik, karena rapatnya molekul air gaya tarik ini akan tetap membuat molekul air tetap pada posisinya, sebagai contoh, gaya tarik kekanan akan dinormalkan dengan gaya tarik kekiri, dan gaya tarik kebawah akan dinormalkan dengan gaya tarik keatas, akan tetapi hal ini tidak terjadi pada molekul air diposisi paling atas, yaitu pada molekul air dipermukaan, karena tidak adanya molekul air diatasnya, maka

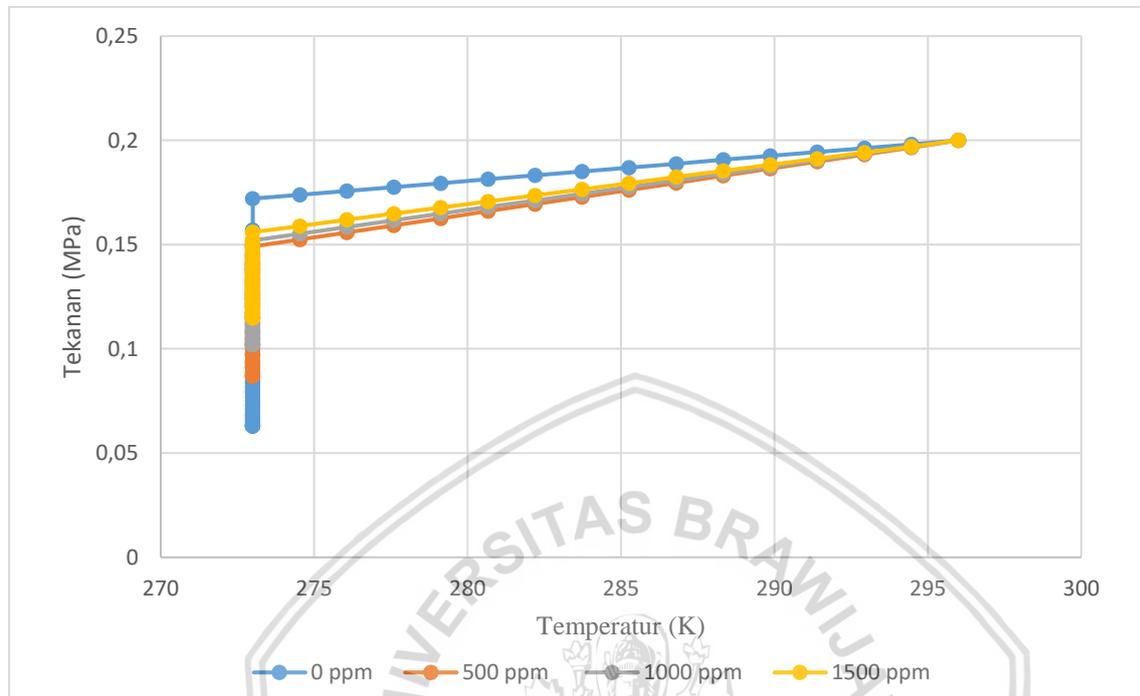
tidak ada gaya tarik keatas, sehingga molekul air ini akan tertarik kebawah dan membuat susunan molekul air dipermukaan menjadi lebih rapat dan menegang, fenomena inilah yang disebut dengan tegangan permukaan,

Selanjutnya pada gambar 4.4 (b) adalah proses penurunan tegangan permukaan akibat penambahan surfaktan. Surfaktan memiliki gugus polar (hidrofilik) dan gugus non polar (hidrofobik) sekaligus, bagian kepala yang bersifat hidrofilik atau suka air, akan ikut berikatan dengan molekul air, sedangkan bagian ekor yang bersifat hidrofobik atau tak suka air akan menjauhi air, gerakan ini akan menciptakan gaya tarik keatas pada permukaan air yang sekaligus akan meregangkan kembali susunan molekul air dipermukaan sehingga akan mengurangi tegangan permukaannya.

Surfaktan memiliki sifat hidrofobik dan hidrofilik sekaligus, dari kedua sifat ini, setiap surfaktan memiliki sifat dominan hidrofobik/lipofilik atau dominan hidrofilik, hal ini dipengaruhi oleh nilai *hydrophilic and lipophilic balance (HLB value)*, semakin tinggi nilai HLB value maka surfaktan akan lebih bersifat hidrofilik dan sebaliknya, sedangkan FAMC memiliki *HLB value* yang rendah, sehingga memiliki sifat dominan lipofilik atau suka minyak.

Selanjutnya pada gambar 4.1 Bisa kita lihat bahwa konsumsi mol terbanyak adalah pada variasi 0 ppm diikuti oleh 500 ppm, 1000 ppm, dan 1500 ppm, hal ini dikarenakan setiap penambahan kadar surfaktan maka konsentrasi larutan akan meningkat, hal ini dikarenakan dari sifat dari FAMC sendiri yang memiliki sifat dominan lipofilik. Sehingga dengan meningkatnya konsentrasi didalam larutan, akan menurunkan proses difusi gas kedalam larutan, yang mengakibatkan menurunnya jumlah konsumsi gas.

b. Analisa Grafik Hubungan Antara Tekanan terhadap Temperatur Pembentukan Hidrat Propana Butana



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Tekanan terhadap Temperatur Pembentukan Hidrat Propana Butana

Gambar 4.5 menunjukkan grafik hubungan antara tekanan terhadap temperatur pembentukan hidrat gas propana butana pada variasi kadar surfaktan dengan tekanan pembentukan 2 bar. Pada grafik diatas dapat diketahui bahwa pada temperatur pembentukan yang sama, variasi penambahan surfaktan menyebabkan perbedaan tekanan.

Semakin rendah tekanan pada *crystallizer* menunjukkan semakin banyak mol gas yang dikonsumsi saat pembentukan dan semakin banyak gas yang larut dalam larutan. Pada temperature yang sama dapat dilihat bahwa tekanan pada variasi 0 ppm paling rendah diikuti dengan variasi 500 ppm, 1000 ppm dan 1500 ppm. Hal ini dipengaruhi oleh difusi gas diatas hidrat kedalam hidrat. Dengan penambahan surfaktan maka tekanan pembentukan yang ada tidak cukup untuk menginjeksi gas kedalam hidrat, karena konsentrasi larutan akan berubah seiring penambahan kadar surfaktan.

c. Analisa Grafik Hubungan Antara Jumlah Konsumsi Gas terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Jumlah Konsumsi Gas terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana

Gambar 4.6 menunjukkan grafik hubungan antara jumlah konsumsi gas terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana pada variasi temperatur *cooling bath* yaitu, 271 K, 273 K dan 275 K. Jumlah konsumsi gas merupakan jumlah gas yang terbentuk menjadi hidrat pada proses pembentukan.

Pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa jumlah konsumsi gas tertinggi terjadi pada variasi temperatur *cooling bath* 275 K, sedangkan untuk jumlah konsumsi gas terendah terjadi pada variasi temperatur *cooling bath* 271 K. Hal ini disebabkan apabila pada saat temperatur pendinginan semakin tinggi maka waktu yang dibutuhkan inti untuk menarik gas propana butana dari permukaan ke inti akan semakin lama, dengan waktu yang semakin lama ini menyebabkan jumlah gas yang dikonsumsi semakin besar. Dan apabila temperatur pendinginannya semakin rendah maka hidrat yang terbentuk akan semakin cepat akibat temperatur *cooling bath* menurun secara drastis. Sehingga perpindahan panas yang terjadi antara *cooling bath* dengan sistem akan semakin cepat, menyebabkan jumlah konsumsi gasnya semakin sedikit pula.

## 4.2.2 Stabilitas Hidrat

### 4.2.2.1 Contoh Perhitungan

Penelitian stabilitas dilakukan pada kondisi ketika hidrat telah terbentuk, kemudian didiamkan pada temperatur *cooling bath* sebesar 268 K tanpa diputar selama 5 jam. Kemudian mol yang didapatkan adalah jumlah gas yang terurai dari hidrat. Contoh perhitungan diambil dari variasi temperatur *cooling bath* 271 K pada stabilitas gas hidrat propana butana saat menit ke 300.

- Perhitungan Faktor Kompresibilitas

Diketahui :

$$P_{c, \text{Propana}} = 4,26 \text{ MPa}$$

$$P_{c, \text{n-Butana}} = 3,8 \text{ MPa}$$

$$T_{c, \text{Propana}} = 370 \text{ K}$$

$$T_{c, \text{n-Butana}} = 425 \text{ K}$$

Keterangan :

$P_{c, \text{Propana}}$  : Tekanan kritis Gas Propana

$P_{c, \text{n-Butana}}$  : Tekanan kritis Gas n-Butana

$T_{c, \text{Propana}}$  : Temperatur kritis Gas Propana

$T_{c, \text{n-Butana}}$  : Temperatur kritis Gas n-Butana

a) Nilai  $P_c$

$$\begin{aligned} p_c &= \frac{p_{c, \text{Propana}} + p_{c, \text{n-Butana}}}{2} \\ &= \frac{4.26 + 3.8}{2} \\ &= 4.025 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

b) Nilai  $P_r$

$$\begin{aligned} p_r &= \frac{p_{t=300}}{p_c} \\ &= \frac{0,02 \times 10^5}{4.025} \\ &= 0,000497 \end{aligned}$$

c) Nilai  $T_{cr}$

$$\begin{aligned}
 T_c &= \frac{T_{c,\text{propana}} + T_{c,\text{n-butana}}}{2} \\
 &= \frac{370 + 425}{2} \\
 &= 397,5 \text{ K}
 \end{aligned}$$

d) Nilai  $T_r$

$$\begin{aligned}
 T_r &= \frac{T_t=300}{T_c} \\
 &= \frac{268}{397,5} \\
 &= 0,674044
 \end{aligned}$$

e) Faktor asentrik ( $\omega$ )

$$\begin{aligned}
 \omega &= -1 - \log p_r \\
 &= -1 - \log 0,000497 \\
 &= 2,3037
 \end{aligned}$$

f) Koefisien yang dipengaruhi  $P_r$  dan  $T_r$  ( $\alpha$ )

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \{1 + (0,37464 + 1,54226\omega - 0,2699\omega^2)(1 - T_r^{0,5})\}^2 \\
 &= \{1 + (0,37464 + 1,54226 \cdot 2,3037 - 0,2699 \cdot 2,3037^2)(1 - 0,674044^{0,5})\}^2 \\
 &= 2,092748
 \end{aligned}$$

g) Konstanta Persamaan keadaan Peng Robinson

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\Omega_a \alpha p_r}{T_r^2}; \Omega_a = 0,45724 \\
 &= \frac{0,45724 \times 2,092748 \times 0,000497}{0,674044^2}
 \end{aligned}$$

$$= 0,001047$$

$$B = \frac{\Omega_b p_r}{T_r}; \Omega_b = 0,07779$$

$$= \frac{0,07779 \times 0,000497}{0,674044}$$

$$= 0,00006$$

Bentuk persamaan keadaan Peng Robinson ditunjukkan pada Persamaan 2.26

$$Z^3 + c_2 Z^2 + c_1 Z + c_0 = 0$$

$$c_2 = B - 1$$

$$= 0,00006 - 1$$

$$= -0,99994$$

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

$$= 0,001047 - 2 \times 0,00006 - 3 \times 0,00006^2$$

$$= 0,000932$$

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

$$= 0,001047 \times 0,00006 - 0,00006^2 - 0,00006^3$$

$$= 0$$

h) Determinan persamaan keadaan Peng Robinson

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

$$= \frac{3 \times (-0,99994) - 0,000932^2}{3}$$

$$= -0,99994$$

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

$$= \frac{2(-0,99994)^3 - 9(-0,99994)(0,000932) + 27(0)}{27}$$

$$= 0,07437$$

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

$$= \frac{-0,99994^3}{27} + \frac{0,07437^2}{4}$$

$$= -0,03565$$

i) Faktor kompresibilitas (Z)

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

$$= 1,376321$$

$$Z_1 = 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos \Phi - \frac{c_2}{3}$$

$$= 0,556456$$

$$Z_2 = 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos (\Phi + 120) - \frac{c_2}{3}$$

$$= -0,14278$$

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

$$= -0,66509$$

Jadi, faktor kompresibilitas yang digunakan untuk menghitung mol gas terurai pada menit ke-300 temperatur *cooling bath* 271 K adalah 0,556456. Untuk nilai faktor kompresibilitas data pada setiap 15 menit hanya mengganti nilai  $p_{t=300}$  dengan  $p$  pada waktu tersebut.

- Perhitungan Jumlah Volume Gas

$$y_{p=300} = (5,2338x + 81,615)/1000000$$

$$y_{p=300} = (5,2338 \cdot 0,02 + 81,615)/1000000$$

$$y_{p=300} = 0,000081615$$

- Perhitungan Jumlah Mol Gas

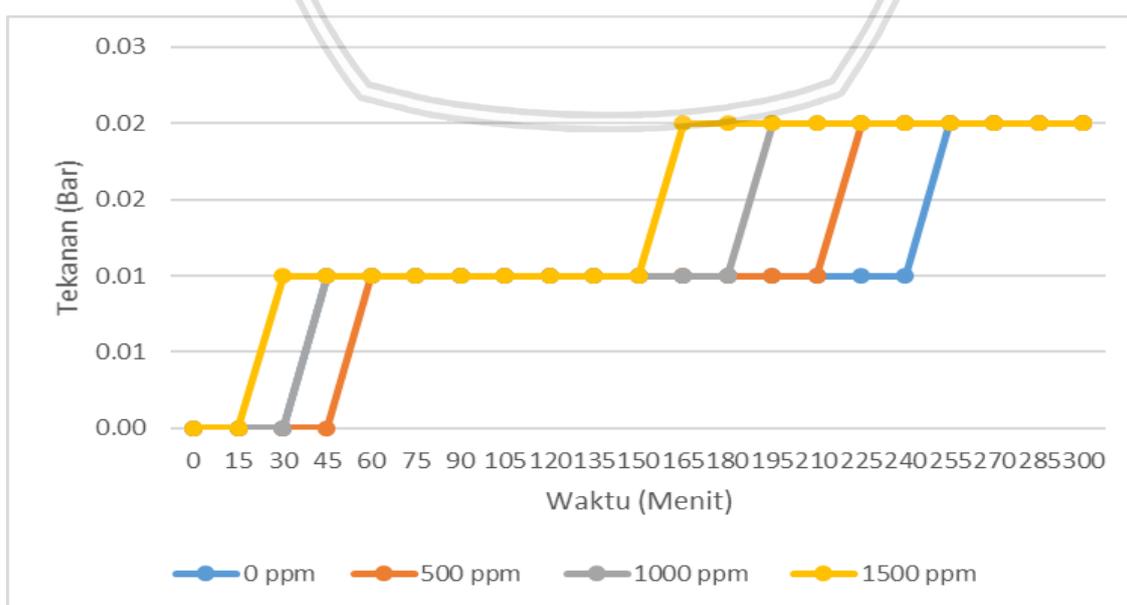
$$n_{t=300} = \frac{P_{t=300} \cdot V}{Z \cdot R \cdot T}$$

$$n_{t=300} = \frac{0,05 \times 10^6 \times 0,000081615}{0,556456 \times 8,31447 \times 274,3}$$

$$n_{t=300} = 0,00013 \text{ mol}$$

#### 4.2.2.2 Pembahasan

- Analisa Grafik Hubungan Antara Tekanan Disosiasi dan Temperatur Gas Hidrat Propana Butana terhadap Waktu Stabilitas Hidrat



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Antara Tekanan Disosiasi Hidrat Propana Butana terhadap Waktu Stabilitas Hidrat

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan antara tekanan penguraian gas hidrat propana butana terhadap waktu stabilitas. Penguraian hidrat adalah proses pemisahan hidrat menjadi air dan gas kembali dengan proses endotermik (panas yang bersumber dari luar sistem).

Tingkat stabilitas dari gas hidrat akan dipengaruhi oleh seberapa besar tekanan gas yang mengurai, semakin kecil nilai tekanan penguraian maka semakin besar tingkat stabilitas gas hidrat. Dari gambar 4.7. terlihat bahwa tekanan disosiasi yang lebih stabil adalah pada variasi 0 ppm.

semakin banyak gas yang dikonsumsi maka akan semakin banyak rongga yang diisi oleh gas, maka akan semakin meningkatkan kekuatan Kristal hidrat, dan meningkatkan stabilitas hidrat.

### 4.2.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat

#### 4.2.3.1 Contoh Perhitungan

Penelitian kapasitas penyimpanan dilakukan setelah melakukan pengujian stabilitas hidrat, dengan mendinginkan *cryztallizer* hingga temperatur di dalamnya mencapai temperatur ruang (300 K). Contoh perhitungan diambil dari variasi kadar surfaktan 500 ppm pada kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana yang mencapai temperatur 300 K dengan waktu 300 menit. Kapasitas penyimpanan hidrat yang dihitung adalah volume gas yang terdekomposisi hingga temperatur ruangan dengan volume gas hidrat secara teoritis dengan volume air 49,25 cm<sup>3</sup>. Dengan perhitungan kadar air dalam campuran air dan surfaktan sebesar 98,5 %

- Perhitungan massa air

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

$$m_{H_2O} = 1 \text{ gr/cm}^3 \times 49,25 \text{ cm}^3$$

$$m_{H_2O} = 49,25 \text{ gr}$$

- Perhitungan jumlah mol air (H<sub>2</sub>O)

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

$$n_{H_2O} = \frac{49,25}{18}$$

$$n_{H_2O} = 2.73 \text{ mol}$$

- Perhitungan massa dari gas propana butana yang dapat menjadi hidrat secara teoritis menggunakan massa air sebesar 49,25 gr

$$m_{gas} = m \times 15.5 \%$$

$$m_{gas} = 49,25 \text{ gr} \times 0.155$$

$$m_{gas} = 7.63 \text{ gr}$$

- Perhitungan mol gas dari gas propana butana yang bias menjadi hidrat secara teoritis menggunakan massa air seberat 49,25 gr

$$n_{max} = \frac{m_{gas}}{M_r(LPG)}$$

$$n_{max} = \frac{m_{gas}}{M_r(LPG)}$$

$$n_{max} = \frac{7.63}{51}$$

$$n_{max} = 0.149 \text{ mol}$$

- Perhitungan volume maksimum gas hidrat propana butana pada kondisi STP

$$\begin{aligned} V_{max} &= \frac{n_{max} \cdot Z \cdot R \cdot T}{P_{STP}} \\ &= \frac{0,149 \cdot 0,58365 \cdot 8,31446 \cdot 273}{10^5} \\ &= 0,00198 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Perhitungan mol actual gas hidrat propana butana yang menjadi hidrat menggunakan persamaan gas nyata

$$PV = n Z R T$$

$$\begin{aligned} n_{aktual} &= \frac{P \cdot V}{Z R T} \\ &= \frac{0,27 \cdot 10^5 \cdot 0,0001}{0,56483 \cdot 8,31446 \cdot 296} \\ &= 0,00195 \text{ mol} \end{aligned}$$

- Perhitungan volume actual gas hidrat propana butana pada kondisi STP

$$\begin{aligned} V_{aktual} &= \frac{n_{aktual} \cdot Z R T}{P_{STP}} \\ &= \frac{0,00195 \cdot 0,58365 \cdot 8,31446 \cdot 273}{10^5} \\ &= 0,000025843 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Perhitungan kapasitas penyimpanan actual gas hidrat propana butana

$$Kp_{aktual} = \frac{V_{aktual}}{V_{max}}$$

$$= \frac{0,000025843}{0,00198}$$

$$= 0,0130323 \text{ V/V}$$

- Perhitungan mol gas hidrat propana butana yang mengalir pada flowmeter. Didapatkan gas yang mengalir pada flowmeter menggunakan debit 0.42 L/Min dan waktu sebanyak 6,1 detik. Maka molnya adalah :

$$n_f = \left[ \left( \frac{t}{60} \times D \right) \cdot \rho_{el\pi ji} \right] / Mr_{el\pi ji}$$

$$= \left[ \left( \frac{6,1}{60} \times 0,42 \right) \cdot 2,245 \right] / 51$$

$$= 0,0018734 \text{ mol}$$

- Perhitungan volume aktual gas hidrat propana butana menggunakan flowmeter pada kondisi STP

$$V_f = \frac{n_f \cdot Z \cdot R \cdot T}{P_{STP}}$$

$$= \frac{0,001874 \cdot 0,58365 \cdot 8,31446 \cdot 273}{10^5}$$

$$= 0,000024819 \text{ m}^3$$

- Perhitungan kapasitas penyimpanan actual gas hidrat propana butana menggunakan flowmeter

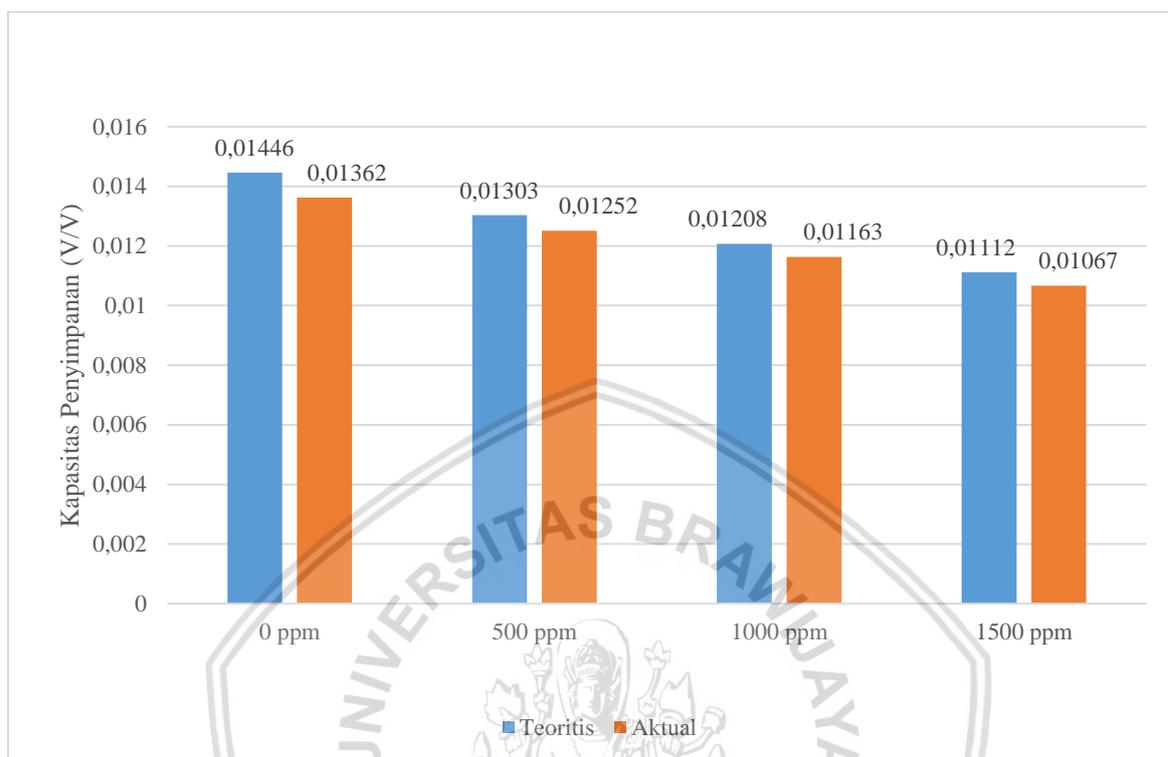
$$Kp_f = \frac{V_f}{V_{max}}$$

$$= \frac{0,000024819}{0,00198}$$

$$= 0,01252 \text{ V/V}$$

#### 4.2.3.2 Pembahasan

##### a. Analisa Diagram Kapasitas Penyimpanan Hidrat Teoritis dan Aktual



Gambar 4.8 Diagram Kapasitas Penyimpanan Hidrat Teoritis dan Aktual

Gambar 4.8 merupakan diagram kapasitas penyimpanan teoritis dan aktual hidrat gas campuran propana butana dalam satuan V/V pada variasi penambahan surfaktan 0 ppm, 500 ppm, 1000 ppm, dan 1500 ppm. Kapasitas penyimpanan hidrat merupakan kemampuan untuk menyimpan gas alam. Jika gas campuran propana butana semakin banyak yang dikonsumsi pada saat laju pembentukan hidrat maka kapasitas penyimpanan hidrat akan semakin besar.

Pada kapasitas penyimpanan hidrat teoritis yang digunakan adalah perbandingan antara volume dari gas campuran propana butana yang terdekomposisi dari tekanan gas yang terdekomposisi hingga temperatur 300 K dengan volume gas campuran propana butana yang diperoleh dari 15% H<sub>2</sub>O + surfaktan dengan kadar air 98% (49,25 cm<sup>3</sup>) yang akan ditempati oleh hidrat. Kapasitas penyimpanan hidrat teoritis tertinggi ada pada variasi 0 ppm dengan nilai sebesar 0,01446 V/V. Hal ini dikarenakan semakin besar mol gas yang dikonsumsi maka semakin besar pula kapasitas penyimpanannya

Pada kapasitas penyimpanan hidrat aktual yang digunakan adalah perbandingan antara volume dari gas campuran propana butana yang terdekomposisi hingga temperatur

300 K pada pengukuran *flowmeter* dengan volume gas campuran propana butana yang diperoleh dari 15% H<sub>2</sub>O + surfaktan dengan kadar air 98% (49,25 cm<sup>3</sup>) yang akan ditempati oleh hidrat. Kapasitas penyimpanan hidrat aktual tertinggi ada pada variasi 0 ppm dengan nilai sebesar 0.01362 V/V.

Nilai kapasitas penyimpanan hidrat teoritis selalu lebih tinggi daripada nilai kapasitas penyimpanan aktual. Penyebabnya adalah adanya *losses* yang dialami oleh gas hidrat yang keluar pada saluran sebelum mencapai *flowmeter*.

#### 4.3 Analisis Validasi Perbandingan antara Konsumsi Gas Teoritis Menggunakan Perhitungan dan Konsumsi Gas Aktual Hidrat Menggunakan Pengukuran Terhadap Waktu pada Laju Pembentukan Hidrat Gas Campuran Propana Butana

Tahap validasi dimaksudkan untuk mendapatkan nilai konsumsi mol gas aktual tiap menit yang ditentukan dengan perubahan mol (dn) tiap menitnya berdasarkan konstanta laju pembentukan hidrat (k). Konstanta laju pembentukan hidrat diperoleh saat proses pembentukan hidrat. Nilai konstanta laju pembentukan hidrat diperoleh dari Persamaan 4.1 dibawah ini.

$$\frac{dn}{dt} = k \frac{(n_t - n_o)}{(n_{max} - n_o)} \dots \dots \dots (4.1)$$

$$k = A e^{\frac{B}{T}} \dots \dots \dots (4.2)$$

$$\ln k = \ln A + \frac{B}{T} \dots \dots \dots (4.3)$$

Dimana:

dn = perubahan mol (mol)

dt = perubahan waktu (menit)

k = konstanta laju pembentukan hidrat (mol/menit)

n<sub>o</sub> = mol terkonsumsi sebelum proses pembentukan (mol)

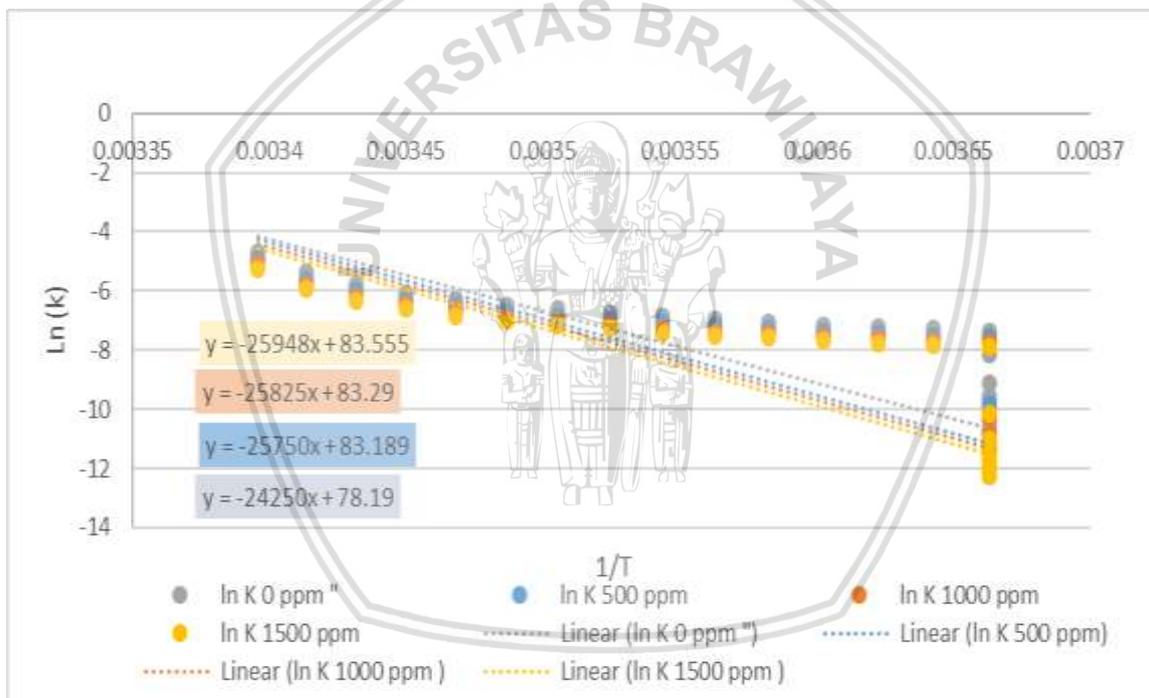
n<sub>t</sub> = mol terkonsumsi waktu tertentu pada proses pembentukan (mol)

n<sub>max</sub> = mol terkonsumsi akhir proses pembentukan (mol)

A,B = konstanta

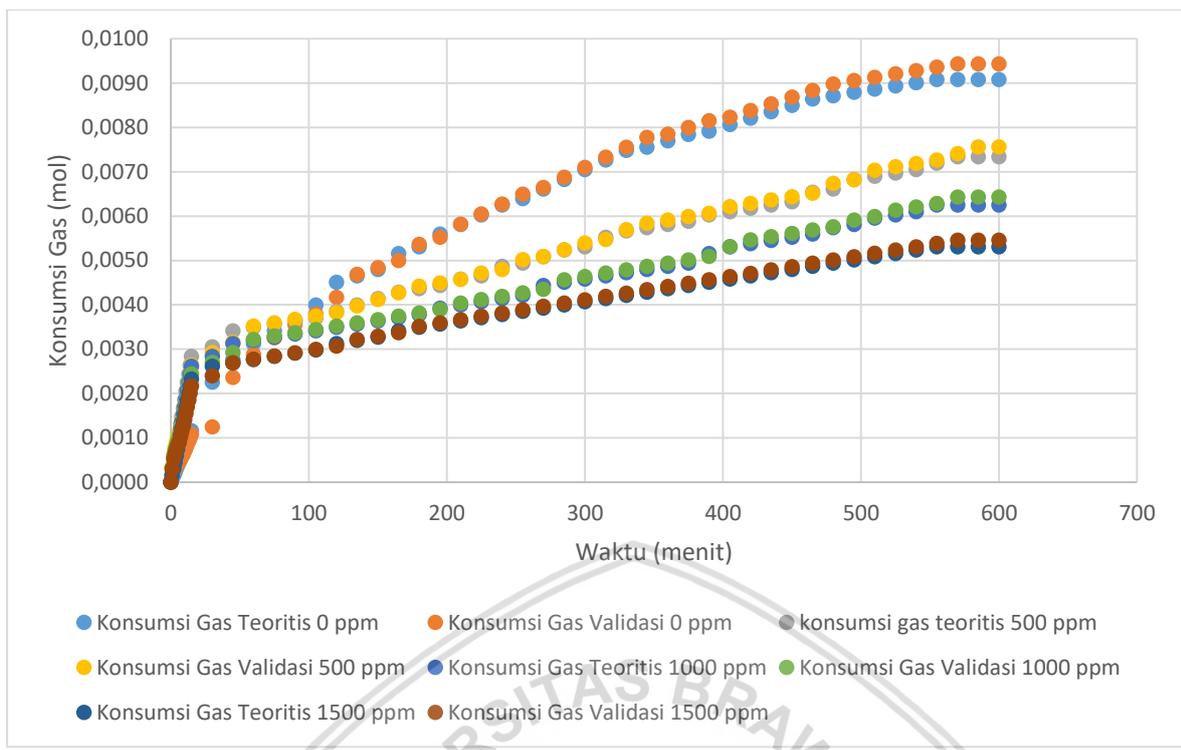
T = temperature *crystallizer* (K)

Dengan Persamaan 4.1, akan diperoleh nilai  $k$ . Namun, nilai  $k$  tersebut masih berbeda-beda di tiap menitnya, sehingga belum bisa diterapkan untuk keseluruhan proses pembentukan. Untuk memperoleh nilai  $k$  yang dapat berlaku untuk keseluruhan proses pembentukan, maka diperlukan satu nilai  $k$  saja yang dapat berlaku di tiap menit pada proses pembentukan, disebut sebagai  $k_{\text{universal}}$ . Dengan Persamaan Arrhenius (Persamaan 4.2), dapat diasumsikan nilai  $k_{\text{universal}}$  tersebut menjadi suatu fungsi dari temperatur, dalam hal ini adalah temperatur *crystallizer* pada proses pembentukan, dan juga terdapat konstanta  $A$  dan  $B$  yang belum diketahui nilainya. Untuk memperoleh persamaan  $k_{\text{universal}}$  kita dapat menurunkan Persamaan 4.2 menjadi persamaan logaritma seperti pada Persamaan 4.3 Selanjutnya, diperlukan sebuah grafik yang dapat memplot nilai  $\ln(k)$  sebagai fungsi dari temperatur di sepanjang waktu proses pembentukan, seperti pada Gambar 9.



Gambar 4.9 Grafik  $\ln(k)$  terhadap  $1/T$

Dari titik-titik nilai  $\ln(k)$  tersebut, lalu ditarik sebuah garis linear. Dari garis linear tersebut, dapat kita peroleh persamaan garis linearnya, dimana terdapat nilai konstanta  $A$  dan  $B$  dari situ.



Gambar 4.10. Grafik Perbandingan antara Konsumsi Gas Teoritis dan Konsumsi Gas Validasi terhadap Waktu

Dengan sudah diperolehnya nilai  $k_{universal}$ , dapat dibuat grafik konsumsi mol gas aktual seperti pada Gambar 4.9. Untuk memperoleh nilai mol aktual tiap menitnya, digunakan Persamaan 4.4 dan 4.5

$$n_{x+1} = n_x + dn \dots\dots\dots(4.4)$$

$$dn = k_{universal} \frac{(n_t - n_o)}{(n_{max} - n_o)} dt \dots\dots\dots (4.5)$$

Dimana:

$n_x$  = mol terkonsumsi menit ke-x (mol)

$n_{x+1}$  = mol terkonsumsi menit ke-x+15 (mol)

Terlihat tidak ada perbedaan berarti antara grafik konsumsi gas teoritis dengan konsumsi gas aktual yang diperoleh melalui tahap validasi. Hal ini berarti nilai yang diukur oleh alat ukur (*thermocouple dan pressure sensor*) sudah benar karena apabila diolah dengan rumus gas nyata nilai mol yang diperoleh mendekati nilai mol actual.

Lalu apabila kita melihat gambar 4.8 kembali, yang menjelaskan hubungan antara jumlah mol gas awal proses dengan jumlah mol gas yang terurai dapat kita peroleh persamaan berikut:

$$n_{awal} = n_s + n_{KP} \dots \dots \dots (4.6)$$

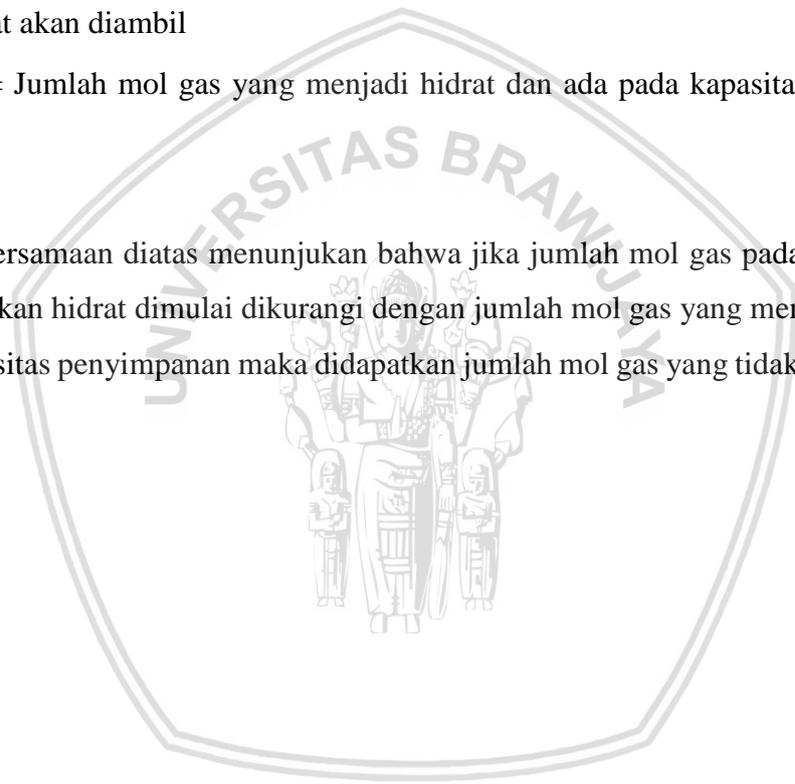
Dimana :

$n_{awal}$  = Jumlah mol gas pada awal sebelum laju pembentukan hidrat dimulai

$n_s$  = Jumlah mol gas yang tidak menjadi hidrat dan dibuang pada saat data stabilitas hidrat akan diambil

$n_{KP}$  = Jumlah mol gas yang menjadi hidrat dan ada pada kapasitas penyimpanan hidrat

Dari persamaan diatas menunjukkan bahwa jika jumlah mol gas pada awal sebelum laju pembentukan hidrat dimulai dikurangi dengan jumlah mol gas yang menjadi hidrat dan ada pada kapasitas penyimpanan maka didapatkan jumlah mol gas yang tidak menjadi hidrat ( $N_2$ ).



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian “Pengaruh Penambahan Surfaktan Ekstrak Biji Mengkudu (*Morinda Citrifolia*) Terhadap Karakteristik Hidrat Propana Butana Pada Tekanan 2 Bar” adalah sebagai berikut :

1. Pada variasi kadar surfaktan yang lebih rendah maka laju pembentukan hidrat gas campuran propana butana akan lebih cepat apabila dibandingkan dengan variasi kadar surfaktan yang lebih tinggi.
2. Pada variasi kadar surfaktan yang lebih rendah maka stabilitas hidrat (kemampuan hidrat untuk dapat mempertahankan struktur hidrat itu sendiri) akan lebih baik, apabila dibandingkan dengan kadar surfaktan yang lebih tinggi.
3. Pada variasi kadar surfaktan yang lebih rendah nilai kapasitas penyimpanan hidrat gas campuran propana butana akan lebih tinggi, sedangkan pada kadar surfaktan lebih tinggi nilai kapasitas penyimpanannya akan lebih besar hal ini dipengaruhi oleh jumlah mol gas yang dikonsumsi.
4. Tekanan 2 bar hidrat propana butana dengan penambahan surfaktan ekstrak biji mengkudu tidak cukup untuk meningkatkan karakteristik dari hidrat propana butana.

### 5.2 Saran

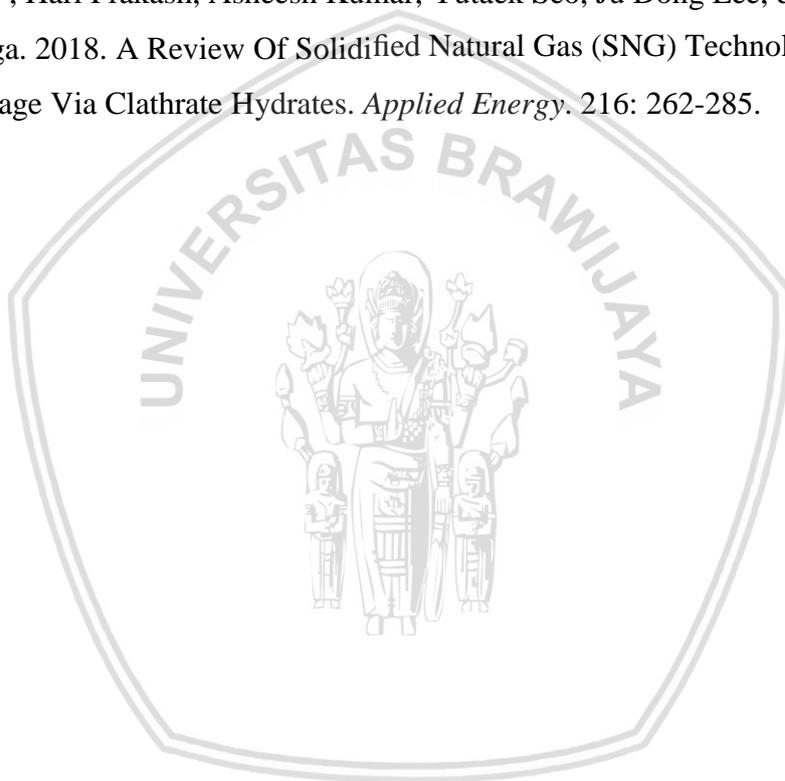
Dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, maka penulis menyampaikan beberapa hal yang perlu dikembangkan untuk penelitian kedepannya, yaitu :

1. Perlu dilakukannya penelitian yang lebih lanjut tentang laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat dengan menggunakan surfaktan yang lain sebagai promoter kinetiknya.
2. Perlu dilakukannya penelitian hidrat propana butana dengan penambahan surfaktan ekstrak biji mengkudu dengan variasi tekanan yang lebih tinggi untuk diketahui karakteristiknya

## DAFTAR PUSTAKA

- Carroll, John. 2009. *Natural Gas Hydrate A Guide for Engineers. Second Edition.* British Library, USA.
- Davidson, D. W. 1983. *Natural Gas Hydrates: Properties, Occurrence and Recovery.* Boston: Butterworths.
- Farn, Richard J. 2006. *Chemistry and Technology of Surfactants.* Oxford: Blackwell Publishing.
- Ganji, H., M. Manteghian, K. Sadaghiani Zadeh, M.R. Omidkhah, dan H. Rahimi Mofrad. 2007. *Effect of Different Surfactants on Methane Hydrate Formation Rate, Stability and Storage Capacity.* *Fuel.* 86: 434-441.
- Ismail, Dwi Nova, Nova Suparmanto, Dwi Rahayu, dan Rusliyanto. 2012. Pengaruh Emulgator Buah Lerak (Sapindus rarak) dengan Emulsi Air dan Solar Sebagai Bahan Bakar Motor Diesel Ramah Lingkungan. *PELITA.* VII: 29-38.
- Jeffrey, G. A. dan R. K. McMullan. 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.
- Kumar, Asheesh, Gaurav Bhattacharjee, B. D. Kulkarni, dan Rajnish Kumar. 2015. Role of Surfactants in Promoting Gas Hydrate Formation. *Industrial and Engineering Chemistry Research.* 1:1-16.
- Larson, R., Makogan, T, Knight, C. dan Sloan, E. D. 1996. *Growth and Imubition Phenomena of Single Hydrate Crystals.* *Proc. Second International Confer on Gas Hydrates.* 1: 558-562.
- Linga, Praveen., Kumar, Rajnish., Lee, Dong Ju., Ripmeester, John. & Englezos, Peter. 2010. *A New Apparatus to Enhance The Rate of Gas Hydrate Formation: Application to Capture of Carbon Dioxide.* *International Jurnal of Greenhouse Gas Control,* Canada.
- Link, Dirk D., Edward P. Ladner, Heather A. Elsen, dan Charles E. Taylor. 2003. Formation And Dissociation Studies For Optimizing The Uptake Of Methane By Methane Hydrates. *Fluid Phase Equilibria.* 211:1-10
- Mokhatab, S., Poe, W. A., and Speight, J. G. 2006. *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing.* Amsterdam: Elsevier.

- Ningrat, Rusmana W.S. 2004. "*Studies on sapindus Rarak Dc as A Defaunating Agent and Its Effects on Rumen Fermentation*". Division of Agricultural Sciences, School of Biosciences, The University of Nottingham. Leicestershire.
- Sloan, E.D., Koh, Carolyn, A. 2008. *Clathrate Hydrate of Natural Gases. Third Edition.* Taylor & Francis Group, LLC.
- Thakur, Kumar, Naresh., Rajput, Sanjeev. 2011. *Exploration of Gas Hydrate. Geophysical Techniques.* Springer, London New York.
- Trismawati Trismawati et al. 2017. *Seed Oil of Morinda Citrifolia L as Surfactant for Deinking Flotation.* International Journal of Chemical Engineering.
- Veluswamy , Hari Prakash, Asheesh Kumar, Yutaek Seo, Ju Dong Lee, dan Praveen Linga. 2018. A Review Of Solidified Natural Gas (SNG) Technology For Gas Storage Via Clathrate Hydrates. *Applied Energy.* 216: 262-285.





## Lampiran 1. Data Hasil Laju Pembentukan Hidrat

Data Hasil Pembentukan Hidrat									
NO	Waktu (menit)	Non Surfaktan		Surfaktan 500 PPM		Surfaktan 1000 PPM		Surfaktan 1500 PPM	
		T (C)	p (bar)	T (C)	p (bar)	T (C)	p (bar)	T (C)	p (bar)
1	0	23	2.00	23	2	23	2.00	23	2.00
2	15	0	1.72	0	1.49	0	1.52	0	1.56
3	30	0	1.57	0	1.46	0	1.49	0	1.52
4	45	0	1.50	0	1.41	0	1.45	0	1.51
5	60	0	1.45	0	1.4	0	1.44	0	1.50
6	75	0	1.41	0	1.39	0	1.43	0	1.49
7	90	0	1.38	0	1.38	0	1.42	0	1.48
8	105	0	1.33	0	1.37	0	1.41	0	1.47
9	120	0	1.26	0	1.35	0	1.40	0	1.45
10	135	0	1.24	0	1.33	0	1.39	0	1.44
11	150	0	1.22	0	1.31	0	1.38	0	1.43
12	165	0	1.17	0	1.29	0	1.37	0	1.41
13	180	0	1.15	0	1.28	0	1.36	0	1.40
14	195	0	1.11	0	1.27	0	1.34	0	1.39
15	210	0	1.08	0	1.25	0	1.33	0	1.38
16	225	0	1.05	0	1.24	0	1.32	0	1.37
17	240	0	1.02	0	1.21	0	1.31	0	1.36
18	255	0	1.00	0	1.2	0	1.30	0	1.35
19	270	0	0.97	0	1.18	0	1.27	0	1.34
20	285	0	0.94	0	1.16	0	1.26	0	1.33
21	300	0	0.91	0	1.15	0	1.25	0	1.32
22	315	0	0.88	0	1.12	0	1.24	0	1.31
23	330	0	0.85	0	1.1	0	1.23	0	1.30
24	345	0	0.84	0	1.09	0	1.22	0	1.29
25	360	0	0.82	0	1.08	0	1.21	0	1.28
26	375	0	0.80	0	1.07	0	1.20	0	1.27
27	390	0	0.79	0	1.05	0	1.17	0	1.26
28	405	0	0.77	0	1.04	0	1.15	0	1.25
29	420	0	0.75	0	1.03	0	1.14	0	1.24
30	435	0	0.73	0	1.02	0	1.13	0	1.23
31	450	0	0.71	0	1.01	0	1.12	0	1.22
32	465	0	0.69	0	0.98	0	1.11	0	1.21
33	480	0	0.68	0	0.97	0	1.09	0	1.20
34	495	0	0.67	0	0.94	0	1.08	0	1.19
35	510	0	0.66	0	0.93	0	1.06	0	1.18
36	525	0	0.65	0	0.92	0	1.05	0	1.17
37	540	0	0.64	0	0.91	0	1.04	0	1.16
38	555	0	0.63	0	0.89	0	1.02	0	1.15
39	570	0	0.63	0	0.87	0	1.02	0	1.15
40	585	0	0.63	0	0.87	0	1.02	0	1.15
41	600	0	0.63	0	0.87	0	1.02	0	1.15

**Lampiran 2.** Data Hasil Stabilitas Hidrat

Data Hasil Stabilitas Hidrat									
NO	Waktu (menit)	non surfaktan		Surfaktan 500 PPM		Surfaktan 1000 PPM		Surfaktan 1500 PPM	
		T (C )	p (bar)	T (C )	p (bar)	T (C )	p (bar)	T (C )	p (bar)
1	0	-5	0.00	-5	0.00	-5	0.00	-5	0.00
2	15	-5	0.00	-5	0.00	-5	0.00	-5	0.00
3	30	-5	0.00	-5	0.00	-5	0.00	-5	0.01
4	45	-5	0.01	-5	0.00	-5	0.01	-5	0.01
5	60	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01
6	75	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01
7	90	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01
8	105	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01
9	120	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01
10	135	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01
11	150	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01
12	165	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.02
13	180	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.02
14	195	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.02	-5	0.02
15	210	-5	0.01	-5	0.01	-5	0.02	-5	0.02
16	225	-5	0.01	-5	0.02	-5	0.02	-5	0.02
17	240	-5	0.01	-5	0.02	-5	0.02	-5	0.02
18	255	-5	0.02	-5	0.02	-5	0.02	-5	0.02
19	270	-5	0.02	-5	0.02	-5	0.02	-5	0.02
20	285	-5	0.02	-5	0.02	-5	0.02	-5	0.03
21	300	-5	0.02	-5	0.02	-5	0.02	-5	0.03

Lampiran 3. Komposisi *Liquified Petroleum Gas* (LPG)

**PT. PERTAMINA LUBRICANTS**

LABORATORIUM PRODUCTION UNIT GRESIK  
 Jalan Harun Tohri Desa Pulau Pancikan Gresik - 61113  
 Phone 031-3293892, Fax. 031-3294965, Email : labplm@pertamina.com



ASLI

**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

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

NO	TEST	UNIT	METHOD	LIMIT	RESULT
1	Specific Gravity at 60 / 60 °F	-	ASTM D 1607	Reported	-
2	Vapor Pressure at 100 °F	psig	ASTM D 3267	Max. 145	106
3	Copper Corrosion 1 hr / 100 °F	-	ASTM D 1738	ASTM No. 1	ASTM No. 1
4	Composition :		ASTM D 2163 (Gas Chromatography)		
	C2	% Vol		Max. 0.8	0,11
	C3			-	49,57
	C4			-	50,11
	C5	% Vol		Max. 2.0	0,21
5.	Molecular 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/DIM.T/2009, tanggal 11 Nopember 2009

Distribusi:  
 To: LPG & Gas Products Region V  
 Cc: File

Gresik, 04 April 2014  
 Junior Analyst GC, Lab. Prod. Unit Gresik

  
M. DICKO TB

