

**PENGARUH PENAMBAHAN SURFAKTAN EKSTRAK BUAH
LERAK (*SAPINDUS RARAK*) TERHADAP KARAKTERISTIK
HIDRAT PROPANA BUTANA PADA TEKANAN 3 BAR**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**EVAN DWI CAHYO
NIM. 145060201111013**

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH PENAMBAHAN SURFAKTAN EKSTRAK BUAH
LERAK (*Sapindus rarak*) TERHADAP KARAKTERISTIK HIDRAT
PROPANA BUTANA PADA TEKANAN 3 BAR

SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
EVAN DWI CAHYO
NIM. 145060201111013

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

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 disebarakan 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,



Evan Dwi Cahyo

NIM. 145060201111013

JUDUL SKRIPSI

Pengaruh Penambahan Surfaktan Ekstrak Buah Lerak (*Sapindus Rarak*) Terhadap Karakteristik Hidrat Propana Butana Pada Tekanan 3 Bar

Nama Mahasiswa : Evan Dwi Cahyo
NIM : 145060201111013
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Teknik Konvesi Energi

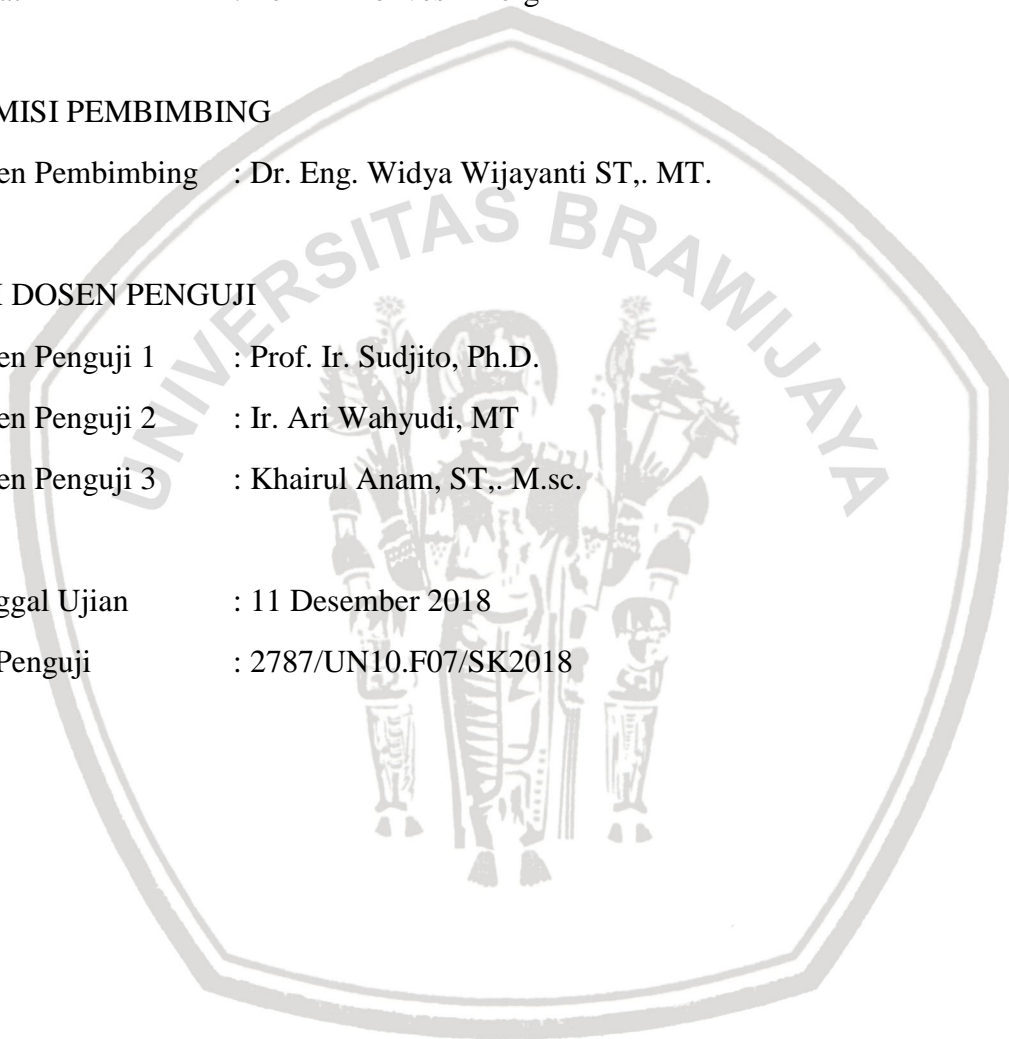
KOMISI PEMBIMBING

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





*Teriring Doa dan Ucapan Syukur Alhamdulillah
Kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala Atas Segala Rahmat-Nya.
Kepada Kedua Orang Tua, Adik dan Mas Tercinta
Terimakasih dari Lubuk Hati yang Terdalam,
Telah Menjadi Inspirator dan Motivator Terbesar Didalam Hidupku*



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang karena berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **Pengaruh Penambahan Surfaktan Ekstrak Buah Lerak (*Sapindus Rarak*) Terhadap Karakteristik Hidrat Propana Butana Pada Tekanan 3 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. Kepada Allah SWT yang mana berkat rahmat dan ridhoNya skripsi ini dapat terselesaikan.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Bapak Fikrul Akbar Alamsyah, ST., MT. selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan dalam menempuh perkuliahan di setiap semester.
6. Seluruh dosen pengajar, staf, dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuannya untuk penyusunan skripsi ini.
7. 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.
8. Kepada Ibundaku Suratin dan Ayahandaku Suyono, yang selalu memberikan kasih sayang, cinta, doa, motivasi, kepercayaan, dan dukungan kepada penulis. Jatuh, bangun, susah, senang, menang, kalah, tetap pengabdianku hanya untuk keluarga.

9. *“Hydrate Squad”* Rizky Oktama, Satrio Bagus, Ahmad Zaky selaku sahabat penulis dalam penyusunan tugas akhir, yang telah membantu, bertukar ilmu, memberikan semangat, dan segelintir jasa-jasa yang tak bisa saya sebutkan.
10. Para teman-teman Jonggring Saloko yang telah memberikan dukungan moral secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis dan angkatan 2014.
11. Para teman-teman Teknik yang telah memberikan dukungan moral secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis.
12. Teman-teman Putri Mesin 2014 Lava Girls Mea, Tary, Eka, Pipit, Resza, Ira, Della, Tiara, Vinda, Nyong, Puxci, Nanda, Efrida yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
13. Saudara seperjuangan *“MAF14”* yang telah menjadi keluarga dan memberikan banyak pelajaran dan nasehat kepada saya. Semoga kita selalu diberi kemudahan, kelancaran dan kekuatan.
14. *“Team Presto”* Ilham Akbar dan Haditiyawardana yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian.
15. Para Asisten Laboratorium Fenomena Dasar Mesin yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian.
16. Para Asisten Laboratorium Motor Bakar yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian.
17. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
18. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

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

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
SUMMARY	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Gas Alam.....	6
2.2.1 Butana.....	6
2.2.2 Propana	7
2.2.3 Luqified Petroleum Gas	7
2.3 Hidrat Gas Alam.....	8
2.4 Fase Hidrat	9
2.4.1 Pembentukan Hidrat	9
2.4.2 Pertumbuhan Hidrat.....	11
2.4.3 Penguraian Hidrat.....	14
2.5 Struktur Hidrat.....	15
2.5.1 Macam-macam Struktur Hidrat.....	15
2.5.1.1 Struktur Kubus I.....	17
2.5.1.2 Struktur Kubus II.....	17
2.5.1.3 Struktur Kubus Heksagonal	18
2.5.2 Perbedaan Struktur Hidrat Gas Alam dengan Es	18
2.6 Persamaan Gas	19
2.6.1 Persamaan Gas Ideal	19

2.6.2	Persamaan Gas Nyata.....	20
2.7	Hukum Termodinamika Pertama	25
2.8	Teori Kinetika Molekul Gas.....	25
2.9	Konsep Mol.....	26
2.10	Campuran Zat.....	26
2.10.1	Campuran Homogen.....	26
2.10.2	Campuran Heterogen.....	27
2.11	Ikatan Hidrogen.....	27
2.12	Tegangan Permukaan	28
2.13	Promotor Kinetis	30
2.14	Surfaktan	30
2.14.1	Pengertian Surfaktan.....	30
2.14.2	Cara kerja Surfaktan	30
2.14.3	Jenis-jenis Surfaktan.....	31
2.15	Buah Lerak (<i>Sapindus Rarak</i>).....	32
2.16	Saponin.....	33
2.17	Hipotesis.....	34
BAB III METODE PENELITIAN.....		35
3.1	Metode Penelitian.....	35
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	35
3.3	Variabel Penelitian	35
3.3.1	Variabel Bebas.....	35
3.3.2	Variabel Terikat.....	36
3.3.3	Variabel Terkontrol	36
3.4	Alat dan Bahan Penelitian	36
3.4.1	Bahan Penelitian.....	36
3.4.2	Alat Penelitian	39
3.5	Instalasi Alat Penelitian.....	46
3.6	Prosedur Penelitian.....	47
3.6.1	Persiapan Penelitian	47
3.6.2	Pengambilan Data	47
3.6.2.1	Laju pembentukan Hidrat.....	47
3.6.2.2	Penguraian Hidrat.....	47
3.6.2.3	Kapasitas Penyimpanan Hidrat	48

3.6.3	Pengolahan Data.....	48
3.7	<i>Flowchart</i>	49
BAB IV	Hasil Dan Pembahasan	51
4.1	Data dan Hasil Pembahasan	51
4.1.1	Data Hasil Laju Pembentukan Hidrat.....	51
4.1.2	Data Stabilitas Hidrat.....	52
4.1.3	Data Kapasitas Penyimpanan	52
4.2	Contoh Perhitungan Data Hasil Penelitian.....	53
4.2.1	Laju Pembentukan.....	53
4.2.1.1	Contoh Perhitungan.....	53
4.2.1.2	Pembahasan.....	56
4.2.2	Stabilitas Hidrat.....	61
4.2.2.1	Contoh Perhitungan.....	61
4.2.2.2	Pembahasan.....	64
4.2.3	Kapasitas Penyimpanan Hidrat	66
4.2.3.1	Contoh Perhitungan.....	67
4.3	Validasi Konsumsi Mol Gas Teoritis Perhitungan.....	69
BAB V	Kesimpulan Dan Saran	73
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran	73
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Karakteristik umum dari gas alam	7
Tabel 2.2	Perbandingan struktur kubus I, struktur kubus II dan struktur Heksagonal	16
Tabel 2.3	Konstanta pada masing-masing persamaan keadaan gas nyata	25
Tabel 2.4	Persentase senyawa aktif pada lerak	33
Tabel 4.1	Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana	51
Tabel 4.2	Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana	52
Tabel 4.3	Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana	52



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram fase beberapa gas alam hidrokarbon yang membentuk hidrat.....	9
Gambar 2.2	Pengaruh waktu terhadap konsumsi gas pada pembentukan hidrat.....	10
Gambar 2.3	Garis hubungan tekanan dan temperatur pada hidrat metana sederhana.....	11
Gambar 2.4	Mekanisme pertumbuhan kristal hidrat.....	12
Gambar 2.5	Kristal hidrat tunggal etilen oksida (sI).....	13
Gambar 2.6	Kristal hidrat tunggal tetrahidrofuran (sII).....	14
Gambar 2.7	Disosiasi radial.....	15
Gambar 2.8	Disosiasi aksial.....	15
Gambar 2.9	Struktur kristal hidrat. (a) struktur kubus I, (b) struktur kubus II, (c) struktur Heksagonal.....	16
Gambar 2.10	Struktur kubus I, (a) Dodekahedron, (b) tetrakaidekahedron.....	17
Gambar 2.11	Struktur kubus II, (a) dodekahedron (b) heksakaikahedron.....	18
Gambar 2.12	Penyusun struktur heksagonal, (a) dodekahedron, (b) dodekahedron tidak beraturan, (c) ikosahedron tidak beraturan.....	18
Gambar 2.13	Perbedaan struktur es dan hidrat, (a) struktur kristal es, (b) struktur kristal hidrat.....	19
Gambar 2.14	Campuran gas dengan gas.....	27
Gambar 2.15	Ikatan Hidrogen Antar Molekul Air dan Molekul Amonia.....	28
Gambar 2.16	Gaya tarik pada molekul air (a) di tengah-tengah dan (b) di permukaan....	28
Gambar 2.17	Tetes air yang berbentuk <i>spherical</i> akibat tegangan permukaan.....	29
Gambar 2.18	Gaya tegangan permukaan yang menahan berat dari sebuah jarum.....	29
Gambar 2.19	Molekul surfaktan dengan bagian hidrofilik dan lipofilik.....	30
Gambar 2.20	Pengaruh surfaktan terhadap tegangan permukaan.....	31
Gambar 2.21	Pohon dan Buah Lerak.....	32
Gambar 2.22	Struktur Saponin yang Terkandung dalam Buah Lerak.....	33
Gambar 3.1	Aquades.....	37
Gambar 3.2	ELPIJI (LPJ).....	37
Gambar 3.3	Es batu.....	38
Gambar 3.4	Garam.....	38
Gambar 3.5	Ekstrak Lerak.....	38
Gambar 3.6	<i>Crystallizer</i>	39
Gambar 3.7	Motor listrik.....	40

Gambar 3.8	<i>Inverter</i>	40
Gambar 3.9	Gelas ukur	41
Gambar 3.10	Regulator gas	42
Gambar 3.11	Katub gas	42
Gambar 3.12	<i>Flowmeter Gas</i>	43
Gambar 3.13	<i>Thermocouple</i>	43
Gambar 3.14	<i>Pressure Sensor</i>	44
Gambar 3.15	<i>Styroform</i>	44
Gambar 3.16	Pompa air	45
Gambar 3.17	Mesin Pendingin	45
Gambar 3.18	<i>Thermodisplay</i>	46
Gambar 3.19	Instalasi alat penelitian.....	46
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Tekanan Terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana	56
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Temperatur Terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana	57
Gambar 4.3	Proses Pembentukan Hidrat Gas Alam	58
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Antara Tekanan Terhadap Temperatur Pembentukan Hidrat Propana Butana	59
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Antara Jumlah Konsumsi Gas terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana	60
Gambar 4.6	Grafik Hubungan antara Tekanan Disosiasi Hidrat Propana Butana Terhadap Waktu Stabilitas Hidrat.....	64
Gambar 4.7	Grafik Hubungan antara Gas Terurai Hidrat Propana Butana Terhadap Waktu Stabilitas Hidrat	65
Gambar 4.8	Diagram Kapasitas Penyimpanan Hidrat Teoritis dan Aktual.....	66
Gambar 4.9	Grafik Ln (k) terhadap 1/T.....	70
Gambar 4.10	Grafik perbandingan antara konsumsi gas teoritis dan konsumsi gas validasi terhadap waktu	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Laju Pembentukan Hidrat

Lampiran 2 Data Hasil Stabilitas Hidrat

Lampiran 3 Komposisi *Liquified Petroleum Gas* (LPG)



RINGKASAN

Evan Dwi Cahyo, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2018, Pengaruh Penambahan Surfaktan Ekstrak Buah lerak (Sapindus Rarak) Terhadap Karakteristik Hidrat Propana Butana Pada Tekana 2 Bar, Dosen Pembimbing: Dr.Eng Widya Wijayanti, ST., MT.

Hidrat gas alam menjadi salah satu sumber energi yang sudah ditemukan seiring perkembangan teknologi. Gas hidrat merupakan senyawa klakrat yang terjebak didalam kristal es dengan suhu dan tekanan tertentu. Klakrat bisa disebut sebagai gas yang bermassa ringan yang terjebak didalam hidrat, contohnya metana, butana, dan propana. Hidrat gas menjadi salah satu jalan keluar untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin meningkat. Penyimpanan gas hidrat memiliki masalah dalam proses pembuatannya yang membutuhkan tekanan dan suhu yang ekstrem. Sebelumnya beberapa peneliti telah menguji untuk membuat hidrat agar tidak membutuhkan tekanan dan suhu yang ekstrem dengan cara mempercepat proses kristalisasi dari hidrat tersebut. Metode yang dipakai ialah dengan cara menambahkan zat promotor pada hidrat. Surfaktan merupakan promotor yang sudah diaplikasikan pada hidrat untuk menurunkan tegangan permukaan antara gas dan air. ekstrak buah lerak adalah salah satu contoh surfaktan alami yang banyak ditemui disekitar kita. Kandungan senyawa yang ada didalam buah lerak yaitu saponin memiliki karakteristik seperti surfaktan dan jumlahnya yang melimpah. sehingga lerak bisa dijadikan sebagai promotor pada hidrat.

Penelitian ini menggunakan *Crystallizer* ini berjenis *vessel tank*, dimana seluruh *body* reaktor akan berputar dengan tujuan untuk pencampuran gas kedalam hidrat selama proses pembentukan. Putaran *crystallizer* dipilih sebesar 200 rpm. Gas alam pengisi hidrat berasal dari tabung elpiji yang terdiri dari 50% propana dan 50% butana dan dimasukkan kedalam *crystallizer* hingga mencapai tekanan 0.3 MPa. Sebagai bahan penyusun hidrat, digunakan air demin yang diberi surfaktan ekstrak buah lerak dengan 4 kadar surfaktan yang berbeda, sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari volume total larutan. Dari perbedaan kadar surfaktan tersebut, akan dicari pengaruhnya terhadap karakteristik hidrat (laju pembentukan hidrat, stabilitas hidrat, kapasitas penyimpanan hidrat) yang terbentuk dengan suhu pembentukan hidrat 273 K. Proses pembentukan hidrat dilakukan selama 10 jam. Setelah itu, diambil data stabilitas hidrat dengan mendinginkan *crystallizer* pada suhu 268 K selama 5 jam. Selanjutnya dilakukan penguraian hidrat sampai *crystallizer* mencapai suhu ruang untuk mendapatkan data kapasitas penyimpanan hidrat.

Dari penelitian yang telah kami lakukan disimpulkan bahwa Laju pembentukan hidrat dinyatakan dalam bentuk tekanan yang ada pada hidrat dan banyaknya konsumsi gas hidrat propana butana. Konsumsi mol pada variasi surfaktan meningkat dibandingkan dengan yang tidak memakai surfaktan. Stabilitas gas hidrat propana butana dinyatakan sebagai tekanan penguraian gas pada hidrat. Tingkat stabilitas hidrat dengan variasi penambahan surfaktan lebih baik dibandingkan dengan yang tidak memakai surfaktan. Kapasitas penyimpanan hidrat teoritis lebih tinggi dengan variasi penambahan surfaktan dibandingkan dengan yang tidak memakai surfaktan.

Kata Kunci : Gas hidrat, Laju Pembentukan, Stabilitas, Kapasitas Penyimpanan, Surfaktan

SUMMARY

Evan Dwi Cahyo, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, December 2018, *Effect of Addition of Lerak Fruit Extract Surfactant (Sapindus Rarak) on Characteristics of Propane Butane Hydrate at Pressure 2 Bar*, Academic Supervisor: Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.

Hydrate of natural gas is one source of energy that has been found along with technological developments. Gas hydrate is a clachrate compound that is trapped in ice crystals with a certain temperature and pressure. Klakrat can be referred to as a light mass gas trapped in hydrates, for example methane, butane, and propane. Hydrate gas is one way out to meet the increasing energy needs. Gas hydrate storage has a problem in the manufacturing process which requires extreme pressure and temperature. Previously, several researchers have tested to make hydrates not need extreme pressure and temperature by accelerating the crystallization process of the hydrate. The method used is by adding a promoter to the hydrate. Surfactant is a promoter that has been applied to hydrates to reduce surface tension between gas and water. Lerak fruit extract is one example of natural surfactants that are commonly found around us. The content of compounds in the lerak fruit, namely saponin, has characteristics such as surfactants and abundant amounts. so that the lerak can be used as a promoter on hydrate.

This study uses Crystallizer as a type of vessel tank, where the entire body of the reactor will rotate with the aim of mixing gas into hydrate during the formation process. The crystallizer rotation is chosen at 200 rpm. Natural gas filler hydrate comes from LPG tubes consisting of 50% propane and 50% butane and put into the crystallizer until it reaches a pressure of 0.3 MPa. As a hydrate constituent, demin water is used which is given lerak fruit extract surfactant with 4 different levels of surfactant, 0%, 5%, 10%, and 15% of the total volume of the solution. From the difference in levels of the surfactant, the effect will be sought on the characteristics of hydrate (rate of hydrate formation, hydrate stability, hydrate storage capacity) formed with the temperature of hydrate formation 273 K. The process of hydrate formation is carried out for 10 hours. After that, the hydrate stability data was taken by silencing the crystallizer at 268 K for 5 hours. Then the decomposition of hydrate is carried out until the crystallizer reaches room temperature to obtain data on hydrate storage capacity.

From the research that we have done it is concluded that the rate of hydrate formation is expressed in the form of pressure that is on hydrate and the amount of propane butane gas hydrate consumption. The mole consumption of surfactant variations increases compared to those who do not use surfactants. The stability of propane butane gas hydrate is expressed as the gas decomposition pressure on the hydrate. The level of hydrate stability with variations in the addition of surfactants is better than those that do not use surfactants. Theoretical hydrate storage capacity is higher with variations in the addition of surfactants compared to those not using surfactants.

Keywords: Gas hydrate, Formation Rate, Stability, Storage Capacity, Surfactant



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan gas alam yang ada di Indonesia sebagai energi primer yang akan terus meningkat. Gas alam merupakan bahan bakar fosil yang sangat melimpah dan banyak dijumpai di negara Indonesia saat ini. Perkembangan teknologi pada era globalisasi sangat pesat saat ini, teknologi memberikan dampak baik dan bermanfaat bagi masyarakat sekitar terutama diperkembangan teknologi dibidang industri. Pada saat ini dibidang industri membutuhkan teknologi yang bisa memajemen energi dengan baik dan memperoleh hasil yang lebih baik dari sebelumnya. Disisi lain, industri tersebut harus memiliki metode dan langkah-langkah untuk meningkatkan efisiensi dari penggunaan energi.

Dalam perkembangan teknologi pada saat ini, manajemen energi menjadi salah satu hal wajib untuk berkembangnya suatu perindustrian. Energi merupakan sesuatu yang tidak dapat dimusnahkan dan tidak dapat diciptakan. Sehingga pada prinsipnya, energi merupakan sesuatu yang kekal.

Hidrat gas alam menjadi salah satu sumber energi yang sudah ditemukan seiring perkembangan teknologi. Gas hidrat merupakan senyawa klatrat yang terjebak didalam kristal es dengan suhu dan tekanan tertentu. Klatrat bisa disebut sebagai gas yang bermassa ringan yang terjebak didalam hidrat, contohnya metana, butana, dan propana. Hidrat gas menjadi salah satu jalan keluar untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin meningkat.

Penyimpanan gas hidrat memiliki masalah dalam proses pembuatannya yang membutuhkan tekanan dan suhu yang ekstrem. Sebelumnya beberapa peneliti telah menguji untuk membuat hidrat agar tidak membutuhkan tekanan dan suhu yang ekstrem dengan cara mempercepat proses kristalisasi dari hidrat tersebut. Metode yang dipakai ialah dengan cara menambahkan zat promotor pada hidrat.

Surfaktan merupakan promotor yang sudah diaplikasikan pada hidrat untuk menurunkan tegangan permukaan antara gas dan air. Sehingga penambahan surfaktan dalam gas hidrat dapat dijadikan solusi dalam meningkatkan karakteristik hidrat gas alam. Untuk mengetahui karakteristik hidrat, telah dilakukan penelitian oleh (Ganji et al, 2007) terhadap pengaruh dari penambahan surfaktan untuk menguji karakteristik hidrat yang meliputi laju pembentukan, stabilitas, dan kapasitas penyimpanan hidrat.

Dalam penggunaan surfaktan sendiri selama ini masyarakat, khususnya pulau jawa, sudah menggunakan ekstrak buah lerak sebagai deterjen alami untuk membersihkan dikehidupan sehari-hari. Kandungan senyawa yang ada didalam buah lerak yaitu saponin memiliki karakteristik seperti surfaktan dan jumlahnya yang melimpah. sehingga lerak bisa dijadikan sebagai promotor pada hidrat.

Pada penelitian kami akan melakukan penelitian yang lebih lanjut mengenai penambahan ekstrak buah lerak dalam meningkatkan karakteristik hidrat propana butana. Sehingga diharapkan ekstrak buah lerak nantinya bisa digunakan sebagai surfaktan alami pengganti surfaktan sintetis yang selama ini digunakan dipenelitian sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan melihat latar belakang diatas yang telah dibahas sebelumnya, maka dapat ditentukan rumusan masalah penelitian yaitu bagaimana pengaruh penambahan surfaktan ekstrak buah lerak terhadap laju pembentukan hidrat, stabilitas hidrat dan kapasitas penyimpanan hidrat propana butana pada tekanan 3 bar.

1.3 Batasan Masalah

Supaya permasalahan yang kami teliti tidak melebar dan terfokuskan, penelitian yang dilakukan dapat mencapai hasil yang maksimal. Maka dalam tulisan ini perlu adanya batasan masalah sebagai berikut.

1. Pengambilan data aktual dilakukan pada tekanan 3 bar.
2. Perilaku gas nyata diterapkan pada gas hidrat.
3. Selama pengujian berlangsung volume gas didalam crystallizer dianggap konstan.
4. Campuran gas yang digunakan diasumsikan dengan propana 40% dan butana 60%.
5. Penelitian terhadap karakteristik hidrat meliputi laju pembentukan, stabilitas. Dan kapasitas penyimpanan hidrat.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang kami lakukan adalah:

1. Dapat membuat hidrat dengan tekanan dan suhu yang rendah.
2. Dapat digunakan dan diproduksi secara komersil.
3. Dapat mengembangkan kualitas hidrat untuk penyimpanan energi dimasa depan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian kami sebagai berikut.

1. Menanggulangi penyimpanan energi hidrat yang membutuhkan tekanan dan suhu yang ekstrim.
2. Memanfaatkan karakteristik hidrat sebagai pengembangan produksi penyimpanan dari bahan bakar gas alam.





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Khokhar, dkk (1998) dalam penelitiannya mengenai penyimpanan gas hidrat pada struktur hidrat heksagonal menunjukkan bahwa penyimpanan gas metana pada hidrat terlihat sangat menguntungkan pada struktur hidrat heksagonal daripada struktur hidrat I maupun II ketika gas metana menempati rongga kecil.

Ganji, dkk (2007) dalam penelitiannya mengenai pengaruh dari surfaktan anion, kation dan non-ion pada laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan pada hidrat metana. Setiap surfaktan dilakukan pengujian dengan konsentrasi 300, 500, dan 1000 ppm. Pada pengujian laju pembentukan hidrat metana, 75 cm³ larutan surfaktan dicampurkan dengan gas metana pada tekanan 8.3 Mpa dan temperatur 298.2 K dengan kecepatan putar pengaduk 200 rpm. Untuk mengetahui stabilitas hidrat metana, ketika sudah terbentuk kemudian didiamkan selama 10 jam pada temperatur 268.2 K. sedangkan pada penelitian kapasitas penyimpanan hidrat metana dilakukan dengan cara hidrat yang tersisa setelah pengujian stabilitas hidrat pada temperatur 268.2 K didiamkan pada temperatur ruang sehingga hidrat melepas gas metana yang terjebak didalamnya.

Karaaslan, dkk (2002) dalam penelitiannya mengenai pengaruh penambahan surfaktan anionik, kationik dan non-ionik pada laju pembentukan hidrat metana. setiap surfaktan memiliki kelebihan masing-masing. Di penelitiannya dia menjelaskan bahwa terjadi perubahan signifikan ketika surfaktan anionik pada hidrat metana dibandingkan dengan surfaktan lainnya.

Khumar, dkk (2015) dalam penelitiannya mengenai pengaruh penambahan surfaktan anionik, kationik dan non-ionik pada laju pembentukan hidrat karbondioksida. Surfaktan non-ionik lebih efektif dibandingkan lainnya untuk mempercepat laju pembentukan hidrat karbondioksida.

Ony, (2015) dalam penelitiannya tentang pengaruh tekanan terhadap laju pembentukan, stabilitas dan penyimpanan hidrat. Data yang diambil pada temperatur pembentukan hidrat yaitu sebesar 273 K. Dengan tekanan pembentukan sebesar 0.2 MPa, 0.3 MPa, dan 0.4 MPa. Diperoleh bahwa tekanan 0.3 MPa menjadikan laju pembentukan hidrat semakin cepat daripada yang lainnya.

2.2 Gas Alam

Gas alam merupakan campuran dari macam-macam senyawa gas, biasanya merupakan senyawa hidrokarbon seperti metana (CH_4), etana (C_2H_6), propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}).

Didalam gas alam mengandung gabungan dari hidrokarbon ringan dan senyawa non-hidrokarbon yang terbentuk secara alami dan mudah terbakar. Dari senyawa ini terdapat senyawa lemah seperti hidrogen sulfida dan karbon dioksida. Senyawa lainnya terdiri dari gas inert seperti nitrogen, argon, dan helium. Didalam gas alam terdapatnya gas hidrogen sulfida dan karbon dioksida memberikan dampak negatif ketika gas alam digunakan oleh masyarakat. Karena gas tersebut bisa menghasilkan gas racun yang berbahaya. Sehingga sebelum dipergunakan harus diproses dahulu untuk menghilangkan zat pengotor.

Berdasarkan teori kinetik, bahwa ketika energi kinetik dari molekul gas diturunkan dengan cara merendahkan temperatur secukupnya, maka gaya antar molekul akan menjadi lebih efektif dalam mengikat partikel-partikel karena tekanan akan mengefektifkan gaya antar molekul. Jika jarak antar molekul berjauhan maka gaya tarik menarik antar molekul akan semakin melemah. Tetapi karena temperatur yang efektif menyebabkan jarak molekul mendekat dan gaya tariknya akan meningkat. Gas akan mencair ketika gaya tarik antar molekul cukup besar. Istilah temperatur yang dimiliki gas adalah temperatur kritis gas. Temperatur kritis ialah dimana gas tidak dapat mencair meskipun diberikan tekanan tertentu. Tekanan yang harus diberikan untuk mencairkan gas pada temperatur kritis disebut dengan tekanan kritis.

2.2.1 Butana

Salah satu senyawa dari gas alam yang mudah terbakar adalah gas butana (C_4H_{10}). Gas butana mempunyai unsur empat atom karbon yang tidak memiliki warna. Gas butana memiliki berat molekul 58 gram/mol dan memiliki massa jenis dalam temperatur ruangan sebesar 2.11 kg/m^3 . Pada temperatur 20°C kelarutan gas butana dalam air murni sebesar 61mg/L. beberapa karakteristik umum gas butana dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Karakteristik Umum Dari Gas Alam

	<i>Molecular Weight</i>	<i>Specific Gravity</i>	<i>Vapor Density Air=1</i>	<i>Boiling Point °C</i>	<i>Ignition Temperature °C</i>	<i>Flash Point °C</i>
<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)

2.2.2 Propana

Salah satu senyawa dari gas alam yang mudah terbakar. Selain gas butana, gas propana (C_3H_8) juga menjadi salah satu komponen dari gas alam. Umumnya gas ini digunakan untuk dijadikan bahan bakar. Gas ini memiliki struktur komponen 3 atom karbon yang berwujud gas.

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

2.2.3 Liquefied Petroleum Gas (LPG)

Liquefied petroleum gas (LPG) merupakan produk olahan yang dibuat oleh Pertamina yang sering disebut ELPIJI. Komponen utamanya terdiri dari gas butana (C_4H_{10}) dan gas propana (C_3H_8). ELPIJI mempunyai berat jenis sebesar 2.01, gas ini memiliki berat jenis yang lebih besar dibandingkan berat jenis udara sekitar.

ELPIJI didalam kondisi atm akan berbentuk gas, Namun ELPIJI dikemas untuk masyarakat dalam bentuk cair dikarenakan volume ELPIJI dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dengan volumenya pada bentuk gas dan memiliki berat yang sama. Selain itu penyimpanan gas dalam bentuk cair akan lebih mudah dibandingkan dalam bentuk gas.

Tekanan gas ELPIJI bervariasi tergantung dari ukuran tabung dan komposisinya. Namun ketika gas ELPIJI berisikan gas propana murni maka akan membutuhkan tekanan sebesar 2.2 MPa (22 bar) pada suhu 55°C. Dan dibutuhkan tekanan sekitar 220 kPa (2.2 bar) bagi gas butana murni pada suhu 20°C agar gas tersebut dapat mencair.

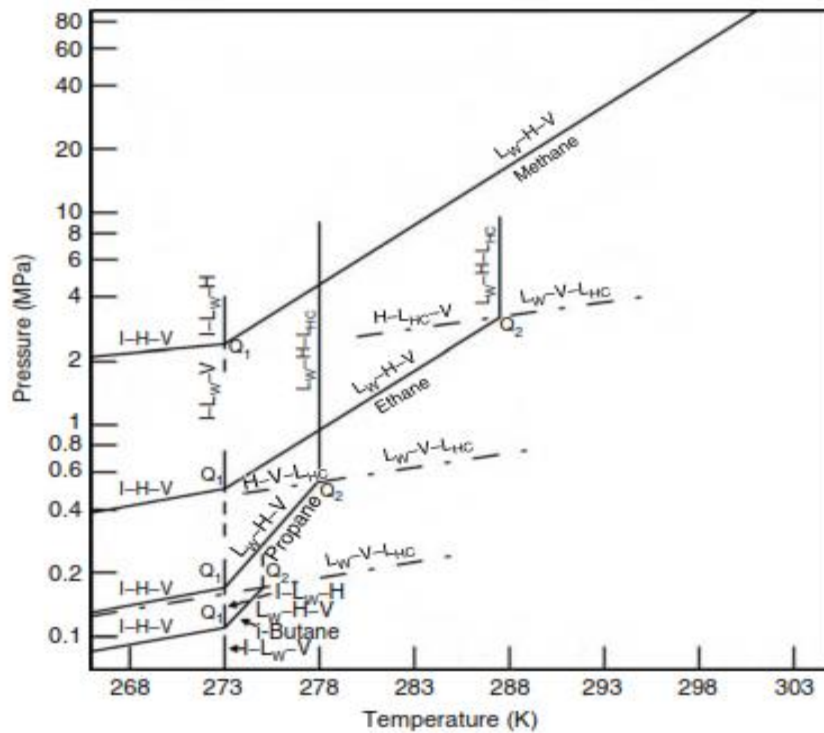
Gas ELPIJI digolongkan menjadi 3 jenis yaitu menjadi ELPIJI propana, ELPIJI butana dan ELPIJI campuran yang memiliki spesifikasi 40% butana dan 60% propana. Pada pengujian kali ini menggunakan ELPIJI campuran.

2.3 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.

Dalam pembentukannya, setiap hidrat gas alam memiliki temperatur dan tekanan yang bervariasi yang berbeda dikarenakan setiap gas alam memiliki karakteristik dan fase yang berbeda. Pada Gambar 2.1 menunjukkan diagram fase tekanan dan temperatur terbentuknya hidrat pada beberapa hidrokarbon. Pada gambar H menunjukkan hidrat, I menunjukkan es, V menunjukkan uap, L_w menunjukkan fase cair, L_{HC} menunjukkan fase cair hidrokarbon, Q_1 menunjukkan titik Q bawah dan Q_2 menunjukkan titik Q atas. Untuk setiap gas alam, daerah terbentuknya hidrat adalah sebelah kiri dari garis tiga fase (I-H-V), (L_w -H- L_{HC}), (L_w -H- L_{HC}) serta sebelah kanan dari fase air dalam kondisi cair atau es dan fase gas dalam kondisi uap atau cair.



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

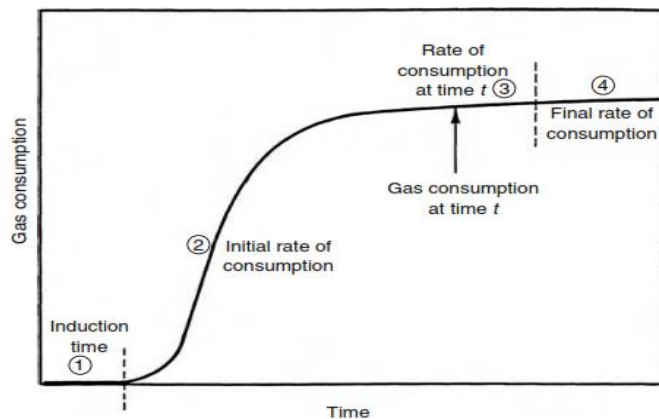
Dari gambar diatas Q_1 (I- L_w -H-V) dan Q_2 (L_w -H-V- L_{HC}) ditunjukkan oleh garis perpotongan tiga fase. Q_1 dan Q_2 pada setiap pembentukan hidrat merupakan klasifikasi kuantitatif untuk komponen hidrat gas alam. Setiap titik pembentukan hidrat (Q) menunjukan perpotongan dari empat garis tiga fase.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

2.4 Fase Hidrat

2.4.1 Pembentukan Hidrat

Hidrat gas alam memiliki beberapa kondisi yang harus dipenuhi untuk terbentuknya suatu hidrat gas alam. Dimana kondisi yang harus dipenuhi ialah adanya gas pengisi hidrat atau disebut klakrat, terdapat air bebas dan adanya gaya yang membuat gas didalamnya akan terlarut didalam air. Dan pada kondisi temperatur rendah sampai mendekati titik beku air dan tekanan tinggi.

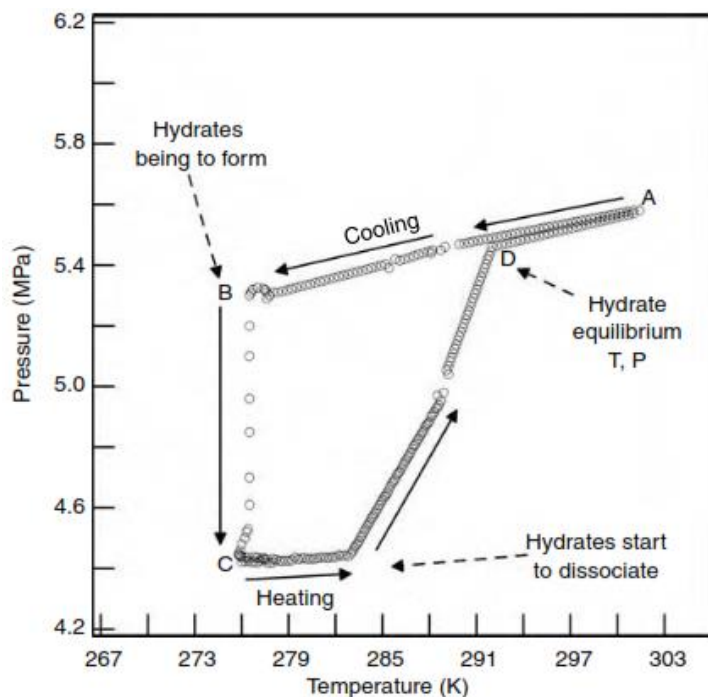
Pada proses pendistribusian gas alam yang memiliki tekanan tinggi, hidrat gas dapat terbentuk akibat adanya air bebas dan temperatur gas yang dialirkan bertemperatur rendah, dan mendekati temperatur pembentukan hidrat. Bentuk dari hidrat gas alam seperti jeley dan relatif padatan. Sehingga jika adanya hidrat pada saluran pipa akan menyebabkan tersumbat dan mengganggu proses transportasi gas.



Gambar 2.2 Pengaruh waktu terhadap konsumsi gas pada pembentukan hidrat.
Sumber: Sloan (2008,p.115)

Secara pengujian pembentukan hidrat gas alam dapat dilihat pada Gambar 2.2. Pada gambar tersebut menjelaskan bahwa konsumsi gas terhadap waktu dalam pembentukan dan pertumbuhan hidrat dalam sistem (kavitasi atau turbulensi) pada tekanan dan temperatur konstan. Pada tabung yang berisikan air akan ditekan dengan gas hidrokarbon bertekanan tinggi yang berfungsi untuk mendapatkan kondisi pembentukan hidrat. Dengan Menjaga tekanan didalam sistem, hidrat akan terbentuk.

Terdapat empat proses dalam Gambar 2.2. Pertama, proses waktu induksi yang merupakan waktu terbentuknya fase gas pada hidrat. Namun, pada kondisi ini belum terbentuk hidrat, karena kondisinya yang masih metastabil (kemampuan suatu sistem non-equilibrium dalam jangka waktu lama). Kedua, proses pertumbuhan hidrat dan konsumsi gas yang kian meningkat. Ketiga proses dimana kondisi konsumsi gas semakin sedikit. Keempat, proses kondisi akhir dimana konsumsi gas berhenti. Dari diagram tersebut dijelaskan bahwa hidrat dapat terbentuk dengan jumlah gas tertentu. Karena gas hidrat memiliki konsumsi gas yang dapat dijadikan hidrat tergantung dari komposisi air dan temperatur maupun tekanan yang digunakan ketika pembentukan.



Gambar 2.3 Garis hubungan tekanan dan temperatur pada hidrat metana sederhana. Sumber: Sloan (2008,p.115)

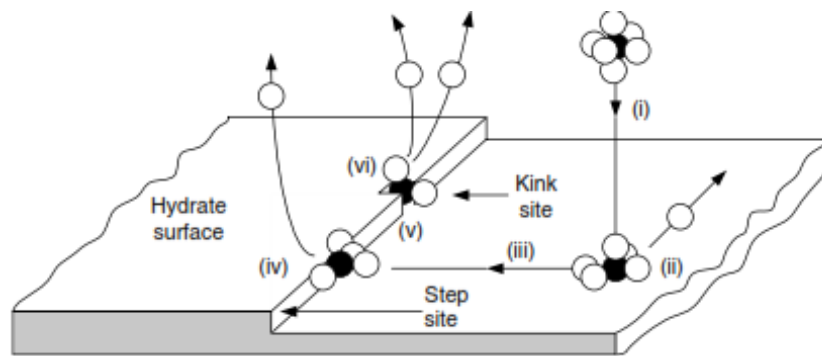
Dari Gambar 2.3 menjelaskan bahwa tahap terbentuknya hidrat metana secara sederhana. Pada penelitian ini besar tekanan dirubah selama penelitian berlangsung dan volume didalamnya konstan.

Pada kondisi metastabil pembentukan hidrat tidak dapat terbentuk. Titik D merupakan titik setimbang antara tekanan dan temperatur hidrat. Namun tekanan sistem akan terus menurun secara linier. Titik A menuju titik B ini merupakan tahap induksi dimana hanya baru terbentuk fase hidrat gas. Pada titik B hidrat sudah mulai terbentuk ditandai dengan penurunan tekanan yang drastis hingga titik C dan temperatur konstan. Pada kondisi B ke C merupakan tekanan dan temperatur pembentukan hidrat. Kemudian pada titik C sistem mulai dihangatkan sehingga tekanan kembali meningkat dan struktur hidrat mengalami pemisahan hingga titik D.

2.4.2 Pertumbuhan Hidrat

Pada Gambar 2.3 pada titik B dan titik C menunjukkan pertumbuhan hidrat. Hal ini menandai dari mulainya hidrat tumbuh dengan perubahan tekanan sistem yang drastis menurun. Selama proses ini perpindahan panas dan massa adalah kunci utama. Karena proses perpindahan panas dan massa merupakan proses yang paling mendominasi ketika hidrat tumbuh. Lebih dari 15% dari hidrat mengandung mol gas.

Diamati dari tingkat molekulnya pertumbuhan hidrat dapat dipengaruhi oleh tiga faktor. Pertama dari faktor pertumbuhan kristal pada permukaan hidrat. Kedua dari faktor perpindahan massa komponen dari permukaan kristal yang tumbuh. Ketiga dari faktor perpindahan panas eksotermis dari pembentukan hidrat agak jauh dari permukaan kristal hidrat yang tumbuh.



Gambar 2.4 Mekanisme pertumbuhan kristal hidrat

Sumber: Sloan (2008,p.151)

Pada Gambar 2.4 menunjukkan mekanisme pertumbuhan kristal hidrat dengan tahapan sebagai berikut:

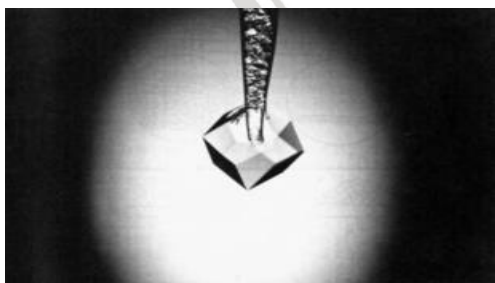
- I. Molekul gas dipindahkan menuju permukaan kristal yang mengalami pertumbuhan. Molekul gas menuju permukaan dengan energi Gibbs yang dihasilkan permukaan kristal.
- II. Molekul gas teradsorpsi pada permukaan kristal. Air berubah menjadi kristal padat yang menghasilkan medan gaya kedalam fluida sehingga menyebabkan gugus tersebut mengikuti permukaan.
- III. Tahap setelah difusi molekul gas. Molekul gas yang telah memasuki permukaan kristal. Molekul yang teradsorpsi menyebar dalam dua dimensi sepanjang permukaan karena terdapat medan gaya yang tegak lurus dengan permukaan kristal.
- IV. Gugus menempel pada *step* kristal dengan melepas molekul pelarut. Dua permukaan padat dari *step* memberikan sebuah gaya (dengan dua interaksi permukaan reaktan) pada spesimen yang berpindah.
- V. Gugus hanya dapat bergerak pada satu dimensi sepanjang *step*.
- VI. Gugus telah diadsorpsi pada daerah *kink*. Pada daerah ini terdapat tiga atau lebih permukaan padat sehingga memberikan gaya yang lebih besar pada molekul gas.
- VII. Setelah fase VI gugus akan bergerak ke arah tiga dimensi (tidak ditampilkan).

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

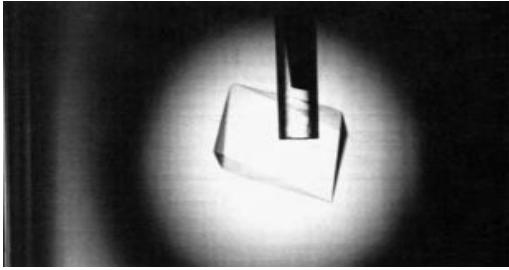
Hidrat dapat tumbuh sebagai kristal tunggal dilarutan air dan hidrokarbon. Pertumbuhan hidrat kristal tunggal merupakan metode yang digunakan untuk menguji efek adiktif dari pertumbuhan kristal dan morfologi hidrat. Kristal tunggal tetrahidrofur dan etilen oksida mudah untuk dibentuk karena kedua unsur pembentuk larut dalam air. Sedangkan kristal tunggal ga hidrat sulit didapatkan (Udachin dkk, 2002)

Pada Gambar 2.5 dan 2.6 menunjukkan kristal hidrat tunggal dari struktur kubus I dan II yang dibentuk dari persamaan stoikiometri dari etiklen oksida dan tetrahidrofur masing-masing dalam kondisi diam (Larson dkk, 1996) kristal tunggal etilen oksida memiliki 110 bidang kristal struktur I. Sedangkan kristal tunggal tetrahidrofur mempunyai 111 bidang kristal struktur II.

Pertumbuhan kristal tunggal dengan 111 bidang struktur II tumbuh lebih lambat karena mengandung dominasi bidang heksagonal daripada bidang kristal lainnya. Hal ini dikarenakan bidang heksagonal jauh lebih kencang (sudut antara O-O-O adalah 120°) daripada bidang pentagonal (108°) relatif terhadap tetrahedral (109°) dan air yang memiliki sudut antara H-O-H adalah 104.5° . Pernyataan yang sama juga dapat menjelaskan bidang 110 pada struktur I



Gambar 2.5 Kristal hidrat tunggal etilen oksida (sI)
Sumber: Sloan (2008,p.156)



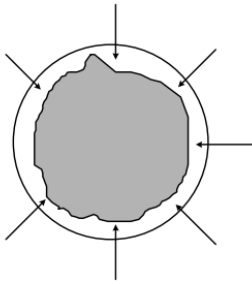
Gambar 2.6 Kristal hidrat tunggal tetrahidrofuran (sII)
Sumber: Sloan (2008,p.156)

2.4.3 Penguraian Hidrat

Penguraian hidrat adalah proses pemisahan molekul pembentuk hidrat yang merupakan air dan gas dengan proses endotermik (panas dari luar sistem). Proses ini memiliki peran penting untuk diketahui dalam bidang sistem pemipaan gas. Agar masalah hidrat pada pemipaan memiliki solusi.

Metode yang digunakan untuk memproses penguraian hidrat dalam industri pendistribusian gas alam menggunakan sistem pemipaan. Metode tersebut antara lain adalah *depressurization*, *thermal stimulation*, dan *thermodynamic inhibitor* atau *methods combination*. Gambar 2.3 menjelaskan proses penguraian hidrat terjadi pada daerah antara titik C sampai titik D. Proses penambahan panas pada sistem dimulai dari titik C untuk mengetahui tingkat penguraian dari hidrat tersebut. Ketika temperatur sistem meningkat maka tekanan didalam sistem pun akan meningkat sehingga sistem akan mengarah ke titik D. Dimana titik D merupakan kondisi penguraian setimbang dari hidrat (tekanan dan temperatur).

Visualisasi modern dari penguraian hidrat melibatkan hidrat radikal yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 dan juga penguraian hidrat aksial pada Gambar 2.8. Visualisasi paling akurat berdasarkan perpindahan panas dan penguraian hidrat, ialah pada saat posisi hidrat berada ditengah dan dikelilingi fasa air stationer. Fasa air stationer merupakan penghasil panas untuk penguraian hidrat (Davies., 2006). Disosiasi radial merupakan fenomena fisik yang terjadi secara kebetulan karena penguraian hidrat lebih cepat dibandingkan disosiasi aksial. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dimensi, dimensi radial memiliki dimensi yang lebih besar dari dimensi longitudinal sehingga daerah permukaan lebih besar, yang menyebabkan perpindahan panas radial lebih besar dari aksial.



Gambar 2.7 Disosiasi radial
Sumber: Sloan (2008,p.177)



Gambar 2.8 Disosiasi aksial
Sumber: Sloan (2008,p.177)

Bentuk struktur disosiasi didukung dari hasil *X-ray computed tomography* (CT) saat melakukan penelitian disosiasi metana pada inti hidrat (Gupta, 2007). Hasil penelitian dengan menggunakan CT *X-ray* mampu menangkap kepadatan dari profil inti hidrat dan menunjukkan hidrat terpisah secara disosiasi radial.

2.5 Struktur Hidrat

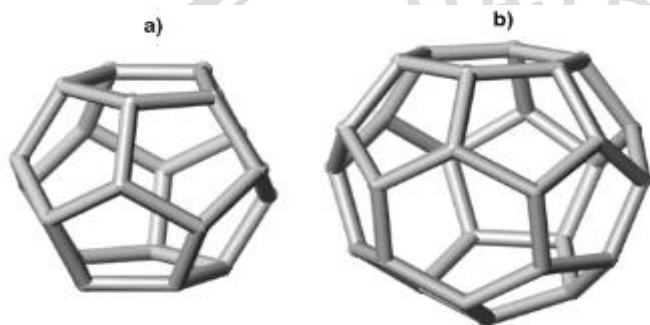
2.5.1 Macam-Macam Struktur Molekul Hidrat Gas Alam

Hidrat terbentuk dari susunan molekul gas ringan dan molekul air yang saling terikat sehingga mengakibatkan terbentuknya rongga 3 dimensi dan terkoneksi antar molekul air. Keadaan ini akan menghasilkan struktur kristal yang berongga dan dapat ditempati oleh molekul dari luar. Hidrat diklasifikasikan berdasarkan molekul air yang membentuk kristal es (Carol, 2009).

Penyusun struktur kristal hidrat gas alam diklasifikasikan menjadi tiga jenis struktur, yaitu struktur kubus I *body centered cubic* (sI-BCC), struktur kubus II *diamond cubic lattice* (sII-DBC) dan struktur heksagonal (sH). Pada Gambar 2.9 simbol titik menunjukkan atom-atom yang membentuk suatu struktur. Sedangkan garis menunjukkan ikatan antar atom yang membentuk suatu struktur. Perbedaan masing-masing struktur ditunjukkan pada Tabel 2.2.

2.5.1.1 Struktur kubus I

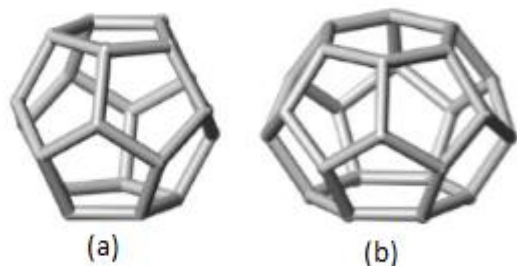
Struktur kubus I tersusun dari 46 molekul air dan terbuat dari struktur primitif dengan parameter seperti tabel 2.2. Struktur I (sI) merupakan struktur kubus yang paling sederhana. Struktur ini disusun oleh dua pentagonal dodekahedron dan enam tetrakaidekahedron, total delapan polyhedral disetiap sel kristal. Didalam struktur simpul yang dihubungkan bersama (Sloan, 1991), dan total 46 molekul air. Struktur tetrakaidekahedron merupakan polihedron yang memiliki jumlah sisi pentagonal sebanyak 12 sisi dan jumlah sisi heksagonal sebanyak 2 sisi. Dan struktur dodekahedron merupakan polihedron yang memiliki jumlah 12 sisi yang disetiap sisinya berbentuk segilima beraturan. Struktur kubus I (sI) memiliki besar diameter antara 4.2 – 6 Å. contohnya gas etana (C_2H_6), karbon dioksida (CO_2), gas metana (CH_4) dan hidrogen sulfida (H_2S).



Gambar 2.10 Struktur kubus I, (a) Dodekahedron, (b) tetrakaidekahedron
Sumber: Birkedal (2009,p.30)

2.5.1.2 Struktur Kubus II

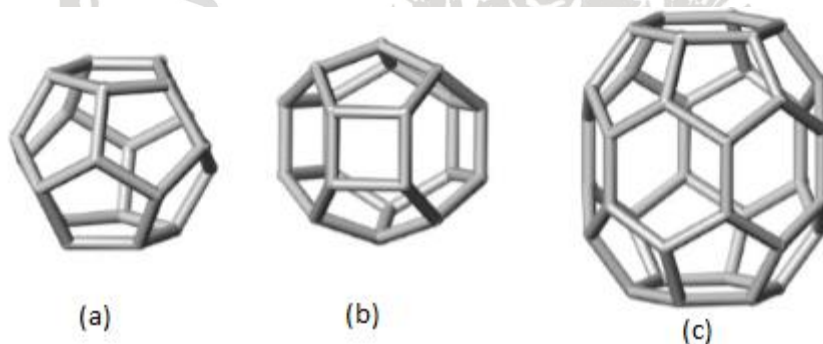
Struktur kubus II mempunyai struktur hidrat yang lebih kompleks dibandingkan dengan struktur kubus I. struktur kubus II terdiri dari 16 dodekahedron pentagonal dan 8 heksakaidekahedron dan total 136 molekul air yang membentuk struktur kisi kristal. Heksakaidekahedron memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dodekahedron. Heksakaidekahedron merupakan struktur polihedron yang memiliki 12 sisi pentagonal dan 4 sisi heksagonal. Struktur kubus II memiliki besar diameter antara 6-7 Å, contohnya propana, butana dan iso butana. Berikut parameter penyusun struktur kubus II bisa dilihat pada Tabel 2.2.



Gambar 2.11 struktur kubus II, (a) dodekahedron (b) heksakaikahedron
Sumber: Birkedal (2009,p.30)

2.5.1.3 Struktur Heksagonal

Struktur heksagonal merupakan struktur kubus yang paling kompleks dikarenakan rongga yang terbentuk berukuran menengah, struktur ini jarang ditemui jika dibandingkan yang lainnya. Struktur heksagonal memiliki 34 molekul air seperti Gambar 2.12 (c). Struktur heksagonal tersusun dari tiga dodekahedron pentagonal, dua dodekahedron tidak teratur, dan satu ikosahedron tidak beraturan. Ikosahedron tidak beraturan memiliki 12 sisi pentagonal dan 8 sisi heksagonal sedangkan dodekahedron tidak beraturan memiliki 3 sisi persegi, 6 sisi pentagonal dan 3 sisi heksagonal

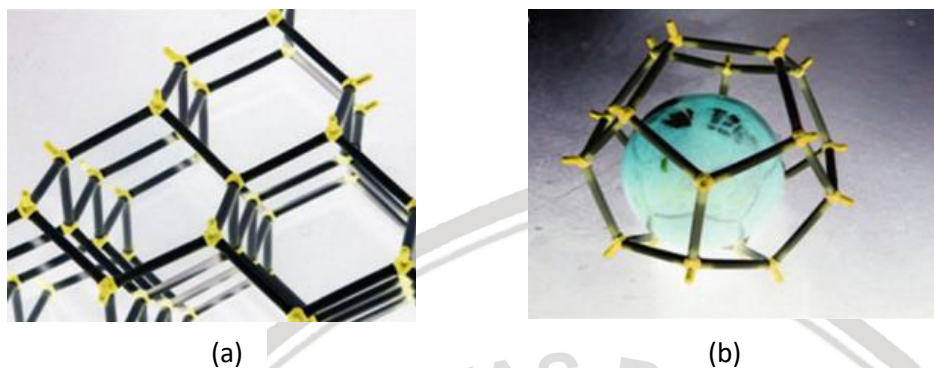


Gambar 2.12 Penyusun struktur heksagonal, (a) dodekahedron, (b) dodekahedron tidak beraturan, (c) ikosahedron tidak beraturan.
Sumber: Birkedal (2009,p.31)

2.5.2 Perbedaan Struktur Hidrat Gas Alam dengan Es

Struktur hidrat gas alam dengan es berbeda, secara bentuk fisik es dengan hidrat gas alam terlihat sama. Struktur kubus I dan II merupakan struktur kubus sederhana, 85% dari struktur tersebut berupa air. Sisanya merupakan ikatan pengisi hidrat yang disebut sebagai klaktrat. Es memiliki 13 buah fase kristal yang berbeda sesuai dengan temperatur dan tekanan (Travesset, 2008). Es heksagonal merupakan sebutan untuk air yang berbentuk padat, karena air yang terikat berbentuk tetrahedral yang memiliki kesamaan dengan gas

hidrat. Perbedaannya terletak pada ikatan hidrogen yang terbentuk, hidrat umumnya memiliki ikatan yang lebih panjang 1% dibandingkan es. Bentuk sudut O-O-O berbeda dari es yang memiliki struktur tetrahedral. O-O-O yang terbentuk pada struktur kubus I membentuk sudut sebesar 3.7° dan struktur kubus II sebesar 3.0° .



Gambar 2.13 Perbedaan struktur es dan hidrat, (a) struktur kristal es, (b) struktur kristal hidrat

Sumber: Thakur (2011,p.53)

2.6 Persamaan gas

2.6.1 Persamaan Gas Ideal

Boyle, Charles, dan Gay-Lussac telah menemukan dan mengembangkan hukum gas ideal dengan berdasarkan pada pengamatan empiris untuk mendeskripsikan karakteristik suatu gas secara makroskopik. Pada prinsipnya, semua sifat gas seperti tekanan volume, dan temperatur merupakan akibat dari perilaku molekul yang berbentuk gas (Cengel, 2004).

Berikut terdapat lima kondisi yang dapat menggambarkan molekul sesuai dengan teori gas ideal:

1. Gas terdiri dari kumpulan molekul yang bergerak secara garis lurus dan pergerakan molekul ini sesuai dengan Hukum Newton.
2. Molekul pada suatu gas dianggap tidak memiliki volume dan dianggap hanya sebuah titik.
3. Antara molekul dan molekul lainnya saling bertumbukan selastis sempurna (tidak ada energi yang hilang selama terjadi tumbukan).
4. Antara molekul dengan molekul lainnya tidak ada gaya tolak menolak maupun tarik menarik. energi kinetik rata-rata molekul ditunjukkan pada Persamaan 2-1, yaitu:

$$E_k = \frac{3}{2} kT \dots\dots\dots (2.1)$$

(Cengel. 2006: 325)

dengan :

E_k = Energi Kinetik (J)

k = Konstanta Steven Boltzman (1.38×10^{-23} J/K)

T = Temperatur Absolut (K)

Persamaan 2-2 menunjukkan persamaan gas ideal, yaitu:

$$pV = nRT \dots\dots\dots (2.2)$$

(Cengel. 2006: 325)

dengan

P = Tekanan Gas (Pa)

V = Volume Sistem Suatu Gas (m^3)

n = Jumlah Mol Gas (mol)

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

T = Temperatur Absolut (K)

2.6.2 Persamaan Gas Nyata

Salah satu karakteristik gas ialah mampu ditekan. Gas nyata memiliki kondisi kebalikan dari gas ideal. Pada gas ideal, gas dianggap tidak memiliki volume dan hanya dianggap sebagai titik. Molekul yang nyata merupakan volume yang terbatas, sehingga gas nyata tidak dapat secara sempurna memenuhi Hukum Boyle, terlebih pada tekanan tinggi (Brady, 1998). Pada gas nyata ketika kita memampatkan gas dengan tekanan besar maka volumenya berbanding lurus daripada kita memampatkan gas ideal pada kondisi yang sama.

Berikut model persamaan gas keadaan gas nyata :

1. Persamaan keadaan Van Der Waals

persamaan ini menjelaskan tentang konsep gas nyata. Molekul dari gas ideal dianggap tidak memiliki volume, sehingga besaran volume tidak boleh kurang dari suatu konstanta. Selain itu, molekul gas saling berinteraksi pada jarak tertentu sehingga mempengaruhi tekanan yang terjadi. Oleh karena itu adanya penyesuaian dari persamaan gas ideal menjadi persamaan gas nyata dengan mengganti besaran V (volume) diganti dengan $(V-b)$ dan besaran p (tekanan) diganti dengan $(p + \frac{a}{V^2})$.

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = nRT \dots\dots\dots (2.3)$$

(Cengel. 2006: 346)

dengan :

- P = Tekanan gas (Pa)
- V = Volume sistem suatu gas (m³)
- a,b = konstanta persamaan keadaan vander waals.
- n = jumlah mol gas (mol)
- R = konstanta gas (8.314 J/mol.K)
- T = Temperatur absolut (K)

2. Persamaan keadaan Redlich-Kwong

Persamaan ini dibuat untuk menyempurnakan dari persamaan keadaan Van Der Waals. Konstanta a dan b pada persamaan keadaan Redlich-Kwong dipengaruhi oleh titik kritis tekanan maupun temperatur gas. Persamaan Redlich-Kwong cukup akurat untuk memprediksi karakteristik pada kondisi Persamaan 2-4.

$$\frac{p}{P_c} < \frac{T}{2T_c} \dots\dots\dots (2.4)$$

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

(Cengel. 2006: 347)

dengan :

- P = Tekanan gas (Pa)
- P_c = Tekanan kritis gas (Pa)
- V = Volume sistem suatu gas (m³)
- 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 ($a = 0.42748 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{P_c}$)
- b = Konstanta persamaan keadaan Redlich-Kwong ($b = 0.08662 \frac{RT_c}{P_c}$)

3. Persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong

Persamaan ini merupakan perbaikan dari persamaan keadaan Redlich-Kwong. Pada persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong terdapat konstanta α yang dipengaruhi faktor asentrik (ω), tekanan tereduksi (P_r) dan temperatur tereduksi (T_r). faktor asentrik merupakan ukuran ketidakbulatan suatu molekul. Persamaan 2-6 dan 2-10 merupakan kondisi tekanan dan temperatur tereduksi yang mempengaruhi konstanta α (Chang:2008,155).

$$P = \frac{nRT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V(V+b)} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\alpha = \{ 1 + (0.48508 + 1.55171\omega - 0.15613\omega^2)(1-T_r^{0.5}) \}^2 \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\omega = -1 - \log P_r \dots\dots\dots(2.7)$$

$$P_r = \frac{P}{P_c} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \dots\dots\dots(2.9)$$

(Cengel. 2006: 358)

dengan :

P = Tekanan gas (Pa)

P_c = Tekanan kritis gas (Pa)

P_r = Tekanan tereduksi gas

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

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

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

α = Konstanta yang dipengaruhi oleh P_r dan T_r .

ω = Faktor asentrik.

4. Persamaan keadaan Peng-Robinson

Persamaan keadaan ini merupakan perbaikan dari persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong. Kelebihan dari persamaan keadaan Peng-Robinson dari persamaan lainya adalah sebagai berikut :

- Parameter yang ada dapat dinyatakan dalam sifat kritis tekanan, temperatur, dan faktor asentrik (ω). Faktor asentrik adalah ukuran ketidakbulatan suatu molekul gas.
- Persamaan berlaku pada semua perhitungan karakteristik pada gas alam (Rao:2003,144).

$$P = \frac{nRT}{V-b} - \frac{a\alpha}{(V^2+2bV - b^2)} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\alpha = \{ 1 + (0.37464 + 1.54226 \omega - 0.2699 \omega^2) (1-T_r^{0.5}) \}^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

(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

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

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

α = Konstanta yang dipengaruhi oleh P_r dan T_r .

ω = Faktor asentrik.

untuk membandinga hasil antara gas ideal dengan gas nyata maka diperlukan faktor koreksi. Persamaan 2-13 merupakan persamaan gas ideal dengan penambahan faktor kompresibilitas. Faktor kompresibilitas yang didapatkan dari persamaan kubik pada model persamaan keadaan gas nyata.

$$PV = nZRT \dots\dots\dots (2.12)$$

(Cengel. 2006: 341)

dengan:

- P = Tekanan Gas (Pa)
 V = Volume Sistem Suatu Gas (m³)
 n = Jumlah Mol Gas (mol)
 Z = Faktor kompresibilitas.
 R = Konstanta Avogadro (8.314 J/mol.K)
 T = Temperatur Absolut (K)

Faktor kompresibilitas dari masing-masing persamaan keadaan gas nyata sesuai dengan bentuk umum pada Persamaan 2-14. Nilai dari masing-masing konstanta pada masing-masing persamaan keadaan ditunjukkan pada Tabel 2.3. faktor kompresibilitas didapatkan dari akar persamaan kubik dan diambil dari nilai Z dengan nilai tertinggi. Nilai A dan B masing-masing dari Persamaan 2-14 dan 2-16 (Rao:2003,134).

$$Z^3 - c_2 Z^2 + c_1 Z - c_0 = 0 \dots\dots\dots (2.13)$$

$$A = \frac{\Omega_a \alpha P_r}{T_r^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$B = \frac{\Omega_b P_r}{T_r} \dots\dots\dots (2.15)$$

(Cengel. 2006: 369)

dengan :

- Z = Faktor kompresibilitas.
 Ω_b dan Ω_a = Konstanta persamaan kubik.
 A = Konstanta yang dipengaruhi P_r dan T_r
 P_r = Tekanan tereduksi gas (Pa)
 T_r = Temperatur tereduksi gas (K)

Tabel 2.3 konstanta pada masing-masing persamaan keadaan gas nyata.

Persamaan Keadaan	Konstanta				
	c_2	c_1	c_0	Ω_a	Ω_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}	$A-2B-3B^2$	$A-B^2-B^3$	0.45724	0.07779

Sumber : Rao (2003,135)

2.7 Hukum termodinamika pertama

Hukum termodinamika pertama tentang kekekalan energi. Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi dapat dirubah bentuknya menjadi energi yang lain. Contoh bentuk energi yaitu energi kinetik, energi potensial, energi panas.

Untuk sistem homogen pada tekanan dan temperatur tertentu. Sistem hanya terjadi gaya tekanan dan perpindahan panas. Perubahan diferensial energi sistem berdasarkan hukum pertama termodinamika sesuai dengan Persamaan 2-17.

$$dU = TdS - p Dv \dots \dots \dots (2.16)$$

(Cengel. 2006: 358)

dengan

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

2.8 Teori Kinetika Molekul Gas

Teori kinetik molekul gas menjelaskan tentang sifat-sifat makroskopis gas, seperti temperatur, tekanan, volume dengan menganggap komposisi dan gerak molekul. Teori atom gas menjelaskan bahwa setiap zat yang terdiri dari sebagian besar partikel yang sangat kecil. Pada dasarnya, semua sifat-sifat yang dimiliki gas termasuk tekanan, volume dan temperatur merupakan akibat dari perilaku molekul yang membentuk gas (Cengel, 2004).

Ada lima kondisi yang menjelaskan bahwa perilaku molekul sesuai dengan teori kinetik molekular gas ideal yaitu:

1. Gas terdiri dari kumpulan-kumpulan partikel kecil (molekul) yang bergerak secara garis lurus. Pergerakan dari molekul ini sesuai dengan Hukum Newton.
2. Molekul-molekul pada suatu gas tidak mempunyai volume. Molekul-molekul tersebut merupakan sebuah titik.
3. Satu molekul dengan molekul lainnya yang saling bertumbukan secara elastis sempurna sehingga tidak ada energi yang diperoleh maupun yang hilang selama tumbukan.
4. Tidak adanya gaya tarik atau gaya tolak antara setiap molekul.
5. Energi kinetik rata-rata molekul gas.

2.9 Konsep Mol

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

$$1 \text{ mol} = 6,02 \times 10^{23} \text{ (602 miliar triliun)}$$

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

$$x = n \times 6,02 \times 10^{23}$$

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

$$m_m = m/n$$

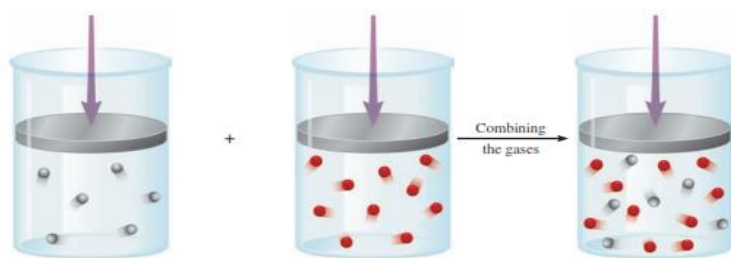
m menyatakan massa dari zat sedangkan m_m menyatakan massa molar.

2.10 Campuran Zat

Campuran zat adalah kumpulan dari beberapa zat dengan perbandingan konsentrasi yang tidak tetap tanpa melalui reaksi kimia. Ketika beberapa zat atau komponen dicampurkan maka sifat campuran tersebut akan sesuai dengan sifat yang dimiliki oleh masing-masing zat penyusunnya. Terdapat dua campuran yaitu homogen dan heterogen.

2.10.1 Campuran Homogen

Campuran antara dua zat atau lebih yang partikel-partikel penyusun tidak dapat dibedakan lagi disebut campuran heterogen. Campuran heterogen sering disebut dengan larutan. Jenis campuran, antara lain : campuran gas dalam gas, campuran gas dalam zat cair, campuran gula dalam air dan campuran garam dalam air



Gambar 2.14 Campuran gas dengan gas
Sumber : Chang (200,p.149)

2.10.2 Campuran Heterogen

Campuran Heterogen adalah campuran antara dua macam zat atau lebih yang partikel-partikel penyusunnya masih dapat dibedakan satu sama lainnya. Pada campuran air dengan minyak. Campuran serbuk besi dan air, dll.

2.11 Ikatan Hidrogen

Ikatan hidrogen merupakan ikatan antar molekul yang dimiliki atom H yang terikat pada atom yang memiliki keelektronegativitas yang tinggi. Ikatan hidrogen juga dapat didefinisikan sebagai sejenis gaya tarik antar molekul yang terjadi antara dua muatan listrik parsial dengan polaritas yang berlawanan. Walaupun lebih kuat dari kebanyakan gaya antar molekul, ikatan hidrogen jauh lebih lemah dari ikatan ion dan ikatan kovalen.

Ikatan hidrogen seperti interaksi dipol-dipol dari van der waals. Perbedaannya adalah muatan parsial positifnya berasal dari sebuah atom hidrogen dalam sebuah molekul, sedangkan muatan parsial negatifnya berasal dari sebuah molekul yang dibangun oleh atom yang memiliki elektronegativitas yang besar, seperti atom Fluoro (F), oksigen (O), dan nitrogen (N). muatan negatif parsial negatif tersebut berasal dari pasangan elektron bebas yang dimilikinya.



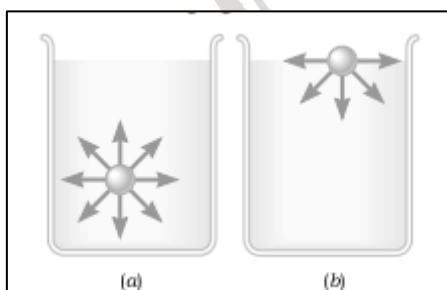
Gambar 2.15 Ikatan Hidrogen Antar Molekul Air dan Molekul Amonia
Sumber : McMurry (2016, p. XX)

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

Dalam kasus hidrat gas alam, adanya ikatan hidrogen secara tidak langsung dapat mempengaruhi laju pembentukan hidrat. Ikatan hidrogen menjadi salah satu penyebab 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.

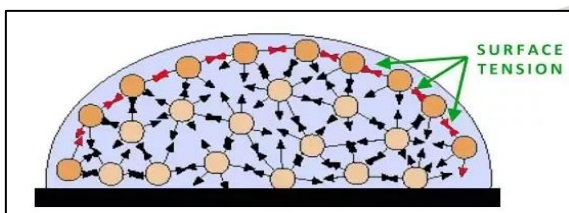
2.12 Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan adalah gaya atau tarikan ke bawah yang menyebabkan permukaan cairan berkontraksi dan benda dalam keadaan tegang. Hal ini disebabkan oleh gaya-gaya tarik yang tidak seimbang pada antar muka cairan.



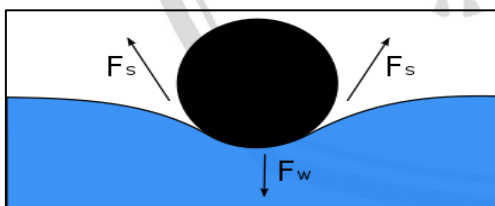
Gambar 2.16 Gaya tarik pada molekul air (a) di tengah-tengah dan (b) di permukaan
Sumber : Haber (2018, p.2)

Ilustrasinya bisa dilihat pada Gambar 2.16 (a) terlihat bahwa sebuah molekul air yang berada ditengah-tengah segelas air dikelilingi oleh molekul-molekul air yang lain dari segala arah yang menyebabkan molekul ini tertarik ke segala arah pula, sehingga total gaya yang dialami molekul ini adalah nol. Sedangkan pada Gambar 2.16 (b), sebuah molekul air berada pada permukaan air, dimana tidak ada molekul air lain diatasnya, sehingga molekul ini akan ditarik oleh molekul-molekul air yang ada dibawah dan disampingnya saja, sehingga resultan gaya tarik menuju kearah bawah permukaan atau ke pusat cairan.



Gambar 2.17 Tetesan air yang berbentuk *spherical* akibat tegangan permukaan
Sumber: Fernandes (2016, p.3)

Akibat gaya tarik ini, molekul-molekul yang berada di permukaan akan merapat (berkontraksi) membentuk semacam lapisan membran, hal ini yang menyebabkan mengapa tetesan air berbentuk *spherical* seperti pada Gambar 2.17. Selain itu, akibat molekul-molekul yang berkontraksi pada bagian permukaan ini, membuat benda-benda asing dari luar permukaan susah untuk menembus lapisan permukaan air karena terdapat gaya dari permukaan yang melawan gaya berat dari benda asing tersebut. Hal ini yang menyebabkan mengapa jarum yang memiliki densitas lebih tinggi dari air mampu mengambang diatas permukaan seperti pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Gaya tegangan permukaan yang menahan berat dari jarum
Sumber : Karlhan (2018, p.1)

Tegangan permukaan yang ada didalam laju pembentukan hidrat gas alam memiliki peranan penting dalam proses bercampurnya gas dan air didalam sistem. Hal ini bisa menghambat ataupun mempercepat proses bercampurnya gas dan air. Ketika tegangan permukaan semakin kecil maka dapat membuat laju pembentukan hidrat semakin cepat dan begitu sebaliknya.

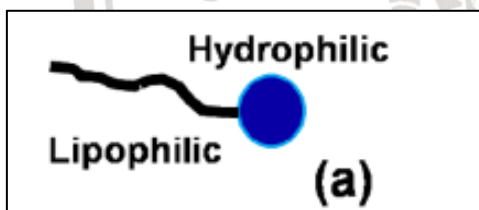
2.13 Promotor Kinetis

Promotor kinetik adalah zat aditif yang digunakan untuk membantu meningkatkan laju pembentukan hidrat tanpa mempengaruhi sifat termodinamikanya. Kondisi pembentukan hidrat (suhu dan tekanan) dan struktur hidrat tidak akan dipengaruhi oleh masuknya promotor kinetik. Sebagian besar jurnal yang membahas tentang promotor kinetik untuk pembentukan hidrat gas alam telah dilaporkan bahwa sejumlah jenis surfaktan telah terbukti efektif sebagai promotor kinetik untuk pembentukan hidrat.

2.14 Surfaktan

2.14.1 Pengertian surfaktan

Surfactant berasal dari kata *surface active agent* (permukaan agen aktif). Surfaktan sangat banyak digunakan karena kemampuannya dalam mempengaruhi sifat permukaan (*surface*) dan antar muka (*interface*). *Interface* adalah bagian atau lapisan tempat dua fasa yang tidak sama saling bertemu. Surfaktan mempunyai gugus hidrofilik (*hydrophilic*) dan lipofilik (*lipophilic*). Bagian “kepala” mengacu pada pelarut dari hidrofilik, dan bagian “ekor” mengacu pada grup hidrofobik.

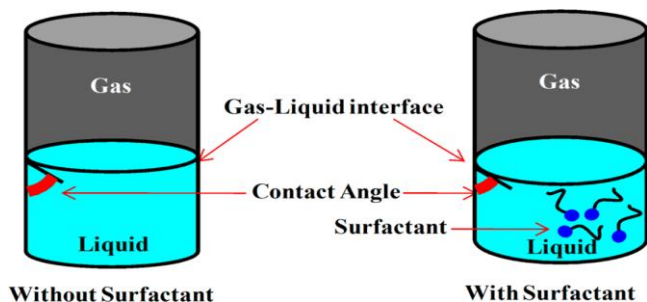


Gambar 2.19 molekul surfaktan dengan bagian hidrofilik dan lipofilik
Sumber : Kumar (2015,p 3)

2.14.2 Cara Kerja Surfaktan

Cara kerja dari surfaktan yaitu bagian yang hidrofilik akan masuk kedalam larutan yang polar dan bagian yang hirofilik akan masuk kedalam bagian yang non polar sehingga surfaktan dapat menggabungkan (walaupun sebenarnya tidak bergabung) kedua senyawa yang seharusnya tidak dapat bergabung tersebut. Namun semua tergantung pada komposisi dari komposisi dari surfaktan tersebut. Jika bagian hidrofilik lebih dominan dari hidrofobik maka ia akan melarut kedalam air, sedangkan jika ia lebih banyak bagian hidrofobiknya maka ia akan melarut dalam lemak dan keduanya tidak dapat berfungsi sebagai surfaktan. Bagian liofilik molekul surfaktan adalah bagian nonpolar, biasanya terdiri dari

persenyawaan hidrokarbon aromatik atau kombinasinya, baik jenuh maupun tidak jenuh. Bagian hidrofilik merupakan bagian polar dari molekul, seperti gugusan sulfonat, karboksilat, ammonium kuartener, hidroksil, amina bebas, eter, ester, amida.



Gambar 2.20 Pengaruh surfaktan terhadap tegangan permukaan
Sumber : Kumar (2015, p.9)

2.14.3 Jenis-jenis Surfaktan

Klasifikasi surfaktan didasarkan pada sifat hidrofilik, dengan subkelompok berdasarkan sifat hidrofobiknya. Empat kelas surfaktan didefinisikan sebagai berikut [Myers, 1987]:

1. Anionik
Hidrofiliknya merupakan grup senyawa bermuatan negatif seperti karboksil (RCOO^-), sulfonat ($\text{RSO}_3^- \text{M}^+$), sulfat ($\text{ROSO}_3^- \text{M}^+$)
2. Kationik
Hidrofiliknya merupakan grup senyawa bermuatan positif misal, kuarter ammonium halide ($\text{R}_4\text{N}^+ \text{X}^-$) dan empat group R tersebut bisa sama atau berbeda tetapi masih dalam satu famili.
3. Nonionik
Hidrofiliknya tidak mempunyai muatan, tapi berasal dari turunan grup air yang sangat polar seperti polioksitelina (POE atau $\text{R-OCH}_2\text{CH}_2\text{O-}$) atau grup R-polyol termasuk garam.
4. Amphoter
Molekulnya biasanya mengandung muatan positif dan negatif seperti sulfobetaines $\text{RN}^+ (\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3^-$.

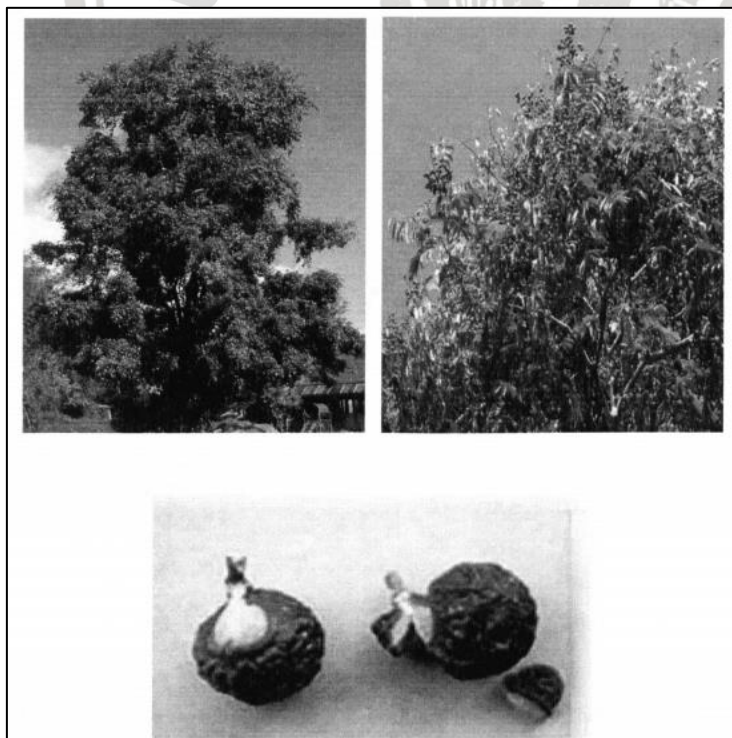
2.15 Buah Lerak

Sapindus rarak merupakan nama binomial dari lerak yang dikenal di Jawa sebagai *klerek*, Lerak termasuk dalam divisi *Spermatophyta* yang tumbuh di daerah Jawa dan Sumatera dengan ketinggian 450 – 1500 m di atas permukaan air laut. Tinggi tanaman dapat mencapai 15 – 42 m. Kulit putih kusam berbentuk bulat dan keras itu dapat berukuran 1 meter.

Menurut Widowati (2003), saponin terdapat pada semua bagian tanaman *Sapindus* dengan kandungan tertinggi terdapat pada bagian buah. Saponin berasal dari bahasa latin *Sapo* yang berarti sabun karena sifatnya yang menyerupai sabun.

Saponin merupakan senyawa kimia yang banyak berasal dari tumbuh-tumbuhan. Struktur kimia saponin yang terdiri dari senyawa polar dan non-polar menjadikan buah lerak dikenal sebagai *soapberry* atau *soapnut*. Saponin memiliki sifat berasa pahit, berbentuk busa stabil dalam air, beracun bagi hewan berdarah dingin dan dapat menstabilkan emulsi.

Saponin termasuk glikosida yang apabila dihidrolisis akan menghasilkan sakarida (bersifat hidrofilik) dan sapogenin (bersifat lipofilik) terdiri dari dua golongan, yaitu saponin steroid dan saponin triterpenoid. Adanya kandungan saponin yang bersifat hidrofilik dan lipofilik menjadikan buah lerak sebagai surfaktan.



Gambar 2.21 Pohon dan Buah Lerak

Sumber : Ningrat (2004, p.35)

Tabel 2.4 Persentase senyawa aktif pada lerak

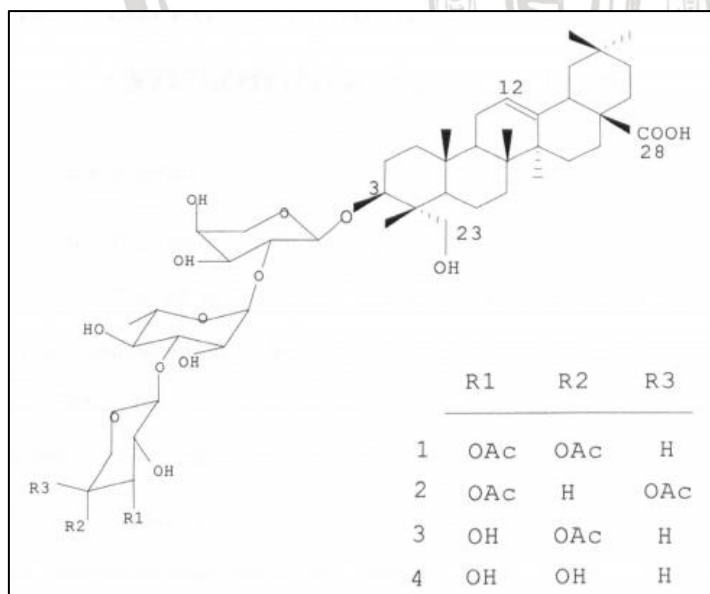
No.	Senyawa Aktif	Persentase Senyawa Aktif
1	Saponin	12 %
2	Alkaloid	1 %
3	Ateroid	0,036 %
4	Triterpen	0,029 %

Sumber : Nevi Yanti, 2009

2.16 Saponin

Saponin adalah senyawa fitokimia yang tersusun dari sapoginin steroid atau triterpenoid terkait dengan satu atau lebih rantai gula. Nama saponin sendiri diturunkan dari sebuah kata dalam bahasa Latin, yaitu “sapo” yang artinya sabun. Saponin banyak ditemukan pada tumbuhan dari genus Sapindus dan umumnya dikelompokkan di antara faktor-faktor anti-nutrisi atau mungkin beracun dan menyebabkan fotosensitisasi (Flaoyen dan Wilkins, 1997; Meagher et al., 2001; Pirez et al., 2002).

Saponin terkenal akan kemampuannya dalam mencampur zat cair dengan zat gas menjadi busa cair (koloid gas didalam zat cair) sehingga bisa digunakan sebagai surfaktan. Senyawa ini merupakan glikosida amfipatik yang dapat mengeluarkan busa jika dikocok dengan kencang di dalam larutan. Busanya bersifat stabil dan tidak mudah hilang. Manfaat lain dari saponin yang tidak kalah penting adalah seperti mampu mengurangi resiko kanker, mengurangi kadar kolesterol, sampai sebagai biopestisida.



Gambar 2.22 Struktur Saponin yang Terkandung dalam Buah Lerak

Sumber : Ningrat (2004, p.36)

2.17 Hipotesis

Berdasarkan kajian teori yang telah dibahas maka didapatkan hubungan antara karakteristik pembentukan hidrat propana butana terhadap penambahan surfaktan ekstrak buah lerak. Bahwa penambahan surfaktan dengan temperatur *cooling bath* dan tekanan yang sama maka akan didapatkan laju pembentukan hidrat yang semakin cepat. Hal ini dikarenakan penambahan surfaktan pada hidrat akan menyebabkan menurunnya tegangan permukaan pada air yang membuat proses bercampurnya gas dan air semakin cepat. Selain menyebabkan pembentukan hidrat yang semakin cepat, tekanan yang dibutuhkan untuk membentuk hidrat akan semakin kecil juga. Semakin tinggi laju pembentukan akan menyebabkan lapisan es yang mengelilingi hidrat semakin kuat sehingga lapisan es tidak mudah untuk terdekomposisi dan hidrat dalam keadaan stabil.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental sungguhan (*true Experimental research*). Metode ini dilakukan dengan cara mengamati secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mengetahui pengaruh variasi penambahan surfaktan terhadap pembentukan karakteristik gas hidrat propana butana. Kajian literatur dari berbagai sumber, baik berupa buku maupun jurnal yang terkait dengan penelitian ini digunakan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian mengenai pengaruh penambahan surfaktan terhadap laju pembentukan, stabilitas, dan kapasitas penyimpanan hidrat propana butana dilakukan di Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Pengambilan data dilaksanakan di laboratorium fenomena dasar mesin universitas brawijaya malang, Jawa Timur pada bulan September sampai November 2018.

3.3 Variabel Penelitian

Penelitian adalah proses analisis sistematis yang meliputi pengumpulan data pengolahan data dan akan menghasilkan suatu hasil ataupun sebuah kesimpulan dengan berdasarkan metode ilmiah yang berlaku pada periode waktu tertentu. Dalam kegiatan tersebut terdapat faktor-faktor yang akan saling mempengaruhi satu sama lain yaitu disebut variabel penelitian. Identifikasi variabel-variabel penelitian bertujuan untuk mendapatkan karakteristik dan pengaruh terhadap suatu masalah atau objek penelitian. Adapun variabel penelitian dapat dibagi menjadi variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol.

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang kita variasikan dan diubah yang menyebabkan perubahan pada variabel lain dan variabel bebas tidak tergantung dengan variabel yang lain. Pada penelitian ini, diteliti pengaruh variasi kadar surfaktan ekstrak buah lerak lerak sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari volume air dalam *crystallizer*.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nantinya nilainya akan terpengaruh variabel lain dalam hal ini adalah variabel bebas. Pada penelitian ini variabel terikat yang diamati adalah laju pembentukan hidrat, stabilitas yang dihasilkan oleh banyaknya gas yang terdekomposisi dibawah titik beku air dan kapasitas penyimpanan hidrat propana butana.

3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang sudah ditentukan oleh peneliti untuk dijaga konstan atau dengan kata lain tetap. Sehingga dapat diasumsikan bahwa hanya variabel bebas yang mempengaruhi variabel terikat karena variabel lain dapat dikendalikan dan dijaga tetap. Pada penelitian ini faktor-faktor yang dikontrol antara lain:

1. Total volume aquades dan surfaktan yang dimasukkan pada *crystallizer* 50 ml.
2. Tekanan pada *crystallizer* sebesar 0.3 MPa.
3. Kecepatan putaran *crystallizer* sebesar 200 rpm.
4. Waktu pembentukan selama 10 jam.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk membantu penelitian ini yaitu :

1. Aquades

Aquades adalah air yang dihasilkan dari proses penyulingan atau air yang sudah dimineralisasi (kandungan mineral pada air sudah tidak ada) seperti pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Aquades

Spesifikasi:

- Merk : HYDROBATT
- Kemurnian : 99%
- Resistansi : $100 \times 10^4 \Omega \text{ cm}$

2. ELPIJI (LPG)

LPG (*Liquid Petroleum Gas*) pada Gambar 3.2 merupakan bahan bakar gas yang dihasilkan dari minyak mentah yang diolah.



Gambar 3.2 ELPIJI

3. Es Batu

Es batu pada Gambar 3.3 digunakan untuk mempertahankan suhu yang ada didalam *cooling bath*.



Gambar 3.3 Es batu

4. Garam

Garam pada Gambar 3.4 berfungsi sebagai bahan untuk menurunkan titik beku air pada *cooling bath*.



Gambar 3.4 Garam

5. Ekstrak Lerak

Surfaktan miyak lerak pada Gambar 3.5 digunakan untuk mengurangi tegangan permukaan pada air.



Gambar 3.5 Surfaktan miyak lerak

3.4.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan untuk penelitian ini sebagai berikut:

1. *Crystallizer*

Alat ini berfungsi sebagai wadah untuk mencampur air dan gas, yang bertujuan untuk membuat hidrat atau klakrat. *crystallizer* berbentuk silinder seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.4 *Crystallizer*

Spesifikasi :

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

2. Motor Listrik

Motor listrik pada Gambar 3.7 berfungsi sebagai alat yang memutar *crystallizer* agar air dan gas didalamnya bercampur.



Gambar 3.7 Motor listrik

Spesifikasi:

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

3. *Inverter*

Inverter pada Gambar 3.8 digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor.



Gambar 3.8 Inverter

Spesifikasi:

- Merk : Schneier
- Tipe : Y2-712-4
- Fase : 1 fase ke 3 fase
- Tegangan : 200/240 V
- Daya : 0.37 kW

4. Gelas ukur

Gelas ukur pada Gambar 3.9 dipakai untuk mengukur volume air yang akan dimasukkan ke dalam *crystallizer*.



Gambar 3.9 Gelas ukur

Spesifikasi:

- Merk : PYREX
- Volume : 25 ml

5. Regulator Gas

Regulator gas pada Gambar 3.10 digunakan untuk menyalurkan gas dari ELPIJI ke dalam *crystallizer*.



Gambar 3.10 Regulator gas

Spesifikasi:

- Merk : FESTO
- Tekanan maks : 1 MPa

6. Katup Gas

Katub gas pada Gambar 3.11 berfungsi sebagai pengatur keluar masuknya gas kedalam *crystallizer*.



Gambar 3.11 Katub gas

7. *Flowmeter Gas*

Alat pada Gambar 3.12 berfungsi sebagai pengukur besar volume aliran gas yang masuk ke dalam *crystallizer*.



Gambar 3.12 Flowmeter Gas

Spesifikasi:

- Merk : TEKIRO
- Tekanan maks : 10 bar

8. *Thermocouple*

Thermocouple pada Gambar 3.13 berfungsi sebagai sensor untuk mengambil data temperatur didalam *crystallizer*.



Gambar 3.13 Thermocouple

Spesifikasi:

- Tipe : K
- Temperatur : $0^{\circ} - 200^{\circ} \text{C}$

9. *Pressure Sensor*

Alat pada Gambar 3.14 digunakan untuk mengetahui tekanan didalam *crystallizer*.



Gambar 3.14 Pressure Sensor

Spesifikasi:

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

10. *Styroform*

Styroform pada Gambar 3.15 digunakan sebagai tempat untuk *cooling bath*.



Gambar 3.15 Styroform

11. Pompa air

Pompa air pada Gambar 3.16 digunakan untuk menyirkulasikan air pendingin ke cooling bath.



Gambar 3.16 Pompa air

12. Mesin Pendingin

Alat pada Gambar 3.17 digunakan untuk menjaga temperatur *cooling bath*.



Gambar 3.17 Mesin Pendingin

13. *Thermodisplay*

Alat pada Gambar 3.18 digunakan untuk menunjukkan angka suhu secara digital.



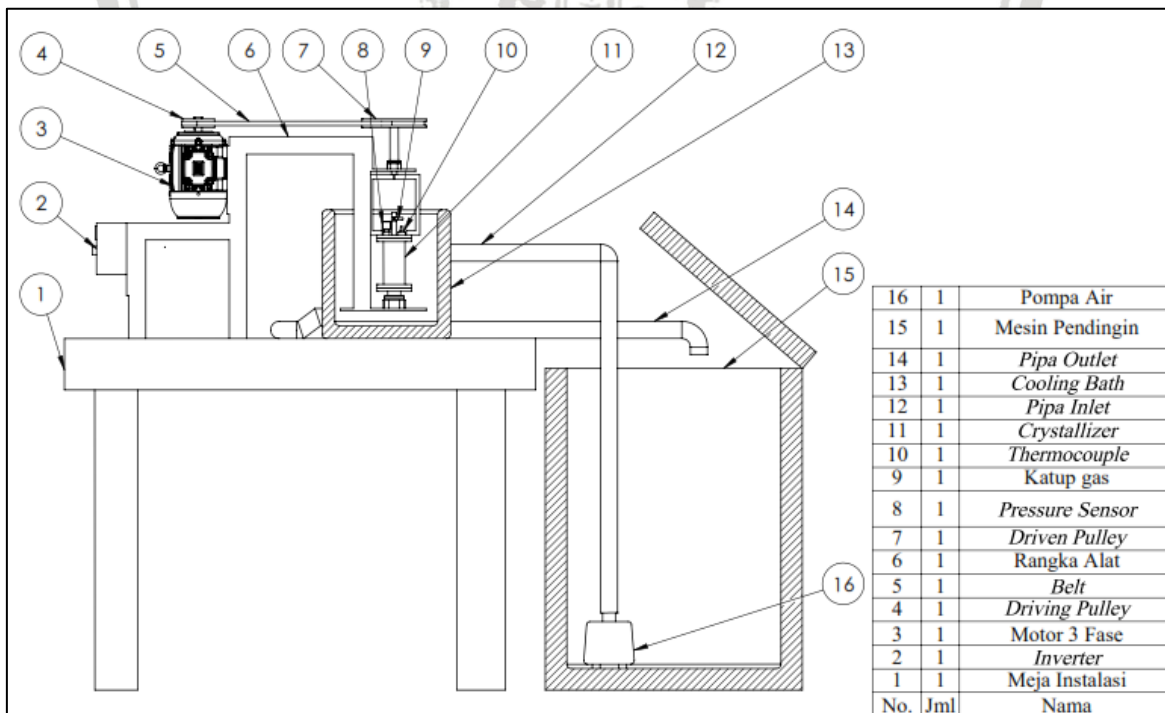
Gambar 3.18 *Thermodisplay*

Spesifikasi:

- Merk :Autonics
- Tipe : T4YI
- Temperatur : 0⁰ – 200⁰ C

3.5 Instalasi Alat Penelitian

Berikut instalasi alat yang digunakan dalam penelitian ini. Lihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Instalasi alat penelitian

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Persiapan Penelitian

1. Melakukan kalibrasi pada semua alat ukur yang digunakan.
2. Melakukan pengecekan pada instalasi alat untuk memastikan keselamatan peneliti.
3. Mengkondisikan *cooling* air kedalam mesin pendingin agar cenderung konstan dalam temperatur 273 K dengan cara mencampurkan air tersebut dengan garam.
4. Menyiapkan air aquades, surfaktan minyak lerak, dan gas ELPIJI untuk dimasukkan kedalam *crystallizer*.
5. Memastikan *crystallizer* dalam kondisi bersih dan tidak ada kotoran.

3.6.2 Pengambilan Data

3.6.2.1 Laju Pembentukan Hidrat

1. Membuat *crystallizer* dalam keadaan vakum.
2. Menyiapkan 45 cm³ air aquades dengan menggunakan gelas ukur. Kemudian dimasukkan kedalam *crystallizer*.
3. Menyiapkan 5 cm³ surfaktan minyak lerak dengan menggunakan gelas ukur. Kemudian dimasukkan kedalam *crystallizer*.
4. Masukan gas ELPIJI kedalam *crystallizer* menggunakan flowmeter (1 liter/menit) hingga tekanan menunjukkan 0,3 MPa. Catat waktu pengisian 100% volume ELPIJI tersebut.
5. Letakan *crystallizer* pada *cooling bath* setelah sistem mencapai kesetimbangan pada tekanan dan temperatur permulaan. Temperatur *cooling bath* diatur sehingga sesuai dengan temperatur pembentukan hidrat yaitu sebesar 273 K yang merupakan kesetimbangan 3 fase.
6. Mengatur kecepatan putaran *crystallizer* pada *tachometer* sebesar 200 rpm.
7. Mengambil data temperatur, tekanan dan waktu selama pembentukan hidrat propana butana untuk mendapatkan data laju pembentukan hidrat.

3.6.2.2 Penguraian Hidrat

1. Menurunkan temperatur *cooling bath* menjadi 268 K (-5 °C). Setelah itu, sistem didiamkan selama 5 jam untuk mencapai kesetimbangan.
2. Membuka katub gas setelah sistem mencapai kesetimbangan. Pembukaan katup ini bertujuan untuk membuang gas sisa yang tidak menjadi hidrat.
3. Menutup katup gas sehingga sistem kembali terisolasi. Setelah itu, sistem didiamkan kembali selama 5 jam untuk proses dekomposisi hidrat.

4. Mengambil data tekanan, temperatur dan waktu selama proses system mencapai kesetimbangan.

3.6.2.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat

1. Menghangatkan *crystallizer* pada temperature ruang (300 K), sehingga hidrat mengalami dekomposisi dan melepas gas propana butana yang terjebak didalam hidrat.
2. Mengambil data tekanan, temperatur, dan waktu gas hidrat yang terdekomposisi dengan menentukan tekanan maksimum didalam *crystallizer*.
3. Mengulangi langkah pengambilan data pembentukan hidrat, penguraian hidrat dan kapasitas penyimpanan hidrat dengan merubah variasi % surfaktan yang masuk kedalam *crystallizer*.

3.6.3 Pengolahan Data

1. Laju pembentukan hidrat

Pertama yaitu melakukan perhitungan mol dari laju pembentukan hidrat dengan menggunakan persamaan gas nyata dengan memasukan volume gas yang didapat dari pengukuran *flowmeter*. Kemudian membuat grafik laju pembentukan hidrat dengan membandingkan pengaruh waktu terhadap tekanan dan temperature pembentukan, serta membuat grafik laju pembentukan dengan membandingkan pangaruh waktu terhadap konsumsi mol gas hidrat teoritis dan aktual terbentuk.

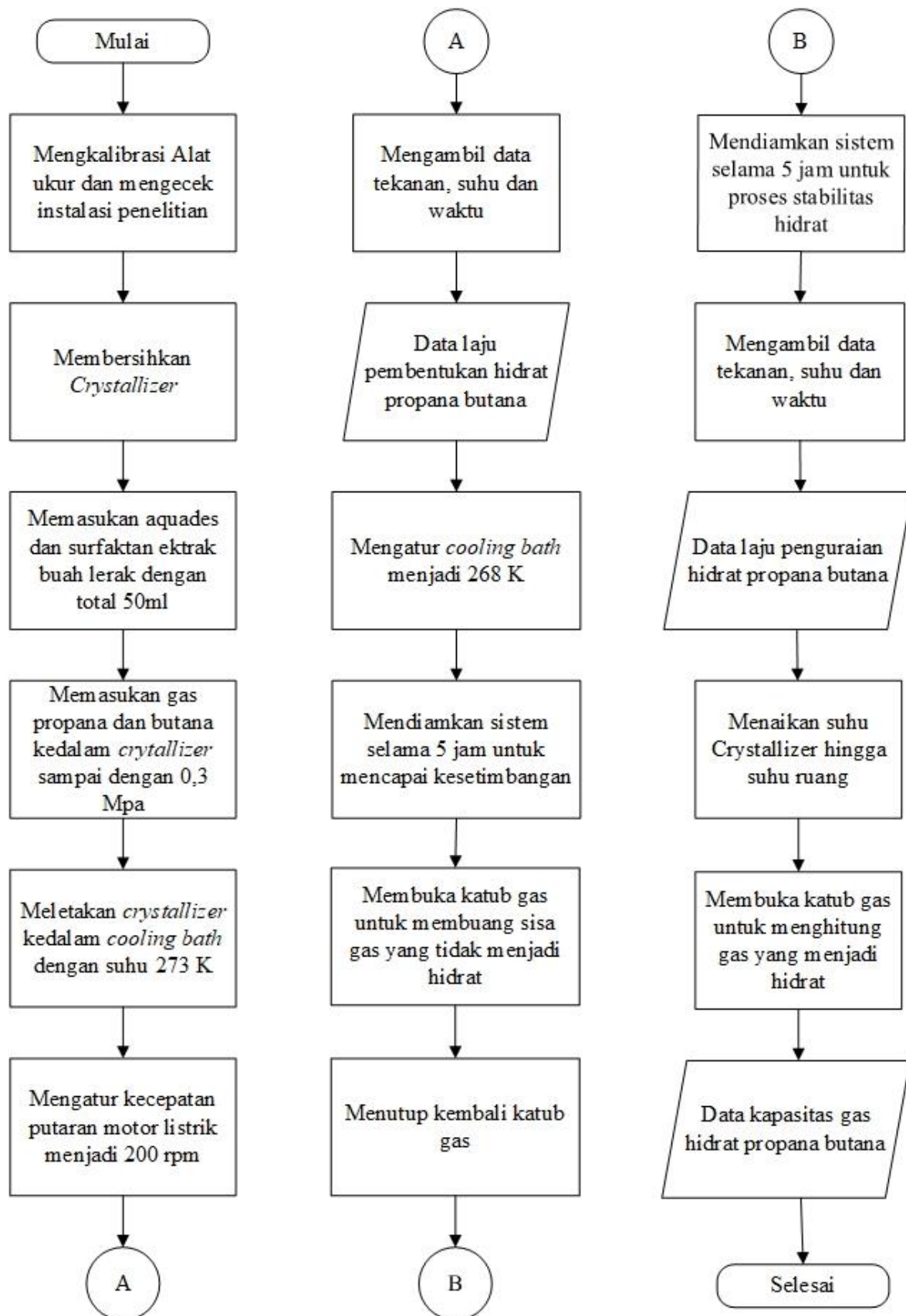
2. Stabilitas hidrat

Pengolahan data untuk stabilitas hidrat yaitu dengan melakukan perhitungan mol gas menggunakan persamaan gas nyata pada setiap 15 menit. Kemudian membuat grafik stabilitas gas hidrat propana butana dengan membandingkan pengaruh waktu terhadap mol yang terurai.

3. Kapasitas penyimpanan hidrat

Pengolahan data untuk kapasitas penyimpanan hidrat dengan menghitung volume gas hidrat teoritis dan actual setelah system mencapai suhu ruangan. Kemudian membuat diagram kapasitas penyimpanan hidrat dengan membandingkan anatara volume gas hidrat yang mencapai suhu 27°C dengan volume gas hidrat secara teoritis.

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 buah lerak (*sapindus rarak*) dan temperatur *cooling bath* yang telah ditentukan, yaitu pembentukan gas hidrat propana butana pada temperatur 273 K dan variasi 0%, 5%, 10%, 15% surfaktan ekstrak buah lerak. Data yang didapatkan berupa tekanan (bar) dan temperatur (K).

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 3 bar.

Tabel 4.1 Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana

Variasi surfaktan ekstrak buah lerak (%)	T_{0p} (K)	P_{0p} (bar)	T_{1p} (K)	P_{1p} (bar)
0%	296	3.0	273	1.24
5%	296	3.0	273	0.29
10%	296	3.0	273	0.27
15%	296	3.0	273	0.25

Keterangan:

T_{0p} : Temperatur awal sistem pada saat pembentukan gas hidrat propana butana (K)

T_{1p} : Temperatur akhir sistem pada saat pembentukan gas hidrat propana butana (K)

P_{0p} : Tekanan awal gas pada saat pembentukan gas hidrat propana butana pada *crystallizer* (bar)

P_{1p} : Tekanan akhir gas pada saat pembentukan gas hidrat propana butana pada *Crystallizer* (bar)

4.1.2 Data Stabilitas Hidrat

Stabilitas gas hidrat propana butana dilakukan selama 5 jam dengan suhu 268 K sesuai dengan diagram kesetimbangan tiga fasa gas hidrat.

Tabel 4.2 Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana

Variasi surfaktan ekstrak buah lerak (%)	T _s (K)	P _{0s} (bar)	P _{1s} (bar)
0%	268	0	0,06
5%	268	0	0,01
10%	268	0	0,01
15%	268	0	0.01

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 Kapasitas Penyimpanan Hidrat

Dari stabilitas dilanjutkan dengan kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana dengan membiarkan sistem terdekomposisi dalam suhu ruangan (296 K).

Tabel 4.3 Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana

Variasi surfaktan ekstrak buah lerak (%)	t _k (sekon)	P (bar)
0%	8,3	0,36
5%	9.4	0,42
10%	9.6	0,46
15%	10.5	0,49

Keterangan:

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

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

4.2 Contoh Perhitungan Data Hasil Penelitian

4.2.1 Laju Pembentukan

4.2.1.1 Contoh Perhitungan

Contoh perhitungan diambil dari variasi penambahan surfaktan 10% 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.

a) Perhitungan Faktor Kompresibilitas

Tekanan kritis Gas Propana ($P_{c, \text{Propana}}$)	= 4,26 MPa
Tekanan kritis Gas n-Butana ($P_{c, \text{n-Butana}}$)	= 3,8 MPa
Temperatur kritis Gas Propana ($T_{c, \text{Propana}}$)	= 370 K
Temperatur kritis Gas n-Butana ($T_{c, \text{n-Butana}}$)	= 425 K
Tekanan di dalam <i>crystallizer</i> pada saat menit 600 ($p_{t=600}$)	= 0,27 bar = 0,027 MPa
Temperatur di dalam <i>crystallizer</i> pada saat menit 600 ($T_{t=600}$)	= 273 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

$$\begin{aligned}
 P_r &= \frac{P_{t=600}}{P_c} \\
 &= \frac{0,270}{4,025} \\
 &= 0,006701
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 T_r &= \frac{T_{t=600}}{T_c} \\
 &= \frac{273}{397,5} \\
 &= 0,68679
 \end{aligned}$$

e) Faktor asentrik (ω)

$$\begin{aligned}\omega &= -1 - \log p_r \\ &= -1 - \log 0,006701 \\ &= 1,17340\end{aligned}$$

f) Koefisien yang dipengaruhi p_r dan T_r (α)

$$\begin{aligned}\alpha &= \{1 + (0,37464 + 1,54226\omega - 0,2699\omega^2)(1 - T_r^{0.5})\}^2 \\ &= \{1 + (0,37464 + 1,54226 \cdot 1,17340 - 0,2699 \cdot 1,17340^2)(1 - 0,68679^{0.5})\}^2 \\ &= 1,71732\end{aligned}$$

g) Konstanta Persamaan keadaan Peng Robinson

$$\begin{aligned}A &= \frac{\Omega_a \alpha p_r}{T_r^2}; \Omega_a = 0,45724 \\ &= \frac{0,45724 \times 1,71732 \times 0,006701}{0,68679^2}\end{aligned}$$

$$= 0,01117$$

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

$$= \frac{0,07779 \times 0,006701}{0,68679}$$

$$= 0,00076$$

$$c_2 = B - 1$$

$$= 0,00076 - 1$$

$$= -0,99924$$

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

$$= 0,01117 - 2 \times 0,00076 - 3 \times 0,00076^2$$

$$= 0,00965$$

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

$$= 0,01117 \times 0,00076 - 0,00076^2 - 0,00076^3$$

$$= 0,00001$$

h) Determinan persamaan keadaan Peng Robinson

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

$$= \frac{3 \times (-0,99924) - 0,00965^2}{3}$$

$$= -0,99927$$

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{2c_2^3 - 9c_2c_1 + 27c_0}{27} \\
 &= \frac{2(-0,99924)^3 - 9(-0,99924)(0,00965) + 27(0,00001)}{27} \\
 &= 0,07718 \\
 D &= \frac{K^3}{27} + \frac{L^2}{4} \\
 &= \frac{-0,99927^3}{27} + \frac{0,07718^2}{4} \\
 &= -0,03547
 \end{aligned}$$

i) Faktor kompresibilitas (Z)

$$\begin{aligned}
 \Phi &= \cos^{-1} \left(-\sqrt{\frac{L^2/4}{K^3/27}} \right) \\
 &= 1,36868 \\
 Z_1 &= 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos \Phi - \frac{c_2}{3} \\
 &= 0,56480 \\
 Z_2 &= 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos (\Phi + 120) - \frac{c_2}{3} \\
 &= -0,13481 \\
 Z_3 &= 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos (\Phi + 240) - \frac{c_2}{3} \\
 &= -0,66052
 \end{aligned}$$

Jadi, faktor kompresibilitas yang digunakan untuk menghitung jumlah mol gas pada menit ke-600 dengan temperatur *cooling bath* 273 K adalah 0,56480. 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

$$\begin{aligned}
 y_{p=600} &= (6,6855x + 80,567)/1000000 \\
 &= (6,6855 \cdot 0,18 + 80,567)/1000000 \\
 &= 0,00009260 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

k) Perhitungan Jumlah Mol Gas

$$\begin{aligned}
 n_{t=600} &= \frac{P_{t=600} \cdot V}{Z \cdot R \cdot T} \\
 &= \frac{0,270 \times 10^6 \times 0,00009260}{0,56480 \times 8,31447 \times 273} \\
 &= 0,00173 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

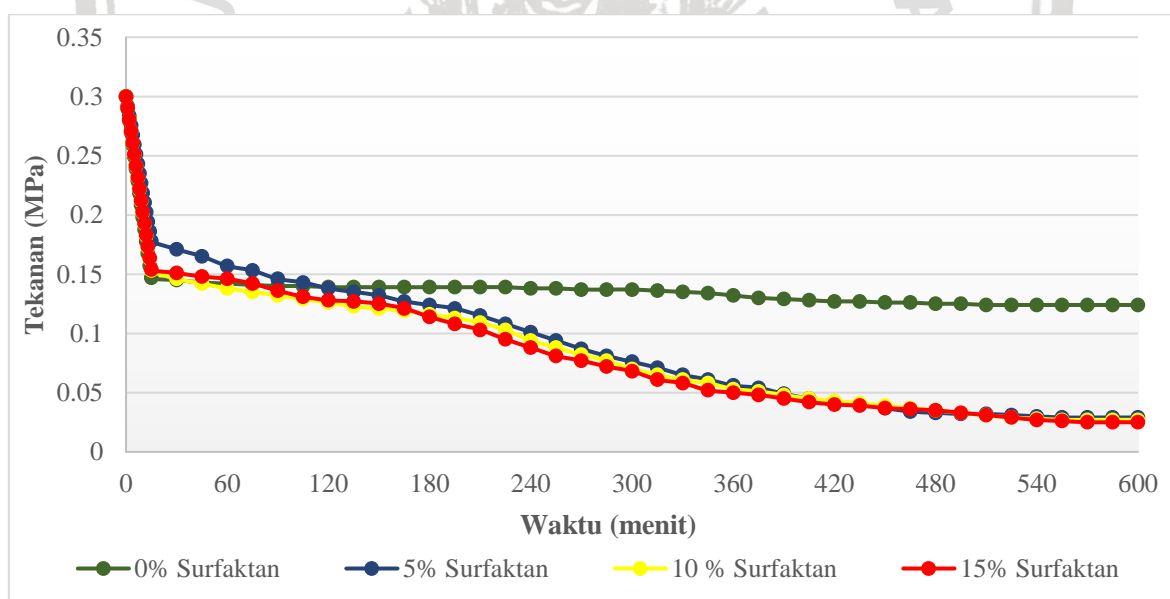
l) Perhitungan Konsumsi Gas Pada Hidrat

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 :

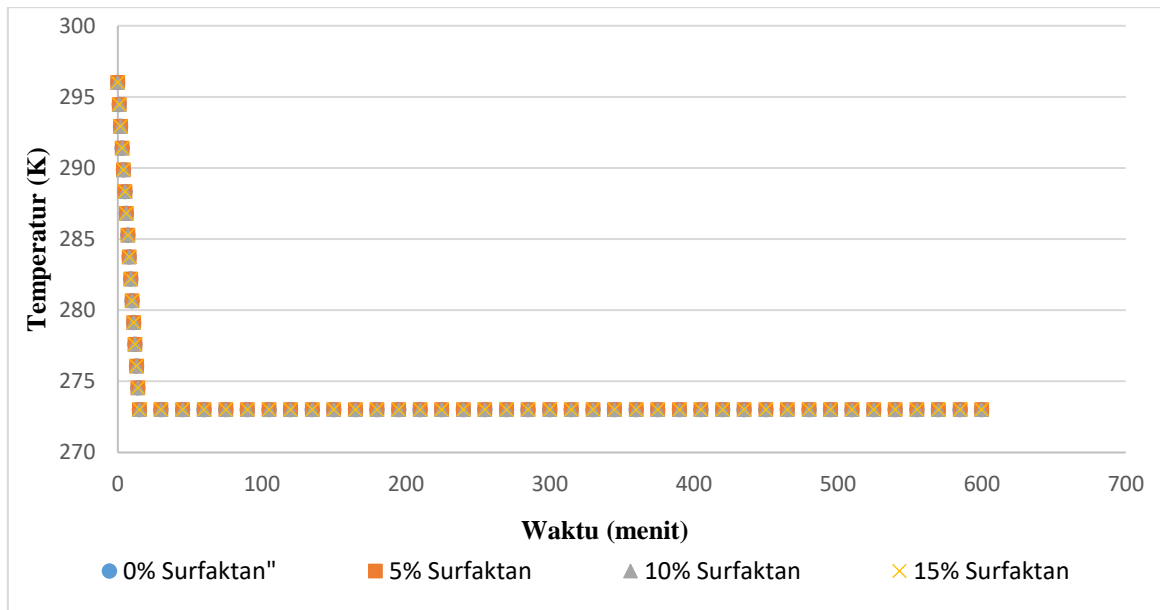
$$\begin{aligned}
 N_{t=600} &= n_{t=0} - n_{t=600} \\
 &= 0,02032 - 0,00173 \\
 &= 0,01859 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

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



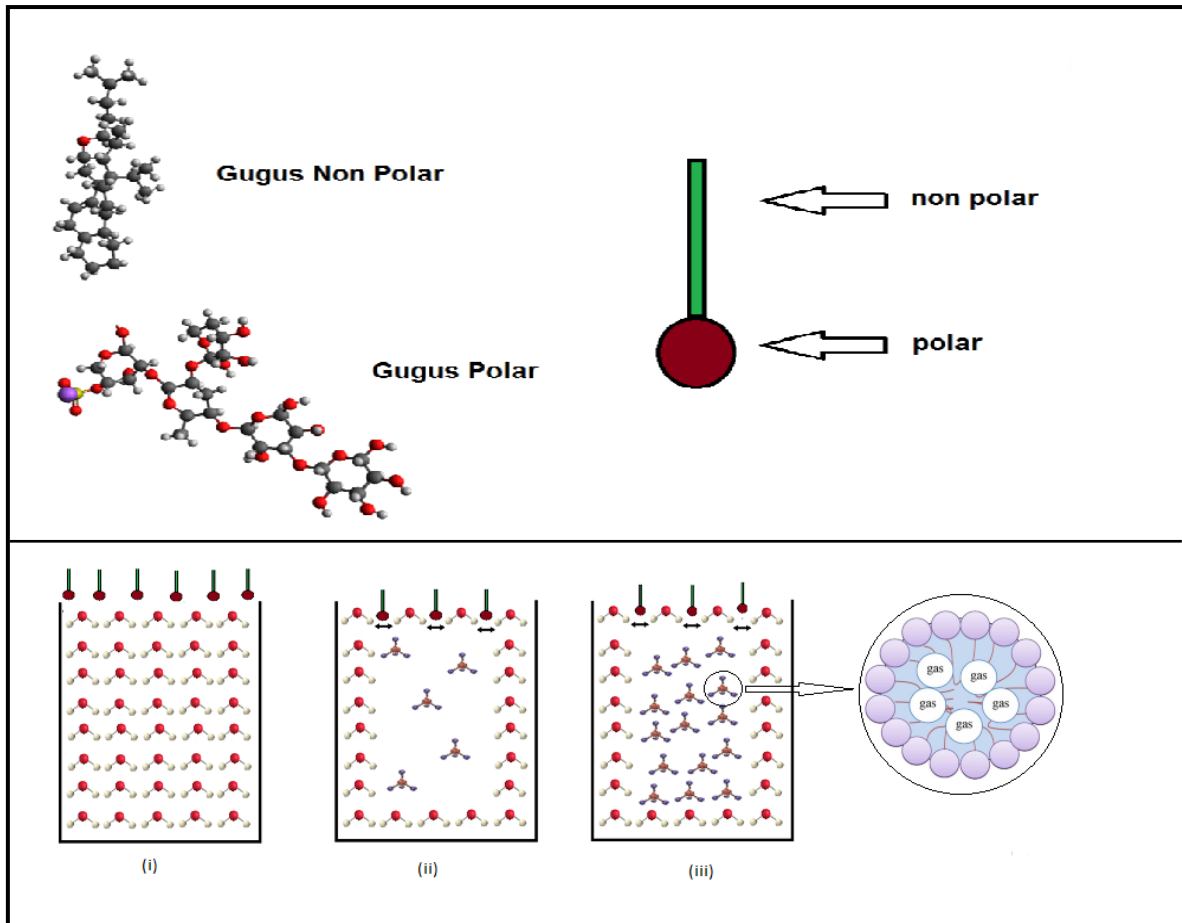
Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Temperatur Terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana

Pada Gambar 4.1 menunjukkan grafik hubungan antara tekanan terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana. Dalam grafik tersebut tekanan hidrat menunjukkan tekanan gas yang tersimpan dalam crystallizer di proses laju pembentukan dengan temperatur yang sama dan variasi penambahan surfaktan. Sedangkan Gambar 4.2 menjelaskan tentang grafik hubungan antara temperatur terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana. Temperatur awal proses laju pembentukan pada penelitian ini sebesar 297 K dengan tekanan awal 0,3 MPa dengan kondisi pada setiap variasi penambahan surfaktan, temperatur gas awalnya sama.

Pengaruh variasi penambahan surfaktan yang berbeda-beda menyebabkan tekanan pembentukan hidratnya berbeda pula pada setiap variasinya. Pada variasi 0% surfaktan tekanan terakhir pada laju pembentukan adalah 0,124 MPa. Variasi 5% surfaktan tekanan terakhir pada laju pembentukan adalah 0,029 MPa. Variasi 10% surfaktan tekanan terakhir pada laju pembentukan adalah 0,027 MPa. Variasi 15% surfaktan tekanan terakhir pada laju pembentukan adalah 0,025 MPa.

Pada grafik hubungan antara tekanan dan waktu pembentukan hidrat menunjukkan bahwa pada semua variasi data nilai tekanan awal akan turun secara drastis dan kemudian turun secara linier. Kemudian tekanan akan turun secara berbeda sesuai dengan variasi penambahan surfaktan dengan waktu yang cukup lama. Terjadi perbedaan yang signifikan pada variasi penambahan surfaktan 5 sampai 15%, pada grafik terlihat bahwa tekanan yang ada pada sistem memiliki tekanan akhir yang berbeda dibandingkan dengan tanpa surfaktan.

Hal ini dikarenakan tegangan permukaan pada air menurun yang disebabkan adanya surfaktan yang menurunkan tegangan permukaan. Hal ini membuat gas yang terlarut kedalam air semakin banyak dan tekanan pada sistem menjadi turun.



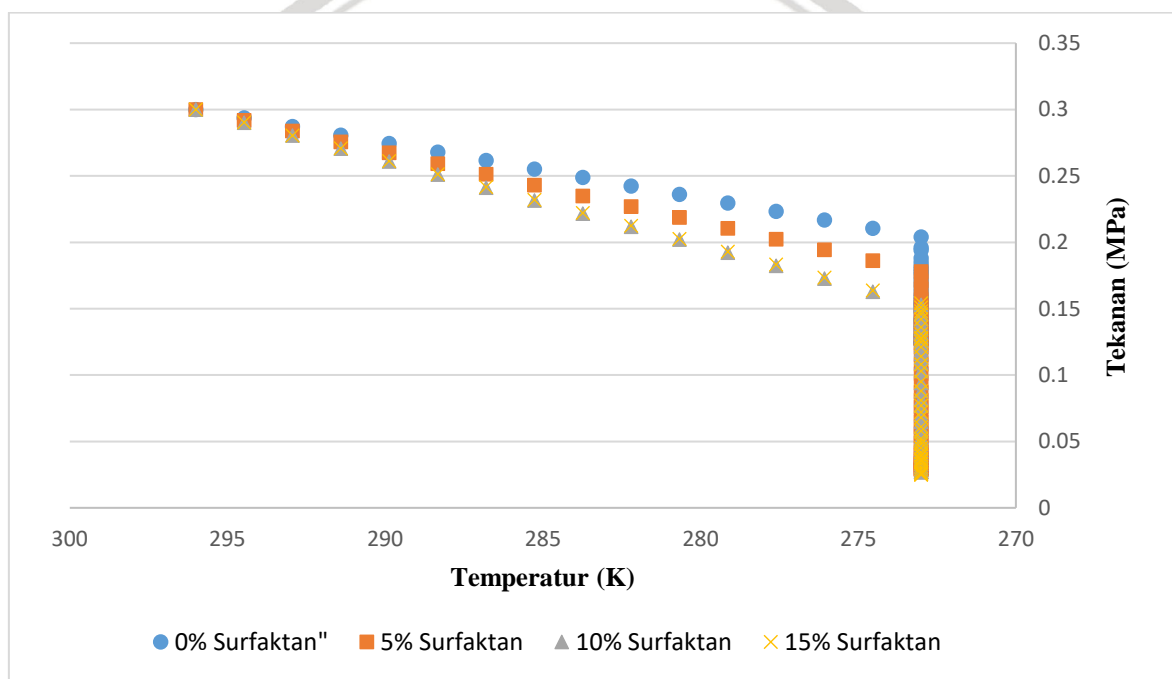
Gambar 4.3 Proses Pembentukan Hidrat Gas Alam

Pada Gambar 4.3 menunjukkan proses kinetika pembentukan hidrat gas alam. Dimana warna merah menunjukkan atom oksigen, warna putih dan ungu menunjukkan atom hidrogen, warna coklat menunjukkan atom karbon. Proses kinetika diatas menunjukkan proses yang terjadi pada Gambar 4.1, dengan langkah-langkah seperti berikut ini:

- i. Pada kondisi pertama, gas campuran propana butana terletak diatas permukaan air. Surfaktan berada diatas permukaan air untuk menurunkan tegangan permukaan. Kemudian sistem mendapatkan gaya dan mengalami penurunan temperatur *cooling bath*. Yang menyebabkan tekanan sistem mengalami penurunan secara drastis. Hal ini disebabkan oleh akan masuknya inti hidrat kedalam ringga yang terbentuk dari molekul air.

- ii. Pada kondisi kedua, surfaktan yang memiliki senyawa polar masuk kedalam air yang menyebabkan rongga antar molekul air semakin besar sehingga gas yang masuk akan lebih mudah. Inti hidrat sudah mulai terbentuk dengan ditandai penurunan temperatur dan diikuti dengan turunnya tekanan. Wujud dalam fase ini masih berwujud gas dan air.
- iii. Pada kondisi ketiga, inti hidrat sudah hampir sempurna dan gas yang masuk diantara rongga molekul air mulai menarik molekul gas campuran propana butana. Proses ini berakhir ketika tekanan pada sistem tidak terjadi penurunan tekanan.

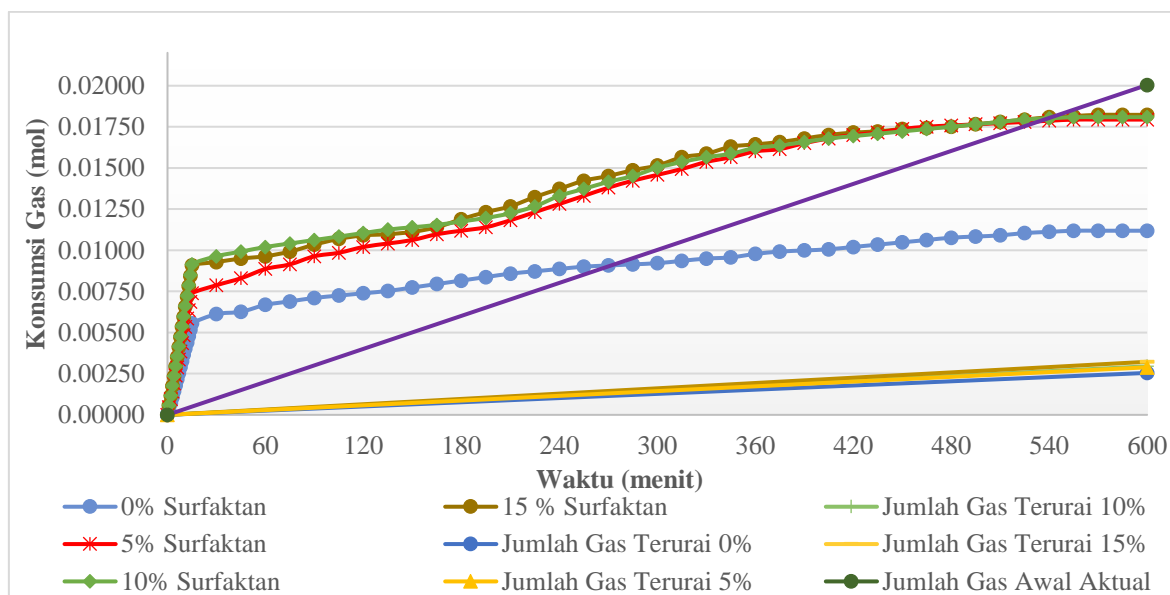
- b. Analisa Grafik Hubungan antara tekanan terhadap Temperatur Pembentukan Hidrat Propana Butana



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Tekanan Terhadap Temperatur Pembentukan Hidrat Propana Butana

Pada Gambar 4.4 menunjukkan grafik hubungan antara tekanan terhadap temperatur pembentukan hidrat gas propana butana pada variasi penambahan surfaktan dengan tekanan pembentukan 0,3 MPa. Pada variasi penambahan surfaktan temperatur *cooling bath* dijaga tetap pada temperatur 273 K sehingga untuk keseluruhan variasi memiliki nilai temperatur yang sama dan tekanan yang berbeda disetiap variasinya.

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



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Jumlah Konsumsi Gas terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana

Gambar 4.5 menunjukkan grafik hubungan antara jumlah konsumsi gas terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana pada variasi penambahan surfaktan yang berbeda-beda yaitu, 0%, 5%, 10% dan 15%. Jumlah konsumsi gas merupakan jumlah gas yang terbentuk menjadi hidrat pada proses pembentukan. Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa jumlah konsumsi gas tertinggi terjadi pada variasi penambahan surfaktan 15%, sedangkan untuk jumlah konsumsi gas terendah terjadi pada variasi 0% surfaktan. Hal ini disebabkan dengan penambahan surfaktan dalam air dapat menurunkan tegangan permukaan yang menjadikan gas dapat masuk dengan mudah kedalam air.

Dengan menurunnya tegangan permukaan maka konsumsi gas semakin besar. Faktor lain yang menyebabkan konsumsi semakin besar yaitu 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 saat hidrat telah terbentuk, kemudian dibiarkan pada temperatur *cooling bath* sebesar 268K tanpa menyalakan motor pengaduk selama 5 jam. Kemudian jumlah mol yang didapatkan adalah jumlah gas yang terurai dari hidrat yang sudah terbentuk. Contoh perhitungan diambil dari variasi sufaktan 10% dengan temperatur *cooling bath* 273K pada stabilitas gas hidrat propana butana saat menit ke 300.

a) Perhitungan Faktor Kompresibilitas

Diketahui :

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

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

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

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

$$\text{Tekanan disosiasi hidrat pada } t = 300 (p_{t=300}) = 0,01 \text{ bar} = 0.001 \text{ MPa}$$

$$\text{Temperatur dalam } \textit{cryztallizer} \text{ pada saat } t = 300 (T_{t=300}) = 268 \text{ K}$$

a) Nilai P_c

$$p_c = \frac{P_{c, \text{Propana}} + P_{c, \text{n-Butana}}}{2}$$

$$= \frac{4,26 + 3,8}{2}$$

$$= 4,025 \text{ MPa}$$

b) Nilai P_r

$$p_r = \frac{p_{t=300}}{p_c}$$

$$= \frac{0,01 \times 10^5}{4.025}$$

$$= 0,00025$$

c) Nilai T_{cr}

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

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

$$= 397,5 \text{ K}$$

d) Nilai T_r

$$\begin{aligned} T_r &= \frac{T_{t=300}}{T_c} \\ &= \frac{268}{397,5} \\ &= 0,67421 \end{aligned}$$

e) Faktor asentrik (ω)

$$\begin{aligned} \omega &= -1 - \log p_r \\ &= -1 - \log 0,00025 \\ &= 2,60477 \end{aligned}$$

f) Koefisien yang dipengaruhi p_r dan T_r (α)

$$\begin{aligned} \alpha &= \{1 + (0,37464 + 1,54226\omega - 0,2699\omega^2)(1 - T_r^{0.5})\}^2 \\ &= \{1 + (0,37464 + 1,54226 \cdot 2,60477 - 0,2699 \cdot 2,60477^2)(1 - 0,67421^{0.5})\}^2 \\ &= 2,12602 \end{aligned}$$

g) Konstanta Persamaan keadaan Peng Robinson

$$\begin{aligned} A &= \frac{\Omega_a \alpha p_r}{T_r^2}; \Omega_a = 0,45724 \\ &= \frac{0,45724 \times 2,12602 \times 0,00025}{0,67421^2} \\ &= 0,00053 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \frac{\Omega_b p_r}{T_r}; \Omega_b = 0,07779 \\ &= \frac{0,07779 \times 0,00025}{0,67421} \\ &= 0,00003 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_2 &= B - 1 \\ &= 0,00003 - 1 \\ &= -0,99997 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_1 &= A - 2B - 3B^2 \\ &= 0,00053 - 2 \times 0,00003 - 3 \times 0,00003^2 \\ &= 0,00047 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_0 &= AB - B^2 - B^3 \\ &= 0,00053 \times 0,00003 - 0,00003^2 - 0,00003^3 \\ &= 0 \end{aligned}$$

h) Determinan persamaan keadaan Peng Robinson

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{3c_2 - c_1^2}{3} \\
 &= \frac{3 \times (-0,99997) - 0,00047^2}{3} \\
 &= -0,99997 \\
 L &= \frac{2c_2^3 - 9c_2c_1 + 27c_0}{27} \\
 &= \frac{2(-0,99997)^3 - 9(-0,99997)(0,00047) + 27(0)}{27} \\
 &= 0,07423 \\
 D &= \frac{K^3}{27} + \frac{L^2}{4} \\
 &= \frac{-0,99997^3}{27} + \frac{0,07423^2}{4} \\
 &= -0,03566
 \end{aligned}$$

i) Faktor kompresibilitas (Z)

$$\begin{aligned}
 \Phi &= \cos^{-1} \left(-\sqrt{\frac{L^2/4}{K^3/27}} \right) \\
 &= 1,37672 \\
 Z_1 &= 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos \Phi - \frac{c_2}{3} \\
 &= 0,55601 \\
 Z_2 &= 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos (\Phi + 120) - \frac{c_2}{3} \\
 &= -0,14320 \\
 Z_3 &= 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos (\Phi + 240) - \frac{c_2}{3} \\
 &= -0,66532
 \end{aligned}$$

Jadi, faktor kompresibilitas yang digunakan untuk menghitung mol gas terurai pada menit ke-300 temperatur *cooling bath* 271 K adalah 0,55601. Untuk nilai faktor kompresibilitas data pada setiap 15 menit hanya mengganti nilai $p_{t=300}$ dengan p pada waktu tersebut.

j) Perhitungan Jumlah Volume Gas

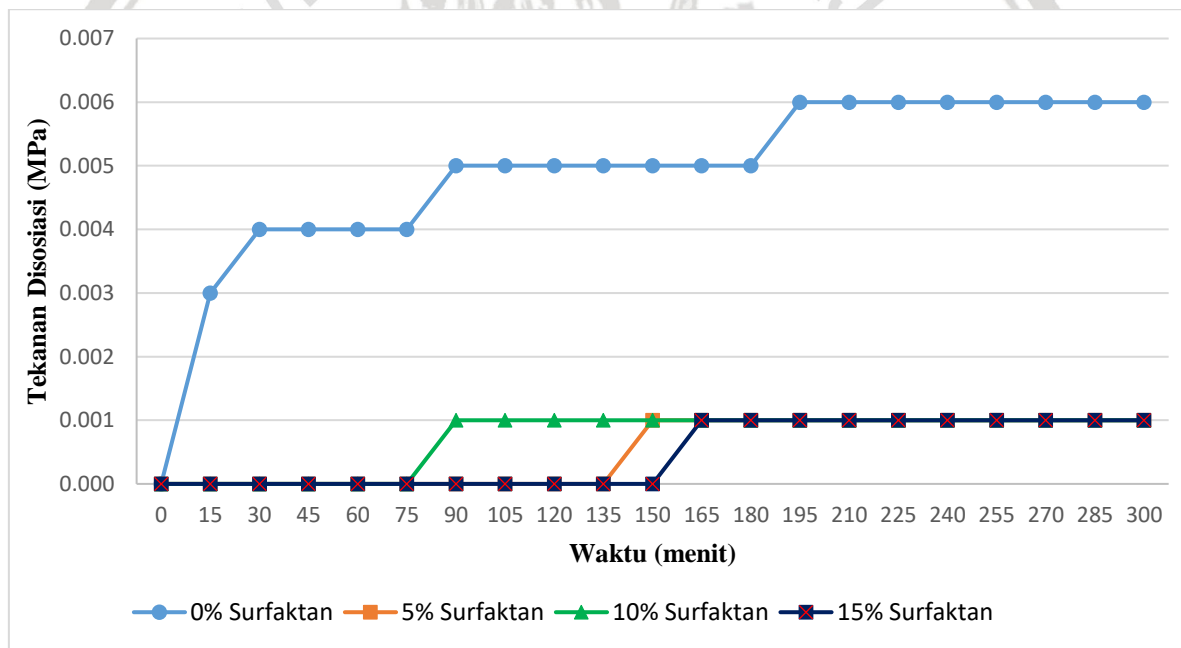
$$\begin{aligned} y_{p=300} &= (6,6855x + 80,567)/1000000 \\ &= (6,6855 \cdot 0,01 + 80,567)/1000000 \\ &= 0,00008077 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

k) Perhitungan Jumlah Mol Gas

$$\begin{aligned} n_{t=300} &= \frac{P_{t=300} \cdot V}{Z \cdot R \cdot T} \\ &= \frac{0,03 \times 10^6 \times 0,00008077}{0,55683 \times 8,31447 \times 271} \\ &= 0,00007 \text{ mol} \end{aligned}$$

4.2.2.2 Pembahasan

a. Analisa Grafik Hubungan Antara Tekanan Disosiasi Gas Hidrat Propana Butana Terhadap Waktu Stabilitas



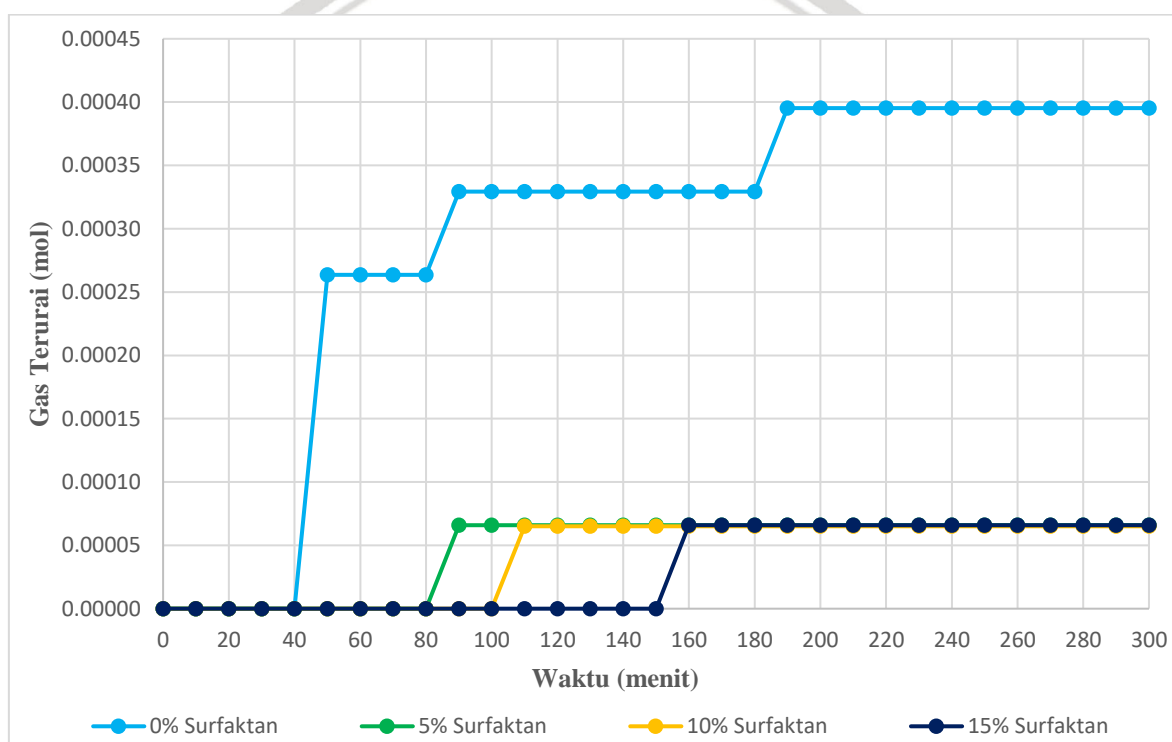
Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara Tekanan Disosiasi Hidrat Propana Butana Terhadap Waktu Stabilitas Hidrat

Pada Gambar 4.6 menjelaskan tentang hubungan antara tekanan disosiasi pada gas hidrat propana butana terhadap waktu stabilitas. Tekanan disosiasi merupakan tekanan penguraian dari gas hidrat. Penguraian hidrat adalah salah satu proses endotermik yang

membutuhkan panas dari luar sistem untuk memecahkan ikatan hidrogen antara molekul air untuk menguraikan hidrat menjadi gas dan air.

Tingkat stabilitas dari gas hidrat propana butana akan dipengaruhi oleh seberapa besar tekanan gas yang mengurai pada sistem. Semakin besar nilai tekanan disosiasi maka semakin kecil tingkat stabilitas pada hidrat. Dari Gambar 4.6 bahwa tekanan disosiasi yang lebih stabil yaitu pada variasi penambahan surfaktan 15%, sedangkan yang paling tidak stabil yaitu pada variasi penambahan surfaktan 0%.

b. Analisa Grafik Hubungan Antara Jumlah Gas Terurai Terhadap Waktu Stabilitas Hidrat Propana Butana



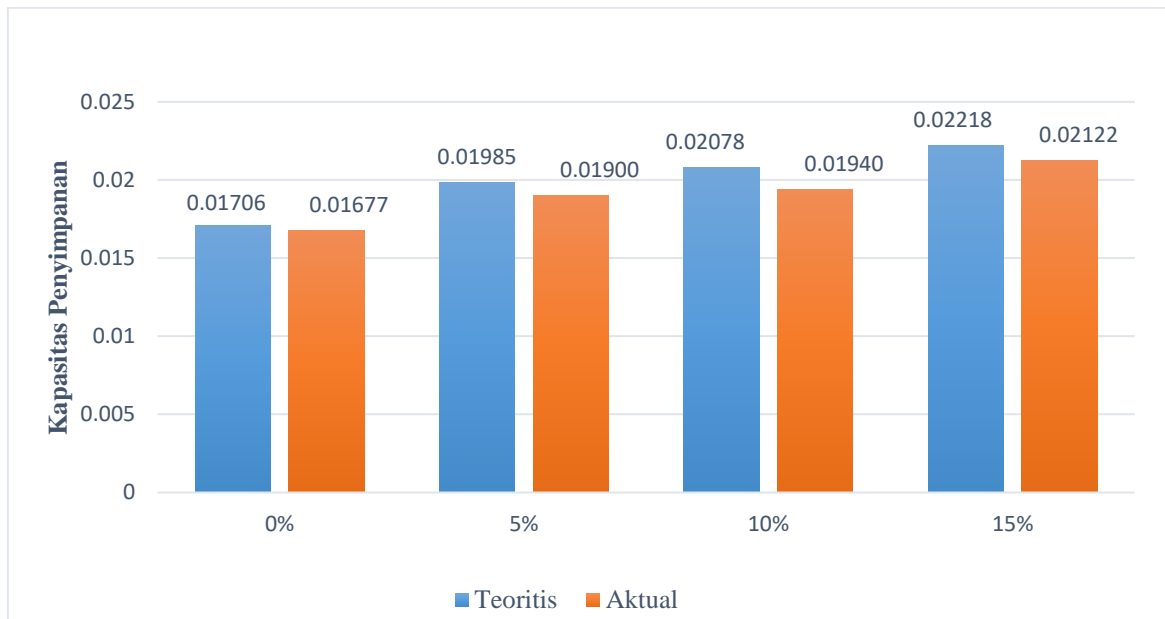
Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara Gas Terurai Hidrat Propana Butana Terhadap Waktu Stabilitas Hidrat

Pada Gambar 4.7 menunjukkan grafik hubungan antara gas terurai hidrat propana butana terhadap waktu stabilitas. Stabilitas hidrat adalah kemampuan hidrat untuk dapat mempertahankan struktur hidrat itu sendiri, sehingga tidak terjadi dekomposisi menjadi gas dan air.

Stabilitas hidrat dilakukan setelah hidrat sudah terbentuk menjadi fase kristal, kemudian hidrat disimpan dalam sistem selama 5 jam dengan temperatur pada cooling bath 268 K. setiap kenaikan temperatur dan tekanan maka akan didapatkan jumlah mol gas yang terurai

dari hidrat. Didapatkan data bahwa pada variasi penambahan surfaktan 15% memiliki nilai stabilitas yang terbaik. Hal ini disebabkan waktu yang dibutuhkan untuk mengdekomposisi hidrat lebih lama, dikarenakan lapisan es yang ada disekitar inti kristal sangat kuat. sehingga membuat kristal hidrat semakin sulit untuk terurai menjadi gas dan air.

4.2.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat



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 pada variasi penambahan surfaktan 0%, 5%, 10% dan 15%. 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 ruang 297 K dengan volume gas campuran propana butana. Kapasitas penyimpanan hidrat teoritis tertinggi ada pada variasi penambahan surfaktan 15% dengan nilai sebesar 0.02122 V/V. Ini terjadi karena semakin besar temperatur *cooling bath* maka perpindahan panas dari *cooling bath* ke system akan semakin lama, dengan semakin lamanya perpindahan panas maka banyaknya gas yang dikonsumsi akan semakin besar pula. Sehingga apabila gas yang dikonsumsi oleh hidrat semakin besar maka akan menyebabkan kapasitas penyimpanan hidrat semakin besar.

Perbedaan nilai kapasitas penyimpanan hidrat teoritis dan aktual terlihat pada Gambar 4.8. 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*.

4.2.3.1 Contoh Perhitungan

Penelitian kapasitas penyimpanan hidrat dilakukan setelah selesai melakukan pengujian stabilitas hidrat, dengan cara mendinginkan *crystallizer* hingga temperatur di dalamnya mencapai temperatur ruang 296K. Contoh perhitungan diambil dari variasi penambahan surfaktan 10% dengan *cooling bath* temperatur 273 K pada kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana yang mencapai temperatur 296 K. Kapasitas penyimpanan hidrat yang dihitung adalah volume gas yang terdekomposisi hingga temperatur ruangan dengan volume gas hidrat secara teoritis dengan volume air 50 cm³.

- Perhitungan Massa Air

$$\begin{aligned} m_w &= \rho V \\ m_w &= 1 \text{ gr/cm}^3 \times 50 \text{ cm}^3 \\ &= 50 \text{ gr} \end{aligned}$$

- Perhitungan mol air (H₂O)

$$\begin{aligned} n_w &= \frac{m_w}{Mr(H_2O)} \\ &= \frac{50}{18} \\ &= 2.78 \text{ mol} \end{aligned}$$

- Perhitungan massa maksimum dari gas propana butana yang dapat menjadi hidrat secara teoritis menggunakan massa air seberat 50 gr.

$$\begin{aligned} m_g &= m_w \times 15,5 \% \\ &= 50 \text{ gr} \times 0,155 \\ &= 7,75 \text{ gr} \end{aligned}$$

- Perhitungan mol gas maksimum dari gas propana butana yang bias menjadi hidrat secara teoritis menggunakan massa air seberat 50 gr.

$$\begin{aligned} n_{max} &= \frac{m_g}{M_r(LPG)} \\ &= \frac{7,75}{51} \\ &= 0,15196 \text{ mol} \end{aligned}$$

- Perhitungan volume maksimum gas hidrat propana butana pada kondisi STP

$$\begin{aligned} V_{max} &= \frac{n_{max} \cdot Z \cdot R \cdot T}{P_{STP}} \\ &= \frac{0,15196 \cdot 0,58365 \cdot 8,31446 \cdot 273}{10^5} \\ &= 0,002013174 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} PV &= n Z R T \\ n_{aktual} &= \frac{P \cdot V}{Z R T} \\ &= \frac{0,46 \cdot 10^5 \cdot 0,0001}{0,5610 \cdot 8,31446 \cdot 296} \\ &= 0,00316 \text{ mol} \end{aligned}$$

- Perhitungan volume actual gas hidrat propana butana pada kondisi STP

$$\begin{aligned} V_{aktual} &= \frac{n_{aktual} \cdot Z R T}{P_{STP}} \\ &= \frac{0,00316 \cdot 0,58365 \cdot 8,31446 \cdot 273}{10^5} \\ &= 0,000039967 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Perhitungan kapasitas penyimpanan actual gas hidrat propana butana

$$\begin{aligned} Kp_{aktual} &= \frac{V_{aktual}}{V_{max}} \\ &= \frac{0,000039967}{0,002013174} \\ &= 0,019852794 \text{ V/V} \end{aligned}$$

- 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 9.6 detik. Maka molnya adalah :

$$\begin{aligned} n_f &= \left[\left(\frac{t}{60} \times D \right) \cdot \rho_{el\pi i} \right] / Mr_{el\pi i} \\ &= \left[\left(\frac{9,6}{60} \times 0,42 \right) \cdot 2,245 \right] / 51 \\ &= 0.00289 \text{ mol} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_f &= \frac{n_f \cdot Z \cdot R \cdot T}{P_{STP}} \\ &= \frac{0.00289 \cdot 0,58365 \cdot 8,31446 \cdot 273}{10^5} \\ &= 0.000038245 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Perhitungan kapasitas penyimpanan actual gas hidrat propana butana menggunakan flowmeter

$$\begin{aligned} Kp_f &= \frac{V_f}{V_{max}} \\ &= \frac{0.000038245}{0,002013174} \\ &= 0.018997449 \text{ V/V} \end{aligned}$$

4.3 Validasi Konsumsi Mol Gas Teoritis Perhitungan

Tahap validasi dimaksudkan untuk mendapatkan nilai konsumsi mol gas actual 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 dibawah ini.

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

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

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

(Widya Wijayanti, 2017)

Dimana:

dn = perubahan mol (mol)

dt = perubahan waktu (menit)

k = konstanta laju pembentukan hidrat (mol/menit)

n_o = mol terkonsumsi sebelum proses pembentukan (mol)

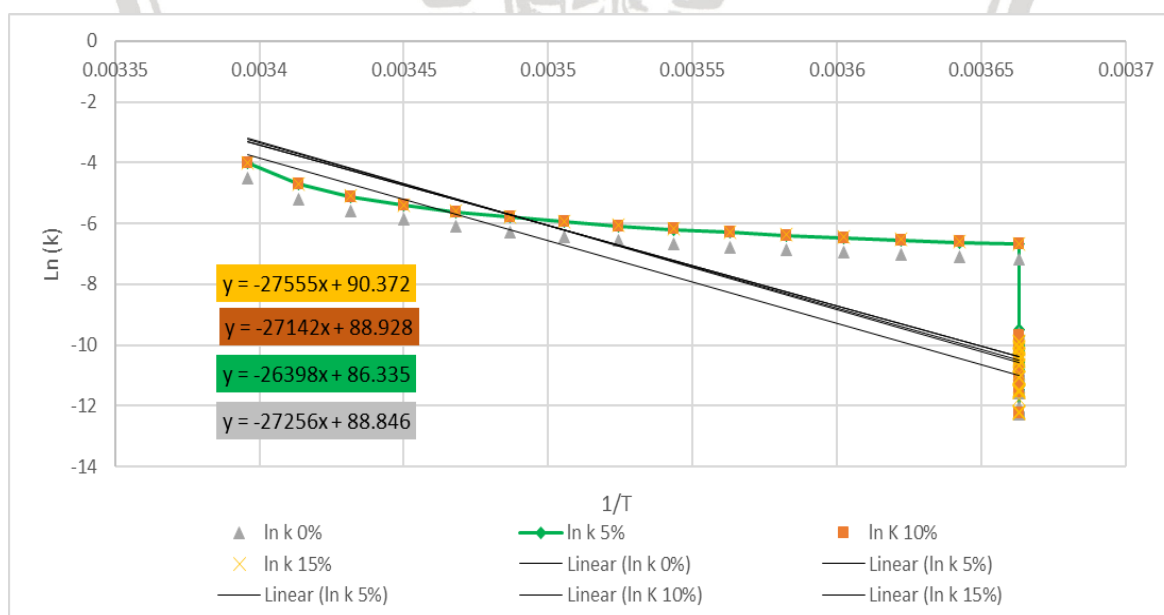
n_t = mol terkonsumsi waktu tertentu pada proses pembentukan (mol)

n_{max} = mol terkonsumsi akhir proses pembentukan (mol)

A, B = konstanta

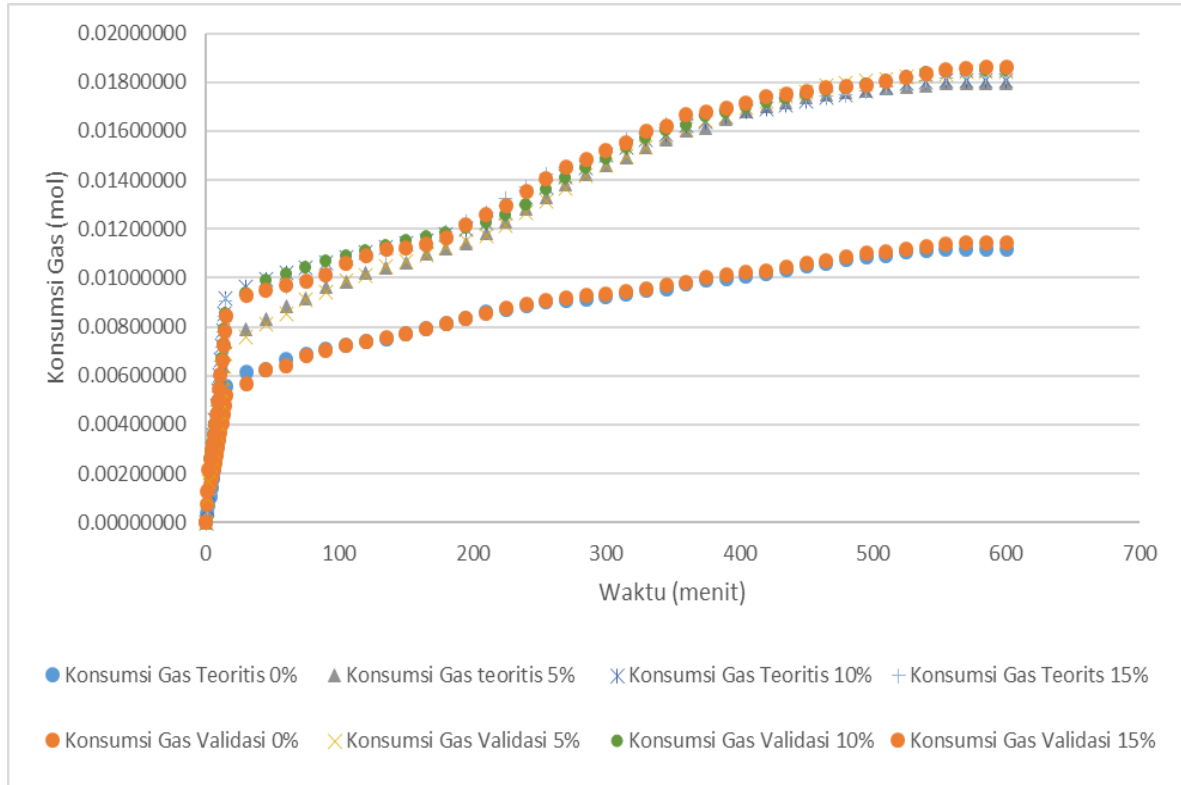
T = temperature *crystallizer* (K)

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 $k_{universal}$. Dengan Persamaan Arrhenius (Persamaan 4.2), dapat diasumsikan nilai $k_{universal}$ 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 $k_{universal}$ kita dapat menurunkan Persamaan 4.5 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 4.9.



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 grafik



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 actual seperti pada Gambar 4.10. Untuk memperoleh nilai mol actual tiap menitnya, digunakan Persamaan 4.4 dan 4.5.

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

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

(Widya Wijayanti, 2017)

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 actual 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 4.12 kembali, yang menjelaskan hubungan antara jumlah mol gas awal proses dengan jumlah mol gas yang terurai dapat kita peroleh persamaan berikut:

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

(Widya Wijayanti, 2017)

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 4.6 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). Adapun nilai konsumsi gas secara teoritis dari masing-masing kadar surfaktan adalah sebagai berikut: 0% surfaktan nilai konsumsi gas teoritis nya sebesar 0.01119 mol. 5% surfaktan nilai konsumsi gas teoritis nya sebesar 0.01794 mol. 10% surfaktan nilai konsumsi gas teoritis nya sebesar 0.01809 mol. 15% surfaktan nilai konsumsi gas teoritis nya sebesar 0.01823 mol. Sedangkan nilai konsumsi gas aktual pada masing-masing temperatur pembentukan adalah sebagai berikut: 0% surfaktan nilai konsumsi gas aktual nya sebesar 0.01144 mol. 5% surfaktan nilai konsumsi gas aktual nya sebesar 0.01841 mol. 10% surfaktan nilai konsumsi gas aktual nya sebesar 0.01850 mol. 15% surfaktan nilai konsumsi gas aktual nya sebesar 0.01863 mol.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian “pengaruh penambahan surfaktan ekstrak buah lerak (sapindus rarak) terhadap karakteristik hidrat propana butana pada tekanan 3 bar” adalah sebagai berikut :

1. Pada variasi penambahan surfaktan pembentukan hidrat propana butana pada tekanan pembentukan yang sama, semakin banyak penambahan surfaktan ekstrak buah lerak pada proses pembentukan hidrat laju pembentukan hidrat gas campuran propana butana yang didapat akan lebih cepat apabila dibandingkan dengan hidrat tanpa surfaktan, dan proses untuk hidrat tersebut terbentuk akan lebih cepat pula. Selain itu, pada variasi penambahan surfaktan maka stabilitas hidrat kemampuan hidrat untuk dapat mempertahankan struktur hidrat akan lebih baik, apabila dibandingkan dengan hidrat tanpa menggunakan surfaktan.
2. Pada variasi penambahan surfaktan semakin tinggi kadar surfaktannya maka nilai kapasitas penyimpanan hidrat gas campuran propana butana akan semakin besar, sedangkan pada variasi tanpa penambahan surfaktan nilai kapasitas penyimpanannya akan lebih kecil nilai kapasitasnya.
3. Pada saat proses laju pembentukan jumlah mol gas yang dikonsumsi akan lebih besar pada variasi penambahan surfaktan dibandingkan dengan hidrat tanpa penambahan surfaktan pada hidrat gas campuran propana butana dengan tekanan yang sama.

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 lebih lanjut mengenai karakteristik hidrat agar bisa mengetahui karakteristik terbaik dalam pembentukan hidrat.
2. Perlu dilakukannya penelitian yang lebih lanjut tentang karakteristik pembentukan hidrat dengan menggunakan gas alam yang lain sebagai gas penyusun.
3. Perlu dilakukannya penelitian yang lebih lanjut tentang karakteristik pembentukan hidrat dengan menggunakan surfaktan yang lain sebagai promotor.