repository.ub.ac.id

PENGARUH PENAMBAHAN SURFAKTAN EKSTRAK BUAH LERAK (*Sapindus rarak*) TERHADAP KARAKTERISTIK HIDRAT GAS CAMPURAN PROPANA DAN BUTANA PADA TEKANAN 0,2 MPA

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

AHMAD ZAKY
NIM. 145060201111083

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN SURFAKTAN EKSTRAK BUAH LERAK (*Sapindus rarak*) TERHADAP KARAKTERISTIK HIDRAT GAS CAMPURAN PROPANA DAN BUTANA PADA TEKANAN 0,2 MPA

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

AHMAD ZAKY
NIM. 145060201111083

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

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

JUDUL SKRIPSI :

Pengaruh Penambahan Surfaktan Ekstrak Buah Lerak (*Sapindus rarak*) terhadap Karakteristik Hidrat Gas Campuran Propana dan Butana pada Tekanan 0,2 MPa.

Nama Mahasiswa	: Ahmad Zaky
NIM	: 145060201111083
Program Studi	: Teknik Mesin
Konsentrasi	: Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

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

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1	: Prof. Ir. Sudjito, Ph.D.
Dosen Penguji 2	: Ir. Ari Wahjudi, MT.
Dosen Penguji 3	: Khairul Anam, ST., M.Sc.

Tanggal Ujian	: 11 Desember 2018
SK Penguji	: 2787/UN10.F07/SK/2018

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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

Malang, 28 Desember 2018

Mahasiswa,

Ahmad Zaky

NIM. 145060201111083

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

TURNITIN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 171/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

AHMAD ZAKY

Dengan Judul Skripsi :

PENGARUH PENAMBAHAN SURFAKTAN EKSTRAK BUAH LERAK (*SAPINDUS RARAK*) TERHADAP KARAKTERISTIK HIDRAT GAS CAMPURAN PROPANA DAN BUTANA PADA TEKANAN 0.2 MPA

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi ≤ 20 %, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 19 DEC 2018

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

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

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

Segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala Tuhan Semesta Alam,

atas terselesaikannya sebuah karya kecil ini,

untuk Abi dan Umi tercinta:

Irwan Susanto & Rainy Suryaningrum

~ Yakik ~

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

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 Gas Campuran Propana dan Butana pada Tekanan 0,2 MPa"**, yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

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

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
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 motivasi kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Ir. Sudjito, Ph.D. dan Bapak Redi Bintarto, ST., M.Eng.Pract. selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan dan motivasi dalam menempuh perkuliahan.
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 memfasilitasi sekaligus memberi banyak nasihat bagi penulis selama di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin.
8. Abi, Irwan Susanto, dan Umi, Rainy Suryaningrum, yang telah dan selalu memberikan segalanya, terutama do'a kepada penulis.
9. Adikku, Fauzan Abdurrahim, yang penulis sayangi dan banggakan.
10. Rekan-rekan "*Hydrate Squad*" , yakni Evan Dwi Cahyo, Satrio Bagus Pudjiyanto, dan Rizky Oktama Triyatma Aji, yang telah bekerja sama dengan baik dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis tak bisa sejauh ini tanpa kalian semua.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

11. *The one and only*, Keluarga Besar Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, yakni Mas Irul (M'11), Mas Janwar, Mas Gede, Mas Ragang, Mas Indra, Mbak Endang (M'12), Mas Naufal, Mas Rezza, Mas Bayu, Mas Unggar, Mbak Ayu (M'13), Putri, Bara, Satrio, TA (M'14), Dono, Arul, Ilham, Monik, Natasha (M'15), Rizalul, Erlangga, Naufal, Ipay, Ifada (M'16), Putu, dan Nando (M'17) yang telah menjadi teladan bagi penulis, memberi kepercayaan kepada penulis, sahabat yang selalu ada untuk penulis, dan yang paling penulis sayangi dan banggakan. Bisa bersama FDM dan kalian semua adalah takdir terindah bagi penulis. "*The Foundation Defines How Tall The Building Is*"!
12. Rekan-rekan Departemen Keilmuan HMM FT-UB yang telah bekerja bersama-sama, dalam bidang yang sama, untuk tujuan yang sama demi kemajuan Mahasiswa Mesin.
13. Rekan-rekan seperjuangan "MAF14" yang telah menjadi keluarga dan sudah berbagi banyak suka dan duka bersama penulis dari awal masuk kuliah sampai lulus, dan begitu seterusnya. "Tekad Ini Satukan Kami, Sampek Mati Tak Belani"!
14. Rekan-rekan dari Departemen Ristek HMM FT-UB, Lab. Motor Bakar, Lab. Proses Manufaktur I, Lab. Pengecoran Logam, dan Lab. Komposit yang telah sedikit membantu, namun berdampak besar bagi kelancaran skripsi kami.
15. David Simanungkalit (M'15) dan Benhar Tenriano (M'16), dua orang yang tidak bisa penulis lewatkan karena penulis bangga dan bersyukur bisa mengenal kalian.
16. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
17. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang juga telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi, baik secara langsung maupun tidak langsung.

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, 28 Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

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 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Penelitian Sebelumnya 5
2.2 Hidrat Gas Alam 5
2.3 Gas Alam 7
2.3.1 Gas Propana 8
2.3.2 Gas Butana 9
2.3.3 *Liquified Petroleum Gas* 9
2.4 Ikatan Hidrogen 10
2.5 Tegangan Permukaan 11
2.6 Surfaktan 13
2.7 Lerak 15
2.8 Saponin 16
2.9 Pembentukan Hidrat 17
2.10 Gas Ideal dan Teori Kinetika Molekul Gas 19
2.10.1 Gas Ideal 19
2.10.2 Persamaan Gas Ideal 19

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2.10.3 Persamaan Gas Nyata 20
2.10.4 Konsep Mol 26
2.11 Hipotesis 26

BAB III METODE PENELITIAN 27
3.1 Metode Penelitian 27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian 27
3.3 Variabel Penelitian 27
3.4 Alat dan Bahan Penelitian 28
3.4.1 Bahan Peneltian 28
3.4.2 Alat Penelitian 30
3.5 Instalasi Alat Penelitian 36
3.6 Prosedur Penelitian 37
3.6.1 Persiapan Penelitian 37
3.6.2 Pengambilan Data 38
3.6.2.1 Laju Pembentukan Hidrat 38
3.6.2.2 Penguraian Hidrat 38
3.6.2.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat 38
3.6.3 Pengolahan Data 38
3.7 Diagram Alir Penelitian 40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 41
4.1 Data Hasil Penelitian 41
4.1.1 Data Hasil Penelitian Laju Pembentukan Hidrat 41
4.1.2 Data Stabilitas Hidrat 42
4.1.3 Data Kapasitas Penyimpanan Hidrat 42
4.2 Contoh Perhitungan Data Hasil Penelitian 43
4.2.1 Perhitungan Laju Pembentukan Hidrat 43
4.2.2 Perhitungan Kapasitas Penyimpanan Hidrat 46
4.3 Pembahasan 49
4.3.1 Laju Pembentukan Hidrat 49
4.3.2 Stabilitas Hidrat 54
4.3.3 Kapasitas Hidrat 55
4.3.4 Validasi Data Konsumsi Mol Hidrat 56

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN ..... .61

5.1 Kesimpulan 61

5.2 Saran..... 61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Karakteristik umum dari gas alam	9
Tabel 2.2	Konstanta pada masing-masing persamaan keadaan gas nyata	25
Tabel 4.1	Laju pembentukan hidrat gas propana butana	41
Tabel 4.2	Stabilitas hidrat gas propana butana	42
Tabel 4.3	Kapasitas penyimpanan hidrat gas propana butana	42
Tabel 4.4	Konstanta laju pembentukan hidrat	58

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram fase beberapa gas alam hidrokarbon yang membentuk hidrat	7
Gambar 2.2	Ikatan hidrogen antar molekul air dan molekul ammonia	10
Gambar 2.3	Gaya tarik pada molekul air (a) di tengah-tengah dan (b) di permukaan	11
Gambar 2.4	Tetesan air yang berbentuk spherical akibat tegangan permukaan	12
Gambar 2.5	Gaya tegangan permukaan yang menahan berat dari sebuah jarum	12
Gambar 2.6	Gugus polar dan nonpolar surfaktan	13
Gambar 2.7	Sketsa partikel surfaktan di permukaan lamella dan micelle didalamnya.	14
Gambar 2.8	Buah lerak	15
Gambar 2.9	Struktur saponin yang terkandung dalam buah lerak	16
Gambar 2.10	Pengaruh waktu terhadap konsumsi gas pada pembentukan hidrat	17
Gambar 2.11	Garis hubungan tekanan dan temperatur pada hidrat metana sederhana	18
Gambar 3.1	Aquades	28
Gambar 3.2	ELPIJI	29
Gambar 3.3	Ekstrak buah lerak	29
Gambar 3.4	*Crystallizer*	30
Gambar 3.5	Motor Listrik	31
Gambar 3.6	*VSD Inverter*	31
Gambar 3.7	Gelas ukur	32
Gambar 3.8	Regulator gas	32
Gambar 3.9	Katup	33
Gambar 3.10	*Flowmeter* gas	33
Gambar 3.11	*Thermocouple*	34
Gambar 3.12	*Pressure sensor*	34
Gambar 3.13	*Styrofoam cooling bath*	35
Gambar 3.14	Mesin pendingin	35
Gambar 3.15	Pompa air	36
Gambar 3.16	Instalasi alat penelitian	36
Gambar 3.17	Diagram alir penelitian	40

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 4.1 Grafik hubungan antara tekanan terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana 49
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara temperatur terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana 50
Gambar 4.3 Grafik tekanan terhadap temperatur laju pembentukan hidrat 51
Gambar 4.4 Grafik konsumsi mol pembentukan dan mol terurai terhadap waktu 52
Gambar 4.5 Mekanisme surfaktan dalam meningkatkan laju pembentukan hidrat 53
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara hidrat gas terurai propana butana terhadap waktu 54
Gambar 4.7 Diagram kapasitas penyimpanan hidrat 55
Gambar 4.8 Grafik Ln (k) terhadap 1/T 57
Gambar 4.9 Grafik perbandingan antara konsumsi gas teoritis dan konsumsi gas validasi terhadap waktu 58

DAFTAR LAMPIRAN

No. Judul

Lampiran 1. Data hasil laju pembentukan hidrat

Lampiran 2. Data hasil stabilitas hidrat

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

Lampiran 4. Gambar instalasi alat penelitian

Lampiran 5. Gambar isometri instalasi alat penelitian

repository.ub.ac.id

RINGKASAN

Ahmad Zaky, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2018, *Pengaruh Penambahan Surfaktan Ektrak Buah Lerak (Sapindus rarak) terhadap Karakteristik Hidrat Gas Campuran Propana dan Butana pada Tekanan 0.2 MPa*, Dosen Pembimbing: Widya Wijayanti.

Hidrat gas alam yang awalnya merupakan temuan sumber energi baru yang terkubur di dasar laut, kini telah menjelma menjadi sebuah metode baru untuk penyimpanan dan transportasi gas alam. Surfaktan mampu meningkatkan laju pembentukan hidrat dengan cara menurunkan tegangan permukaan air agar mempermudah bercampurnya gas kedalam air. Buah lerak *(Sapindus rarak*) mampu menjadi alternatif bahan pembuatan surfaktan. Dalam ekstrak buah lerak ini terkandung senyawa saponin yang merupakan glikosida amfipatik yang mudah mengeluarkan busa yang bersifat stabil dan tidak mudah hilang sehingga sangat cocok sebagai surfaktan. Kami akan bereksperimen menggunakan surfaktan ekstrak buah lerak sebagai promotor dalam pembuatan hidrat. Tujuan kami adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh kadar surfaktan ekstrak buah lerak terhadap laju pembentukan hidrat, stabilitas hidrat, dan kapasitas penyimpanan hidrat gas alam pada tekanan yang sama.

Penelitian ini menggunakan reaktor hidrat yang kami sebut sebagai *crystallizer*. *Crystallizer* ini berjenis *vessel tank*, dimana seluruh *body* reaktor akan berputar dengan tujuan mempermudah 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 0.2 MPa (pada suhu ruang). 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 mendiamkan *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, stabilitas hidrat, dan kapasitas penyimpanan hidrat akan semakin baik jika kadar surfaktan semakin ditingkatkan. Hasil penelitian kami menunjukan konsumsi mol terbesar ada pada kadar surfaktan 15% sebesar 0.01068 mol. Stabilitas hidrat paling baik ada pada kadar surfaktan 15% dengan mol terurai sebesar 0.00008 mol. Kapasitas penyimpanan hidrat terbesar juga ada pada kadar surfaktan 15% sebesar 0.02116.

Kata kunci : hidrat, surfaktan, buah lerak, tegangan permukaan, laju pembentukan

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

SUMMARY

Ahmad Zaky, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, November 2018, Effect of Addition of Lerak Fruit (Sapindus rarak) Extract Surfactant on the Characteristics of Mixture of Propane and Butane Gas Hydrates at Pressure 0.2 MPa, Academic Supervisor:* Widya Wijayanti.

Natural gas hydrate which was originally the discovery of a new energy source buried in the seabed, has now become a new method for the storage and transportation of natural gas. Surfactants are able to increase the rate of hydrate formation by reducing the surface tension of the water to facilitate gas mixing into water. Lerak fruit (Sapindus rarak) is able to be an alternative material for making surfactants. In the extract of lerak fruit contained saponin compounds which are amphiphatic glycosides which easily emit foam which is stable and not easily lost so it is very suitable as a surfactant. We will use the lerak fruit extract surfactant as a promoter. The rate of hydrate formation will be our main focus, but we will also examine other aspects such as hydrate stability and hydrate storage capacity. We will experiment with lerak fruit extract surfactants as promoters in making hydrates. Our aim was to determine how the effect of lerak fruit extract levels on the rate of hydrate formation, hydrate stability, and hydrate storage capacity of natural gas hydrate at the same pressure.

This study uses a hydrate reactor which we call a crystallizer. This crystallizer is a type of vessel tank, where the entire body of the reactor will rotate in order to facilitate mixing of gas into hydrate during the formation process. The chosen rotation of crystallizer is at 200 rpm. The filler gas of the hydrate comes from the LPG tube which consists of 50% propane and 50% butane and is inserted into the crystallizer until it reaches a pressure of 0.2 MPa (at room temperature). 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, hydrate stability, and hydrate storage capacity will be better if the surfactant level is increased. The results of our study show that the largest mole consumption is at a 15% surfactant level of 0.01068 mol. The best hydrate stability is at 15% surfactant level with decomposed moles of 0.00008 moles. The biggest hydrate storage capacity is also at 15% surfactant level of 0.02116.

***Keywords**: hydrate, surfactant, lerak fruit, surface tension, rate of formation*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Cedigaz, salah satu asosiasi gas alam internasional, pada tahun 2017 konsumsi gas alam di dunia sudah mencapai 3,67 triliun meter kubik dan diprediksi akan terus meningkat dari tahun ke tahun. Sampai sekarang, teknologi proses penambangan hingga produksi gas alam telah mengalami banyak perkembangan dan terbilang canggih. Meski begitu, pada kenyataanya masih terdapat permasalahan, salah satunya dalam hal pendistribusian gas alam. Hidrat gas dianggap sebagai gangguan dalam industri minyak dan gas alam karena dapat mengurangi debit bahan bakar yang disalurkan sepanjang pipa distribusi. Hidrat gas ialah molekul kristal es yang memiliki rongga, dimana rongga tersebut menyebabkan terjebaknya gas sebagai zat penyusun hidrat. Dari masalah tersebut, berbagai penelitian telah banyak dilakukan untuk menyelidiki bagaimana cara menghambat proses terbentuknya hidrat. Namun ada juga yang menyelidiki bagaimana cara mempermudah proses terbentuknya hidrat karena di sisi lain, ada beberapa kemungkinan aplikasi hidrat, seperti penyimpanan dan pengangkutan gas alam.

Hidrat gas yang awalnya merupakan temuan sumber energi baru yang terkubur di dasar laut, kini telah menjelma menjadi sebuah metode baru untuk penyimpanan dan transportasi gas alam. Penyimpanan gas alam melalui hidrat gas alam yang berwujud padat ini telah diselidiki mampu menyimpan molekul gas alam dalam jumlah yang cukup besar. Gudmundsson dkk. menunjukkan bahwa hidrat dapat disimpan di suhu -15 ° C di bawah tekanan atmosfer selama 15 hari, mempertahankan hampir semua gas. Studi mereka juga menunjukkan adanya penghematan biaya sebanyak 24% untuk pengangkutan gas alam dalam hidrat dibandingkan dengan lisifikasi gas alam.

Penyimpanan gas alam melalui media hidrat gas telah memasuki level industri dan komersiil. Namun, pada industri hidrat gas, proses penyimpanan hidrat gas masih terhambat oleh beberapa masalah, seperti pembentukan hidrat yang lambat, wujud hidrat yang mudah mencair, kapasitas penyimpanan hidrat yang kurang optimum, sampai pada faktor ekonomi dalam produksinya. Masalah tersebut dapat ditanggulangi dengan menambahkan suatu zat tambahan dalam bahan penyusun hidrat yang disebut promotor. Promotor adalah suatu zat yang ditambahkan bersamaan dengan gas alam dan air dalam proses pembentukan hidrat

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas karakteristik dari hidrat itu sendiri. Promotor untuk pembentukan hidrat sendiri juga sangat bervariasi, tetapi yang paling diminati dan sering dikembangkan oleh para peneliti hidrat adalah promotor kinetis jenis surfaktan. Surfaktan meningkatkan laju pembentukan hidrat dengan cara menurunkan tegangan permukaan air agar mempermudah bercampurnya gas kedalam air.

Pada tahun 2003, Link dkk. menguji sejumlah surfaktan dari berbagai golongan, untuk mengukur kemampuan surfaktan-surfaktan tersebut dalam meningkatkan karakteristik hidrat metana. Dilaporkan bahwa dari semua surfaktan yang diuji, *sodium dodecyl sulfate*, disingkat SDS, adalah surfaktan terbaik untuk meningkatkan laju pembentukan hidrat metana. Pada hidrat campuran metana-propana, penambahan SDS sebanyak 242- 2200 ppm mampu meningkatkan laju penyerapan gas kedalam hidrat sebanyak 14 kali daripada yang hanya menggunakan air murni (Yoslim, dkk.). Meski SDS teruji sangat baik sebagai promotor pembentukan hidrat, sampai sejauh ini belum ada industry hidrat gas alam yang menggunakan SDS. Hal ini dikarenakan untuk memproduksi SDS membutuhkan proses yang panjang, waktu yang cukup lama, dan biaya mahal. Perlu diadakannya penelitian tentang penggunaan surfaktan yang lebih murah dan praktis pembuatannya pada proses pembentukan hidrat untuk diterapkan pada industry hidrat gas alam.

Buah lerak (*Sapindus rarak sp.*) merupakan buah dari tumbuhan yang banyak tumbuh di Pulau Jawa. Ekstrak dari buah lerak ini telah dimanfaatkan sebagai deterjen alami untuk mencuci pakaian, terutama batik, oleh masyarakat setempat secara turun-temurun. Dalam ekstrak buah lerak ini terkandung senyawa saponin yang dapat berfungsi sebagai surfaktan. Senyawa ini merupakan glikosida amfipatik yang mudah mengeluarkan busa jika dikocok dengan kencang di dalam larutan. Busa yang diciptakan pun bersifat stabil dan tidak mudah hilang sehingga sangat cocok sebagai surfaktan. Untuk memperoleh ekstrak buah lerak inipun proses pembuatannya mudah, cepat, dan bahan bakunya mudah untuk diperbarui. Dengan segala kelebihannya tersebut, faktanya sejauh ini buah lerak hanya dimanfaatkan ekstraknya saja sebagai deterjen untuk mencuci pakaian. Maka dari itu, buah lerak sangat berpotensi sebagai alternatif bahan baku surfaktan untuk aplikasi yang lebih luas, tidak hanya sebagai deterjen pakaian saja.

Kami mencari suatu alternative surfaktan yang lebih mudah dicari, mudah dibuat, namun tetap efektif sebagai promotor pembentukan hidrat sebagai pengganti dari surfaktan SDS. Kami akan menggunakan surfaktan ekstrak buah lerak sebagai promotor dalam pembentukan hidrat dan meneliti seberapa besar pengaruhnya dalam pembentukan hidrat.

Laju pembentukan hidrat akan menjadi fokus utama kami, namun kami juga akan meneliti aspek yang tidak kalah penting lainnya seperti stabilitas hidrat dan kapasitas penyimpanan hidrat. Maka dari itu, kami akan melakukan penelitian tentang pengaruh kadar surfaktan ekstrak buah lerak terhadap karakteristik hidrat gas campuran propane-butana pada suhu dan tekanan yang sama.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dibahas sebelumnya, dapat dirumuskan sebuah permasalahan yaitu bagaimana pengaruh kadar surfaktan ekstrak buah lerak terhadap laju pembentukan hidrat, stabilitas hidrat, dan kapasitas penyimpanan hidrat gas alam pada tekanan pembentukan yang sama?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Perilaku gas nyata diaplikasikan pada gas hidrat propana dan butana.
2. Tidak terjadi kebocoran pada *crystallizer* saat pengujian dilaksanakan.
3. Toleransi pada temperatur *cooling bath* $\pm 1^{o}$ C
4. Kapasitas penyimpanan hidrat disini merupakan perbandingan antara volume gas pada hidrat hasil penelitian ini dengan volume gas pada hidrat secara teoritis pada kondisi yang sama yaitu pada kondisi *Standard Temperature and Pressure* (STP)
5. Massa gas pada hidrat secara teoritis adalah sebesar 15,5% dari massa air
6. Ekstrak buah lerak sudah 100% surfaktan

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kadar surfaktan ekstrak buah lerak terhadap laju pembentukan hidrat, stabilitas hidrat, dan kapasitas penyimpanan hidrat gas alam pada tekanan pembentukan yang sama.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memecahkan permasalahan dalam produksi dan penyimpanan hidrat gas pada industri minyak dan gas.
2. Memanfaatkan karakteristik dari hidrat gas sebagai pengembangan produksi maupun distribusi dari bahan bakar gas.
3. Dapat digunakan sebagai referensi tentang pengaruh surfaktan terhadap karakteristik laju pembentukan, penguraian dan kapasitas gas hidrat gas alam untuk penelitian selanjutnya.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

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

Karaaslan, dkk. (2002) dalam penelitianya 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.

Ony, (2015) dalam penelitianya 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 0.4 MPa menjadikan laju pembentukan hidrat semakin cepat daripada yang lainya.

2.2 Hidrat Gas Alam

Hidrat gas alam ialah campuran dari gas dan air yang berbentuk kristal es padat yang disebabkan adanya tekanan tinggi dan temperatur yang rendah. Molekul air yang ada di kristal es akan memiliki ikatan hidrogen sehingga akan membentuk kerangka yang

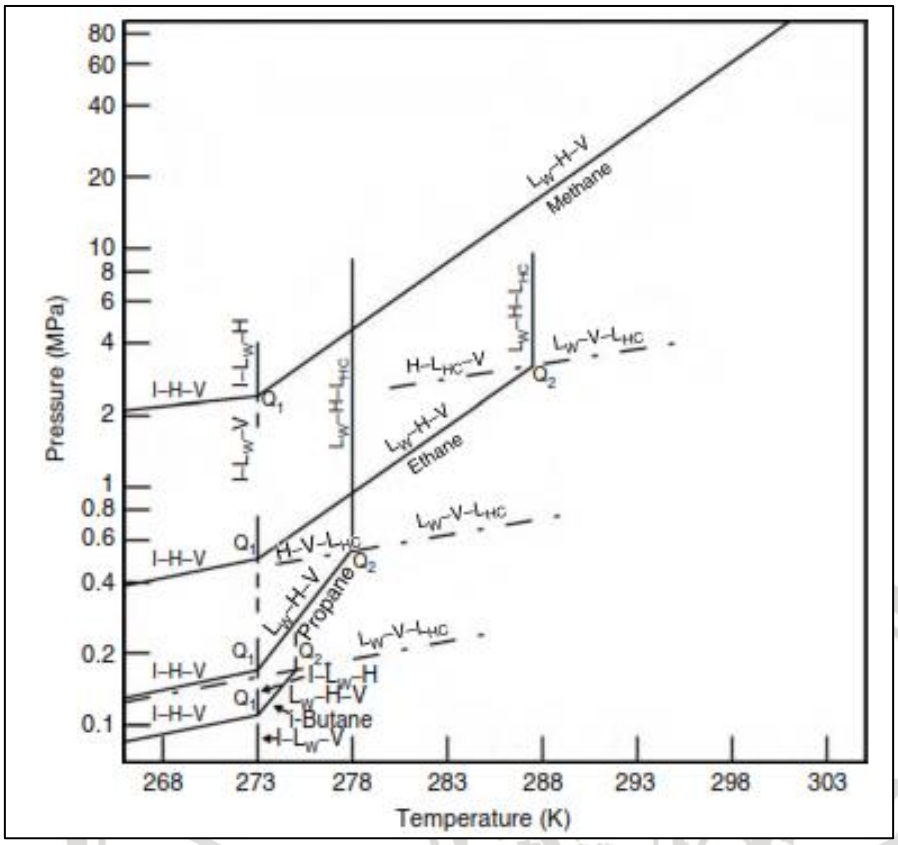
mempunyai rongga. Didalam rongga antara molekul air terdapat molekul gas yang terperangkap pada berbgai macam bentuk dan ukuran. (Ganji, 2007).

Gas yang terperangkap dalam rongga molekul air tersebut disebut dengan klarat. Klarat merupakan senyawa kimia inklusi dimana molekul kimia terperangkap didalam rongga molekul kristal es (Webster, 1994). Meolekul gas alam yang paling sering ditemukan pada hidrat adalah propana, etana, butana, metana dan karbon dioksida.

Pada industry gas alam, khususnya pada pendistribusian gas yang menggunakan operasi pipa dengan tekanan tinggi sangat memungkinkan terbentuknya gas hidrat. Temperatur yang rendah akan menyebabkan didalam saluran pipa akan terbentuk air. Jika dibiarkan maka air tersebut akan membeku dan menyumbat saluran pipa. Kecuali pada kondisi dimana temperatur tidak mencapai temperatur titik beku air.

Hidrat gas alam mempunyai tiga macam struktur utama, yaitu; Struktur I, struktur II dan struktur H. Dari ketiga struktur yang ada memiliki susunan yang berbeda dari ikatan molekul air sehingga menghasilkan bentuk, ukuran, dan rongga yang berbeda pula. Formasi struktur yang terbentuk sangat bergantung pada berbagai aspek gas tamu yang terjebak didalam molekul air.

Agar hidrat gas alam dapat terbentuk pada setiap gas memiliki temperatur dan tekanan yang berbeda-beda. Dapat kita lihat pada Gambar 2.1 menunjukan diagram fasa pembentukan gas hidrat pada beberapa hidrokarbon. Pada Gambar 2.1, H adalah hidrat, I adalah es, V adalah uap, L_w adalah fase cair air, L_{HC} adalah fase cair hidrokarbon, Q_1 adalah titik *quadruple* bawah dan Q_2 adalah titik *quadruple* atas. Setiap gas alam, daerah terbentuknya hidrat berada disebelah kiri dari garis tiga fase (I-H-V), (L_w-H-V), (L_w-H-L_{HC}) serta sebelah kanan dari fase air dalam kondisi cair atau es dan fase gas dalam kondisi uap atau cair.



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

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

2.3 Gas Alam

Gas alam memiliki komponen utama yaitu metana (CH_4), yang merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan. Selain mengandung metana, gas alam juga mengandung molekul hidrokarbon yang lebih berat seperti etana (C_2H_6), propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}).

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

Menurut teori kinetik jika energi kinetik molekul-molekul gas diturunkan dengan menurunkan temperatur secukupnya, maka gaya antar molekul akan menjadi efektif dalam mengikat. Partikel-partikel tekanan akan menjadikan gaya antar molekul efektif. Bila molekul-molekul itu berjauhan maka gaya tarik-menarik akan menjadi lemah, tetapi dengan semakin mendekatnya molekul-molekul dengan yang lainya maka tarikan itu akan meningkat. Gas akan menjadi cair jika tarikanya cukup besar. Gas mempunyai temperatur yang disebut dengan temperatur kritis. Temperatur kritis ialah dimana gas tidak dapat dicairkan meskipun diberikan tekanan yang besar. Tekanan yang dapat diberikan untuk mencairkan gas pada temperatur kritis disebut dengan tekanan kritis.

2.3.1 Gas Propana

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

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

2.3.2 Gas Butana

Salah satu komponen dari gas alam yang mudah terbakar adalah gas butana (C_4H_{10}). Gas butana memiliki komponen empat atom karbon yang tidak memiliki warna. Gas butana memiliki berat molekul 58 g/mol dan lebih berat jika dibandingkan dengan berat molekul gas propana yang memiliki berat 44 gram/mol. Gas butana mempunyai massa jenis dalam temperatur ruangan sebesar 2.11 kg/m^3. Pada temperatur sebesar 20 ^{0}C kelarutan gas butana

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

Tabel 2.1 Karakteristik Umum Dari Gas Alam

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

Sumber: Speight (2007,p.81)

2.3.3 *Liquified Petroleum Gas* (LPG)

Liquified Petroleum Gas Pertamina atau yang sering kita kenal dengan ELPIJI merupakan gas hidrokarbon hasil produksi dari kilang minyak dan kilang gas yang komponen utamanya terdiri dari gas propana (C_3H_8) dan gas butana (C_4H_{10}). ELPIJI mempunyai berat yang lebih besar daripada udara dengan berat jenis sekitar 2.01 lebih besar daripada berat jenis udara.

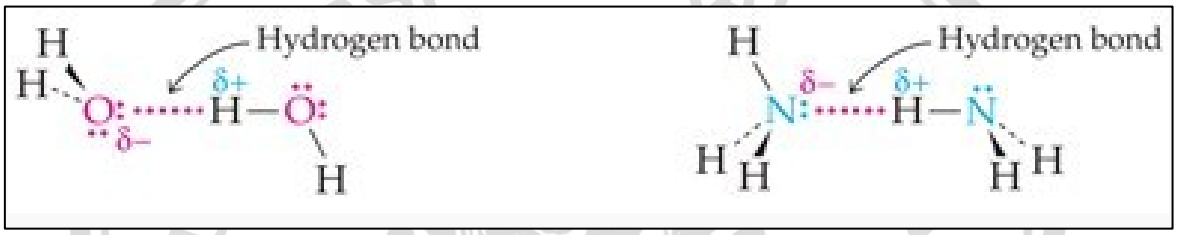
Dalam kondisi atmosfer ELPIJI akan berbentuk gas. Namun pemasaran ELPIJI kemasyarakat dalam bentuk cair hal ini disebabkan volume ELPIJI dalam bentuk cair lebih kecil dibandingakan dengan volume ELPIJI dalam bentuk gas meskipun dalam jumlah berat yang sama. Selain itu pada saat dibuat dalam bentuk cair penyimpanan ELPIJI menjadi lebih mudah dibandingkan dalam bentuk gas.

Tekanan gas ELPIJI dalam tabung juga bermacam-macam tergantung pada komposisi dari gas tersebut. Jika gas ELPIJI terdiri dari gas propana murni maka akan membutuhkan tekanan sebesar 2.2 MPa (22 bar) pada suhu 55 ^{o}C. Dan dibutuhkan tekanan sebesar 220 kPa (2.2 bar) untuk butana murni pada suhu 20 ^{o}C agar gas tersebut dapat mencair.

Menurut spesifikasinya ada tiga jenis tipe dari ELPIJI yaitu, ELPIJI propana, ELPIJ Butana, dan ELPIJI Campuran. ELPIJI campuran secara umum memiliki komposisi 50 % gas butana dan 50 % gas propana.

2.4 Ikatan Hidrogen

Ikatan hidrogen adalah sejenis gaya tarik antarmolekul yang terjadi antara dua muatan listrik parsial dengan polaritas yang berlawanan. Walaupun lebih kuat dari kebanyakan gaya antarmolekul, ikatan hidrogen jauh lebih lemah dari ikatan kovalen dan ikatan ion. Dalam makromolekul seperti protein dan asam nukleat, ikatan ini dapat terjadi antara dua bagian dari molekul yang sama. dan berperan sebagai penentu bentuk molekul keseluruhan yang penting.



Gambar 2.2 Ikatan hidrogen antar molekul air dan molekul amonia
Sumber : McMurry (2016, p. 2)

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

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

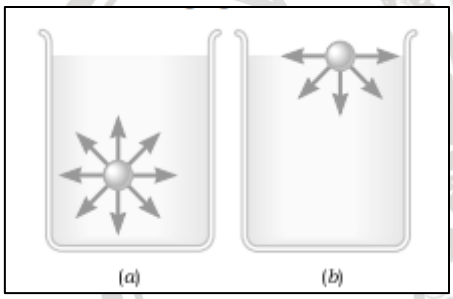
Ikatan hidrogen mempengaruhi titik didih suatu senyawa. Semakin besar ikatan hidrogennya, semakin tinggi titik didihnya. Namun, khusus pada air (H2O), terjadi dua ikatan hidrogen pada tiap molekulnya. Akibatnya jumlah total ikatan hidrogennya lebih besar daripada asam florida (HF) yang seharusnya memiliki ikatan hidrogen terbesar (karena paling tinggi perbedaan elektronegativitasnya) sehingga titik didih air lebih tinggi daripada asam florida.

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

fenomena tegangan permukaan pada air. Adanya tegangan permukaan ini akan menyebabkan partikel-partikel asing menjadi sukar untuk masuk kedalam celah-celah molekul air. Partikel-partikel asing tersebut akan tertahan di bagian permukaan air, dimana molekul-molekul air berkontraksi untuk membentuk semacam membrane yang mampu mencegah partikel-partikel asing untuk memasuki atau berpenetrasi menuju ke molekul-molekul air dibagian yang lebih dalam. Tentu hal ini akan menjadi permasalahan pada proses pembentukan hidrat dimana air yang menjadi bahan utama untuk menciptakan kristal pada hidrat harus mampu terisi oleh molekul gas alam di setiap celah yang memungkinkan.

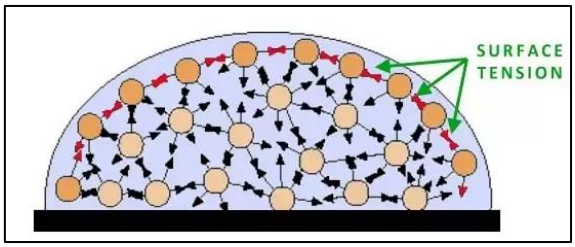
2.5 Tegangan Permukaan

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.



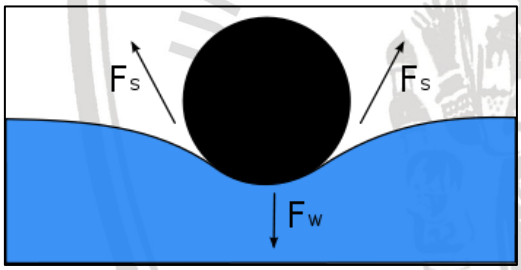
Gambar 2.3 Gaya tarik pada molekul air (a) di tengah-tengah dan (b) di permukaan
Sumber : Haber (2018, p.2)

Ilustrasinya bisa dilihat pada Gambar 2.4 (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 2.4 (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 2.4 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 2.5. 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 2.6.

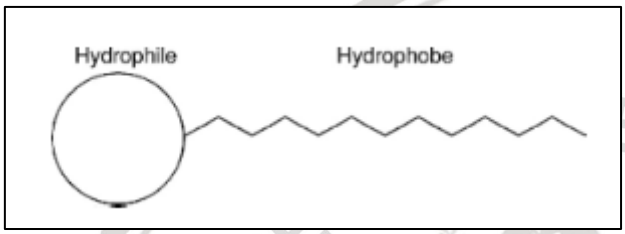


Gambar 2.5 Gaya tegangan permukaan yang menahan berat dari sebuah jarum
Sumber : Karlhan (2018, p.1)

Besarnya tegangan permukaan diperngaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis cairan, suhu, dan, tekanan, massa jenis, konsentrasi zat terlarut, dan kerapatan. Jika cairan memiliki molekul besar seperti air, maka tegangan permukaannya juga besar. salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya tegangan permukaan adalah massa jenis/ densitas, semakin besar densitas berarti semakin rapat muatan – muatan atau partikel-partikel dari cairan tersebut. Kerapatan partikel ini menyebabkan makin besarnya gaya yang diperlukan untuk memecahkan permukaan cairan tersebut. Hal ini karena partikel yang rapat mempunyai gaya tarik menarik antar partikel yang kuat. Sebaliknya cairan yang mempunyai densitas kecil akan mempunyai tegangan permukaan yang kecil pula.

2.6 Surfaktan

Surfaktan (*surface active agent*) adalah senyawa yang menurunkan tegangan permukaan (atau tegangan antar muka) antara dua cairan, antara gas dan cairan, atau antara cairan dan zat padat (Pratomo, 2005). Surfaktan merupakan salah satu jenis dari promotor pembentukan hidrat. Surfaktan masuk kedalam golongan promotor kinetis, artinya surfaktan mampu meningkatkan laju pembentukan hidrat tanpa merubah property termodinamika pembentukan hidrat. Itu artinya, nilai dari suhu dan tekanan yang harus dicapai sebagai persyaratan untuk bisa menciptakan hidrat tidak akan berubah dan struktur hidrat yang diciptakan juga tidak akan terpengaruh oleh penambahan surfaktan (Veluswamy,2018).



Gambar 2.6 Gugus polar dan nonpolar surfaktan
Sumber: Farn (2006, p.2)

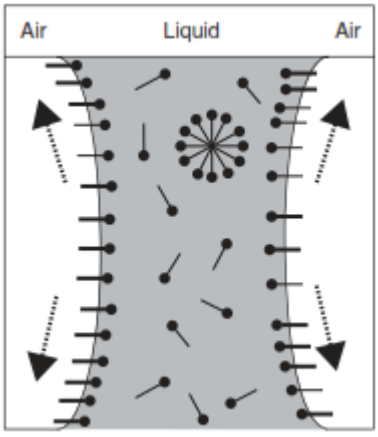
Surfaktan merupakan molekul yang memiliki gugus polar yang suka air (hidrofilik) dan gugus non polar yang suka minyak (lipofilik atau hidrofobik) sekaligus seperti pada Gambar 2.7, sehingga dapat mempersatukan campuran yang terdiri dari minyak dan air. Bagian polar molekulnya dapat bermuatan positif, negatif ataupun netral, bagian polar mempunyai gugus hidroksil semetara bagian non polar biasanya merupakan rantai alkil yang panjang. Surfaktan pada umumnya disintesis dari turunan minyak bumi dan limbahnya dapat mencemarkan lingkungan, karena sifatnya yang sukar terdegradasi, selain itu minyak bumi merupakan sumber bahan baku yang tidak dapat diperbarui.

Surfaktan diklasifikasikan berdasarkan muatan yang terdapat pada gugus polarnya. Berikut klasifikasinya:

1. Surfaktan anionik, surfaktan yang bagian alkilnya terikat suatu anion. Contohnya garam alkana sulfonat, garam olefin sulfonate.
2. Surfaktan kationik, surfaktan yang bagian alkilnya terikat suatu kation. Contohnya garam alkil trimethil amonium, garam dialkil-dimethil amonium, garam alkil dimethil benzil amonium.

3. Surfaktan nonionik, surfaktan yang bagian alkilnya tidak bermuatan. Contohnya ester gliserin, ester sorbitan, ester sukrosa, polietilena alkil amina, glukamina, alkil poliglukosida, mono alkanol amina, dialkanol amina dan alkil amina oksida.
4. Surfaktan amfoter, surfaktan yang bagian alkilnya mempunyai muatan positif dan negatif. Contohnya asam amino, betain, fosfobetain.

Surfaktan dapat bertindak sebagai detergen, zat pembasah (*wetting agent*), pengemulsi (*emulsion agent*), agen pembusa (*foaming agent*), dan dispersan (*solubilizing agent*). Dalam perannya sebagai promotor pembentukan hidrat, surfaktan bertindak sebagai agen pembusa karena zat yang terdapat dalam hidrat adalah molekul gas (gas alam) dengan molekul cair (air) dan busa adalah wujud dari pencampuran dari dua molekul tersebut.



Gambar 2.7 Sketsa partikel surfaktan di permukaan lamella dan *micelle* didalamnya.
Sumber : Farn (2006, p. 78)

Ada banyak skema cara kerja surfaktan dalam menurunkan tegangan permukaan dan dalam berbagai kasus aplikasinya. Gambar 2.8 menunjukkan ilustrasi cara kerja surfaktan sebagai agen pembusa.. Pertama kali, partikel surfaktan akan menurunkan tegangan permukaan air, lalu dengan sedikit adukan maka molekul gas dapat memasuki celah-celah molekul air. Karena dua zat telah tercampur, maka terciptalah lapisan pemisah antara partikel gas dengan air yang disebut lamella. Adanya dorongan partikel gas membuat lamella meregang kearah seperti yang ditunjukan anak panah, dan lama kelamaan lamella akan habis dan busa akan pecah. Partikel surfaktan akan menstabilkan lamella yang tipis sehingga busa tidak mudah pecah (Farn,2006). Pada Gambar 2.8 juga digambarkan adanya *micelle* didalam lamella, yaitu partikel-partikel surfaktan yang berkumpul menyerupai bola dengan gugus

hidrofobik sebagai pusatnya. *Micelle* timbul akibat kelebihan partikel surfaktan yang tidak mendapat tempat di permukaan lamella.

2.7 Lerak

Sapindus rarak atau lebih dikenal sebagai lerak, adalah pohon tinggi yang berasal dari Asia Tenggara dan sekarang sudah tersebar luas di Asia dan Afrika. Tumbuhan lerak berbentuk pohon dan rata-rata memiliki tinggi 10 m walaupun bisa mencapai 42 m dengan diameter 1 m. Bentuk daunnya bulat-telur berujung runcing, bertepi rata, bertangkai pendek dan berwarna hijau. Biji terbungkus kulit cukup keras bulat seperti kelereng, kalau sudah masak warnanya coklat kehitaman, permukaan buah licin dan mengkilat. Dinding buahnya bersifat berbusa dalam air dan secara tradisional digunakan sebagai sabun alami untuk mencuci.

Gambar 2.8 Buah lerak
Sumber : Ismail (2012, p.31)

Buah lerak mengandung saponin, suatu alkaloid beracun. Saponin inilah yang menghasilkan busa dan berfungsi sebagai bahan pencuci, dan dapat pula dimanfaatkan sebagai pembersih berbagai peralatan dapur, lantai, bahkan memandikan dan membersihkan binatang peliharaan.

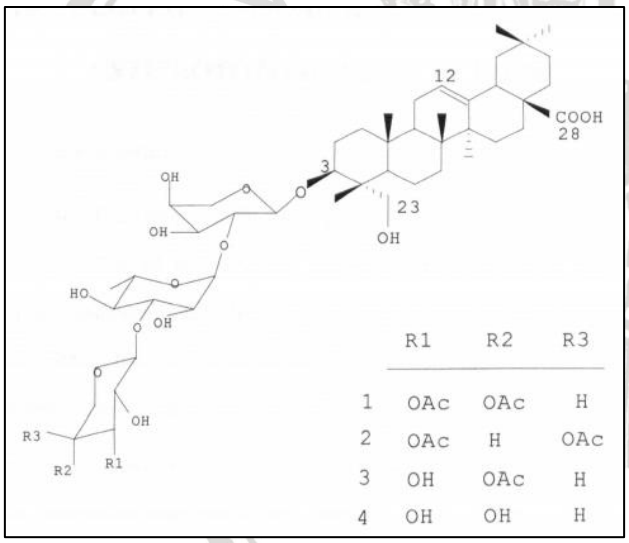
Buah lerak relatif mudah didapatkan biasanya dijual di pasar-pasar tradisional. Saat ini di pasaran telah juga tersedia produk lerak cair dalam kemasan yang lebih praktis sehingga bisa langsung dipakai.

2.8 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. Saponin temasuk glikosida yang apabila dihidrolisis akan menghasilkan sakarida (bersifat hidrofilik) dan sapogenin (bersifat lipofilik) terdiri dari dua golongan, yaitu saponin steroid dan saponin triterpenoid (Sukmasari, 2006). 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.



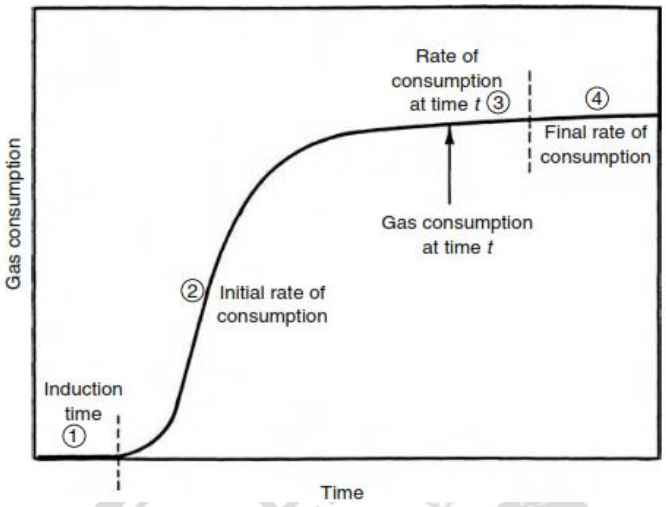
Gambar 2.9 Struktur saponin yang terkandung dalam buah lerak
Sumber : Ningrat (2004, p.36)

2.9 Pembentukan Hidrat

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

Pada saluran gas dengan pipa tekanan tinggi didalamnya hidrat gas dapat terjadi akibat dua faktor yaitu, adanya air bebas yang terbentuk pada saluran pipa. Dan yang kedua adalah temperatur gas yang dialirkan berada pada temperatur rendah atau mendekati temperatur

pembentukan hidrat. Hidrat yang terbentuk bisa berbentuk bubur atau *jelly* sampai dengan berbentuk padat seperti es batu. Sehingga pada saat hidrat terbentuk pada saluran pipa gas akan menyebabkan tersumbatnya saluran gas.



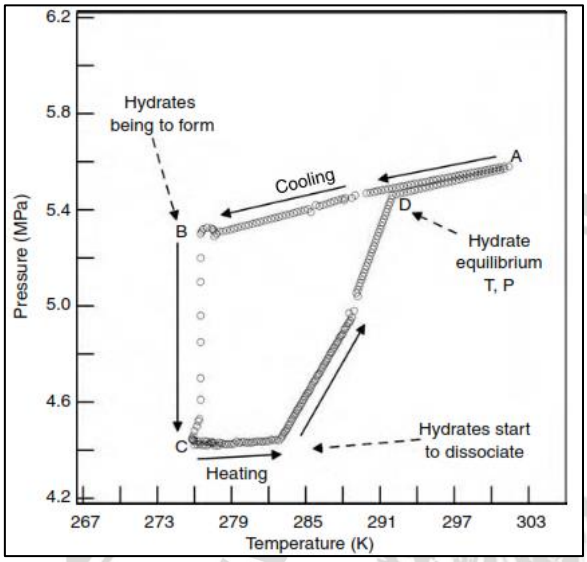
Gambar 2.10 Pengaruh waktu terhadap konsumsi gas pada pembentukan hidrat.
Sumber: Sloan (2008,p.115)

Secara eksperimen pembentukan hidrat dapat dilihat pada Gambar 2.11. Pada gambar diatas menjelaskan bahwa konsumsi gas terhadap waktu dalam pembentukan dan pertumbuhan hidrat dalam sistem agitasi (kavitasi atau turbulensi) pada tekanan dan temperatur konstan. Tabung yang didalamnya terdapat air murni ditekan menggunakan gas hidrokarbon dengan tujuan mendapatkan kondisi pembentukan hidrat.

Gas hidrokarbon ditambahkan secara terus menerus kedalam tabung agar gas tersebut tetap menjadi hidrat dan dijaga dalam tekanan konstan. Tingkat konsumsi gas yang diperlukan selama pembentukan hidrat ialah tingkat pembentukan hidrat yang dapat dibentuk oleh gaya kinetik dan perpindahan panas yang terjadi pada sistem tersebut.

Pada Gambar 2.11 menjelaskan tentang hubungan konsumsi gas terhadap waktu, dimana dalam siklus tersebut terjadi empat proses. Proses pertama yaitu waktu induksi merupakan waktu terbentuknya inti hidrat atau terbentuknya fase hidrat gas. Namun pada kondisi ini struktur hidrat belum dapat terbentuk karena masih dalam kondisi metastabil (kemampuan suatu sistem *non-equilibrium* untuk bertahan dalam jangka waktu yang panjang). Pada kondisi kedua masa pertumbuhan hidrat terbentuk dan konsumsi gas begitu cepat dilakukan. Sampai akhirnya pada kondisi ketiga konsumsi gas mulai semakin sedikit dan berakhir pada kondisi keempat. Dari diagram tersebut dapat dijelaskan bahwa hidrat

dapat terbentuk dengan jumlah gas yang tertentu. Karena gas hidrat memiliki konsumsi gas yang dapat dijadikan hidrat tergantung dari komposisi air dan temperatur maupun tekanan yang digunakan ketika pembentukan tersebut.



Gambar 2.11 Garis hubungan tekanan dan temperatur pada hidrat metana sederhana. Sumber: Sloan (2008,p.115)

Pada Gambar 2.11 menjelaskan terbentuknya hidrat pada hubungan garis tekanan dan temperatur. Pada eksperimen ini besarnya volume konstan dan tekanan yang terus berubah sepanjang eksperimen.

Pada kondisi metastabil sistem mencegah adanya pembentukan hidrat dengan cepat pada titik D. Titik D adalah titik setimbangnya tekanan dan temperatur dari hidrat. Namun tekanan dari sistem akan terus menurun secara linier selama beberapa jam tanpa adanya pembentukan hidrat. Titik A menuju ke titik B ini merupakan waktu induksi dimana baru terbentuknya fase hidrat gas. Pada titik B hidrat sudah mulai terbentuk sampai tekanannya menurun dengan drastis hingga titik C dan dibiarkan pada kondisi temperatur yang cendrung konstan. Pada kondisi B ke C inilah tekanan dan temperatur terbentuknya hidrat. Dan pada titik C sistem mulai dipanaskan sehingga tekanan kembali meningkat dan struktur hidrat mengalami pemisahan sampai di titik D.

2.10 Gas Ideal dan Teori Kinetika Molekul Gas

2.10.1 Gas Ideal

Gas ideal merupakan gas teoritis yang terdiri dari partikel-partikel titik yang bergerak secara acak dan tidak saling berinteraksi. Konsep dari gas ideal ini sangat berguna karena

memenuhi hukum gas ideal, sebuah persamaan keadaan yang disederhanakan, sehingga dapat dianalisis dengan mekanika statistika.

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

2.10.2 Persamaan Gas Ideal

Boyle, Charles dan Gay-Lussac sudah mengembangkan hukum tentang gas yang didasarkan pada pengamatan empiris untuk menggambarkan karakteristik suatu gas secara makroskopik yang sifatnya dapat langsung dialami dan diamati oleh seseorang. 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, 2006).

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-moleul 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 dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-1), yaitu:

$$EK = \frac{3}{2}kT \quad \text{..... (2-1)}$$

(Cengel. 2006: 325)

dengan:

EK = Energi kinetik (J)

T = Temperatur absolut (K)

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

Persamaan gas ideal dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-2), yaitu:

$$pV = nRT \quad \text{.... (2-2)}$$

(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)

2.10.3 Persamaan Gas Nyata

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

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

Terdapat empat model persamaan keadaan gas nyata, diataranya adalah:

1. Persamaan keadaan van der Waals

   Persamaan keadaan van der Waals yang ditunjukkan Persamaan (2-3) adalah model pertama yang menggambarkan keadaan gas nyata. Molekul dilihat sebagai partikel yang memiliki volume, sehingga besaran V tidak boleh kurang dari suatu konstanta. Selain itu, molekul juga saling berinteraksi pada jarak tertentu sehingga membuat pengaruh pada tekanan yang terjadi. Oleh karena itu, adanya penyesuaian dari gas ideal menjadi gas nyata dengan mengganti nilai V (volume) diganti dengan (V-b) dan niai p (tekanan) diganti dengan $(p+\frac{a}{V^2})$.

$$(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = nRT \quad \text{... (2-3)}$$

(Cengel. 2006: 346)

dengan:

p = Tekanan gas (Pa)

V = Volume sistem suatu gas (m^3)

a, b = Konstanta persamaan keadaan van der Waals

n = Jumlah mol gas (mol)

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

T = Temperatur absolut (K)

2. Persamaan keadaan Redlich-Kwong

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

$$\frac{p}{p_c} < \frac{T}{T_c} \quad \text{.....(2-4)}$$

$$p = \frac{nRT}{V-b} - \frac{a}{T^{0.5}V(V+b)} \quad \text{.....(2-5)}$$

(Cengel. 2006: 347)

dengan:

p = Tekanan gas (Pa)

p_c = Tekanan kritis gas (Pa)

V = Volume sistem suatu gas (m^3)

n = Jumlah mol gas (mol)

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

T = Temperatur absolut (K)

T_c = Temperatur kritis absolut (K)

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

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

3. Persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong

Persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong yang ditunjukkan oleh Persamaan (2-6) merupakan perbaikan dari persamaan keadaan Redlich-Kwong. Pada persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong terdapat konstanta α yang dipengaruhi oleh faktor asentrik (ω), tekanan tereduksi (P_r) dan temperatur tereduksi (T_r) yang ditunjukkan pada Persamaan (2-7). Faktor asentrik merupakan ukuran ketidak bulatan suatu molekul yang ditunjukkan pada Persamaan (2-8). Persamaan (2-9) dan (2-10) masing-masing merupakan tekanan dan temperatur tereduksi yang mempengaruhi konstanta α.

$$p = \frac{nRT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V(V+b)} \quad \text{.....(2-6)}$$

$$\alpha = \left\{1 + (0.48508 + 1.55171\omega - 0.15613\omega^2)\left(1 - T_r^{0.5}\right)\right\}^2 \quad \text{.....(2-7)}$$

$$\omega = -1 - \log P_r \quad \text{.....(2-8)}$$

$$p_r = \frac{p}{p_c} \quad \text{.....(2-9)}$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad \text{...(2-10)}$$

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

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

α = Konstanta yang dipengaruhi P_r dan T_r

ω = Faktor asentrik

4. Persamaan keadaan Peng-Robinson

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

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

$$p = \frac{nRT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V^2 + 2bV - b^2)} \quad \text{...(2-11)}$$

$$\alpha = \left\{1 + (0.37464 + 1.54226\omega - 0.2699\omega^2)\left(1 - T_r^{0.5}\right)\right\}^2 \quad \text{...(2-12)}$$

(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 $\left(a = 0.42748 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{p_c}\right)$

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

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

α = Konstanta yang dipengaruhi P_r dan T_r

ω = Faktor asentrik

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

$$pV = nZRT \quad \text{..... (2-13)}$$

(Cengel. 2006: 341)

dengan:

p = Tekanan gas (Pa)

V = Volume sistem suatu gas (m^3)

n = Jumlah mol gas (mol)

Z = Faktor kompresibilitas.

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

T = Temperatur absolut (K)

Faktor kompresibilitas dari masing-masing persamaan keadaan gas nyata sesuai dengan bentuk umum pada Persamaan (2-14). Perbandingan masing-masing konstanta pada masing-masing persamaan keadaan ditunjukkan pada Tabel 2.2. Faktor kompresibilitas didapatkan dari akar persamaan kubik dengan nilai tertinggi. Nilai A dan B masing-masing dari Persamaan (2-15) dan (2-16) merupakan penjabaran dari konstanta pada Persamaan (2-14).

$$Z^3 - c_2 Z^2 + c_1 Z - c_0 = 0 \quad \text{..... (2-14)}$$

$$A = \frac{\Omega_a \, \alpha \, p_r}{T_r{}^2} \quad \text{..... (2-15)}$$

$$B = \frac{\Omega_b \, p_r}{T_r} \quad \text{..... (2-16)}$$

(Cengel. 2006: 369)

dengan:

Z = Faktor kompresibilitas.

Ω_a, Ω_b = Konstanta persamaan kubik

α = Konstanta yang dipengaruhi P_r dan T_r

p_r = Tekanan tereduksi gas

T_r = Temperatur tereduksi gas

Tabel 2.2 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 - $3B^2$	AB - B^2 - B^3	0.45724	0.07779

Sumber: Rao (2003,p.13)

2.10.4 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 mol = 6,02 x 10^{23} (602 milliar triliun).

Bilangan 6,02 x 10^{23} disebut tetapan Avogadro. Tetapan Avogadro adalah satuan jumlah yang luar biasa besarnya. Hubungan mol dengan jumlah partikel adalah x = n x 6,02 x 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.

2.11 Hipotesis

Berdasarkan kajian teori yang telah dibahas maka didapatkan hubungan antara karakteristik pembentukan hidrat propana butana terhadap variasi kadar surfaktan ekstrak buah lerak. Didapatkan bahwa semakin banyak kadar surfaktan ekstrak buah lerak yang terkandung didalam larutan campuran air dan surfaktan dan pada tekanan gas yang tetap maka laju pembentukan hidrat akan meningkat. Hal ini dikarenakan semakin banyak

surfaktan yang ditambahkan maka akan semakin menurunkan tegangan permukaan air. Dengan menurunnya tegangan permukaan air selama proses pembentukan hidrat, maka molekul gas akan lebih mudah untuk terserap masuk ke antara molekul-molekul air, menyebabkan rongga-rongga hidrat yang terbentuk nantinya akan terisi oleh molekul gas. Jika laju pembentukan hidrat meningkat, maka konsumsi mol gas juga meningkat, menyebabkan kapasitas penyimpanan hidrat juga ikut meningkat. Penambahan surfaktan juga membantu molekul gas untuk menempatkan diri diantara molekul-molekul air sehingga rongga-rongga yang terbentuk dalam hidrat lebih terdistribusi secara merata. Hal ini akan membuat hidrat yang terbentuk akan lebih stabil. Semakin banyak surfaktan yang ditambahkan maka stabilitas hidrat semakin bai

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mengetahui pengaruh variasi kadar surfaktan ekstrak buah lerak terhadap karakteristik pembentukan gas hidrat propana butana. Kajian literatur dari berbagai sumber, baik berupa buku maupun jurnal yang terkait dengan penelitian ini digunakan untuk menambahkan informasi yang diperlukan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian dilaksanakan pada 12 September-31 Desember 2018.

3.3 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel yang digunakan yaitu:

1. Variabel bebas

   Variabel bebas adalah variabel yang besar nilainya ditentukan oleh peneliti dan harganya dapat diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari objek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduannya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kadar surfaktan ekstrak buah lerak sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari volume total larutan campuran akuades dengan ekstrak buah lerak yang ada didalam *crystallizer*.

2. Variabel terikat

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

3. Variabel terkontrol

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

- Volume larutan campuran antara akuades dengan surfaktan ekstrak buah lerak yang dimasukkan pada *crystallizer* adalah 50 cm^3
- Tekanan gas propane butana pada *crystallizer* sebesar 0.2 MPa.
- Suhu *cooling bath* saat proses pembentukan dan stabilitas yakni 1˚C dan -5˚C
- Kecepatan putar *crystallizer* sebesar 200 rpm.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Aquades

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

Gambar 3.1 Aquades

Spesifikasi:

- Merk : HYDROBATT
- Kemurnian : 99%

2. ELPIJI

Gas ELPIJI merupakan bahan bakar gas yang berasal dari minyak mentah yang diolah. Yang memiliki komposisi seperti dalam Lampiran 2.

Gambar 3.2 ELPIJI

3. Es

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

4. Garam

   Garam digunakan untuk menurunkan titik beku air.

5. Ekstrak Buah Lerak

   Pada Gambar 3.3 menunjukan gambar ekstrak buah lerak yang dikemas dalam kemasan botol. Ekstrak buah lerak ini digunakan sebagai surfaktan dan akan dicampurkan bersamaan dengan akuades untuk membentuk larutan penyusun hidrat.

Gambar 3.3 Ekstrak buah lerak

3.4.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Crystallizer*

Crystallizer digunakan sebagai tempat untuk membuat hidrat gas. *Crystallizer* memiliki dimensi seperti pada Gambar 3.4.

Gambar 3.4 Crystallizer

Spesifikasi:

- Tipe : *Vessel tank*
- Bahan : *Stainless steel*
- Volume : 150 cm^3/0.00015 m^3

2. Motor listrik

Motor listrik pada Gambar 3.5 digunakan sebagai alat untuk memutar *crystallizer* sehingga gas dan air di dalam *crystallizer* tercampur.

Gambar 3.5 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*

Pada Gambar 3.6 menunjukkan *inverter* yang digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor.

Gambar 3.6 Inverter

Spesifikasi:

- Merk / Tipe : Altivar / ATV 312 H037 M2
- Fase : 1 fase ke 3 fase
- Tegangan : 200/240 V
- Daya *Input/Output* : 0.37 kW / 0.5 HP

4. Suntikan

Suntikan seperti pada Gambar 3.7 digunakan untuk mengambil dan mengukur volume air aquades dan ekstrak buah lerak yang akan dimasukkan ke dalam *crystallizer*.

Gambar 3.7 Gelas ukur

Spesifikasi:

- Merk : OneMed; Terumo
- Volume : 1 ml; 12 ml; 60 ml

5. Regulator gas

Regulator gas seperti pada Gambar 3.8 digunakan untuk mengatur tekanan gas yang keluar dari tabung ELPIJI.

Gambar 3.8 Regulator gas

Spesifikasi:

- Merk : FESTO

- Tekanan maks : 1 MPa

6. Katup

Katup seperti pada Gambar 3.9 digunakan untuk mengatur keluar masuknya gas ke dalam *crystallizer*.

Gambar 3.9 Katup

7. *Flowmeter gas*

Flowmeter gas digunakan untuk mengukur besar volume aliran yang masuk ke dalam maupun yang keluar *crystallizer*.

Gambar 3.10 Flowmeter gas

Spesifikasi:

- Merk : Tekiro
- Tekanan max: 10 bar/140 psi
- *Range* debit : 0,3 – 3 L/menit

8. *Thermocouple*

Thermocouple seperti pada Gambar 3.11 digunakan sebagai sensor untuk mengambil data temperatur di dalam *crystallizer*.

Gambar 3.11 Thermocouple

Spesifikasi:

- Tipe : K
- Temperatur : 0^{o}C – 1200^{o}C

9. *Pressure sensor*

Pressure sensor seperti pada Gambar 3.12 digunakan sebagai alat untuk mengambil data tekanan di dalam *crystallizer*.

Gambar 3.12 Pressure sensor

Spesifikasi:

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

10. *Styrofoam*

Styrofoam seperti pada Gambar 3.13 digunakan sebagai tempat untuk *cooling bath*.

Gambar 3.13 Styrofoam cooling bath

11. Mesin Pendingin

    Mesin pendingin digunakan untuk mendinginkan air pendingin yang akan memasuki *cooling bath.*

Gambar 3.14 Mesin pendingin

Spesifikasi:

- Merk/Model : RSA/CF-100
- Volume : 100 L
- Daya Listrik : 100 Watt
- Suhu : -15 s.d. 20˚C
- Insulasi : *Cyclopentane*

12. Pompa Air

    Pompa air digunakan untuk menyirkulasikan air pendingin ke *cooling bath.*

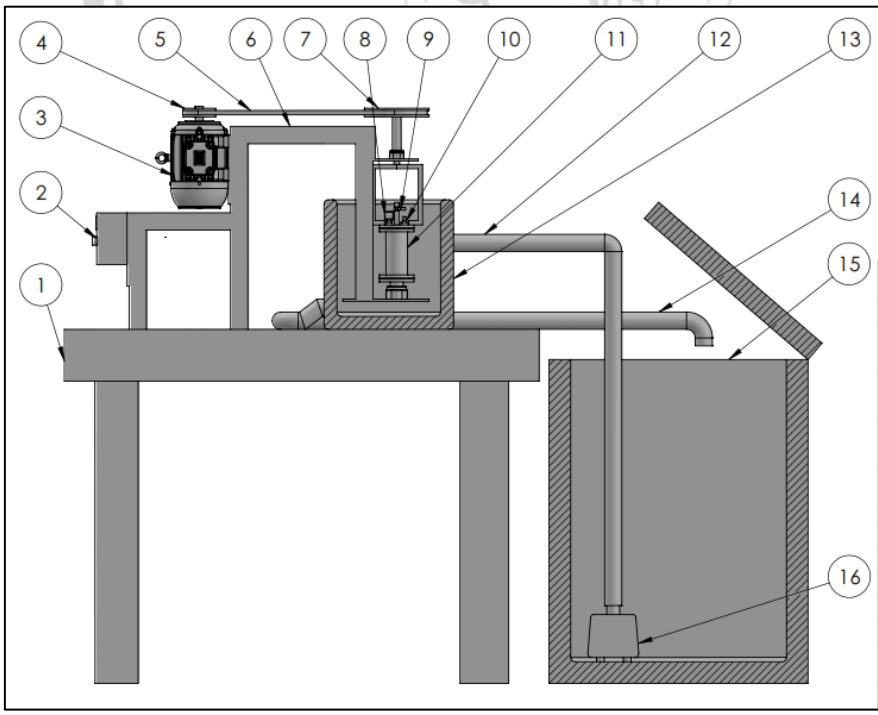
Gambar 3.15 Pompa air

Spesifikasi:

- Merk/Model : Sakkai Pro / AA-104
- Daya Listrik : 60 Watt
- Total *Head* : 2.6 m
- *Output* : 2500 L/jam

3.5 Instalasi Alat Penelitian

Instalasi alat yang digunakan pada penelitian ini ditunjukan pada Gambar 3.16 dan terlampir pula pada Lampiran 4 dan Lampiran 5.



No.	Jml	Nama
1	1	Meja Instalasi
2	1	*Inverter*
3	1	Motor 3 Fase
4	1	*Driving Pulley*
5	1	*Belt*
6	1	Rangka Alat
7	1	*Driven Pulley*
8	1	*Pressure Sensor*
9	1	Katup gas
10	1	*Thermocouple*
11	1	*Crystallizer*
12	1	Pipa *Inlet*
13	1	*Cooling Bath*
14	1	Pipa *Outlet*
15	1	Mesin Pendingin
16	1	Pompa Air

Gambar 3.16 Instalasi alat penelitian

Pada instalasi alat ini mengunakan motor listrik tiga fasa (3) yang digunakan untuk memutar *crystallizer* (11). Kecepatan motor diatur dengan menggunakan *inverter* (2). Sebelum *crystallizer* di pasang, maka terlebih dahulu dimasukan gas dan *aquades* melalui katup gas (9). Pada *crystallizer* dilengkapi dengan dua alat ukur yaitu sensor tekanan menggunakan *presure sensor* (8) dan sensor temperatur mengunakan *thermocouple* (10). Selama proses berlangsung, *crystallizer* akan didinginkan dengan air pendingin yang diwadahi *cooling bath* (13). Setelah dari *cooling bath*, air pendingin akan keluar melewati saluran pipa *outlet* (14) menuju mesin pendingin (15) untuk dijaga suhunya. Setelah didinginkan di mesin pendingin, air pendingin disalurkan menggunakan pompa air (16) untuk kembali ke *cooling bath* melalui pipa *inlet* (12).

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian yang pertama dilakukan adalah mengkalibrasi semua alat ukur yang digunakan. Masukan *aquades* dan cairan ekstrak lerak sesuai variabel bebas (kadar surfaktan) yang telah ditentukan dengan total volume campuran keduanya sebanyak 50 cm^3 kedalam *crystallizer*. Tutup *crystallizer*, lalu pasang *crystallizer* pada dudukan alat pemutar. Letakkan *cooling bath* ke tengah-tengah alat pemutar dan isi dengan air bersuhu ruang sampai *crystallizer* terendam. Setelah *crystallizer* terendam air, masukan gas campuran propana butana kedalam *crystallizer* dan pastikan massa alir gas yang masuk ke *crystallizer* di hitung. Tutup katup gas setelah tekanan didalam *crystallizer* mencapai 2 bar.

Setelah selesai memasukan gas campuran propana butana, pasang intalasi alat seperti Gambar 3.18. Untuk persiapan air pendinginan, pertama masukanlah air kedalam mesin pendingin sebanyak 50 liter dan tambahkan garam dapur sebanyak 1.5 Kg. Aturlah temperatur mesin pendingin sampai suhu paling rendah. Tunggu suhu pada termocauple mesin pendingin menunjukan suhu 273 K dan jaga temperatur agar tetap konstan pada suhu tersebut dengan mengatur *termocontrol* pada mesin pendingin. Jika airnya sudah mencapai suhu 273 K, maka air pendinginan sudah siap untuk disirkulasikan. Sebelum menyirkulasikan air pendinginan melewati *cooling bath*, buang terlebih dahulu air bersuhu ruang didalam *cooling bath* sampai kosong.

3.6.2 Pengambilan Data

3.6.2.1 Laju Pembentukan Hidrat

Pasanglah instalasi seperti pada Gambar 3.18. Setelah persiapan penelitian dilakukan, nyalakan pompa air untuk menyalurkan air dari mesin pendingin menuju *cooling bath*. Atur lagi *thermocontroller* pada mesin pendingin sampai temperatur *thermocouple* pada *cooling bath* menunjukan 273 K . Aturlah frekuensi motor melalui alat *inverter* untuk mendapatkan putaran *crystallizer* sebesar 200 rpm. Ambilah data penurunan tekanan pada *pressure sensor* selama proses berlangsung. Pengambilan data selesai ketika tidak terjadi perubahan tekanan lagi pada *crystallizer* atau maksimal 10 jam.

3.6.2.2 Stabilitas Hidrat

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

3.6.2.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat

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

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

3.6.3 Pengolahan Data

1. Laju pembentukan hidrat

   Pertama yaitu melakukan perhitungan mol dari laju pembentukan hidrat dengan menggunakan persamaan gas nyata dengan memasukkan volume gas yang didapat dari pengukuran *flowmeter*. Kemudian membuat grafik laju pembentukan hidrat dengan membandingkan pengaruh waktu terhadap tekanan dan temperatur pembentukan, serta

membuat grafik laju pembentukan hidrat dengan membandingkan pengaruh waktu terhadap konsumsi mol gas hidrat teoritis dan aktual yang terbentuk.

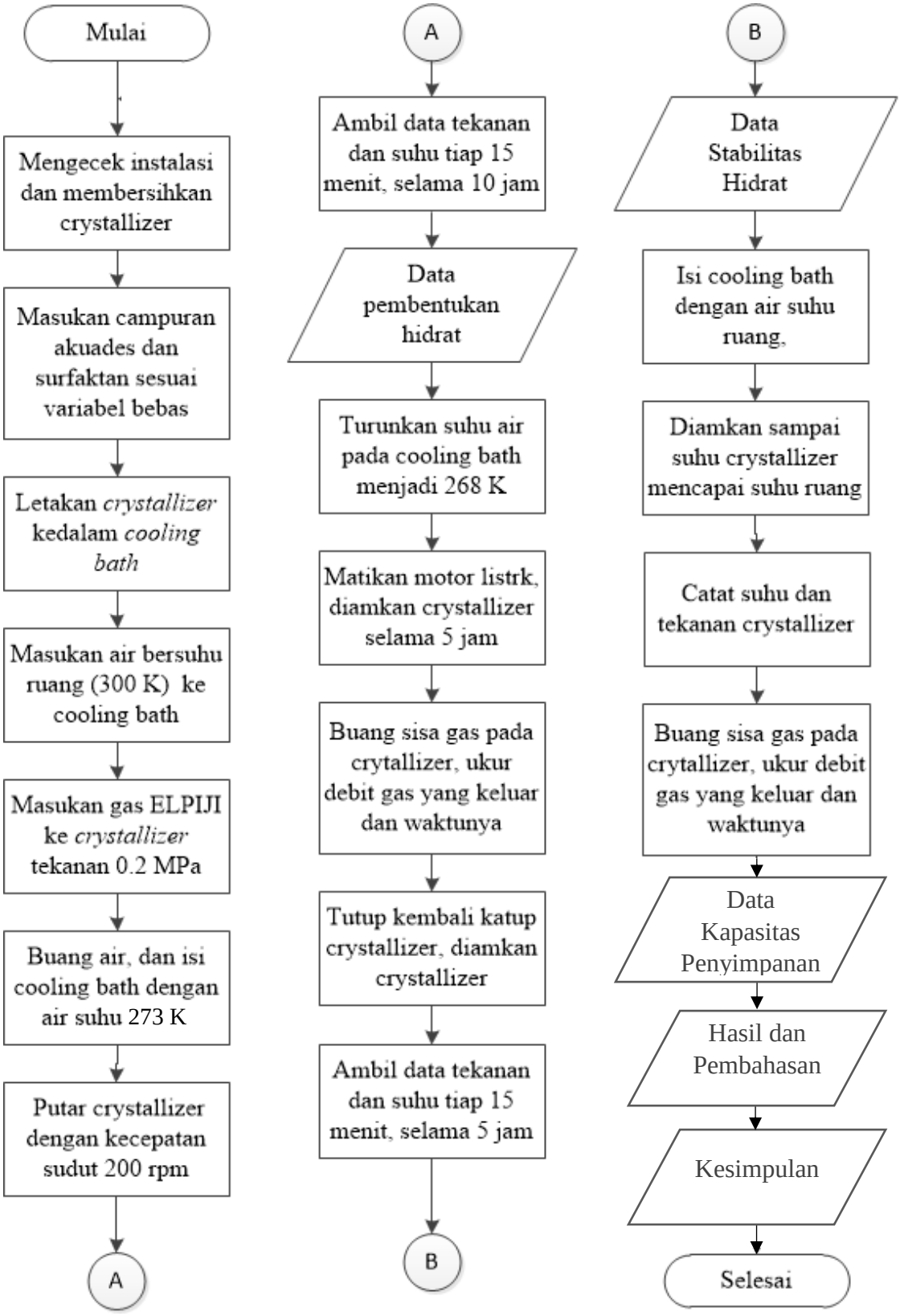
2. Stabilitas hidrat

   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 propane butana dengan membandimgkan pengaruh waktu terhadap mol gas yang terurai.

3. Kapasitas penyimpanan hidrat

   Pengolahan data untuk kapasitas penyimpanan hidrat dengan menghitung jumlah mol gas hidrat secara aktual saat sistem mencapai suhu ruangan. Data mol gas aktual terbagi menjadi dua, yang pertama berdasarkan alat ukur suhu dan tekanan *crystallizer* dan yang kedua berdasarkan alat ukur debit gas atau *flowmeter*. Dari data mol aktual tersebut, dapat dicari nilai volume gas tersebut saat kondisi STP. Kemudian data volume gas aktual tersebut dibandingkan dengan nilai volume gas pada hidrat secara teoritis yang merupakan volume gas maksimum yang mampu tersimpan pada hidrat, diperoleh nilai kapasitas penyimpanan hidrat. Kemudian membuat diagram batang yang membandingkan kapasitas penyimpanan hidrat berdasarkan alat ukur suhu dan tekanan *crystallizer* dengan kapasitas penyimpanan hidrat berdasarkan *flowmeter*

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.17 Diagram alir penelitian

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Data didapatkan dengan melakukan pengujian sesuai dengan variasi kadar surfaktan ekstrak buah lerak *(Sapindus rarak)* yang telah ditentukan, yaitu kadar surfaktan 0%, 5%, 10%, 15% dari total volume larutan. Data penelitian disajikan menjadi 3 proses pengambilan data, yaitu laju pembentukan hidrat, stabilitas hidrat, dan kapasitas penyimpanan hidrat. Data yang diperoleh dari eksperimen berupa tekanan (bar) dan temperatur (K) *crystallizer*, debit *flowmeter* (L/menit), dan waktu (sekon).

4.1.1 Data Hasil Penelitian Laju Pembentukan Hidrat

Pengambilan data laju pembentukan hidrat gas propane butana dilakukan selama 10 jam dengan suhu *cooling bath* 273 K. Tekanan awal pembentukan yaitu sebesar 2 bar (0.2 MPa).

Tabel 4.1 Laju Pembentukan Hidrat Gas Propana Butana

Kadar surfaktan ekstrak buah lerak (%)	T_{0p} (K)	P_{0p} (bar)	T_{1p} (K)	P_{1p} (bar)
0%	296	2.0	273	0.63
5%	296	2.0	273	0.48
10%	296	2.0	273	0.44
15%	296	2.0	273	0.41

Keterangan:

T_{0p} : Temperatur awal *crystallizer* pada saat pembentukan hidrat gas propane butana (K)

T_{1p} : Temperatur akhir *crystallizer* pada saat pembentukan hidrat gas propane butana (K)

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

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

4.1.2 Data Stabilitas Hidrat

Pengambilan data stabilitas hidrat gas propana butana dilakukan selama 5 jam dengan suhu *cooling bath* 268 K.

Tabel 4.2 Stabilitas hidrat gas propana butana

Kadar surfaktan ekstrak buah lerak (%)	Ts (°C)	P_{0s} (bar)	P_{1s} (bar)
0%	-5	0	0,02
5%	-5	0	0,02
10%	-5	0	0,01
15%	-5	0	0.01

Keterangan:

Ts : Temperatur *crystallizer* pada saat stabilitas hidrat gas propana butana (K)

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

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

4.1.3 Data Kapasitas Penyimpanan Hidrat

Pengambilan data kapasitas penyimpanan hidrat gas propana butana dilakukan dengan membiarkan gas dalam hidrat terdekomposisi selama 2 jam hingga *crystallizer* mencapai suhu ruangan (23°C).

Tabel 4.3 Kapasitas penyimpanan hidrat gas propana butana

Kadar surfaktan ekstrak buah lerak (%)	t_k (menit)	T (K)	P (bar)	D (L/menit)	t_f (sekon)
0%	120	296	0,30	0,42	6,64
5%	120	296	0,34	0,42	7,66
10%	120	296	0,36	0,42	8,2
15%	120	296	0,38	0,42	8,79

Keterangan:

t_k : Waktu yang diperlukan untuk menguraikan gas yang terjebak pada hidrat propana butana (menit)

T : Temperatur akhir *crystallizer* saat penguraian hidrat gas propana butana (K)

P : Tekanan akhir *crystallizer* saat penguraian hidrat gas propana butana (bar)

D : Debit *flowmeter* saat pengeluaran gas pada proses penguraian (L/menit)

t_f : Waktu pengeluaran gas menggunakan *flowmeter* pada proses penguraian (sekon)

4.2 Contoh Perhitungan Data Hasil Penelitian

4.2.1 Perhitungan Laju Pembentukan Hidrat

Contoh perhitungan diambil dari variasi penambahan surfaktan 15% laju pembentukan hidrat gas propana butana saat menit ke 600. Laju pembentukan hidrat gas menghitung nilai mol dari gas yang terbentuk pada hidrat.

a) Perhitungan Faktor Kompresibilitas

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

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

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

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

Tekanan di dalam *crystallizer* pada saat menit 600 ($p_{t=600}$) = 0,041 MPa

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

a) Nilai P_c

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

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

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

b) Nilai P_r

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

$$= \frac{0.041}{4.025}$$

$$= 0{,}01019$$

c) Nilai T_{cr}

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

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

$$= 397{,}6 \text{ K}$$

d) Nilai T_r

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

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

= 0,68662

e) Faktor asentrik (ω)

ω $= -1 - \log p_r$

$= -1 - \log 0{,}01019$

= 0,99198

f) Koefisien yang dipengaruhi Pr dan Tr (α)

α $= \{1 + (0{,}3764 + 1{,}54226\omega - 0{,}2699\omega^2)(1 - T_r^{0.5})\}^2$

$= \{1 + (0{,}37464 + 1{,}5426.\,0{,}99198 - 0{,}269\,.\,0{,}99198^2)(1 - 0{,}68662^{0.5})\}^2$

= 1,64064

g) Konstanta Persamaan keadaan Peng Robinson

A $= \frac{\Omega_a\ \alpha\ p_r}{{T_r}^2}$; Ω_a = 0,45724

$= \frac{0{,}45724 \text{ x } 1{,}64064 \text{ x } 0{,}01019}{0{,}68662^2}$

= 0,01621

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

$= \frac{0{,}07779 \text{ x } 0{,}01019}{0{,}68662}$

= 0,00115

c_2 $= B - 1$

$= 0{,}00115 - 1$

$= -0{,}99885$

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

$= 0{,}01621 - 2 \text{ x } 0{,}00115 - 3 \text{ x } 0{,}00115^2$

= 0,0139

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

$= 0{,}01621 \text{ x } 0{,}00115 - 0{,}00115^2 - 0{,}00115^3$

= 0,00002

h) Determinan persamaan keadaan Peng Robinson

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

$$= \frac{3 \text{ x } (-0{,}99885) - 0{,}0139^2}{3}$$

$$= -0{,}99891$$

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

$$= \frac{2(-0{,}99885)^3 - 9(-0{,}99885)(0{,}0139) + 27(0{,}00002)}{27}$$

$$= 0{,}07855$$

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

$$= \frac{-0{,}99891^3}{27} + \frac{0{,}07855^2}{4}$$

$$= -0{,}03537$$

i) Faktor kompresibilitas (Z)

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

$$= 1{,}36494$$

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

$$= 0{,}56885$$

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

$$= -0{,}13091$$

$$Z_3 = 2\sqrt{\frac{-K}{3}}\cos(\Phi + 240) - \frac{c_2}{3}$$

$$= -0{,}65827$$

Jadi, faktor kompresibilitas yang digunakan untuk menghitung jumlah mol gas pada kadar surfaktan 15% menit ke-600 adalah 0,56885. Untuk nilai faktor kompresibilitas data pada setiap 15 menit bisa diperoleh dengan mengganti nilai $p_{t=600}$ dengan p pada waktu tersebut.

j) Perhitungan Jumlah Volume Gas

$y_{p=600}$ = (3,29.$P_{t=600}$ + 93,42)

= (3,29.0.41 + 93,42)

= 94,7689 cm^3

= 0,00009477 m^3

k) Perhitungan Jumlah Mol Gas

$n_{t=600} = \frac{P_{t=600} .V}{Z .R .T}$

$= \frac{0{,}041\ x\ 10^6 x\ 0{,}00009477}{0{,}56885\ x\ 8{,}31447\ x\ 273}$

= 0,00301 mol

l) Perhitungan Konsumsi Gas Pada Proses Pembentukan

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

$N_{t=600} = n_{t=0} - n_{t=600}$

= 0,01369 − 0,00301

= 0,01068 mol

4.3.2 Perhitungan Kapasitas Penyimpanan Hidrat

Contoh perhitungan diambil dari variasi kadar surfaktan 15 %. Kapasitas penyimpanan hidrat yang dihitung adalah volume gas yang terdekomposisi hingga temperatur ruangan dengan volume air 42,5 cm^3.

- Perhitungan Massa Air

$m_w = \rho V$

$m_w = 1\ {}^{gr}/_{cm^3}\ x\ 42{,}5\ cm^3$

$= 42{,}5\ gr$

- Perhitungan mol air (H_2O)

$n_w = \frac{m_w}{Mr(H2O)}$

$$= \frac{42,5}{18}$$

$$= 2,361\ mol$$

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

$m_g = m_w\ x\ 15,5\ \%$

$= 42,5\ gr\ x\ 0,155$

$= 6,5875\ gr$

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

$$n_{max} = \frac{m_g}{M_{r\ (LPG)}}$$

$$= \frac{6.5875}{51}$$

$$= 0,129166667\ mol$$

- Perhitungan volume maksimum gas hidrat propana butana pada kondisi STP

$$V_{max} = \frac{n_{max}.\ Z.R.T}{P_{STP}}$$

$$= \frac{0,129166667\ .0,58365.8,31446\ .273}{10^5}$$

$$= 0,001711198\ m^3$$

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

$PV = n\ Z\ R\ T$

$$n_{aktual} = \frac{P.V}{Z\ R\ T}$$

$$= \frac{0,38.10^5.0,0001}{0,56483.\ 8,31446\ .296}$$

$$= 0,00273\ mol$$

- Perhitungan volume aktual gas hidrat propana butana pada kondisi STP

$$V_{aktual} = \frac{n_{aktual}.Z\ R\ T}{P_{STP}}$$

$$= \frac{0{,}00273\ .0{,}58365.8{,}31446\ .273}{10^5}$$

$$= 0{,}000036215\ m^3$$

- Perhitungan kapasitas penyimpanan aktual gas hidrat propana butana

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

$$= \frac{0{,}000036215}{0{,}001711198}$$

$$= 0{,}021163711$$

- 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 8,79 detik. Maka molnya adalah :

$$n_f = \left[\left(\frac{t}{60}\ \text{x D}\right)\ .\rho_{elpiji}\right] / Mr_{elpiji}$$

$$= \left[\left(\frac{8{,}79}{60}\ \text{x}\ 0{,}42\right)\ .2{,}245\right] / 51$$

$$= 0{,}0027\ \text{mol}$$

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

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

$$= \frac{0{,}0027\ .\ 0{,}58365.8{,}31446\ .273}{10^5}$$

$$= 0{,}000035763\ m^3$$

- Perhitungan kapasitas penyimpanan aktual gas hidrat propana butana menggunakan *flowmeter*

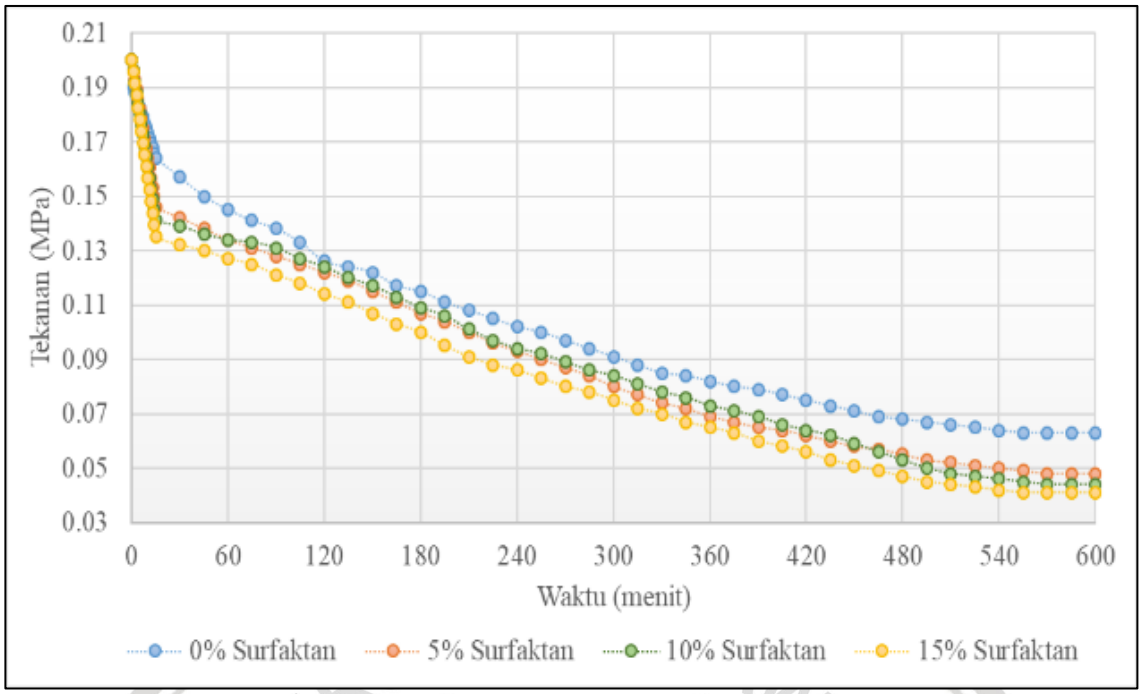
$$Kp_f = \frac{V_f}{V_{max}}$$

$$= \frac{0{,}000035763}{0{,}001711198}$$

$$= 0{,}020899572$$

4.3 Pembahasan

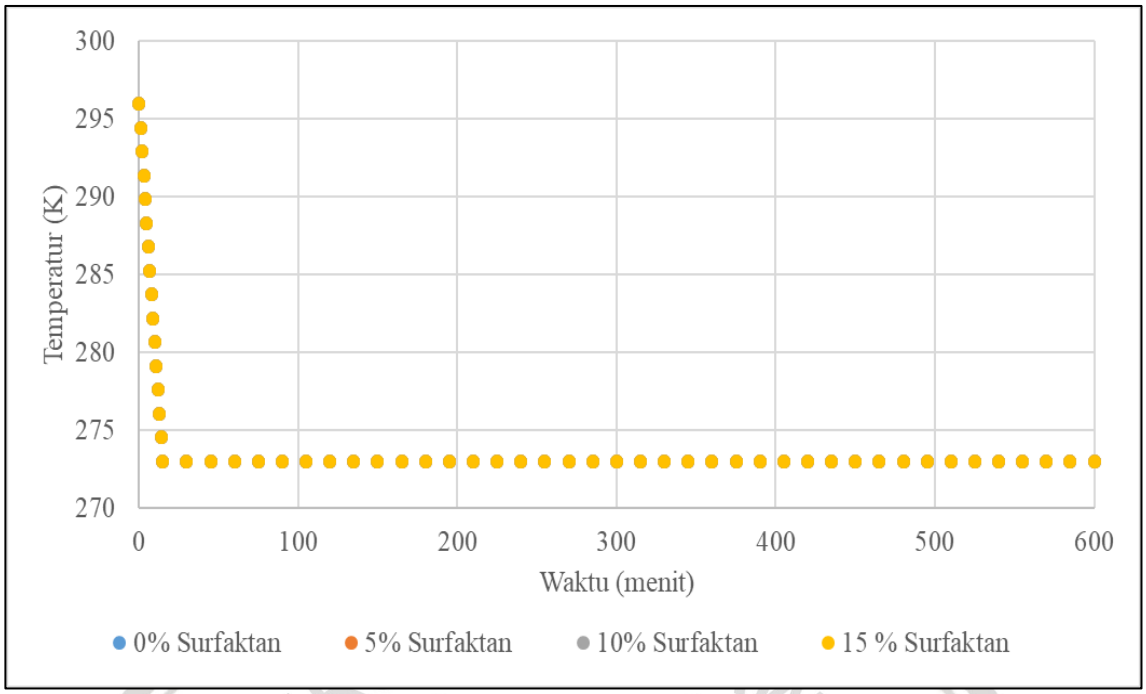
4.3.1 Laju Pembentukan Hidrat



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara tekanan terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana

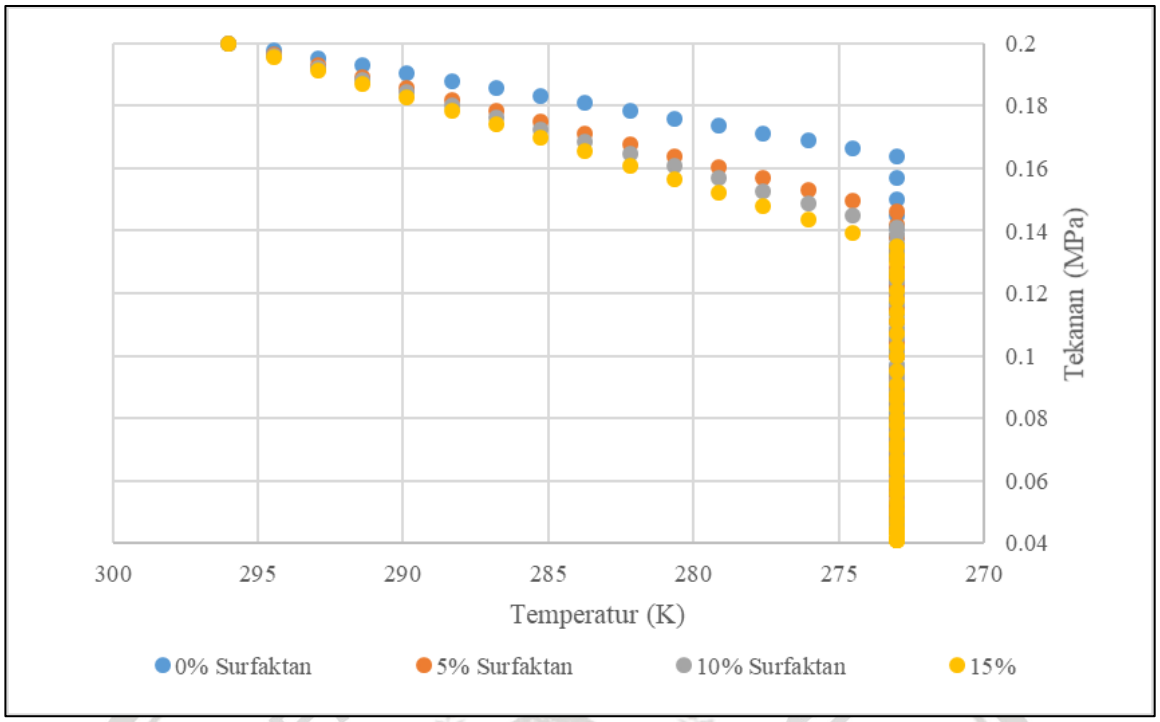
Gambar 4.1 menunjukkan grafik hubungan antara tekanan terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana. Tekanan hidrat yang terdapat pada grafik menunjukkan tekanan gas yang menyisip masuk ke dalam hidrat dengan temperatur pembentukan hidrat konstan pada setiap variasinya.

Dengan variasi kadar surfaktan yang berbeda-beda, mulai dari 0%, 5%, 10% dan 15% dari volume total larutan, menyebabkan tekanan terakhir pada pembentukan hidratnya berbeda pula. Pada penambahan surfaktan 0% tekanannya adalah 0,63 MPa. Penambahan surfaktan 5% tekanan akhir pada pembentukan hidrat adalah 0,048 MPa. Penambahan surfaktan 10% tekanan pembentukan hidrat adalah 0,044 MPa. Sedangkan tekanan terakhir pada penambahan surfaktan 15% adalah 0,041 MPa. Dapat disimpulkan semakin banyak kadar surfaktan dalam larutan, maka tekanan akhir proses pembentukan semakin rendah pula. Semakin rendahnya tekanan akhir proses, itu artinya semakin banyak gas yang terserap ke dalam larutan dalam proses pembentukan tersebut.



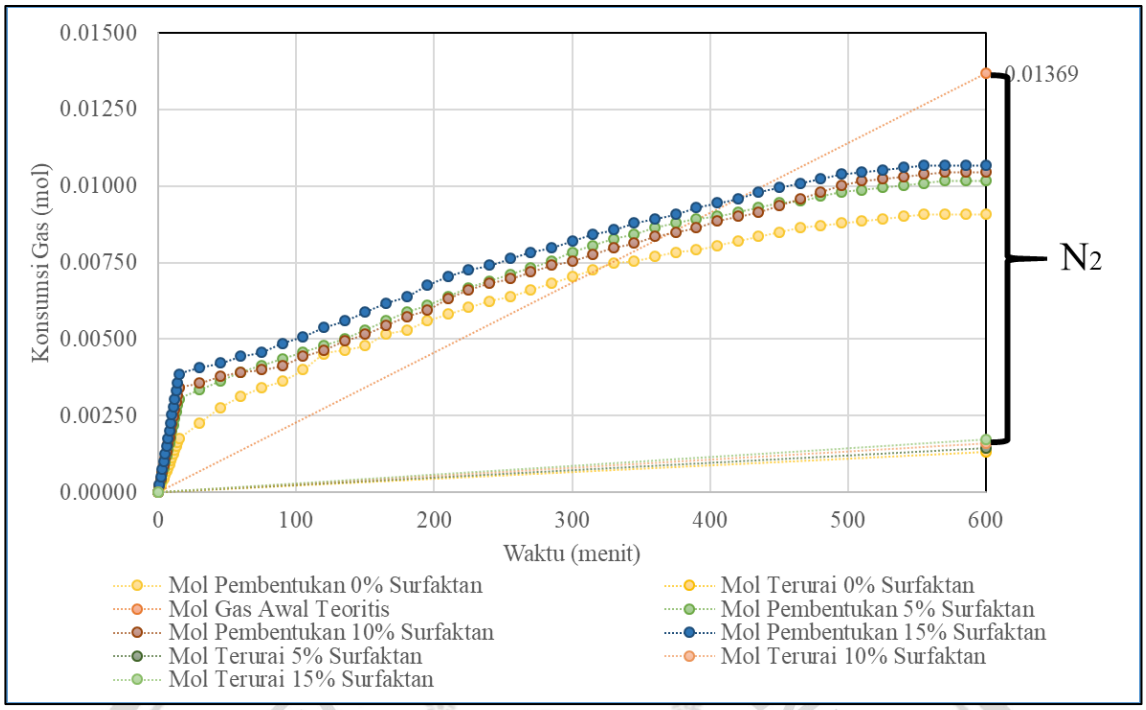
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara waktu terhadap temperatur pembentukan hidrat propana butana

Gambar 4.2 merupakan grafik waktu terhadap temperature *crystallizer* pada proses laju pembentukan hidrat. Terlihat bahwa dari keempat variasi kadar surfaktan, memiliki temperatur yang sama ditiap menitnya, dimana diawal proses temperatur sebesar 296 K lalu mulai dari menit ke-15 dan seterusnya temperature mencapai 273 K dan konstan. Grafik ini nantinya akan menjadi grafik untuk mencari nilai validasi konsumsi mol di subbab selanjutnya.



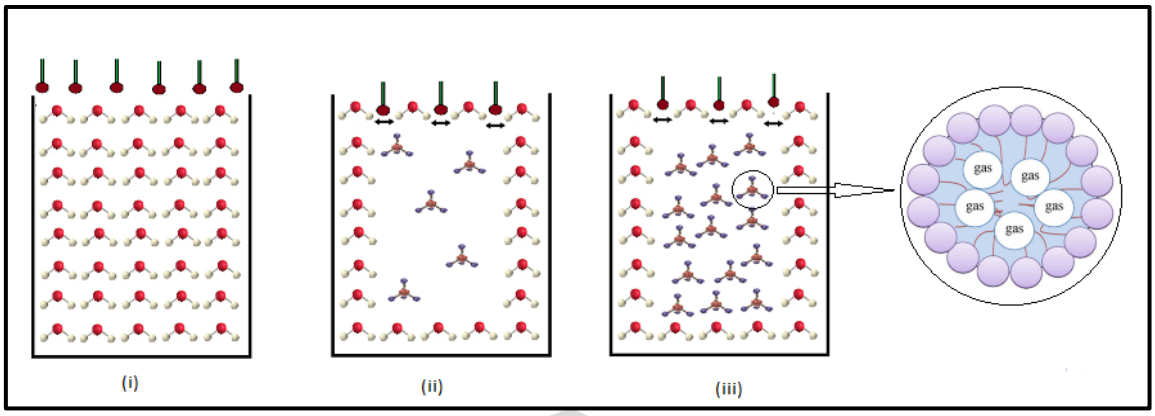
Gambar 4.3 Grafik tekanan terhadap temperatur laju pembentukan hidrat

Gambar 4.3 menunjukan grafik hubungan antara tekanan terhadap temperatur pembentukan hidrat gas propana butana pada variasi penambahan surfaktan dengan tekanan pembentukan 0,2 MPa. Pada variasi penambahan surfaktan temperatur *cooling bath* dijaga tetap pada temperatur 273 K sehingga untuk keseluruhan variasi memiliki nilai temperatur yang sama, namun tekanan yang berbeda disetiap variasinya. Pembentukan hidrat terjadi pada saat temperatur sistem (molekul air dan molekul gas dalam crystallizer) telah mencapai temperatur kesetimbangan hidrat. Terbentuknya hidrat ditandai dengan menurunnya tekanan secara signifikan, dan temperatur juga akan turun secara signifikan.



Gambar 4.4 Grafik konsumsi mol pembentukan dan mol terurai terhadap waktu

Gambar 4.4 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 4.4 dapat dilihat terdapat perbedaan yang besar antara konsumsi gas pada larutan yang tidak memakai surfaktan (0% surfaktan) dengan larutan yang diberi surfaktan. Hal ini disebabkan dengan penambahan surfaktan dalam air dapat menurunkan tegangan permukaan yang menjadikan gas dapat masuk dengan mudah kedalam air. Dari gambar diatas, juga terlihat bahwa terdapat perbedaan konsumsi gas antara variasi 5%,10% dan 15% surfaktan, dimana semakin banyak kadar surfaktan dalam larutan maka konsumsi gas juga semakin tinggi.



Gambar 4.5 Mekanisme surfaktan dalam meningkatkan laju pembentukan hidrat

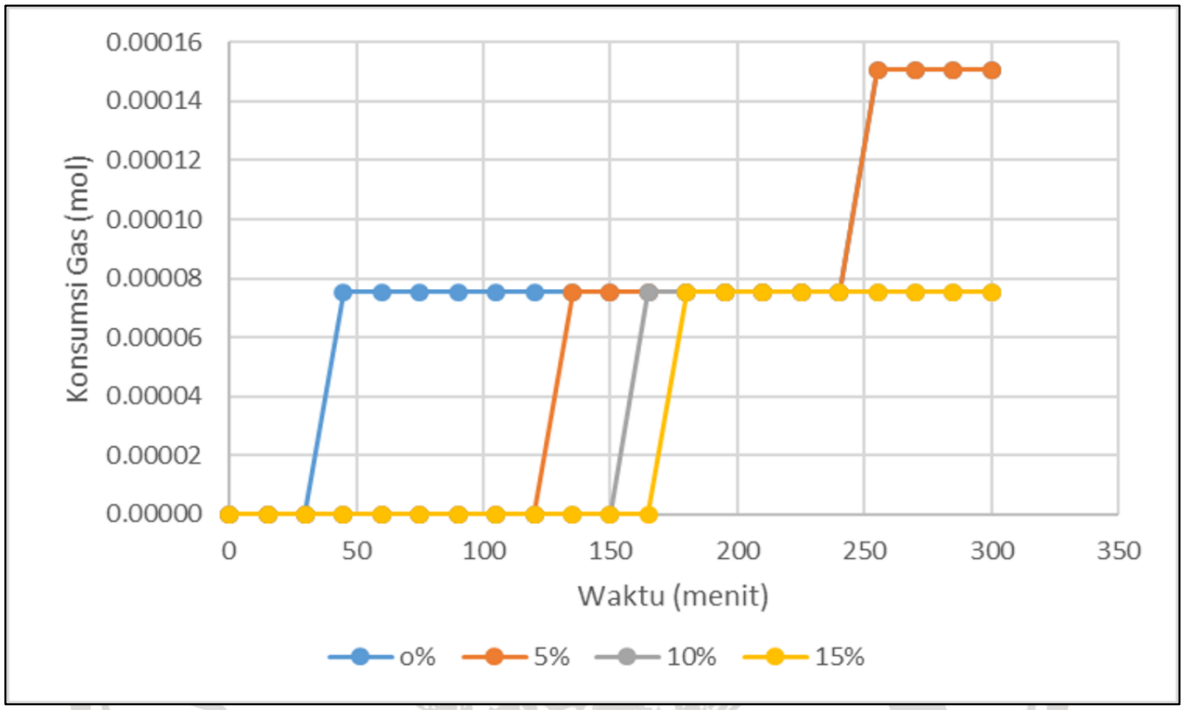
Pada *Gambar 4.5* menunjukan proses pembentukan hidrat gas alam dengan adanya senyawa surfaktan dalam larutan penyusun hidrat. Dimana warna merah menunjukan atom oksigen, warna putih dan ungu menunjukan atom hidrogen, warna cokelat menunjukan atom karbon. Proses diatas terjadi dengan langkah-langkah 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 rongga yang terbentuk dari molekul air.

ii. Pada kondisi kedua, surfaktan yang memiliki senyawa polar masuk kedalam air yang menyebabkan tegangan permukaan air menurun. Tegangan permukaan yang menurun artinya adalah bahwa kerapatan posisi molekul air dipermukaan semakin longgar. Semakin longgarnya rongga antar molekul air menyebabkan gas propane butana diatasnya akan mudah berdifusi ke dalam air. Molekul surfaktan juga ikut berinteraksi dengan molekul gas propane dan butana. Terlihat pada gambar diatas bagian hidrofobik mampu mengikat dan mengelilingi molekul gas karena struktur gas propane butana yang mirip hidrokarbon, sehingga mampu mempercepat difiusi gas kedalam air. nti hidrat sudah mulai terbentuk dengan ditandai penurunan temperatur dan diikuti dengan turunya 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.

4.3.2 Stabilitas Hidrat

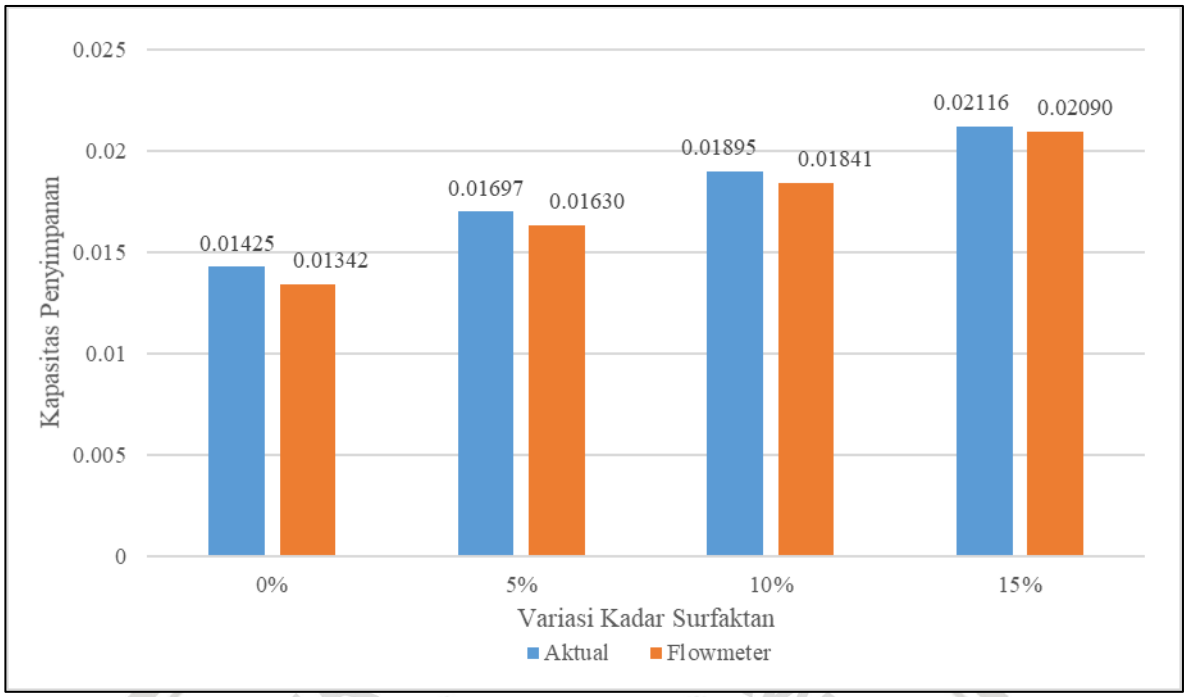


Gambar 4.6 Grafik hubungan antara hidrat gas terurai propana butana terhadap waktu

Gambar 4.6 menunjukkan grafik hubungan antara jumlah gas terurai terhadap waktu stabilitas hidrat gas propana butana. Stabilitas hidrat merupakan kemampuan hidrat untuk dapat mempertahankan struktur hidrat itu sendiri, sehingga tidak terdekomposisi menjadi gas dan air.

Stabilitas hidrat diteliti setelah hidrat terbentuk menjadi fase kristal hidrat, kemudian hidrat disimpan dalam di dalam crystallizer selama 5 jam dengan temperatur *cooling bath* sebesar 268 K. Dalam hal ini kenaikan temperatur dan tekanan di dalam crystallizer selalu diamati dalam waktu 15 menit. Dengan kenaikan tekanan dan temperatur tersebut akan didapatkan jumlah gas yang terurai dari struktur hidrat itu sendiri. Didapatkan data bahwa pada penambahan surfaktan 15% nilai stabilitas hidratnya merupakan yang paling baik. Hal ini disebabkan waktu yang dibutuhkan untuk menguraikan 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.

4.3.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat



Gambar 4.7 Diagram kapasitas penyimpanan hidrat

Gambar 4.7 merupakan diagram kapasitas penyimpanan aktual termodinamik dan aktual *flowmeter* 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.

Kapasitas penyimpanan hidrat aktual termodinamik adalah perbandingan antara volume gas campuran propana butana yang terdekomposisi dari hidrat saat temperatur ruang (296 K) yang dihitung menggunakan persamaan gas nyata berdasarkan data dari alat ukur suhu dan tekanan dengan volume gas campuran propana butana pada hidrat secara teoritis (massa gas 15,5% dari massa air). Kapasitas penyimpanan hidrat tertinggi ada pada variasi penambahan surfaktan 15% dengan nilai sebesar 0.02116 untuk aktual termodinamik dan 0.02090 untuk aktual *flowmeter*. Ini terjadi karena semakin besar kadar surfaktan dalam larutan, maka tegangan permukaan air akan menurun. Dengan menurunnya tegangan permukaan air, 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 aktual termodinamik dan aktual *flowmeter* terlihat pada Gambar 4.7. Nilai kapasitas penyimpanan hidrat aktual

termodinamik selalu lebih tinggi daripada nilai kapasitas penyimpanan aktual *flowmeter*. Penyebabnya adalah ketika pengukuran debit gas menggunakan *flowmeter*. Ada sebagian gas campuran propane butana yang keluar dari *crystallizer* namun tidak terbaca pada *flowmeter*. Hal ini karena sifat dari gas campuran propane dan butana yang lebih berat massa jenisnya daripada udara normal, sehingga tidak semuanya melewati *flowmeter* dan masih ada yang tertahan didalam selang maupun *crystallizer*.

4.3.4 Validasi Data Konsumsi Mol Hidrat

Tahap validasi dimaksudkan untuk mendapatkan nilai konsumsi mol gas aktual tiap menit yang ditentukan dengan perubahan mol (dn) tiap menitnya berdasarkan konstanta laju pembentukan hidrat (k). Konstanta laju pembentukan hidrat diperoleh saat proses pembentukan hidrat dan diolah menggunakan Persamaan (4-1) dibawah ini.

$$\frac{dn}{dt} = k\frac{(n_t - n_o)}{(n_{max} - n_o)} \quad \text{..... (4-1)}$$

$$k = Ae^{\frac{B}{T}} \quad \text{..... (4-2)}$$

$$ln\, k = ln\, A + \frac{B}{T} \quad \text{..... (4-3)}$$

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)

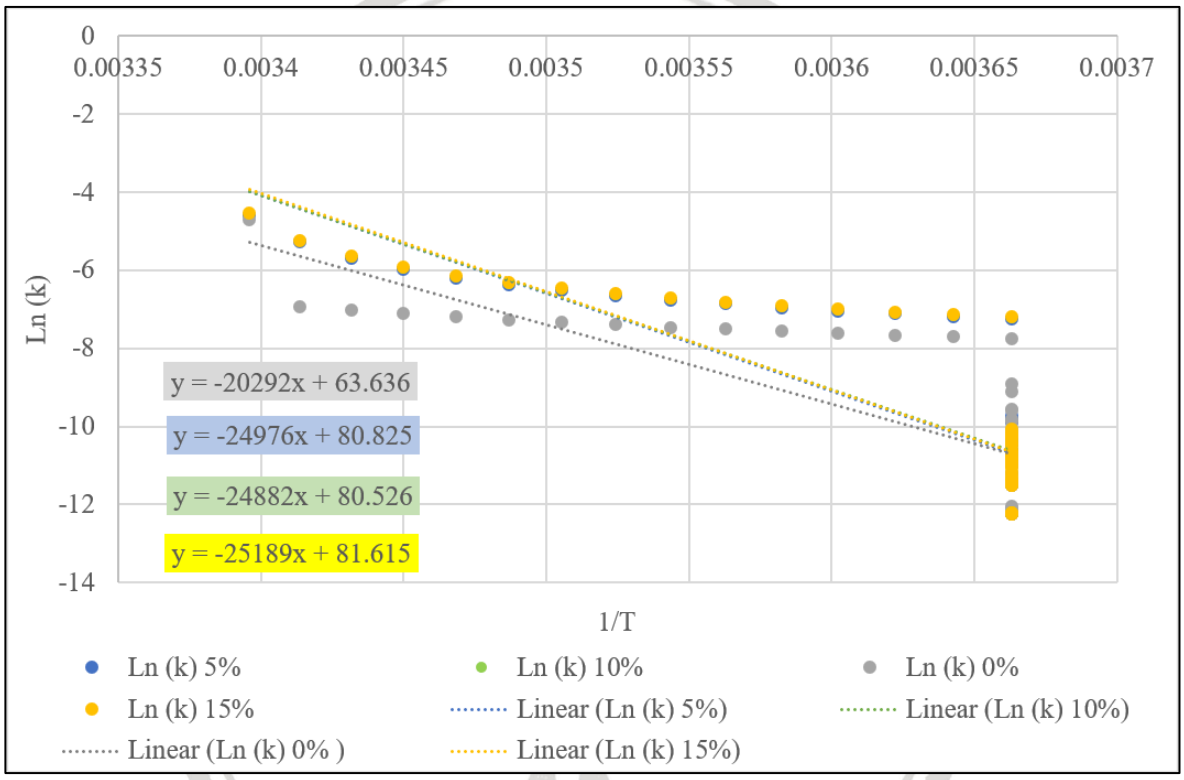
n_{max} = mol terkonsumsi akhir proses pembentukan (mol)

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 kuniversal. Dengan Persamaan Arrhenius (Persamaan (4-2)), dapat diasumsikan nilai kuniversal 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. Gambar 4.2 dan 4.4 akan ikut berperan dalam menentukan nilai $k_{universal}$. Untuk memperoleh persamaan kuniversal kita dapat menurunkan Persamaan (4-2) menjadi persamaan logaritma seperti pada Persamaan (4-3). Selanjutnya, diperlukan sebuah grafik yang dapat memplot nilai Ln(k) sebagai fungsi dari temperatur di sepanjang waktu proses pembentukan, seperti pada Gambar 4.8. Nilai Ln(k) dapat diperoleh dari grafik pada Gambar 4.8 . Untuk mempermudah analisis nilai $k_{universal}$, untuk sumbu x grafik dipilih variabel 1/T. Nilai 1/T dapat diperoleh dari grafik pada Gambar 4.2.

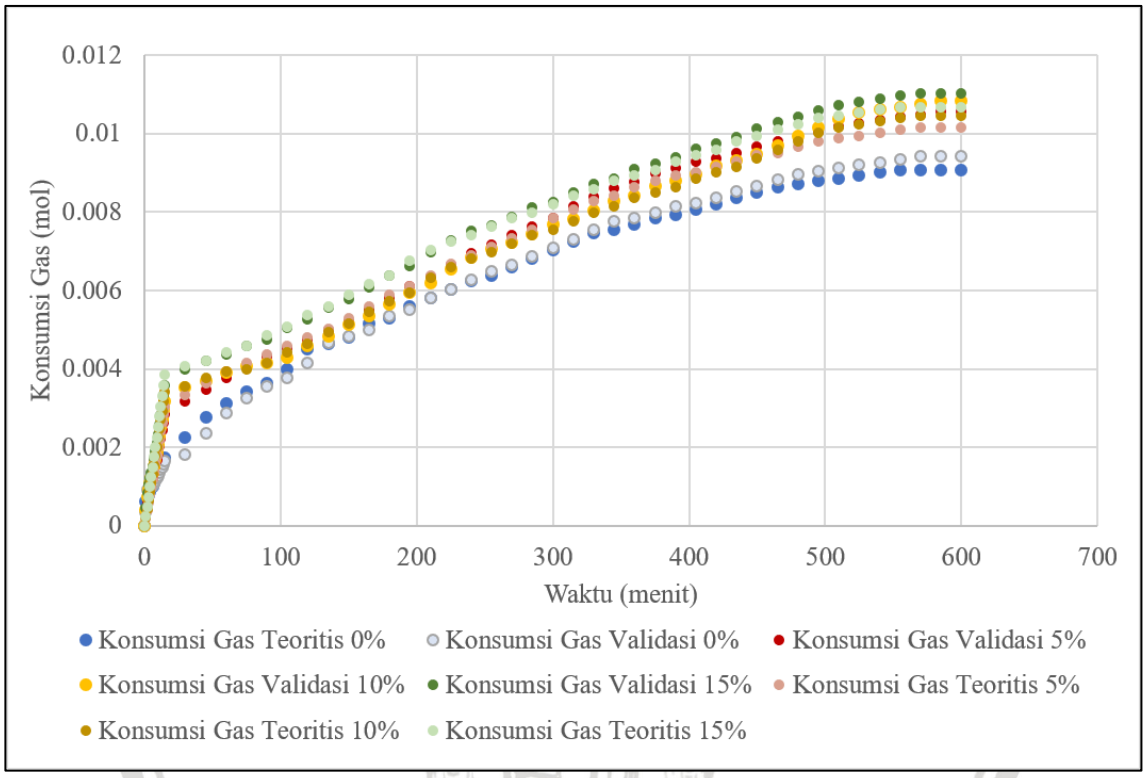


Gambar 4.8 Grafik Ln (k) terhadap 1/T

Dari titik-titik nilai Ln(k) tersebut, lalu ditarik sebuah garis linear. Dari garis linear tersebut, dapat kita peroleh persamaan garis linearnya, dimana terdapat nilai konstanta A dan B dari situ. Diperoleh persamaan kuniversal untuk masing-masing variasi kadar surfaktan seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.4 Konstanta Laju Pembentukan Hidrat

Kadar Surfaktan	Konstanta Laju Pembentukan
0% Surfaktan	$K=4{,}333.10^{27}e^{-20292/T}$
5% Surfaktan	$K= 1{,}457.10^{34}e^{-24354\ /T}$
10% Surfaktan	$K= 9{,}376.10^{34}e^{-24882/T}$
15% Surfaktan	$K= 2{,}786.10^{35}e^{-25189/T}$



Gambar 4.9 Grafik perbandingan antara konsumsi gas teoritis dan konsumsi gas validasi terhadap waktu

Dengan sudah diperolehnya nilai $k_{universal}$, dapat dibuat grafik konsumsi mol gas aktual seperti pada Gambar 4.9. Untuk memperoleh nilai mol aktual tiap menitnya, digunakan Persamaan (4-4) dan (4-5).

$$n_{x+1} = n_x + dn \quad \text{.....(4-4)}$$

$$dn = k_{universal} \frac{(n_t - n_o o)}{(n_{max} - n_o)}\ dt \quad \text{.....(4-5)}$$

Dimana:

n_x = mol terkonsumsi menit ke-x (mol)

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

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

Lalu apabila kita melihat Gambar 4.4 kembali, yang menjelaskan hubungan antara jumlah mol gas awal proses dengan jumlah mol gas yang terurai dapat kita peroleh persamaan berikut:

$$n_{awal} = n_s + n_{KP} \quad \text{.....(4-6)}$$

Dimana :

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

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

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

Dari persamaan diatas menunjukan 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 0.00908 mol. 5% surfaktan nilai konsumsi gas teoritis nya sebesar 0.01017 mol. 10% surfaktan nilai konsumsi gas teoritis nya sebesar 0.01046 mol. 15% surfaktan nilai konsumsi gas teoritis nya sebesar 0.01068 mol. Sedangkan nilai konsumsi gas aktual pada masing-masing variasi kadar surfaktan adalah sebagai berikut: 0% surfaktan nilai konsumsi gas aktual nya sebesar 0.00942 mol. 5% surfaktan nilai konsumsi gas aktual nya sebesar 0.01057 mol. 10% surfaktan nilai konsumsi gas aktual nya sebesar 0.01083 mol. 15% surfaktan nilai konsumsi gas aktual nya sebesar 0.01104 mol.

repository.ub.ac.id

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian "Pengaruh Penambahan Surfaktan Ekstrak Buah Lerak (*Sapindus rarak*) terhadap Karakteristik Hidrat Gas Campuran Propana dan Butana pada Tekanan 0,2 MPa" adalah sebagai berikut :

1. Semakin banyak surfaktan ditambahkan pada tekanan pembentukan hidrat yang sama, maka laju pembentukan hidrat gas campuran propana butana akan semakin cepat, dan waktu yang dibutuhkan untuk terbentuknya hidrat akan semakin cepat.
2. Semakin banyak surfaktan ditambahkan pada tekanan pembentukan hidrat yang sama, maka stabilitas hidrat yang terbentuk akan semakin baik.
3. Semakin banyak surfaktan ditambahkan pada tekanan pembentukan hidrat yang sama, akan membuat nilai kapasitas penyimpanan hidrat semakin besar.

5.2 Saran

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

1. Perlu dilakukannya penelitian yang lebih lanjut tentang laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat dengan menggunakan gas alam yang lain sebagai gas penyusun.
2. Perlu dilakukannya penelitian yang lebih lanjut tentang laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat dengan variasi jenis surfaktan alami yang lain.
3. Perlu dilakukannya penelitian yang lebih menunjang dari segi fasilitas dan prosedur operasi yang standar, terutama saat mengukur debit gas menggunakan *flowmeter*.

DAFTAR PUSTAKA

Carroll, John. 2009. *Natural Gas Hydrate A Guide for Engineers. Second Edition. British Library*, USA.

Cengel, Y. A. dan Boles, M. A. 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach 5th edition*. New York: Mc Graw-Hill Book.

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

Farn, Richard J. 2006. *Chemistry and Technology of Surfactants*. Oxford: Blackwell Publishing.

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

Ismail, Dwi Nova, Nova Suparmanto, Dwi Rahayu, dan Rusliyanto. 2012. Pengaruh Emulgator Buah Lerak (Sapindus rarak) dengan Emulsi Air dan Solar Sebagai Bahan Bakar Motor Diesel Ramah Lingkungan. *PELITA.* VII: 29-38.

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

Khokhar, A. A., Gudmundsson, J. S. dan Sloan E. D. 1998. *Gas Storage in Structure H Hydrates*. *Fluid Phase Equilibria*. 150-151:383-392.

Kumar, Asheesh, Gaurav Bhattacharjee, B. D. Kulkarni, dan Rajnish Kumar. 2015. Role of Surfactants in Promoting Gas Hydrate Formation. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 1:1-16.

Lang, Xuemei. 2010. Intensification of methane and hydrogen storage in clathrate hydrate and future prospect. *Journal of Natural Gas Chemistry* 19(2010)203–209.

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

Linga, Praveen., Kumar, Rajnish., Lee, Dong Ju., Ripmeester, John. & Englezos, Peter. 2010. A New Apparatus to Enhace The Race of Gas Hydrate Formation: Application to Capture of Carbon Dioxcide. *International Jurnal of Greenhouse Gas Control*, Canada.

Link, Dirk D., Edward P. Ladner, Heather A. Elsen, dan Charles E. Taylor. 2003. Formation And Dissociation Studies For Optimizing The Uptake Of Methane By Methane Hydrates. *Fluid Phase Equilibria*. 211:1-10

Mokhatab, S., Poe, W. A., and Speight, J. G. 2006. *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*. Amsterdam: Elsevier.

Ningrat, Rusmana W.S. 2004. *"Studies on sapindus Rarak Dc as A Defaunating Agent and Its Effects on Rumen Fermentation"*. Division of Agricultural Sciences, School of Biosciences, The University of Nottingham. Leicestershire.

Sloan, E.D., Koh, Carolyn, A. 2008. Clathrate Hydrate of Natural Gases. *Third Edition. Taylor & Francis Group*, LLC.

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

Thakur, Kumar, Naresh., Rajput, Sanjeev. 2011. *Exploration of Gas Hydrate. Geophysical Techniques*. Springer, London New York.

Veluswamy , Hari Prakash, Asheesh Kumar, Yutaek Seo, Ju Dong Lee, dan Praveen Linga. 2018. A Review Of Solidified Natural Gas (SNG) Technology For Gas Storage Via Clathrate Hydrates. *Applied Energy*. 216: 262-285.

Wijayanti, Widya. 2016. Study On Propane-Butane Gas Storage By Hydrate Technology. *AIP Conference Proceedings* .1717: 1-10

Wijayanti, Widya. 2017. Validasi Performance Gas Hidrat pada Variasi Temperatur Cooling Bath pada Tekanan 4 Bar . *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta.* XX: XX-XX

repository.ub.ac.id

LAMPIRAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

Lampiran 1. Data Hasil Laju Pembentukan Hidrat

Data Hasil Laju Pembentukan Hidrat									
No	Waktu	Temperatur Cooling Bath 273K							
		Surfaktan 0%		Surfaktan 5%		Surfaktan 10%		Surfaktan 15%	
	(Menit)	T (K)	p (bar)	T (K)	p (bar)	T (K)	p (bar)	T (K)	p (bar)
1	0	296	2,00	296	2,00	296	2,00	296	2,00
2	15	273	1,72	273	1,65	273	1,41	273	1,35
3	30	273	1,57	273	1,55	273	1,39	273	1,32
4	45	273	1,50	273	1,48	273	1,36	273	1,30
5	60	273	1,45	273	1,42	273	1,34	273	1,27
6	75	273	1,41	273	1,35	273	1,33	273	1,25
7	90	273	1,38	273	1,31	273	1,31	273	1,21
8	105	273	1,33	273	1,27	273	1,27	273	1,18
9	120	273	1,26	273	1,23	273	1,24	273	1,14
10	135	273	1,24	273	1,19	273	1,20	273	1,11
11	150	273	1,22	273	1,15	273	1,17	273	1,07
12	165	273	1,17	273	1,11	273	1,13	273	1,03
13	180	273	1,15	273	1,07	273	1,09	273	1,00
14	195	273	1,11	273	1,04	273	1,06	273	0,95
15	210	273	1,08	273	1,00	273	1,01	273	0,91
16	225	273	1,05	273	0,96	273	0,97	273	0,88
17	240	273	1,02	273	0,93	273	0,94	273	0,86
18	255	273	1,00	273	0,90	273	0,92	273	0,83
19	270	273	0,97	273	0,87	273	0,89	273	0,80
20	285	273	0,94	273	0,84	273	0,86	273	0,78
21	300	273	0,91	273	0,80	273	0,84	273	0,75
22	315	273	0,88	273	0,77	273	0,81	273	0,72
23	330	273	0,85	273	0,74	273	0,78	273	0,70
24	345	273	0,84	273	0,72	273	0,76	273	0,67
25	360	273	0,82	273	0,69	273	0,73	273	0,65
26	375	273	0,80	273	0,67	273	0,71	273	0,63
27	390	273	0,79	273	0,65	273	0,69	273	0,60
28	405	273	0,77	273	0,64	273	0,66	273	0,58
29	420	273	0,75	273	0,62	273	0,64	273	0,56
30	435	273	0,73	273	0,60	273	0,62	273	0,53
31	450	273	0,71	273	0,55	273	0,59	273	0,51
32	465	273	0,69	273	0,57	273	0,56	273	0,49
33	480	273	0,68	273	0,55	273	0,53	273	0,47
34	495	273	0,67	273	0,53	273	0,50	273	0,45
35	510	273	0,66	273	0,52	273	0,48	273	0,44
36	525	273	0,65	273	0,51	273	0,47	273	0,43
37	540	273	0,64	273	0,50	273	0,46	273	0,42
38	555	273	0,63	273	0,49	273	0,45	273	0,41
39	570	273	0,63	273	0,48	273	0,44	273	0,41
40	585	273	0,63	273	0,48	273	0,44	273	0,41
41	600	273	0,63	273	0,48	273	0,44	273	0,41

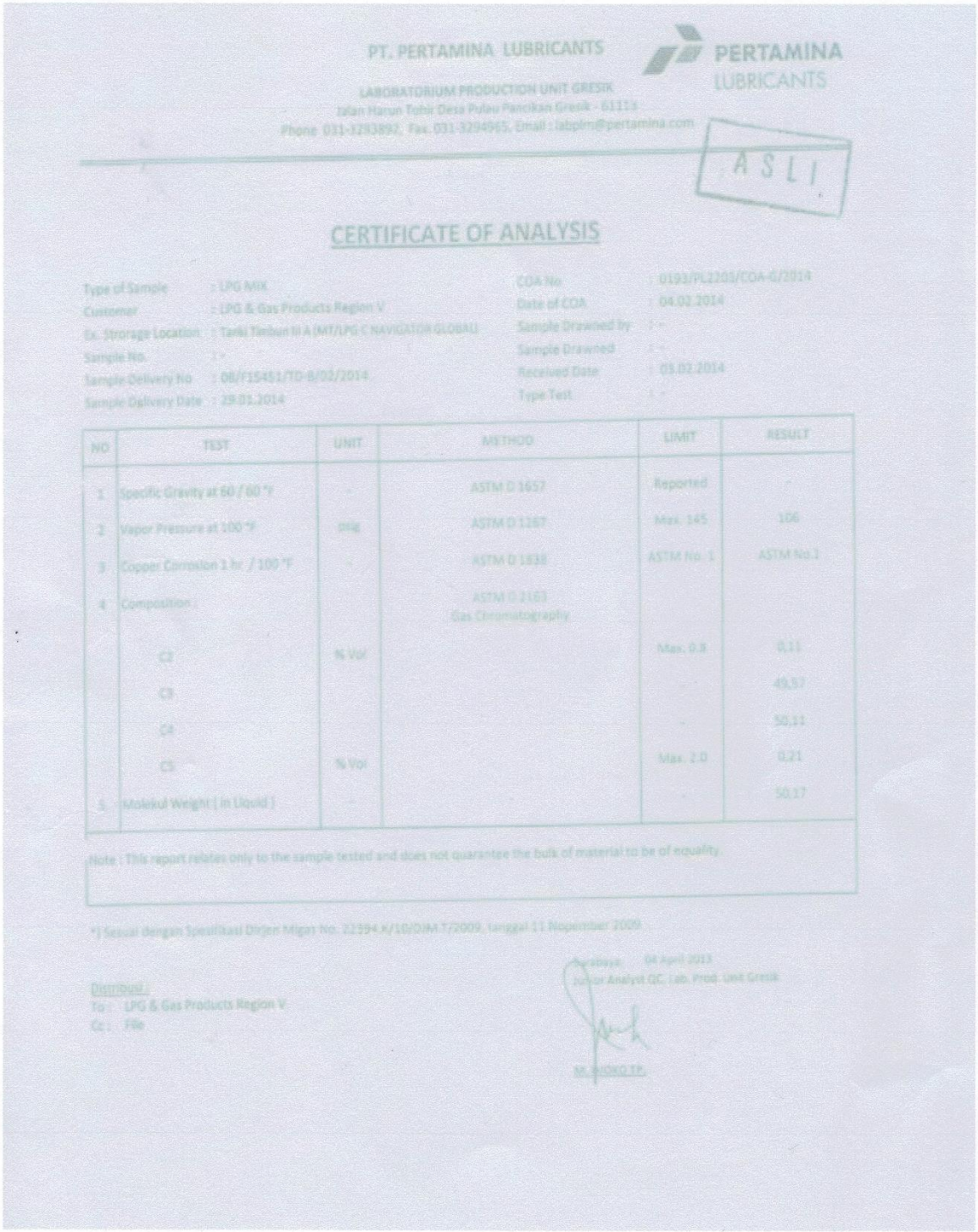
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 2. Data Hasil Stabilitas Hidrat

Data Hasil StabilitasHidrat									
No	Waktu	Temperatur Cooling Bath 273K							
		Surfaktan 0%		Surfaktan 5%		Surfaktan 10%		Surfaktan 15%	
	(Menit)	T (K)	p (bar)	T (K)	p (bar)	T (K)	p (bar)	T (K)	p (bar)
1	0	268	0,00	268	0,00	268	0,00	268	0,00
2	15	268	0,00	268	0,00	268	0,00	268	0,00
3	30	268	0,00	268	0,00	268	0,00	268	0,00
4	45	268	0,01	268	0,00	268	0,00	268	0,00
5	60	268	0,01	268	0,00	268	0,00	268	0,00
6	75	268	0,01	268	0,00	268	0,00	268	0,00
7	90	268	0,01	268	0,00	268	0,00	268	0,00
8	105	268	0,01	268	0,00	268	0,00	268	0,00
9	120	268	0,01	268	0,00	268	0,00	268	0,00
10	135	268	0,01	268	0,01	268	0,00	268	0,00
11	150	268	0,01	268	0,01	268	0,00	268	0,00
12	165	268	0,01	268	0,01	268	0,01	268	0,00
13	180	268	0,01	268	0,01	268	0,01	268	0,01
14	195	268	0,01	268	0,01	268	0,01	268	0,01
15	210	268	0,01	268	0,01	268	0,01	268	0,01
16	225	268	0,01	268	0,01	268	0,01	268	0,01
17	240	268	0,01	268	0,01	268	0,01	268	0,01
18	255	268	0,02	268	0,02	268	0,01	268	0,01
19	270	268	0,02	268	0,02	268	0,01	268	0,01
20	285	268	0,02	268	0,02	268	0,01	268	0,01
21	300	268	0,02	268	0,02	268	0,01	268	0,01

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

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



PT. PERTAMINA LUBRICANTS

PERTAMINA LUBRICANTS

LABORATORIUM PRODUCTION UNIT GRESIK
Jalan Harun Tohir Desa Pulau Pancikan Gresik - 61115
Phone 031-3293892, Fax. 031-3294965, Email : labplm@pertamina.com

ASLI

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Type of Sample : LPG MIX
Customer : LPG & Gas Products Region V
Ex. Storage Location : Tanki Timbun III A (MT/LPG C NAVIGATOR GLOBAL)
Sample No. : -
Sample Delivery No : 08/F15451/TD-B/02/2014
Sample Dglivery Date : 29.01.2014

COA No : 0193/PL2201/COA-G/2014
Date of COA : 04.02.2014
Sample Drawned by : -
Sample Drawned : -
Received Date : 03.02.2014
Type Test : -

NO	TEST	UNIT	METHOD	LIMIT	RESULT
1	Specific Gravity at 60 / 60 °F	-	ASTM D 1657	Reported	-
2	Vapor Pressure at 100 °F	Psig	ASTM D 1267	Max. 145	106
3	Copper Corrosion 1 hr / 100 °F	-	ASTM D 1838	ASTM No. 1	ASTM No.1
4	Composition :		ASTM D 2163 Gas Chromatography		
	C2	% Vol		Max. 0.3	0,11
	C3			-	49,57
	C4			-	50,11
	C5	% Vol		Max. 2.0	0,21
5	Molekul Weight (in Liquid)	-		-	50,17

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

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

Surabaya, 04 April 2013
Junior Analyst QC. Lab. Prod. Unit Gresik

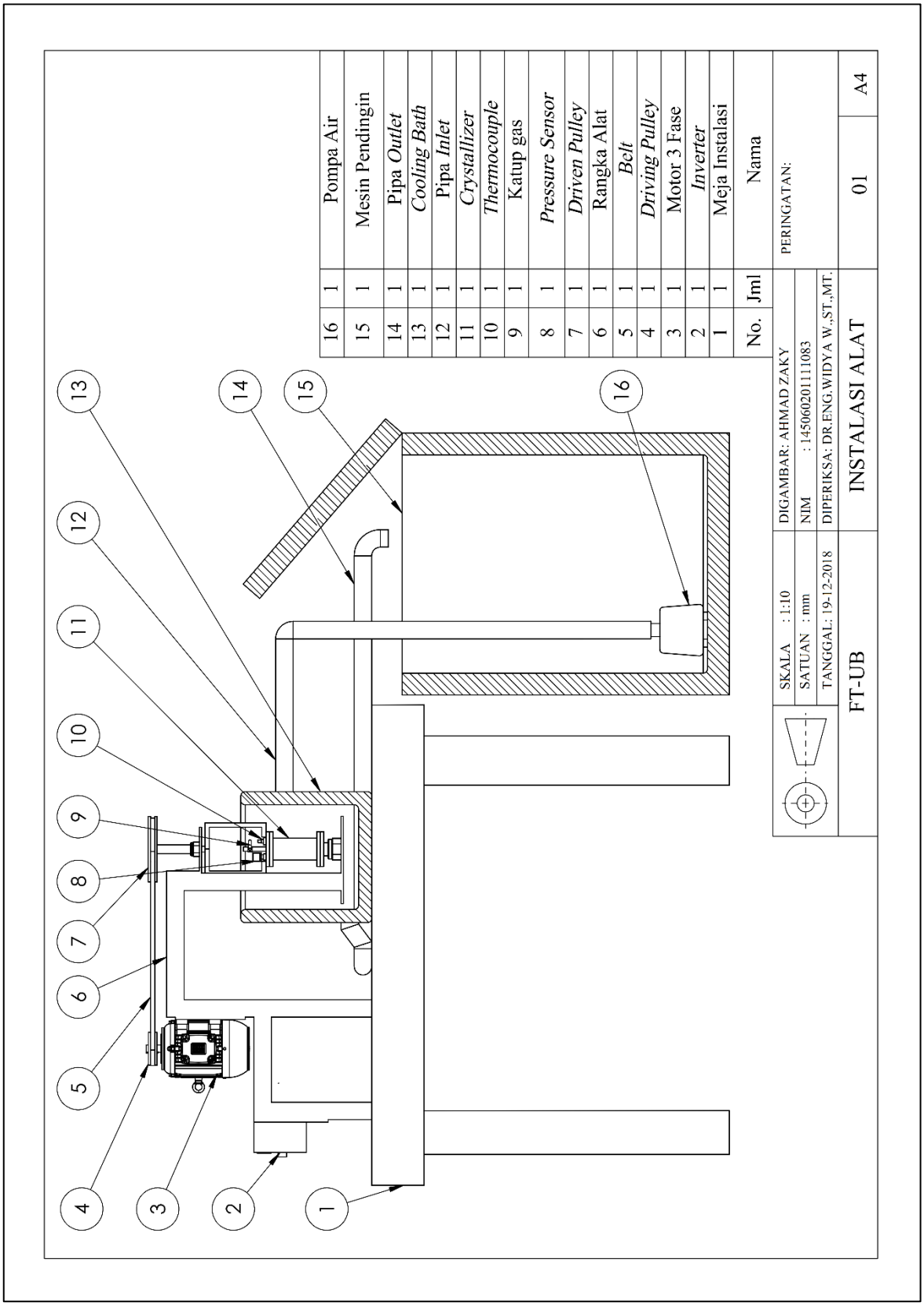
M. [illegible] TP.

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

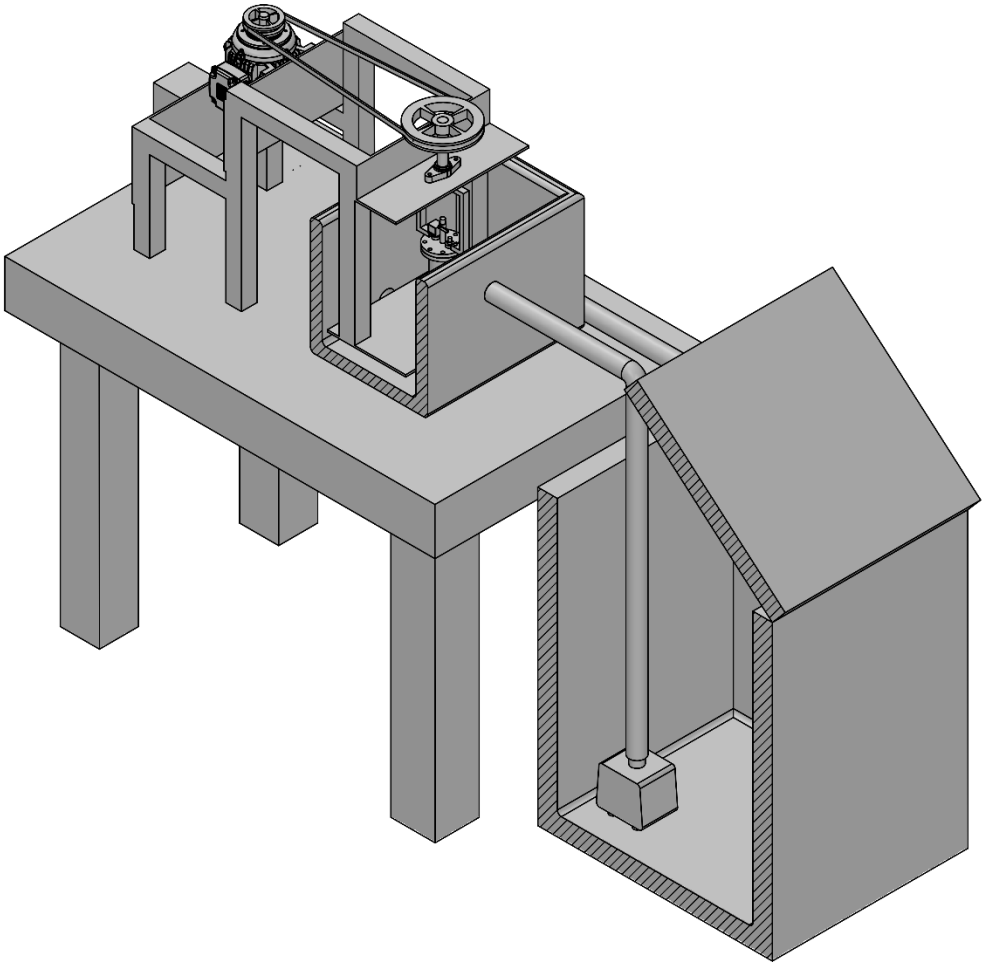
repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

Lampiran 4. Gambar instalasi alat penelitian



Lampiran 5. Gambar isometri instalasi alat penelitian



ISOMETRI	SKALA : 1:10	DIGAMBAR: AHMAD ZAKY	PERINGATAN:	
	SATUAN : mm	NIM : 145060201111083		
	TANGGAL: 19-12-2018	DIPERIKSA: DR.ENG.WIDYA W.,ST.,MT.		
FT-UB		INSTALASI ALAT	02	A4

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA