

## Pengaruh Variasi Tekanan Terhadap Karakteristik Pembentukan Hidrat dari Gas Campuran Propana Butana

Muhammad Nur Azis, Widya Wijayanti, Purnami  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia  
Email : nuraziezie@gmail.com

### ABSTRAK

Hidrat merupakan kristal padat berbentuk es yang terdiri dari air dan gas yang terjadi karena tekanan tinggi dan temperatur rendah. Molekul air memiliki ikatan hidrogen membentuk sebuah kerangka yang memiliki rongga, dan rongga akan di tempati oleh molekul gas. Saat ini banyak penelitian tentang hidrat yang dijadikan sebagai alternatif lain untuk sistem penyimpanan dan transportasi gas alam. Karakteristik dari hidrat telah dianggap hal yang penting dalam penerapannya penyimpanan dan transportasi gas dalam industri pembuatan hidrat gas alam. Karakteristik hidrat meliputi laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat. Pengaruh variasi tekanan akan menentukan nilai karakteristik dari gas hidrat yang terbentuk, terutama gas hidrat propana butana. Semakin besar tekanan maka karakteristik gas hidrat akan semakin meningkat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah tekanan sebesar 2 bar, 3 bar dan 4 bar. Variabel terikat adalah laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat. Variabel terkontrol adalah volume air demin sebesar 50 cm<sup>3</sup>, suhu cooling bath laju pembentukan dan stabilitas sebesar 0 °C dan -5 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik gas hidrat propana butana semakin meningkat dengan meningkatnya tekanan. Karakteristik gas hidrat meliputi laju pembentukan dan kapasitas penyimpanan hidrat serta stabilitas gas hidrat. Laju pembentukan hidrat dinyatakan dalam bentuk tekanan yang ada pada hidrat dan banyaknya konsumsi gas hidrat propana butana. Konsumsi mol terbesar ada pada variasi tekanan 4 bar sebesar 0,01068 mol dengan tekanan hidrat 0,61 bar. Stabilitas gas hidrat propana butana dinyatakan sebagai tekanan penguraian gas pada hidrat. Tekanan penguraian terbesar terjadi pada variasi tekanan 2 bar sebesar 0,6 bar. Tingkat stabilitas hidrat terbesar terjadi pada variasi tekanan 4 bar sebesar 0,4 bar. Kapasitas penyimpanan hidrat terbesar juga ada pada variasi tekanan 4 bar sebesar 0.12 V/V dengan tekanan penyimpanan dalam hidrat sebesar 0,49 bar.

Kata Kunci : Gas hidrat, Propana butana, Tekanan, Laju pembentukan

### 1. PENDAHULUAN

Ketersediaan sumber daya alam sebagai sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil terutama minyak bumi semakin menipis. Untuk mengganti sumber energi tersebut, kini banyak negara yang menggunakan gas alam sebagai sumber energi. Saat ini gas telah mengalami era keemasan, di Indonesia dimulai dengan diadakannya program konversi dari menggunakan minyak tanah diganti dengan menggunakan *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, kebutuhan komersial hingga kebutuhan industri. Sumber energi yang berasal dari gas tentu saja memiliki berbagai permasalahan, salah

satunya dalam media penyimpanan dan transportasi gas.

Media penyimpanan dan transportasi gas alam meliputi sistem pemipaan, LNG dan CNG. Saat ini banyak ilmuwan yang mempelajari tentang gas alam padat sebagai media baru untuk penyimpanan dan transportasi gas alam. Gas alam padat dikenal juga sebagai *Natural Gas Hydrate*. Hidrat gas alam merupakan kristal padat berbentuk es yang terdiri dari air dan gas yang terjadi pada tekanan tinggi dan temperatur rendah. Molekul air memiliki ikatan hidrogen membentuk sebuah kerangka yang memiliki rongga. Di dalam rongga antar molekul air terdapat molekul gas yang

terjebak pada berbagai macam bentuk dan ukuran [1]. Hidrat membentuk kristal dalam struktur yaitu struktur kubus I, struktur kubus II dan struktur heksagonal, tergantung pada sifat dan ukuran molekul gas.

Penelitian tentang stabilitas hidrat [2] dan [3], yang memungkinkan hidrat untuk tetap stabil pada tekanan atmosfer dan beberapa derajat di bawah titik es, para ilmuwan telah tertarik untuk mempelajari penyimpanan dan transportasi gas dalam bentuk hidrat. Penelitian ini dimulai pada awal 1990-an oleh Gudmundsson dan kelompoknya di Universitas Norwegia Sains dan Teknologi.

Tingkat kecepatan pembentukan hidrat gas alam telah dianggap hal yang penting, di mana tingkat pembentukan ini diterapkan pada industri hidrat gas alam untuk penyimpanan dan transportasi gas. Tidak hanya tingkat pembentukan hidrat, stabilitas hidrat yang terbentuk sangat penting untuk jarak dan waktu transportasi yang jauh dan lama. Serta kapasitas penyimpanan hidrat ketika hidrat mencapai suhu ruangan.

Dalam penelitian ini akan membahas tentang laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat gas propana butana dengan variasi tekanan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tekanan terhadap tingkat pembentukan hidrat dan kapasitas penyimpanan gas dalam hidrat kemudian diikuti dengan stabilitas berkepanjangan pada hidrat gas alam dengan volume air pada penelitian ini dianggap konstan.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah *true experimental research*. Gas yang digunakan adalah campuran gas propana butana dalam *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) serta air demineraliser.

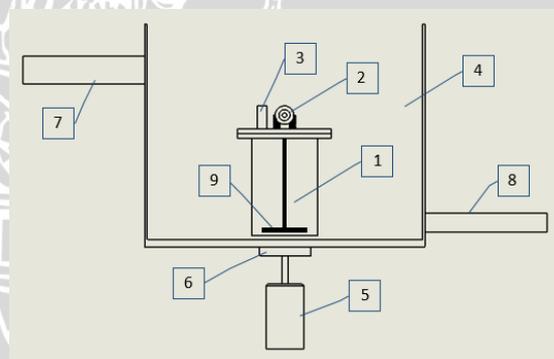
### 2.1 Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian adalah tekanan sebesar 2 bar, 3 bar dan 4

bar. Variabel terikat adalah laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana. Variabel kontrol adalah volume air demin sebesar 50 cm<sup>3</sup>, suhu *cooling bath* laju pembentukan dan stabilitas sebesar 0 °C dan -5 °C.

### 2.2 Alat Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan ditunjukkan pada gambar 1. Alat ini terdiri dari *crystallizer* bertekanan tinggi dengan diameter rongga 7 cm, tinggi 12 cm, tebal 0.5 cm dan volume total 300 cm<sup>3</sup>. *Crystallizer* sebagai wadah pembentukan hidrat, *cooling bath* sebagai pengatur temperatur sistem, katup sebagai pengatur distribusi gas, *thermocouple* dan *pressure digital sensor* yang digunakan sebagai sensor temperatur dan sensor tekanan pada *crystallizer*. Motor listrik yang digunakan untuk memutar pengaduk dalam *crystallizer* yang berfungsi untuk mencampur gas dengan air sehingga terjadi hidrat.



Gambar 1. Instalasi Alat Penelitian

Keterangan:

1. *Crystallizer*
2. Input air dan gas
3. Input *pressure sensor* dan *Termocouple*
4. *Cooling Bath*
5. *Motor Gear box*
6. Magnet neodymium
7. Input air *cooling bath*
8. Output air *cooling bath Belt*
9. *Stirrer tank* (pengaduk)

## 2.3 Prosedur Penelitian

### 2.3.1 Pembentukan hidrat

*Crystallizer* dibersihkan dengan air demineraliser. Memasukkan air demin ke dalam *crystallizer* sebesar 50 cm<sup>3</sup> kemudian memvakumkan *crystallizer*. Gas propana butana di masukkan dengan tekanan 3 bar pada temperatur 300 K. Setelah sistem mencapai kesetimbangan pada temperatur dan tekanan awal, sistem didinginkan sampai suhu pembentukan hidrat (273 K) pada *cooling bath*. *Crystallizer* diputar dengan kecepatan 300 rpm untuk memulai pembentukan hidrat. Pembentukan hidrat dilakukan selama 10 jam. Suhu dan tekanan dicatat selama proses pembentukan hidrat. Untuk mendapatkan jumlah gas yang dikonsumsi selama pembentukan hidrat, digunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{PV}{ZRT} \quad (1)$$

Di mana P, V dan T adalah tekanan gas, volume gas, dan suhu sistem. R adalah konstanta gas dan Z adalah faktor kompresibilitas.

Ketika tekanan sistem mencapai titik kesetimbangan 3-fasa pada 273 K, pembentukan hidrat berhenti. Tekanan sistem menjadi konstan pada titik ekuilibrium, sistem tersebut telah mencapai konversi maksimum.

### 2.3.2 Stabilitas hidrat

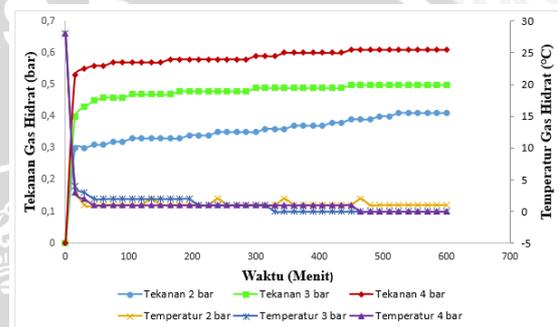
Setelah pembentukan hidrat selesai, suhu pada *cooling bath* diturunkan menjadi 268 K. Kemudian sistem didiamkan sampai titik keseimbangan. Setelah sistem mencapai titik kesetimbangan pada suhu 268 K katup distribusi gas dibuka dan gas sisa yang tidak menjadi hidrat di keluarkan dari *crystallizer*. Setelah proses pembuangan gas sisa yang tidak menjadi hidrat sistem dibiarkan pada suhu 268 K selama 5 jam untuk melihat tekanan peguraian pada hidrat kemudian peningkatan tekanan penguraian dengan waktu penguraian dicatat.

### 2.3.3 Kapasitas penyimpanan hidrat

Setelah uji stabilitas pada suhu 268 K, *crystallizer* dibiarkan sampai mencapai suhu kamar, sehingga menyebabkan gas yang terperangkap dalam hidrat terlepas. Jumlah gas yang terlepas dari rongga hidrat dibandingkan dengan nilai konsumsi gas pada pembentukan hidrat yang dinyatakan dengan besaran tekanan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Laju Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana



Gambar 2. Grafik Hubungan antara Tekanan dan Temperatur terhadap Waktu Pembentukan Hidrat Propana Butana

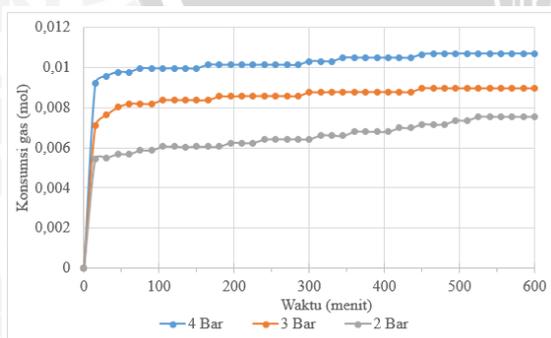
Gambar 2 menunjukkan hubungan antara tekanan dan temperatur terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana. Tekanan gas hidrat menunjukkan tekanan gas yang tersimpan dalam hidrat yang diimbangi dengan temperatur saat laju pembentukan hidrat. Sedangkan waktu dibagi menjadi dua, waktu induksi yang menunjukkan waktu belum terjadi hidrat dan waktu pembentukan yang menunjukkan waktu mulai terbentuknya hidrat.

Variasi tekanan 4 bar tingkat pembentukan hidrat meningkat dimulai dari menit ke 30 sampai menit ke 90, setelah itu pembentukan hidrat cenderung konstan. Variasi tekanan 3 bar memiliki tingkat pembentukan hidrat di bawah variasi tekanan 4 bar, dan mengalami peningkatan tekanan sampai menit ke 510. Sementara variasi tekanan 2 bar tingkat pembentukan setelah 30 menit lebih kecil dan mengalami peningkatan setelah menit

ke 90. Selanjutnya tekanan cenderung konstan. Temperatur pembentukan hidrat untuk setiap variasi cenderung konstan yaitu  $\pm 1$  °C.

Variasi tekanan 2 bar, 3 bar dan 4 bar setelah proses pembentukan hidrat selama 10 jam menghasilkan tekanan gas hidrat sebesar 0,41 bar dengan tekanan 1,63 bar yang tidak menjadi hidrat pada variasi tekanan 2 bar, 0,5 bar dengan tekanan 2,53 bar tidak menjadi hidrat pada variasi tekanan 3 bar dan 0,61 bar dengan tekanan 3,42 bar tidak menjadi hidrat pada variasi tekanan 4 bar.

Terlihat bahwa semakin besar variasi tekanan gas maka semakin meningkat laju pembentukan hidrat, serta waktu induksi juga semakin singkat. Hal ini dikarenakan pembentukan hidrat dipengaruhi oleh perpindahan massa molekul gas yang semakin cepat akibat adanya tekanan tinggi, serta energi kinetik yang berasal dari putaran tabung yang mengakibatkan pertumbuhan kristal pada permukaan hidrat semakin cepat. Dari tekanan tinggi dan putaran pada tabung inilah akan menyebabkan tingkat agitasi (kavitasi atau turbulensi) meningkat dan gas dengan air akan lebih cepat tercampur sehingga gas hidrat yang terbentuk akan semakin besar dengan waktu induksi yang singkat.



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Konsumsi Gas Propana Butana Terhadap Waktu

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara konsumsi gas propana butana dalam bentuk mol terhadap waktu. Tingkat konsumsi gas propana butana

menunjukkan tingkat laju pembentukan gas hidrat yang terjadi.

Tingkat konsumsi gas semakin meningkat seiring bertambahnya waktu. Perbandingan dari ketiga variasi tekanan yang telah ditentukan terlihat bahwa konsumsi gas terbesar adalah tekanan 4 bar, 3 bar selanjutnya 2 bar. Hal ini sesuai dengan teori bahwa pembentukan gas hidrat akan meningkat dengan kenaikan tekanan yang diberikan. Karena adanya tekanan tinggi maka tingkat agitasi akan semakin meningkat sehingga gas hidrat yang terbentuk akan semakin besar dan waktu induksi yang semakin singkat. Pembentukan hidrat dilakukan pada suhu sistem yang dijaga konstan sebesar 0 °C selama 10 jam.

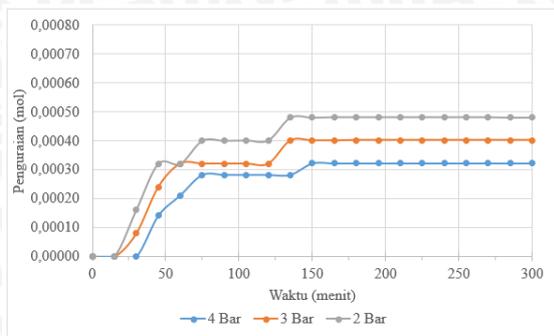
Dari data yang diambil dengan variasi tekanan sebesar 2 bar setelah temperatur mencapai kesetimbangan pembentukan hidrat pada menit ke 30 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0,0055 mol. Ketika mencapai menit ke 600 dengan temperatur tetap konsumsi gas sebesar 0,00754 mol. Variasi tekanan sebesar 3 bar pada menit ke 30 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0,00764 mol. Ketika mencapai menit ke 600 dengan temperatur tetap, konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0,00897 mol. Variasi tekanan sebesar 4 bar pada menit ke 30 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0,00957 mol. Ketika mencapai menit ke 600 dengan temperatur tetap konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0,01068 mol.

Variasi tekanan sebesar 2 bar hanya bisa membentuk hidrat sebesar 0,0055 mol karena dengan tekanan yang kecil akan menghasilkan tingkat agitasi dan perpindahan massa yang lebih kecil. Sehingga untuk mendorong gas agar tercampur dengan air dan membentuk hidrat kurang maksimum.

Agar proses pertumbuhan hidrat lebih maksimum diperlukan tekanan tinggi, sehingga gas lebih banyak berdifusi dalam rongga. Dengan adanya tekanan tinggi waktu pembentukan hidrat akan

semakin cepat dan tingkat konsumsi gas untuk menjadi hidrat juga semakin besar, karena dengan tekanan tinggi akan diikuti dengan perpindahan massa gas yang tinggi pula.

### 3.2 Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Tekanan Disosiasi Gas Hidrat Propana Butana Terhadap Waktu

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara tekanan disosiasi gas hidrat propana butana terhadap waktu, tekanan disosiasi merupakan tekanan penguraian dari gas yang terjebak dalam hidrat. Sedangkan waktu merupakan waktu yang ditentukan untuk stabilitas dari hidrat. Tekanan penguraian menunjukkan tingkat stabilitas gas hidrat propana butana. Semakin besar tekanan penguraian maka semakin tidak stabil gas hidrat yang terbentuk. Stabilitas gas hidrat propana butana dilakukan selama 5 jam untuk setiap variasi dengan suhu sistem dijaga konstan sebesar  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Dari gambar 4 terlihat bahwa tekanan disosiasi cenderung konstan setelah menit ke 50. Variasi tekanan 2 bar tingkat disosiasinya lebih cepat setelah menit ke 10 gas hidrat mengurai dan diterjadi penguraian lagi pada menit ke 60. Sedangkan pada variasi tekanan 3 bar penguraian terjadi pada menit ke 30 dan terjadi penguraian lagi pada menit ke 120 setelah itu sistem stabil sampai 5 jam waktu stabilitas. Variasi tekanan 4 bar waktu penguriannya lebih lama setelah 1 jam stabilitas, gas mulai mengurai dan stabil sampai 5 jam stabilitas.

Tekanan penguraian hidrat konstan selama temperatur sistem dijaga konstan, berapapun lamanya. Ketika temperatur sistem dinaikkan maka akan diikuti dengan tekanan penguraian yang meningkat. Tekanan penguraian terbesar terjadi pada variasi tekanan hidrat 2 bar, selanjutnya variasi tekanan 3 bar dan 4 bar tekanan. Tekanan penguraian untuk setiap variasi tekanan 2 bar, 3 bar dan 4 bar tekanan penguraian sebesar 0,06 bar, 0,05 bar dan 0.04 bar.

Tekanan penguraian dipengaruhi oleh tingkat pembentukan hidrat serta pertumbuhan hidrat. Ketika tekanan yang diberikan kecil maka pembentukan dan pertumbuhan hidrat semakin kecil, sehingga kestabilan hidrat rendah dan gas pada hidrat akan mudah mengurai.

### 3.3 Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana

Gambar 6 menunjukkan diagram kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana. Kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana merupakan perbandingan antara volume gas pada pembentukan hidrat dengan volume gas pada saat hidrat dibiarkan hingga mencapai suhu ruangan, untuk melihat seberapa besar gas yang masih tersimpan pada hidrat.



Gambar 6. Diagram Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana

Perbandingan antara volume gas pada hidrat yang terbentuk dengan volume

gas saat mencapai suhu ruangan ini diperoleh dengan membandingkan tekanan saat hidrat mencapai suhu ruangan dengan tekanan hidrat yang terjadi pada pembentukan. Dapat dilihat bahwa kapasitas penyimpanan tertinggi pada variasi tekanan 4 bar, diikuti dengan variasi tekanan 3 bar kemudian 2 bar. Besar kapasitas penyimpanan sebesar 0.12 V/V pada variasi tekanan 4 bar, 0,1 V/V pada variasi tekanan 3 bar dan 0.09 V/V pada variasi tekanan 2 bar. Kapasitas penyimpanan hidrat menunjukkan seberapa besar gas yang masih bisa disimpan oleh hidrat ketika suhu sistem mencapai suhu ruangan dengan membandingkan banyaknya gas yang terbentuk pada saat pembentukan hidrat. Kapasitas penyimpanan hidrat juga menunjukkan semakin kecil nilai kapasitas penyimpanan maka semakin besar gas yang mengalami penguraian atau semakin kecil gas yang masih tersimpan dalam hidrat.

Nilai kapasitas penyimpanan hidrat berhubungan erat dengan laju pembentukan hidrat. Semakin besar konsumsi gas yang terbentuk menjadi hidrat maka kapasitas penyimpanan hidrat akan semakin besar. Kapasitas penyimpanan di sini melihat seberapa besar gas yang masih bisa di simpan dalam rongga ikatan hidrogen ketika suhu sistem mencapai suhu ruangan.

#### 4. KESIMPULAN

1. Karakteristik gas hidrat propana butana semakin meningkat dengan meningkatnya tekanan.
2. Semakin besar tekanan yang diberikan, maka laju pembentukan gas hidrat propana butana akan semakin meningkat. Laju pembentukan hidrat dapat dilihat dari tekanan pada hidrat dan sejumlah konsumsi mol gas untuk menjadi hidrat. Pada variasi tekanan 2 bar, 3 bar dan 4 bar, besar tekanan pada hidrat adalah 0,41 bar, 0,5 bar dan 0,61 bar. Jumlah konsumsi gas untuk variasi tekanan 2 bar, 3 bar dan 4 bar adalah

0,00754 mol, 0,00897 mol dan 0,01068 mol.

3. Tingkat stabilitas hidrat dapat dilihat dari tekanan penguraian hidrat, semakin besar tekanan penguraian hidrat maka tingkat stabilitas hidrat semakin rendah begitu juga sebaliknya. Tekanan penguraian untuk setiap variasi tekanan 2 bar, 3 bar dan 4 bar sebesar 0,06 bar, 0.05 bar dan 0.04 bar. Tekanan yang masih tersimpan dalam hidrat pada variasi tekanan 2 bar, 3 bar dan 4 bar sebesar 0.47386 bar, 1.24209 bar dan 1.62055 bar.
4. Kapasitas penyimpanan hidrat bertujuan untuk melihat gas yang belum terdekomposisi sampai sistem mencapai suhu ruangan. Kapasitas penyimpanan hidrat erat kaitannya dengan pembentukan hidrat. Kapasitas penyimpanan hidrat dinyatakan dengan perbandingan antara volume pembentukan hidrat dengan volume hidrat setelah mencapai suhu ruangan. Besar kapasitas penyimpanan sebesar 0.09 V/V untuk variasi tekanan 2 bar, 0.1 V/V untuk variasi tekanan 3 bar dan 0.12 V/V untuk variasi tekanan 4 bar.
5. Untuk menjadikan hidrat sebagai alternatif lain dari sistem penyimpanan dan transportasi gas hal yang harus diperhatikan adalah tingkat pembentukan hidrat yang diimbangi dengan kapasitas penyimpanan hidrat serta tingkat stabilitas hidrat yang diperlukan dalam jangka waktu panjang.

#### 5. SARAN

1. Pada penelitian selanjutnya tentang karakteristik gas hidrat perlu adanya variasi molaritas agar dapat diketahui pengaruh jumlah gas terhadap peningkatan karakteristik gas hidrat.
2. Sistem *cooling bath* untuk mendinginkan suhu tabung *crystallizer* bisa divariasikan dengan sistem evaporator agar suhu pendinginan benar-benar konstan.

3. Waktu untuk laju pembentukan hidrat sebaiknya ditambahkan dan tingkat stabilitas hidrat bisa divariasikan dalam beberapa temperatur, selama temperatur tersebut masih dalam daerah kesetimbangan fasa hidrat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ganji, H., Manteghian, M., Zadeh, Sadaghiani, K., Omiddkhah, R.M. & Mofrad, Rahimi, H. 2005. Effect of Different Surfactants on Methane Hydrate Formation Rate, Stability and Storage Capacity. Iran.
- [2] Handa Y. Calorimetric determination of the compositions, enthalpies of dissociation and heat capacities in the range of 80–270 K for clathrate hydrates of Xenon and Krypton. *J Chem Therm* 1986.

[3] Gudmundsson JS, Khodakar AA, Parlaktuna M. Storage of natural gas as frozen hydrate. In: Proceedings of the sixtyseventh annual technical conference and exhibition of SPE 1990.

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

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

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

