

Pengaruh Tekanan Terhadap Laju Pembentukan, Stabilitas, dan Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Campuran Propana Butana pada *Stirrer Tank*

Nurul Fauziah, Widya Wijayanti, Slamet Wahyudi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono no. 167 Malang, 65145, Indonesia

Email: nurulfauziah_9331@yahoo.com

ABSTRAK

Hidrat gas alam (*Natural Gas Hydrate*) adalah kristal padat yang berbentuk es terdiri dari air dan gas pada kondisi tekanan yang tinggi dan temperatur yang 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. Banyak penelitian telah dilakukan tentang penyimpanan gas hidrat karena hidrat sudah dianggap hal penting dalam media penyimpanan dan transportasi dalam industri protelium. Karakteristik gas hidrat meliputi laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan. Dalam penelitian ini pengaruh tekanan dapat mempengaruhi laju pembentukan, stabilitas serta kapasitas penyimpanan gas hidrat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah tekanan sebesar 2 bar, 3 bar, dan 4 bar. Variable terikatnya adalah laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan. Variabel terkontrolnya adalah volume air demin 50 ml, temperatur pembentukan dan stabilitas yaitu 273 K dan 268 K. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik gas hidrat propane butane semakin meningkat dengan meningkatnya tekanan.

Kata kunci: Hidrat gas, Laju pembentukan, Tekanan

ABSTRACT

Hydrate is a crystalline solid form of ice that is made up of water and gas due to high pressure and low temperature. The water molecule has a hydrogen bond to form a frame that has a cavity, and the cavity will be occupied by the gas molecules. Nowadays a lot of research on hydrate is used as an alternative for storage and transportation of natural gas. Characteristics include the hydrate formation rate, stability and storage capacity hydrate. The independent variables in this study is a pressure of 2 bar, 3 bar and 4 bar. The dependent variable is the rate of formation, stability and storage capacity hydrate. Controlled variable is the volume of 50 cm³ demin water, the temperature of the cooling bath formation rate and stability at 0°C and -5°C. The results showed that the characteristics of propane butane gas hydrate increased with increasing pressure.

Keywords: Gas hydrate, Propane -butane, pressure, rate of formation

PENDAHULUAN

Natural Gas Hydrate merupakan gas alam padat yang terjadi ketika partikel dari gas alam seperti metana, etana, propana dan butana menstabilkan ikatan hidrogen dengan air untuk membentuk struktur rongga 3 dimensi dengan molekul gas alam terjebak dalam rongga tersebut. Sebuah rongga yang terbuat dari beberapa molekul air yang terikat oleh ikatan hidrogen. Tipe ini dikenal dengan nama *clathrates*. *Clathrates* adalah gas yang mengisi hidrat. Gas alam padat atau biasanya disebut *Clathrate Hydrate* akan menjadi media baru untuk penyimpanan dan transportasi gas, karena memiliki stabilitas yang tinggi pada

suhu dibawah 0°C pada tekanan atmosfer. Kestabilan tersebut disebabkan karena lapisan es menutupi hidrat dan mencegah penguraian lebih lanjut. Pembentukan hidrat terjadi ketika sistem pada temperatur rendah dan tekanan yang tinggi, terdapat klatrat sebagai pengisi hidrat, terdapat air yang cukup (tidak terlalu banyak dan tidak terlalu sedikit) serta gaya yang menyebabkan gas alam terlarut dalam air.

Hidrat gas merupakan salah satu metode distribusi gas alam yang saat ini masih dikembangkan oleh para ilmuwan dan industri *petroleum*. Hidrat gas merupakan kristal padat berbentuk es terdiri dari air dan gas pada tekanan dan temperatur tertentu.

Molekul air yang memiliki ikatan hidrogen membentuk sebuah kerangka yang memiliki rongga. Di dalam rongga antar molekul terdapat molekul gas yang terjebak pada berbagai macam bentuk dan ukuran [1]. Struktur pada hidrat dibagi menjadi 3 yaitu struktur kubus I, struktur kubus II dan struktur heksagonal.

Penelitian tentang stabilitas hidrat 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. Pada pembentukan hidrat, tingkat konsumsi gas merupakan tingkat pembentukan hidrat yang dapat dikendalikan dengan perpindahan panas. Hidrat memiliki sifat tidak stabil pada tekanan atmosfer dan temperatur beberapa derajat di bawah titik beku es. Sifat yang metastabil mencegah hidrat terbentuk pada titik kesetimbangan hidrat. Penguraian hidrat merupakan proses endotermik dengan panas yang bersumber

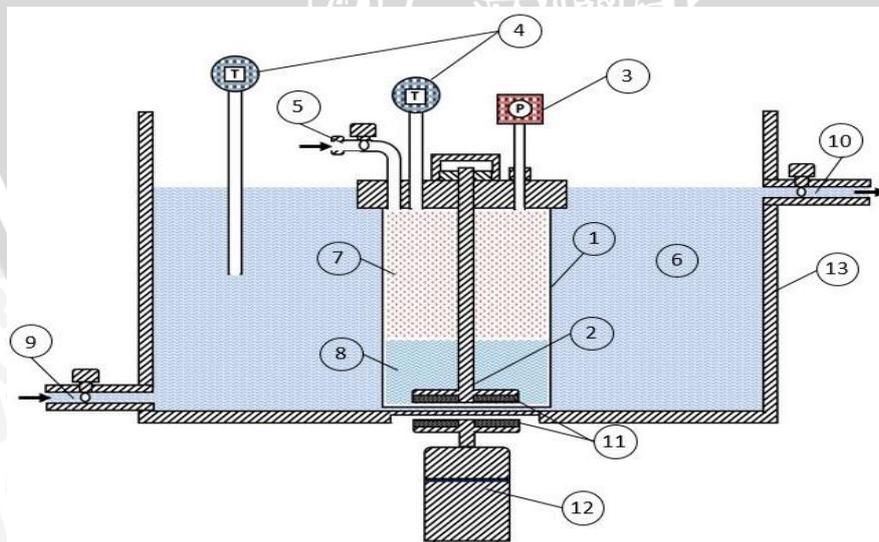
dari luar sistem untuk memecah ikatan hidrogen antara molekul air untuk menguraikan hidrat menjadi air dan gas [2].

Banyak penelitian tentang gas hidrat salah satunya yaitu Ganji *et al.* [1] dalam penelitiannya yaitu tentang pengaruh dari surfaktan anion, kation dan non-ion pada laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan dari hidrat metana. Namun penelitian tersebut gas metana sebagai klatrat sedangkan di Indonesia masih jarang digunakan dalam kegiatan industri maupun rumah tangga. Gas yang sering digunakan yaitu LPG (*liquid petroleum gas*). LPG sendiri terdiri dari propana dan butana

Pada penelitian ini, laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan dari hidrat campuran propana dan butana yang merupakan komposisi dari LPG akan diteliti dengan menggunakan air demineral. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap karakteristik gas hidrat campuran propana dan butana pada *stirrer tank*.

METODE PENELITIAN

1. Alat Penelitian



Gambar 1. Instalasi alat penelitian

Keterangan:

- | | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 1. Tabung Crystallizer | 4. Thermocouple |
| 2. Stirrer Tank (pengaduk) | 5. Input gas |
| 3. Pressure sensor | 6. Cooling bath (air pendinginan) |
| | 7. Gas propana Butana |

8. Air demineral
9. Input air pendinginan dari *freezer box*
10. Output air pendinginan dari *freezer box*
11. Magnet *neodymium*
12. *Motor GearBox*
13. Dinding *Cooling Bath*

Instalasi alat pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Alat ini terdiri dari pompa air sebagai sirkulasi pendinginan dari *freezer box* ke *cooling bath*. *Crystallizer* dengan diameter dalam 7 cm, tinggi 12 cm dan total volume 300 cm³. *Crystallizer* memiliki katup yang berfungsi untuk memasukkan dan mengeluarkan gas. *Stirrer* adalah pengaduk didalam *crystallizer* yang mana memanfaatkan kerja dari magnet *neodymium*. *Pressure sensor* sebagai alat ukur tekanan didalam *crystallizer*. *Thermocouple* sebagai alat ukur temperatur di dalam *crystallizer*. Motor listrik dan potensiometer digunakan untuk mengatur kecepatan putar *stirrer*.

2. Bahan

Gas yang digunakan adalah campuran propana dan butana dengan komposisi masing-masing 50% dan air demineral digunakan untuk pembentukan hidrat. Es dan garam yang digunakan untuk bahan *cooling bath* ketika stabilitas hidrat.

PROSEDUR PENELITIAN

1. Pembentukan hidrat

Pada saat pengujian pembentukan hidrat, tabung *crystallizer* dibersihkan dari kotoran menggunakan air bersih dan kemudian dibersihkan menggunakan *tissue* dari sisa air. Memasukkan air demineral ke dalam *crystallizer* sebanyak 50 cm³. *Crystallizer* tersebut dibuat dalam keadaan vakum. Memasang selang gas pada katub gas di *crystallizer*.

Kemudian memasukkan gas campuran propana dan butana ke dalam *crystallizer* sampai tekanan dalam tabung sebesar variasi tekanan yang diberikan yaitu 0.2 Mpa, 0.3 Mpa, dan 0.4 Mpa pada temperatur 300 K. *Crystallizer* dimasukkan ke dalam *cooling bath* dalam kondisi center diatas motor DC yang sudah terpasang baling – baling disertai magnet untuk memutar *stirrer* atau pengaduk didalam *crystallizer*. setelah sistem mencapai kesetimbangan, *cooling bath* yang disirkulasi dari *freezer box* dengan menggunakan pompa air yang temperaturnya sudah diatur sesuai dengan temperatur pembentukan hidrat (273 K) dan kecepatan putaran *crystallizer* diatur sebesar 300 rpm. Data temperatur, tekanan dan waktu selama pembentukan hidrat dicatat tiap 15 menit selama 10 jam. Jumlah gas yang dikonsumsi selama pembentukan hidrat ditunjukkan pada Persamaan 1.

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

P, V dan T adalah tekanan, volume dan temperatur gas. R adalah konstanta gas dan Z adalah faktor kompresibilitas dari persamaan keadaan Peng Robinson.

2. Pengujian Stabilitas

Pada pengujian stabilitas hidrat dilakukan setelah pembentukan hidrat selama 10 jam. Temperatur pada *cooling bath* diturunkan menjadi 268 K. Kemudian katub gas dibuka untuk membuang gas yang tidak terbentuk hidrat dan kemudian ditutup kembali untuk pengujian stabilitas. Setelah gas yang tidak menjadi hidrat dibuang, sistem didiamkan selama 5 jam untuk mengetahui dekomposisi yang terjadi pada temperatur 268 K. Kemudian Data temperatur, tekanan dan waktu dicatat setiap 15 menit selama 5 jam

dan perhitungan gas yang terdekomposisi menggunakan Persamaan 1.

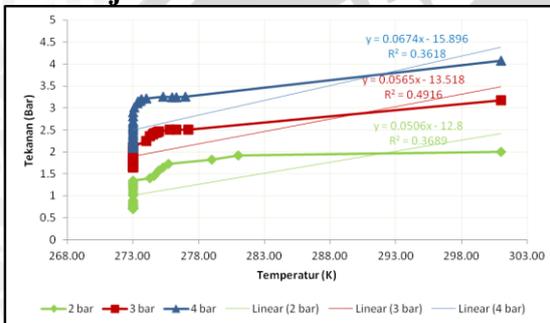
3. Pengujian Kapasitas Penyimpanan

Setelah pengujian stabilitas dengan sistem didiamkan selama 5 jam, kemudian *crystallizer* didiamkan pada temperatur ruang sehingga hidrat akan terdekomposisi seluruhnya dan melepas gas propana dan butana yang terperangkap dalam rongga

molekul air. Setelah temperatur didalam *crystallizer* mencapai temperatur ruang (300K), data tekanan dicatat. Jumlah kapasitas penyimpanan hidrat berdasarkan besarnya tekanan maksimal di dalam *crystallizer* pada saat mencapai temperatur ruang. Gas Propana dan butana yang terperangkap dihitung dalam volume pada keadaan standar dibandingkan dengan volume ketika di dalam *crystallizer*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Laju Pembentukan Hidrat



Gambar 2. Hubungan antara Tekanan dengan Temperatur pada Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana

Pada gambar 2 menjelaskan tentang grafik hubungan antara tekanan terhadap temperatur didalam *crystallizer* dimana dalam sumbu x menampilkan data temperatur didalam *crystallizer* selama pengujian dan dalam sumbu Y menampilkan data Tekanan didalam *crystallizer* selama pengujian.

Hidrat terbentuk dan tumbuh akan melewati dua fase yaitu fase nukleasi atau induksi time dan fase pertumbuhan. Fase nukleasi atau induksi time merupakan fase dimana hanya inti hidrat yang ada. Tekanan pada sistem akan cenderung turun, namun penurunan tekanan tidak terlalu signifikan. Sedangkan ketika fase pertumbuhan ditandai dengan penurunan tekanan yang signifikan dan temperatur pembentukan yang cenderung konstan.

Pada gambar 2 dapat dilihat hubungan tekanan dengan temperatur didalam *crystallizer* pada temperatur cooling bath 273 K dan variasi tekanan pembentukan. Terdapat 3 variasi tekanan yaitu 2 bar, 3 bar, dan 4 bar. Tekanan akan mempengaruhi laju pembentukan hidrat didalam *crystallizer*, dimana dengan tekanan yang berbeda beda mulainya pertumbuhan hidrat juga berbeda beda.

Konsumsi gas merupakan seberapa banyak gas yang diperlukan untuk nantinya bisa membentuk hidrat selama proses pembentukan. Proses pembentukan hidrat dipengaruhi oleh energy kinetic, perpindahan panas dan perpindahan massa gas.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara konsumsi gas propana butana dalam bentuk mol terhadap waktu. Waktu ini menunjukkan waktu induksi dan waktu terbentuknya gas hidrat propana butana.

Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa jumlah konsumsi gas dari setiap variasi tekanan berbeda-beda. terlihat bahwa jumlah konsumsi gas yang terus meningkat seiring bertambahnya waktu. Konsumsi gas yang terus meningkat menunjukkan masih berlangsungnya proses pembentukan hidrat. Semakin banyak jumlah gas yang terkonsumsi

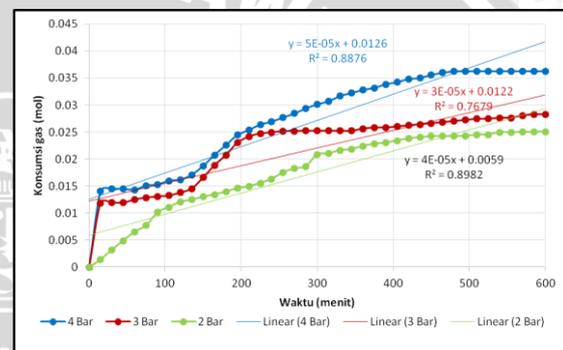
berbanding lurus dengan jumlah hidrat yang akan terbentuk.

Perbandingan dari ketiga variasi tekanan yang telah ditentukan terlihat bahwa konsumsi gas terbesar adalah tekanan 4 bar, 3 bar dan 2 bar. Rata-rata dari setiap variasi tekanan yang diberikan pada menit ke 30 akan memulai waktu induksi dimana pada waktu induksi dapat mengkonsumsi gas dan memulai pembentukan hidrat.

Pada variasi 2 bar setelah temperatur mencapai kesetimbangan pembentukan hidrat pada menit 30 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.00324 mol. Ketika menit ke 600 konsumsi gasnya sebesar 0.02506 mol. Variasi 3 bar pada menit ke 30 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.01192 mol dan ketika menit 600 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.02827 mol. Variasi 4 bar pada menit ke 30 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.01449 mol dan ketika menit 600 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.0362 mol. Variasi tekanan 2 bar paling kecil untuk konsumsi gasnya yaitu hanya bisa membentuk gas hidrat sebesar 0.02506 mol dikarenakan dengan tekanan yang kecil maka akan menghasilkan tingkat

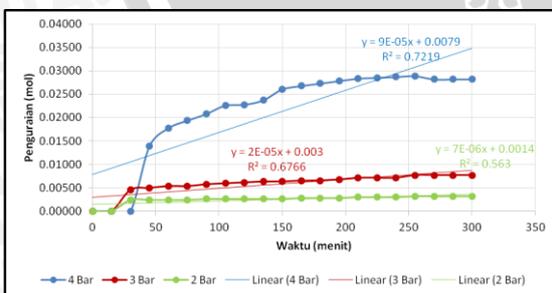
agitasi, energi kinetik dan perpindahan massa yang lebih kecil. Sehingga untuk mendorong gas agar memasuki rongga molekul air kurang maksimal.

Tingkat konsumsi mol gas untuk setiap variasi terlihat bahwa tingkat konsumsi gas tertinggi ada pada variasi 4 bar, lalu 3 bar, dan terakhir 2 bar dengan tingkat konsumsi gas sebesar 0,0362 mol, 0,02827 mol, dan 0.02506 mol. Hal ini sesuai dengan dengan hipotesa yang menjelaskan bahwa nilai karakteristik pembentukan gas hidrat akan semakin meningkat dengan kenaikan tekanan yang diberikan.



Gambar 3. Hubungan antara Konsumsi Gas Propana dan Butana terhadap Waktu Pembentukan Gas Hidrat

2. Stabilitas Gas Hidrat



Gambar 4. Laju penguraian hidrat campuran propana dan butana pada temperatur 268 K

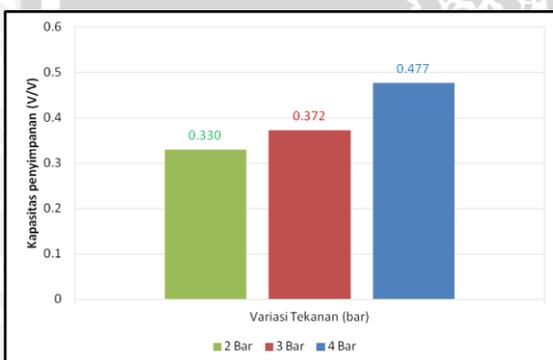
Pada Gambar 4 menunjukkan laju penguraian hidrat campuran propana dan butana pada variasi tekanan pembentukan

pada temperatur 273 K. Penguraian tercepat terjadi pada variasi tekanan 2 bar yaitu pada menit ke 15 diikuti variasi tekanan 3 bar yaitu pada menit ke 30 sedangkan penguraian paling lama pada variasi tekanan 4 bar yaitu pada menit ke 45. Stabilitas hidrat adalah kemampuan suatu hidrat untuk mempertahankan bentuknya sebelum nanti akhirnya dia terurai menjadi air dan gas lagi, maka stabilitas berbanding terbalik dengan penguraiannya.

Dari gambar 4 bisa dilihat bahwa tekanan 2 bar dan 3 bar mengalami kestabilan yang baik, berbeda dengan 4 bar yang masih cenderung belum stabil. Stabilitas dengan variasi tekanan erat

kaitannya dengan waktu pembentukan, pada penelitian ini waktu pembentukan yang digunakan adalah 10 jam atau 600 menit. Semakin tinggi variasi tekanan yang diberikan maka mengandung molaritas gas atau kandungan molekul gas yang banyak, sehingga memerlukan waktu pembentukan yang semakin lama. Oleh karena itu pada variasi 4 bar mengalami stabilitas paling rendah dikarenakan waktu pembentukan 10 jam itu masih dianggap kurang, sehingga molekul molekul gas belum secara sempurna masuk dan menempati posisi di dalam rongga hidrat, hal ini menyebabkan molekul hidrat tidak stabil sehingga stabilitas hidrat rendah. Pada gambar 4 juga bisa dilihat dimana ketika variasi tekanan yang lebih tinggi jumlah mol gas terurai lebih banyak.

3. Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana



Gambar 5. Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana

KESIMPULAN

1. Laju pembentukan gas hidrat propana dan butana akan semakin meningkat dengan semakin besarnya variasi tekanan yang diberikan. Laju pembentukan gas hidrat propana dan butana dapat dilihat dari tekanan pada hidrat dan sejumlah konsumsi mol gas untuk menjadi hidrat. Urutan tekanan hidrat tertinggi hingga terendah adalah variasi tekanan 4 bar sebesar 1.98 bar, variasi tekanan 3 bar sebesar 1.52 bar, dan variasi tekanan 2 bar sebesar 1.3 bar. Urutan konsumsi mol gas yang

Pada Gambar 5 menunjukkan diagram kapasitas penyimpanan hidrat propana butana dengan variasi tekanan yang diberikan pada saat pembentukan yaitu sebesar 2 bar, 3 bar, dan 4 bar. Kapasitas Penyimpanan Hidrat adalah Kemampuan hidrat untuk menyimpan gas alam atau dalam penelitian ini adalah gas propana butana. Nilai Kapasitas Penyimpanan Hidrat didapatkan dari perbandingan antara jumlah mol gas propana butana yang dapat menjadi hidrat secara actual dibanding dengan jumlah mol gas yang dapat menjadi hidrat secara teoritis dengan satuan V/V. Jumlah kandungan gas yang dapat menjadi hidrat secara teoritis adalah sebesar 15,5%.

Semakin banyak konsumsi gas ketika pembentukan hidrat, maka semakin banyak kapasitas penyimpanan dari hidrat itu sendiri. Dari gambar 4.9 didapatkan bahwa dengan tekanan yang berbeda, maka kapasitas penyimpanannya juga berbeda-beda. Variasi tekanan 4 bar memiliki kapasitas penyimpanan yang paling besar yaitu sebesar 0,477 V/V. Variasi tekanan 3 bar memiliki kapasitas penyimpanan sebesar 0,372 V/V. Variasi tekanan 2 bar memiliki kapasitas penyimpanan yang paling kecil yaitu sebesar 0,330 V/V.

terbesar ke terkecil adalah variasi 4 bar sebesar 0.0362 mol, variasi 3 bar sebesar 0.0282 mol, dan variasi tekanan 2 bar sebesar 0.0250 mol. Sehingga, laju pembentukan gas hidrat propana dan butana paling tinggi adalah dalam variasi tekanan 4 bar.

2. Semakin tinggi variasi tekanan maka memiliki kandungan mol gas yang tinggi mengakibatkan waktu pembentukan yang digunakan juga akan semakin lama. Jumlah mol gas yang terurai lebih banyak pada variasi tekanan yang semakin tinggi pada

Stabilitas Hidrat gas propana butana. Urutan mol gas terurai paling banyak adalah pada variasi tekanan 4 bar memiliki jumlah mol gas terurai sebesar 0.0282 mol, pada variasi tekanan 3 bar mol gas terurai mencapai 0.00769 mol, dan pada variasi 2 bar mol gas terurai sebesar 0.00318 mol.

3. Nilai kapasitas penyimpanan hidrat dipengaruhi oleh besar gas yang terbentuk menjadi hidrat. Nilai kapasitas penyimpanan hidrat diperoleh dengan membandingkan nilai volume gas yang terurai hingga suhu ruangan dengan volume gas hidrat secara teoritis. Nilai kapasitas penyimpanan gas hidrat propana dan butana terbesar berada pada variasi tekanan 4 bar sebesar 0.477V/V, kemudian variasi tekanan 3 bar sebesar 0.372V/V, terakhir variasi tekanan 2 bar sebesar 0.329 V/V

SARAN

1. Penelitian tentang penyimpanan gas hidrat propana butana dapat di variasikan dengan jumlah air yang akan dijadikan hidrat dengan menggunakan gas hidrokarbon lainnya sebagai gas hidrat.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh massa gas campuran propana butana dalam pembentukan hidrat, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh temperatur pada

pembentukan hidrat campuran propana butana pada stirrtank.

4. Tingkat stabilitas gas hidrat divariasikan dalam beberapa temperatur, selama temperatur tersebut masih dalam daerah kesetimbangan fasa hidrat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Almatsany, A. Syairul Alim. 2015. *Pengaruh Kecepatan Putaran crystallizer terhadap Laju Pembentukan, Stabilitas dan Kapasitas Penyimpanan Hidrat Campuran Propana dan Butana*. Indonesia.
- [2] Carroll, John. 2009. *Natural Gas Hydrate A Guide for Engineers*. Second Edition. British Library, USA.
- [3] Cengel, Y. A. dan Boles, M. A. 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach* 5th edition. New York: Mc Graw-Hill Book.
- [4] 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.
- [5] Prahesti, O. Ika. 2015. *Pengaruh Variasi Tekanan Terhadap Karakteristik Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana*
- [6] Sloan, E. D. dan Koh, C. A. 2008. *Clathrate Hydrates of Natural Gas: Third Edition*. New York: CRC Press.