

Pengaruh Variasi Tekanan Terhadap Karakteristik Pembentukan Gas Hidrat Propana Butana

Widya Wijayanti

Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia
widya_dinata@ub.ac.id

Abstrak

Molekul air memiliki ikatan hidrogen membentuk sebuah kerangka yang memiliki rongga, dan rongga akan di tempati oleh molekul gas. Molekul air dan molekul gas ini dapat berikatan untuk membentuk hidrat. Hidrat merupakan kristal padat berbentuk es yang terdiri dari air dan gas yang terjadi karena tekanan tinggi dan temperatur rendah. Saat ini penelitian tentang hidrat difokuskan pada sistem penyimpanan dan transportasi gas alam. Sehingga karakteristik hidrat dianggap hal penting dalam industri manufaktur hidrat gas alam. Karakteristik tersebut meliputi laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat. Karena tekanan sangat berpengaruh dalam penyimpanan hidrat ini, maka pengaruh variasi tekanan awal pemebentukan akan menentukan nilai karakteristik dari pembentukan dan penguraian gas hidrat yang terbentuk. Dalam penelitian ini gas yang akan diikatkan dengan air adalah gas campuran propana butanadengan prosentase 50% : 50%. Tekanan divariasikan sebesar 2, 3, dan 4 bar. Sedangkan karakteristik yang diamati adalah laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat. Adapun air yang digunakan adalah air demin sebesar 50 cm³ dengan temperatur *cooling bath* laju pembentukan dan stabilitas sebesar 1 °C dan -5 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar tekanan, maka karakteristik gas hidrat akan semakin meningkat. Laju pembentukan hidrat dinyatakan dalam bentuk tekanan yang ada pada hidrat serta banyaknya konsumsi gas hidrat propana butana yang dapat diserap oleh air. Konsumsi mol terbesar ada pada tekanan awal 4 bar sebesar 0.745654 mol pada tekanan hidrat 1.71959 bar. Selanjutnya, stabilitas hidrat dinyatakan dengan tekanan penguraian gas pada hidrat. Tekanan penguraian terbesar terjadi pada tekanan awal 2 bar pada 0.10916 bar. Tingkat stabilitas hidrat tertinggi terjadi pada tekanan awal 4 bar pada 1.62055 bar. Kapasitas penyimpanan hidrat terbesar juga ada pada tekanan awal pembentuka 4 bar sebesar 39.61727 V/V.

Kata kunci : Gas hidrat, tekanan, laju pembentukan, stabilitas, kapasitas penyimpanan

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 propane butanadengan 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

Gas yang digunakan untuk hidrat adalah campuran gas propana butana dalam *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) serta air demineraliser dengan tingkat resistivity $100 \times 10^4 \Omega \text{ cm}$.

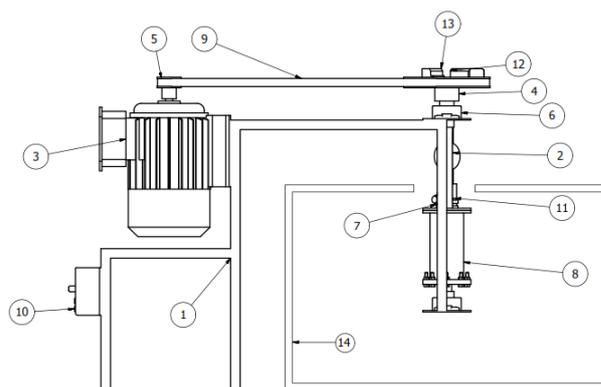
2.1 Variabel Penelitian

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^3 , suhu *cooling bath* laju pembentukan dan stabilitas sebesar 1°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 4 cm, tinggi 12 cm, tebal 0.5 cm dan volume total 150 cm^3 . *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 *crystallizer* yang berfungsi untuk mencampur gas dengan air sehingga terjadi hidrat.



Gambar 1. Instalasi Alat Penelitian

Adapun susunan instalasi alat penelitian tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut : 1. *Frame*; 2. *Frame Crystallizer*; 3. Motor listrik; 4. *Pulley* besar; 5. *Pulley* kecil; 6. *Rumah bearing*; 7. *Tutup Crystallizer*; 8. *Crystallizer*; 9. *Belt*; 10. *Inverter*; 11. *Thermocouple*; 12. *Data logger*; 13. *Pressure digital sensor* 14. *Cooling bath*

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Pembentukan hidrat

Crystallizer dibersihkan dengan air demineraliser. Memasukkan air demin ke dalam *crystallizer* sebesar 50 cm^3 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 (274 K) pada *cooling bath*. *Crystallizer* diputar dengan kecepatan 200 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 274 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 dibiarkan 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 penguraian 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.

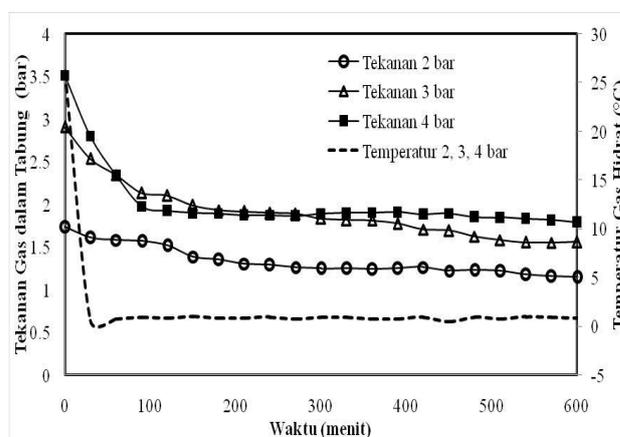
3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Laju Pembentukan Hidrat

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 ± 1 °C.

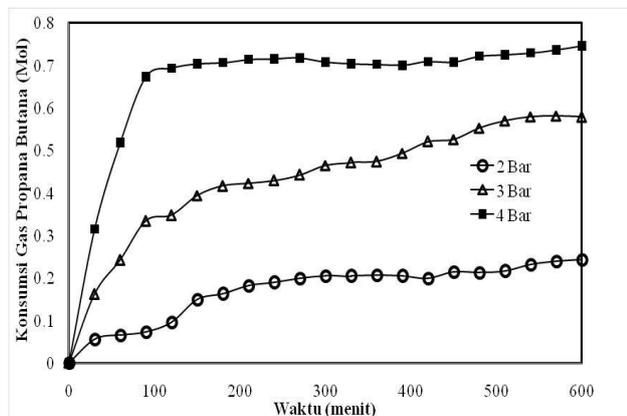


Gambar 2. Grafik hubungan antara tekanan dan temperatur terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana

Variasi tekanan 2 bar, 3 bar dan 4 bar setelah proses pembentukan hidrat selama 10 jam menghasilkan tekanan gas hidrat sebesar 0.583021 bar dengan tekanan 1.154414 bar yang tidak menjadi hidrat pada variasi tekanan 2 bar, 1.346189 bar dengan tekanan 1.560564 bar tidak menjadi hidrat pada variasi tekanan 3 bar dan 1.719585 bar dengan tekanan 1.793117 bar tidak menjadi hidrat pada variasi tekanan 4 bar.

Terlihat bahwa semakin besar variasi tekanan gas maka semakin meningkat laju pembentukan hidrat, serta waktu yang dibutuhkan untuk pembentukan semakin singkat. Hal ini dikarenakan pembentukan hidrat dipengaruhi oleh perpindahan massa molekul gas yang berdifusi yang semakin cepat akibat adanya tekanan tinggi, serta energi kinetik dari gerakan gas menuju permukaan hidrat yang semakin besar. Selain itu pembentukan hidrat terjadi karena adanya perpindahan panas dari sistem ke lingkungan

sehingga menyebabkan temperatur sistem berubah serta akibat putaran crystallizer yang menyebabkan sistem agitasi (kavitasi atau turbulensi).



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.

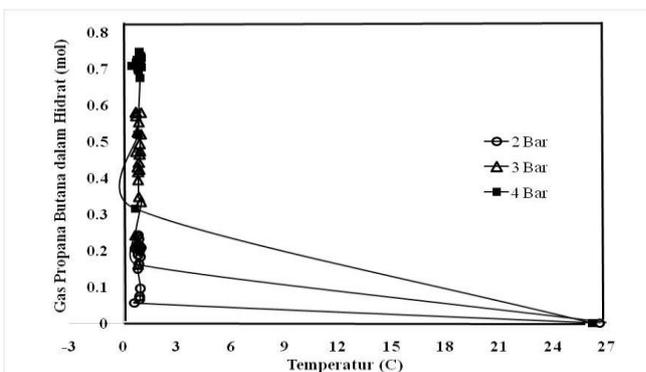
Tingkat konsumsi gas semakin meningkat seiring bertambahnya waktu. Perbandingan dari ketiga variasi tekanan yang telah ditentukan terlihat bahwa konsumsi gas terbesar adalah tekanan 4 bar, 3 bar selanjutnya 2 bar. Besar nilai konsumsi gas diperoleh dari besar tekanan pada hidrat. Tingkat konsumsi gas sebanding dengan tekanan gas dalam hidrat. Laju pembentukan gas hidrat akan meningkat dengan kenaikan tekanan yang diberikan. Karena adanya tekanan tinggi maka tingkat perpindahan massa dalam berdifusi dan energi kinetik dari gas akan semakin meningkat sehingga gas hidrat yang terbentuk akan semakin besar dan waktu pembentukan semakin singkat. Pembentukan hidrat dilakukan pada suhu sistem yang dijaga konstan sebesar 1 °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 0.055851 mol. Ketika mencapai menit ke 600 dengan temperatur tetap

konsumsi gas sebesar 0.24252 mol. Variasi tekanan sebesar 3 bar pada menit ke 30 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.161882 mol. Ketika mencapai menit ke 600 dengan temperatur tetap, konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.578 mol. Variasi tekanan sebesar 4 bar pada menit ke 30 konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.314418 mol. Ketika mencapai menit ke 600 dengan temperatur tetap konsumsi gas yang menjadi hidrat sebesar 0.745654 mol.

Variasi tekanan sebesar 2 bar hanya bisa membentuk gas hidrat sebesar 0.24252 mol karena dengan tekanan yang kecil akan menghasilkan tingkat agitasi, energi kinetik dan perpindahan massa yang lebih kecil. Sehingga untuk mendorong gas agar tercampur dengan air dan membentuk hidrat kurang maksimum.

Agar proses pembentukan dan pertumbuhan hidrat lebih maksimum diperlukan tekanan tinggi, agar gas berdifusi lebih banyak berdifusi. Dengan adanya tekanan tinggi waktu pembentukan hidrat akan semakin cepat dan tingkat konsumsi gas untuk menjadi hidrat juga semakin besar.



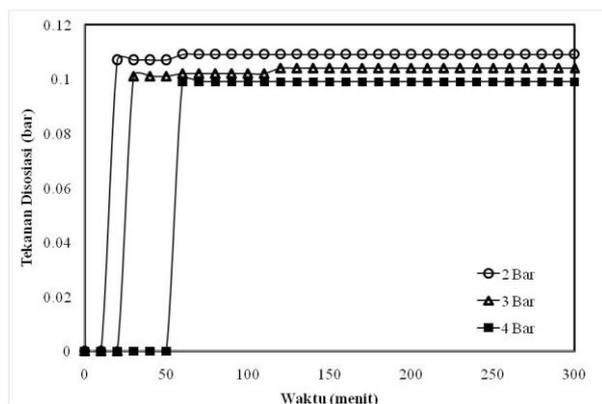
Gambar 4. Grafik hubungan antara gas propana butana dalam hidrat terhadap temperatur pembentukan hidrat

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara gas propana butana dalam hidrat terhadap temperatur pembentukan hidrat. Gas propana butana menunjukkan besarnya gas yang menjadi hidrat dalam besaran mol, sementara temperatur menunjukkan pada temperatur berapa °C hidrat akan terbentuk.

Hidrat akan terbentuk ketika temperatur pada sistem mencapai titik

kesetimbangan tiga fasa sesuai dengan diagram kesetimbangan pembentukan hidrat. Ketika temperatur dan tekanan sistem belum sampai pada titik kesetimbangan tiga fasa pembentukan hidrat maka hidrat tidak akan terbentuk. Untuk campuran gas propana butana pada variasi tekanan yang diberikan, ketika sistem berada pada temperatur di atas 5 °C pembentukan hidrat tidak akan terjadi. Terlihat pada gambar 4.3 bahwa laju pembentukan gas hidrat propana butana terjadi ketika temperatur sistem mencapai 1 °C. Konsumsi gas dalam hidrat tertinggi ada pada variasi tekanan 4 bar sebesar 0.745654 mol dan dimulai pada menit ke 30 ketika temperatur pada sistem mencapai 0.659982 °C dengan gas yang menjadi hidrat sebesar 0.314418 bar.

3.2 Stabilitas Hidrat



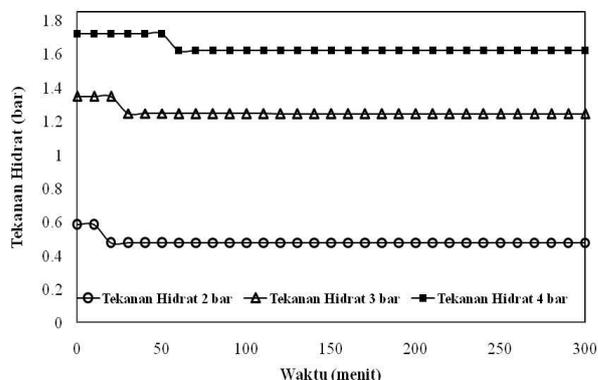
Gambar 5. Grafik Hubungan antara Tekanan Disosiasi Gas Hidrat Propana Butana Terhadap Waktu

Gambar 5 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 ± 5 °C.

Tekanan penguraian terbesar terjadi pada variasi tekanan hidrat 2 bar, selanjutnya

variasi tekanan 3 bar dan 4 bar tekanan. Pada variasi tekanan 2 bar penguraian dimulai pada menit ke 20 hingga menit ke 60 dan selanjutnya tekanan penguraian konstan. Pada variasi tekanan 3 bar penguraian dimulai pada menit ke 30 dan terjadi peningkatan tekanan penguraian pada menit ke 60 sampai menit ke 120 yang selanjutnya tekanan penguraiannya konstan. Sedangkan pada variasi tekanan 4 bar penguraian terjadi pada menit ke 60 dan selanjutnya tekanan penguraian konstan sampai menit ke 300.

Proses stabilitas hidrat dilakukan selama 5 jam dengan suhu ± 5 °C. Penentuan suhu tersebut sesuai dengan suhu kesetimbangan tiga fasa hidrat untuk stabilitas dari gas hidrat itu sendiri. Untuk kesetimbangan tiga fasa dengan suhu -5 °C, fasa kesetimbangan terdiri dari *ice*, *hydrate* dan *vapor*. Sebelum melakukan proses stabilitas gas hidrat, tekanan gas yang tidak menjadi hidrat dibuang terlebih dahulu. Setelah sistem mencapai kondisi kesetimbangan, tekanan gas yang tidak menjadi hidrat dibuang. Sehingga tekanan dalam tabung *crystallizer* 0 bar saat proses stabilitas berlangsung. Hal ini bermaksud untuk mengetahui seberapa besar tekanan penguraian yang terjadi pada hidrat. Pada variasi tekanan 2 bar besar tekanan penguraiannya sebesar 0.10916 bar, variasi tekanan 3 bar sebesar 0.1041 bar dan variasi tekanan 4 bar sebesar 0.09903 bar.



Gambar 6. Grafik hubungan antara tekanan hidrat terhadap waktu stabilitas

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara tekanan hidrat dengan waktu stabilitas.

Tekanan hidrat merupakan tekanan gas yang masih terperangkap dalam hidrat selama proses stabilitas berlangsung dalam waktu 5 jam. Bedanya dengan tekanan disosiasi menunjukkan tekanan gas yang mengurai dari hidrat dalam waktu 5 jam.

Tingkat stabilitas gas hidrat erat kaitannya dengan pembentukan gas hidrat dalam proses laju pembentukan hidrat. Semakin besar gas hidrat yang terbentuk maka stabilitas hidrat akan semakin besar. Pembentukan hidrat dipengaruhi oleh tekanan yang diberikan, semakin besar tekanan yang diberikan maka gas yang terbentuk untuk menjadi hidrat akan semakin besar sehingga stabilitas dari hidrat akan semakin besar. Dengan tekanan yang besar maka pertumbuhan hidrat akan semakin besar. Stabilitas juga dipengaruhi oleh laju pendinginan pada sistem *cooling bath*, semakin cepat laju pendinginan maka distribusi Kristal es semakin rata dan seragam sehingga luas bidang kontak semakin besar dan ikatan antar molekul kristal semakin kuat. Stabilitas juga dipengaruhi oleh lapisan es dalam hidrat yang melindungi gas propana butana.

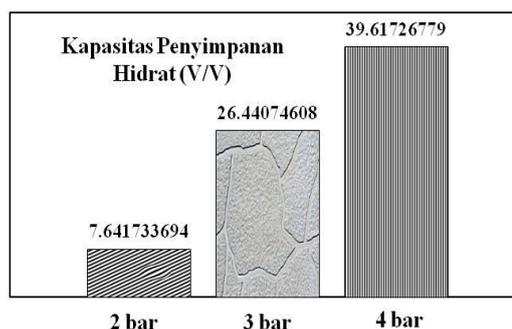
Setelah 5 jam stabilitas hidrat, gas yang masih tersimpan dalam hidrat dan tidak mengalami penguraian terbesar ada pada variasi tekanan 4 bar yaitu 1.620555 bar. Dan variasi tekanan 2 bar memiliki nilai kestabilan yang rendah sebesar 0.473861 bar dengan tingkat penguraian yang tinggi.

3.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat

Gambar 7 menunjukkan diagram kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana. Kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana merupakan perbandingan antara volume gas yang terdekomposisi dari stabilitas hidrat sampai suhu 27°C dengan volume gas hidrat secara teoritis. Volume gas yang terdekomposisi diperoleh dari tekanan gas yang terdekomposisi sampai suhu mencapai 27°C dengan sejumlah konsumsi mol gas yang menjadi hidrat. Sedangkan volume gas hidrat secara teoritis diperoleh dari 15.5 % air (50 cm^3) yang akan ditempati hidrat. 15.5 % dari 50 gr air akan di tempati gas propana butana (7.75 gr). Dari 7.75 gr gas

propana butana didapatkan gas yang dapat dikonsumsi sebesar 0.07598 mol dengan volume hidrat 0.07498 cm^3 .

Kapasitas penyimpanan hidrat erat kaitannya dengan laju pembentukan hidrat serta stabilitas dari hidrat itu sendiri. Semakin besar tingkat laju pembentukan hidrat dan stabilitas, maka semakin besar pula kapasitas penyimpanan hidrat.



Gambar 7. Grafik hubungan antara kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana terhadap tekanan awal pembentukan

Dari perhitungan antara kapasitas penyimpanan hidrat secara aktual dan teoritis didapatkan bahwa dengan suhu dan volume air yang sama, kapasitas penyimpanan hidrat tertinggi terjadi pada variasi tekanan 4 bar sebesar 7.641733694 V/V, diikuti variasi tekanan 3 bar dan 2 bar sebesar 26.44074608 V/V dan 39.61726779 V/V.

4. Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini adalah:

1. Semakin besar tekanan yang diberikan maka semakin besar dan semakin cepat tingkat pembentukan hidrat dan kapasitas penyimpanan hidrat serta akan diikuti dengan stabilitas hidrat dalam waktu yang lebih lama.
2. Laju pembentukan gas hidrat propana butana akan semakin meningkat dengan meningkatnya tekanan yang diberikan. Laju pembentukan hidrat dapat dilihat dari tekanan pada hidrat dan sejumlah konsumsi mol gas untuk menjadi hidrat. Tingkat konsumsi gas tertinggi pada variasi tekanan 4 bar sebesar 0.745654 mol dan tekanan hidrat tertinggi pada variasi tekanan 4 bar sebesar 1.71959 bar.

3. Tingkat stabilitas hidrat berbanding terbalik dengan tekanan penguraian pada hidrat, semakin besar tekanan penguraian hidrat maka tingkat stabilitas hidrat semakin rendah begitu juga sebaliknya. Tekanan penguraian tertinggi terjadi pada variasi tekanan 2 bar sebesar 0.10916 bar. Tingkat maksimum stabilitas hidrat terjadi pada variasi tekanan 4 bar sebesar 1.62055 bar.
4. Kapasitas penyimpanan hidrat diperoleh dengan membandingkan volume gas yang terurai hingga suhu 27 °C dengan volume gas hidrat secara teoritis. Nilai kapasitas penyimpanan hidrat tertinggi ada pada variasi tekanan 4 bar sebesar 39.61727 V/V.

Acknowledgement

Penelitian ini dapat terlaksana atas dukungan Kemenristek Dikti melalui PUPT 2016. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Ony Ika Prahesti atas kerjasamanya yang sangat tidak ternilai serta semua kolega yang sudah banyak memberikan saran, kritik, dan bantuan yang sangat tak ternilai demi terselesaikannya penelitian dan artikel ini.

Referensi

- [1] Ganji, H., Manteghian, M., Zadeh, Sadaghiani, K., Omiddkhah, R.M. & Mofrad, Rahimi, H., Effect of Different Surfactants on Methane Hydrate Formation Rate, Stability and Storage Capacity, *Fuel* 86 (2007) 434-441
- [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. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 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, *Natural Gas Hydrate A Guide for Engineers*, Second Edition British Library USA, 2009.
- [5] Cengel, Y. A. dan Boles, M. A., *Thermodynamics: An Engineering Approach* 5th edition, New York: Mc Graw-Hill Book, 2006.
- [6] Sloan, E.D., Koh, Carolyn, A., *clathrate Hydrate of Natural Gases*, Third Edition, Taylor & Francis Group, LLC, 2008.