



VALIDASI *PERFORMANCE* GAS HIDRAT PADA VARIASI TEMPERATUR *COOLING BATH* DI TEKANAN 0.4 MPa

Widya Wijayanti^{1*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia

*Email Penulis: widya_dinata@ub.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 27/07/2018
Naskah Direvisi 24/08/2018
Naskah Disetujui 05/09/2018
Naskah Online 08/10/2018

ABSTRAK

Natural Gas Hydrate (NGH) merupakan campuran antara gas alam dan air yang terbentuk pada tekanan tinggi dan suhu mendekati titik beku air. Secara fisik, hidrat berbentuk es dan didalamnya terdapat rongga yang diisi oleh gas penyusun hidrat yang disebut dengan klatrat. Penelitian kali ini akan menganalisa dan memvalidasi pengaruh variasi temperatur *cooling bath* terhadap karakteristik gas hidrat campuran propana butana. Karakteristik ini meliputi laju pembentukan, stabilitas hidrat dan kapasitas penyimpanan hidrat. Temperatur *cooling bath* yang digunakan adalah 271 K, 273 K dan 275 K. Laju pembentukan hidrat dinyatakan dalam bentuk tekanan yang ada pada hidrat dan banyaknya konsumsi gas hidrat propana butana. Stabilitas gas hidrat propana butana dinyatakan sebagai tekanan penguraian gas pada hidrat. Sedangkan kapasitas penyimpanan hidrat merupakan perbandingan antara volume gas yang tersimpan pada kondisi actual hidrat dibanding dengan volume gas pada kondisi STP. Selanjutnya, dari hasil eksperimen, data yang didapatkan akan divalidasi dengan menggunakan persamaan Arrhenius untuk melihat laju pembentukan hidrat serta kapasitas penyimpanan hidrat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pembentukan gas hidrat tercepat berada pada temperatur *cooling bath* yang terendah. Sedangkan stabilitas hidrat terbaik berada pada temperatur *cooling bath* terendah. Namun, kapasitas penyimpanan terbesar berada pada kondisi temperatur *cooling bath* tertinggi. Hasil validasi menunjukkan kesesuaian *performance* hidrat yang berupa laju pembentukan dan kapasitas hidrat baik secara aktual (eksperimen) maupun secara teoritis.

Kata kunci: *Validasi, performance hidrat, temperatur, cooling bath*

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak (BBM) merupakan sumber energi yang paling dibutuhkan hingga dekade ini. Namun, BBM ini ketersediaannya semakin menipis dari tahun ke tahun. Salah satu cara untuk mengatasi keterbatasan pasokan BBM adalah dengan menggunakan alternatif pengganti BBM yaitu bahan bakar gas (BBG). Bahan bakar gas merupakan bahan bakar yang berasal dari gas alam, gas alam digunakan sebagai zat utama penghasil energi. Gas alam yang digunakan antara lain adalah metana, butana, propana maupun biogas yang dihasilkan dari bahan organik.

Bahan bakar gas yang sering digunakan di Indonesia adalah Liquefied Petroleum Gas (LPG). LPG adalah gas hidrokarbon yang cukup murah yang diproduksi dari kilang minyak dan kilang gas dengan komposisi 50% gas propana (C_3H_8) dan 50% gas butana (C_4H_{10}).

Namun, dalam pendistribusiannya bahan bakar gas cukup sulit apabila dibandingkan dengan bahan bakar cair. Seperti LPG, sebelum LPG bisa digunakan oleh konsumen gas tersebut dicairkan terlebih dahulu dan disimpan dalam tabung bertekanan tinggi. Dan ketika pada tekanan atmosfer LPG akan berbentuk gas kembali dan bisa digunakan oleh konsumen. Selain itu, pendistribusian gas bisa dilakukan menggunakan

saluran pipa bertekanan tinggi. Pendistribusian gas dengan cara seperti ini sering digunakan untuk jarak dekat.

Akan tetapi terdapat permasalahan baru yaitu terbentuknya hidrat pada suhu rendah, sehingga saluran pipa akan tersumbat dan pendistribusian gas akan terganggu. Natural Gas Hydrate (NGH) merupakan campuran antara gas alam dan air yang terbentuk pada tekanan tinggi dan suhu mendekati titik beku air. Hidrat berbentuk kristal es di dalamnya terdapat rongga yang diisi oleh gas penyusun hidrat yang disebut dengan klarat. Hidrat dapat terbentuk karena terdapat gas dan air yang memiliki tekanan tinggi dan berada pada suhu di atas titik beku air, kemudian terkena gaya yang dapat melarutkan gas alam di dalam air. Salah satu permasalahan dalam produksi, pengolahan, dan transportasi gas alam serta cairan yang berasal dari gas alam adalah formasi hidrat [1]. Di dalam saluran pipa gas bertekanan tinggi sangat memungkinkan hidrat gas terbentuk. Hidrat terbentuk karena adanya air bebas pada saluran pipa. Air bebas tersebut akan membeku seiring menurunnya temperatur dan akan menjadi butir-butir kristal es.

Hidrat gas memang masih menjadi sebuah permasalahan pada distribusi menggunakan saluran pipa. Namun, hidrat juga telah dikembangkan menjadi salah satu metode distribusi dan penyimpanan gas alam. Penelitian tentang hidrat gas telah banyak dilakukan dan dipublikasikan, mengenai karakteristik-karakteristik hidrat pada pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat metana [2]. Akan tetapi, untuk di Indonesia sendiri penggunaan gas metana masih belum populer di kalangan masyarakat. Mayoritas gas yang digunakan oleh masyarakat adalah gas LPG. Dan seperti yang kita tahu gas LPG terdiri dari gas propana dan gas butana. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai gas hidrat dengan menggunakan LPG sebagai gas penyusun hidrat atau disebut dengan klarat.

Temperatur memiliki peranan penting dalam pembentukan hidrat, maka dari itu diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh temperatur terhadap *performance* hidrat [3]. *Performance* hidrat meliputi laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan. Dengan mengetahui pengaruh temperatur terhadap karakteristik hidrat maka dapat diketahui pada temperatur berapakah hidrat maksimal akan terbentuk.

Pada penelitian ini akan dilakukan validasi *performance* hidrat yang tujuannya untuk memprediksi laju pembentukan hidrat dan kapasitas penyimpanan hidrat [4,5]. Selain itu, proses pembentukan hidrat dapat diprediksi berjalan pada berapa *fase*. Apabila hasil perhitungan teoritis menunjukkan hasil yang sama dengan hasil eksperimen, maka dapat diprediksi pula berapa jumlah gas yang membentuk hidrat dan berapa jumlah gas yang terbuang. Validasi dilakukan dengan menghitung laju pembentukan dan kapasitas penyimpanan hidrat (teoritis) dengan mempertimbangkan tekanan dan temperatur dengan menggunakan persamaan Arrhenius [6]. Hasil perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan

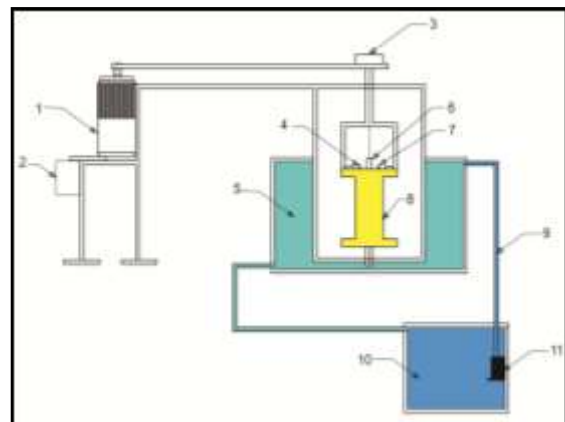
laju pembentukan dan kapasitas hidrat yang didapatkan dari hasil eksperimen (aktual). Apabila hasil validasi menunjukkan kesesuaian antara *performance* actual dan teoritis, maka laju pembentukan hidrat dapat diprediksi, yang bermanfaat untuk metode penyimpanan gas dan untuk menghindari terjadinya hidrat saat proses pendistribusian gas.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah metode eksperimen untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur pembentukan terhadap *performance* pembentukan gas hidrat propana butana. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi temperatur pembentukan sebesar, 275 K, 273 K, dan 271 K. Variabel terikat adalah laju pembentukan, stabilitas (mol) dan kapasitas penyimpanan hidrat (V/V) gas campuran propana butana. Variabel kontrolnya adalah volume aquades sebesar 50 cm³, tekanan pada *crystallizer* sebesar 4 bar, kecepatan putar *crystallizer* sebesar 200 rpm, waktu pembentukan selama 10 jam dan persentase campuran sebesar 50% propana dan 50% butana.

2.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada saat penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Instalasi Penelitian Gas Hidrat

Keterangan:

1. Motor Listrik
2. Inverter
3. Pressure Transducer dan Thermodigital
4. Sensor Tekanan
5. *Cooling bath*
6. Katup Gas
7. Thermocouple
8. *Crystallizer*
9. Saluran Sirkulasi
10. Mesin Pendingin
11. Pompa Air

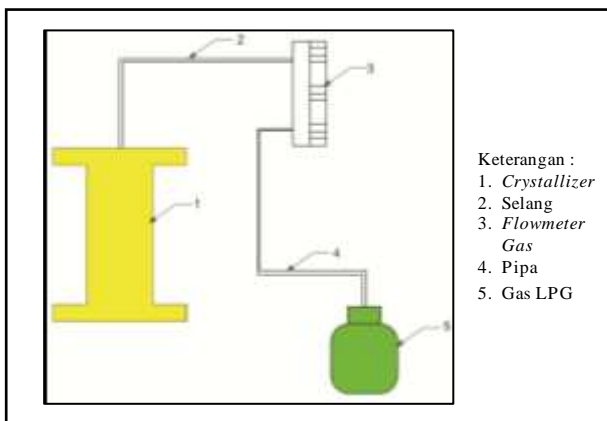
2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian yang pertama dilakukan adalah mengkalibrasi semua alat ukur yang digunakan dalam penelitian. Kemudian menyiapkan air pendinginan yang

digunakan untuk mendinginkan *crystallizer*, dengan memasukkan air ke dalam mesin pendingin sebanyak 50 liter dan menambahkan garam dapur sebanyak 5 kg. Temperatur mesin pendingin diatur hingga suhu paling rendah. Tunggu suhu pada *thermocouple* mesin pendingin menunjukkan suhu 273 K dan suhu dijaga konstan pada 273 K ($\pm 0,3$ K) dengan mengatur *thermocontrol* pada mesin pendingin.

Aquades dimasukkan ke dalam *crystallizer* sebanyak 50 cm³. *Crystallizer* ditutup rapat, kemudian tekanan yang ada di dalam *crystallizer* divakumkan sehingga tekanan di dalam menunjukkan 0 atm. Setelah itu gas campuran propana butana dimasukkan ke dalam *crystallizer* dengan menggunakan regulator bertekanan tinggi, dan memastikan massa alir gas yang masuk ke dalam *crystallizer* diukur dengan menggunakan flowmeter gas. Pemasangan flowmeter ditunjukkan oleh Gambar 2, dimana flowmeter digunakan untuk mengukur volume aktual yang masuk ke dalam *crystallizer* kemudian data volume aktual yang didapat digunakan untuk menghitung mol awal aktual yang terdapat pada *crystallizer*. Setelah tekanan di dalam *crystallizer* menunjukkan 0,4 MPa katup ditutup, agar tidak ada lagi gas yang masuk. Setelah selesai memasukkan aquades dan gas campuran propana butana, instalasi alat dipasang seperti pada Gambar 1.



Gambar 2. Skema Instalasi Pemasangan Flowmeter untuk Proses Pemasukan Gas

2.2.2 Pembentukan Hidrat

Instalasi alat dipasang seperti pada Gambar 1. Setelah persiapan penelitian dilakukan pompa air pada mesin pendingin dinyalakan untuk mensirkulasikan air pendingin menuju *cooling bath*. Thermocontrol pada mesin pendingin diatur kembali sampai temperatur pada *cooling bath* menunjukkan 273 K. Kemudian, frekuensi motor listrik diatur melalui inverter hingga putaran pada *crystallizer* sebesar 200 rpm. Data penurunan tekanan pada pressure transducer selama proses berlangsung dicatat. Pengambilan data selesai dilakukan ketika waktu pembentukan telah berlangsung selama 10 jam. Untuk mendapatkan jumlah konsumsi gas selama pembentukan hidrat, digunakan persamaan berikut:

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

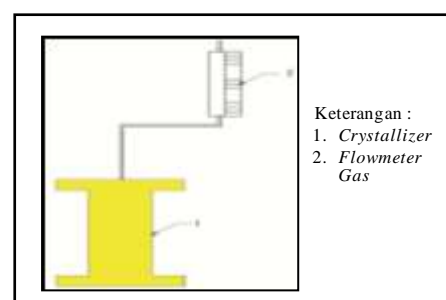
Di mana P, V dan T adalah tekanan gas, volume gas, dan suhu pada sistem. R merupakan konstanta gas dan Z adalah faktor kompresibilitas.

2.2.3 Stabilitas Hidrat

Setelah selesai pengambilan data laju pembentukan hidrat, penelitian ini dilanjutkan dengan menguji kestabilan hidrat. Kestabilan hidrat diuji dengan ketahanan gas yang tetap berada pada molekul air. Kestabilan gas ini ditandai dengan peningkatan temperatur dalam *crystallizer* akibat penguraian gas. Semakin satbil hidrat, maka tekanan penguraian gasnya rendah dan sebaliknya. Pada proses stabilisasi hidrat ini, temperatur *cooling bath* diturunkan hingga menjadi 268 K dengan cara mengatur thermocontrol pada mesin pendingin. Kemudian katup gas pada *crystallizer* dibuka agar gas propana butana yang tidak menjadi hidrat terbuang keluar *crystallizer*. Selanjutnya, katup gas kembali ditutup. Setelah temperatur *cooling bath* konstan maka data berupa temperatur dan tekanan penguraian gas di dalam *crystallizer* dicatat. Proses stabilisasi hidrat ini dilakukan selama 5 jam, untuk melihat ketahanan hidrat pada temperatur 268 K.

2.2.4 Kapasitas Penyimpanan Hidrat

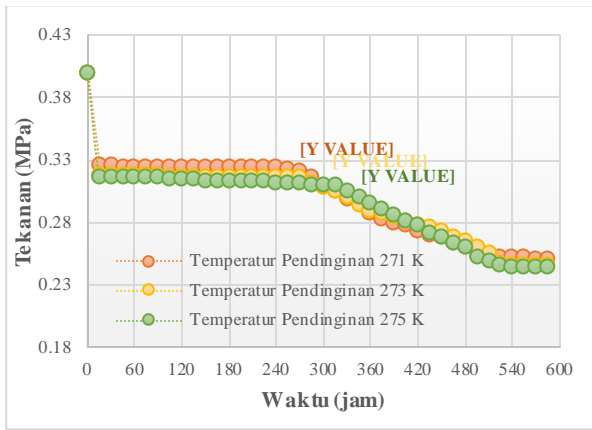
Setelah selesai pengambilan data penguraian/stabilitas hidrat, temperatur pada *cooling bath* dinaikkan hingga temperatur ruang agar hidrat mengalami dekomposisi dan melepas gas propana butana yang terjebak pada struktur hidrat. Data tekanan gas, waktu dan temperatur kembali dicatat. Proses ini dilakukan hingga temperatur di dalam *crystallizer* mencapai 300 K. Kemudian untuk mengukur volume aktual kapasitas penyimpanan hidrat dilakukan pengukuran menggunakan flowmeter untuk pemasangannya ditunjukkan pada Gambar 3, setelah didapatkan volume aktualnya sehingga akan didapatkan mol aktual kapasitas penyimpanan hidrat.



Gambar 3. Skema Instalasi Pemasangan Flowmeter untuk Proses Pengeluaran Gas

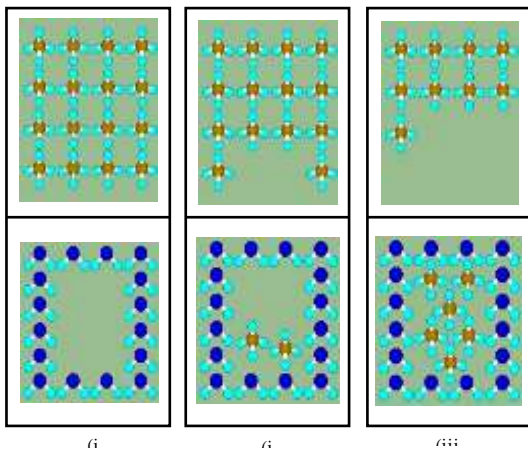
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara tekanan terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana. Tekanan hidrat yang terdapat pada grafik menunjukkan tekanan gas yang tersimpan dalam hidrat dengan temperatur pembentukan hidrat konstan pada setiap variasinya.



Gambar 4. Tekanan gas saat proses pembentukan gas hidrat

Dengan kondisi temperatur *cooling bath* yang berbeda-beda yaitu, 271 K, 273 K dan 275 K menyebabkan tekanan pembentukan hidratnya berbeda pula. Pada temperatur *cooling bath* 271 K tekanan pembentukan hidrat adalah 0,323 MPa. Temperatur *cooling bath* 273 K tekanan pembentukan hidrat adalah 0,316 MPa. Sedangkan temperatur *cooling bath* 275 K tekanan pembentukan hidrat adalah 0,310 MPa.

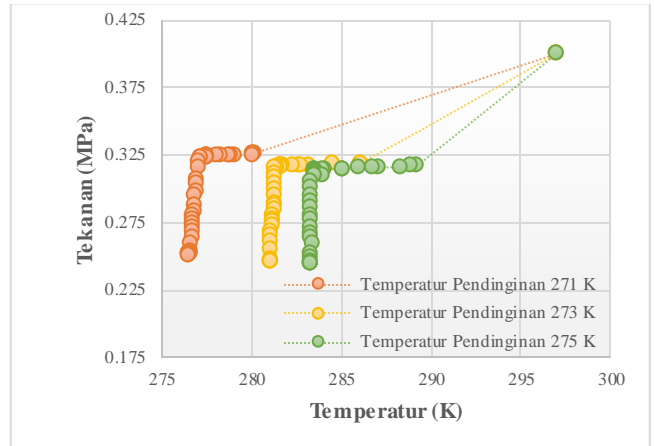


Gambar 5. Mekanisme pembentukan hidrat

Pada gambar 5 menunjukkan proses kinetika pembentukan hidrat gas alam. Dimana warna cokelat menunjukkan atom karbon, warna biru tua menunjukkan atom oksigen, dan warna biru muda menunjukkan atom hidrogen. Proses kinetika di atas menunjukkan proses yang terjadi pada gambar tersebut, dengan langkah-langkah seperti berikut ini :

- i. Pada kondisi awal, gas campuran propana butana terletak di atas permukaan hidrat. Kemudian sistem menerima gaya dan mengalami penurunan temperatur *cooling bath* yang menyebabkan tekanan sistem mengalami penurunan secara drastis. Hal ini disebabkan oleh akan masuknya inti hidrat ke dalam rongga yang terbentuk dari molekul-molekul air.
- ii. Pada kondisi kedua, inti hidrat sudah sedikit mulai terbentuk dengan ditandai penurunan temperatur yang diikuti dengan penurunan tekanan. Akan tetapi penurunan tekanan dan temperatur terjadi tidak secara signifikan yang cenderung konstan. Wujud

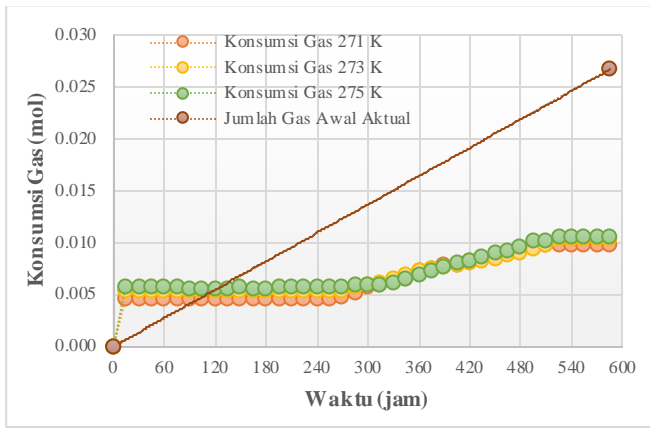
pada fase ini masih dalam bentuk gas dan air. Proses ini terjadi hingga titik pembentukan hidrat.
 iii. Pada kondisi terakhir ini, inti hidrat yang sudah masuk di antara rongga molekul air mulai menarik molekul gas campuran propana butana yang lain. Proses ini ditandai dengan penurunan tekanan secara drastic, namun temperturnya cenderung lebih konstan. Dalam fase ini wujudnya sudah berubah menjadi gas dan es, proses ini terjadi setelah melalui titik pembentukan hidrat.



Gambar 6. Tekanan dan temperatur saat pembentukan hidrat

Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan antara tekanan terhadap temperatur pembentukan hidrat gas propana butana pada variasi temperatur *cooling bath* dengan tekanan pembentukan 4 bar. Temperatur *cooling bath* akan mempengaruhi temperatur pembentukan yang terjadi di dalam *crystallizer*. Karena adanya temperatur pembentukan yang berbeda pada setiap variasinya menyebabkan tekanan pembentukannya berbeda-beda pula.

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, akan tetapi temperatur akan turun tidak secara signifikan, bahkan cenderung konstan. Pembentukan hidrat dan pertumbuhan hidrat terjadi melewati dua fase, yaitu waktu induksi dan fase pertumbuhan hidrat. Fase waktu induksi biasa disebut dengan *induction time*, pada fase ini biasanya ditunjukkan dengan penurunan tekanan yang tidak terlalu signifikan karena adanya perubahan temperatur awal menuju temperatur pembentukannya masing-masing sesuai dengan variasinya masing-masing. Fase pertumbuhan hidrat biasanya ditunjukkan dengan penurunan tekanan yang signifikan dan temperturnya cenderung konstan.



Gambar 7. Konsumsi gas yang terikat oleh molekul air saat pembentukan hidrat

3.1 Laju Pembentukan Hidrat Propana Butana

Laju pembentukan hidrat didapatkan dengan menghitung mol yang terbentuk selama proses yang didapatkan dari perhitungan tekanan dan temperatur eksperimen yang didapatkan dari grafik di Gambar 6. Kemudian nilai mol tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan 1, sehingga didapatkan grafik seperti terlihat pada Gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan grafik hubungan antara jumlah konsumsi gas terhadap waktu pembentukan hidrat propana butana pada variasi temperatur *cooling bath* yaitu, 271 K, 273 K dan 275 K. Jumlah konsumsi gas merupakan jumlah gas yang terbentuk menjadi hidrat pada proses pembentukan.

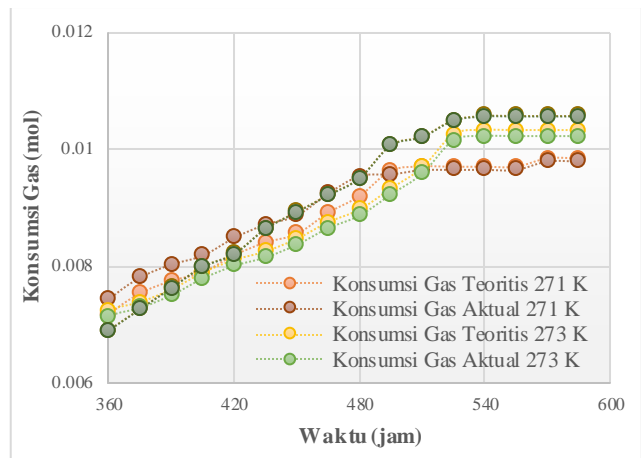
Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa jumlah konsumsi gas tertinggi terjadi pada variasi temperatur *cooling bath* 275 K, sedangkan untuk jumlah konsumsi gas terendah terjadi pada variasi temperatur *cooling bath* 271 K. Hal ini disebabkan apabila pada saat temperatur pendinginan semakin tinggi maka waktu yang dibutuhkan inti untuk menarik gas propana butana dari permukaan ke inti akan semakin lama, dengan waktu yang semakin lama ini menyebabkan jumlah gas yang dikonsumsi semakin besar. Dan apabila temperatur pendinginannya semakin rendah maka hidrat yang terbentuk akan semakin cepat akibat temperatur *cooling bath* menurun secara drastis. Sehingga perpindahan panas yang terjadi antara *cooling bath* dengan sistem akan semakin cepat, menyebabkan jumlah konsumsi gasnya semakin sedikit pula.

3.1.1 Validasi Laju Pembentukan Hidrat Propana Butana

Validasi laju pembentukan dilakukan dengan membandingkan konsumsi gas actual dan teoritis. Konsumsi gas ideal didapatkan dengan cara menghitung mol gas yang terjebak kdi molekul air dengan menggunakan persamaan 1. Adapun konsumsi gas teoritis didapatkan dari persamaan 2.

$$\frac{dn}{dt} = k \frac{(n - n_0)}{(n_{max} - n_0)} \quad (2)$$

Dimana n adalah jumlah mol dan k adalah konstanta laju pembentukan. Selanjutnya k dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Arrhenius, karena nilai n akan dipengaruhi oleh tekanan dan *temperatur* yang terjadi selama proses pembentukan [6].

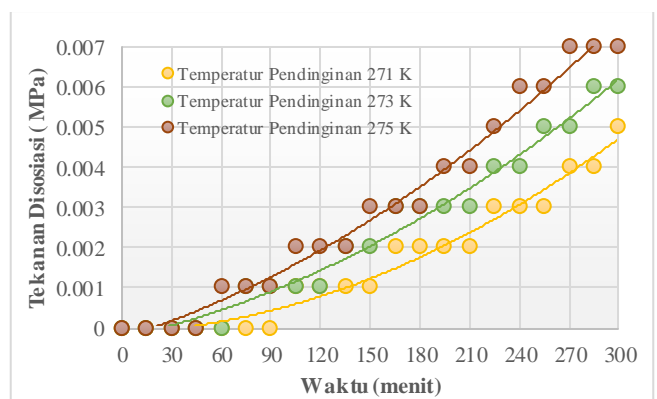


Gambar 8. Validasi Konsumsi Gas teoritis dan actual pada 360 hingga 600 menit

Dari hasil validasi didapatkan bahwa laju pembentukan actual dan teoritis menunjukkan kesesuaian, meskipun sedikit terdapat perbedaan. Namun, secara perhitungan, selisih jumlah gas yang dikonsumsi secara teoritis/perhitungan dapat diterima, terutama bila dilihat kecenderungan pembentukannya.

3.2 Stabilitas Gas Hidrat Propana Butana

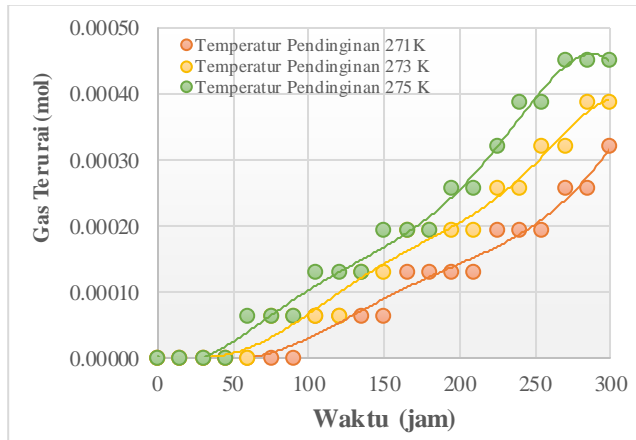
Gambar 9 menunjukkan hubungan antara tekanan disosiasi gas hidrat propana butana terhadap waktu stabilitas. Tekanan disosiasi merupakan tekanan penguraian dari gas hidrat. Penguraian hidrat merupakan proses endotermik dimana panasnya bersumber dari luar sistem yang digunakan untuk memecah ikatan hidrogen antara molekul air untuk menguraikan hidrat menjadi gas dan air.



Gambar 9. Tekanan gas saat dilepas dari molekul air saat untuk melihat kestabilan hidrat

Tingkat stabilitas dari gas hidrat akan dipengaruhi oleh seberapa besar tekanan gas yang mengurai, semakin kecil nilai tekanan disosiasi (tekanan penguraian), maka semakin besar tingkat stabilitas gas

hidrat. Dari gambar 8 terlihat bahwa tekanan disosiasi yang lebih stabil adalah pada variasi temperatur *cooling bath* 271 K, sedangkan yang paling tidak stabil adalah pada variasi temperatur *cooling bath* 275 K.



Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Jumlah Gas Terurai terhadap Waktu Stabilitas Hidrat Propana Butana

Gambar 10 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.

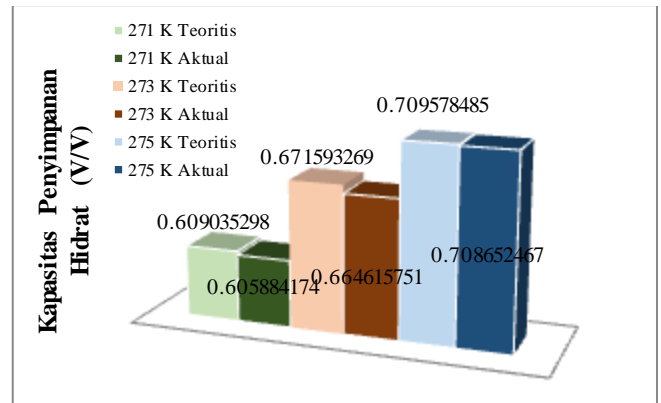
Stabilitas hidrat diteliti setelah hidrat terbentuk menjadi fase kristal hidrat, kemudian hidrat disimpan dalam di dalam *crystallizer* selama 5 jam dengan temperatur *cooling bath* sebesar 268 K. Dalam hal ini kenaikan temperatur dan tekanan di dalam *crystallizer* selalu diamati dalam waktu 5 jam. Dengan kenaikan tekanan dan temperatur tersebut akan didapatkan jumlah gas yang terurai dari struktur hidrat itu sendiri. Didapatkan data bahwa pada temeperatur *cooling bath* 271 K nilai stabilitas hidratnya merupakan yang paling baik. Hal ini disebabkan oleh lapisan es yang mengelilingi kristal pada temperatur tersebut akan semakin kuat, karena es yang mengelilingi kristal memiliki temperatur yang rendah. Sehingga lapisan es yang terbentuk semakin kuat maka membuat kristal hidrat semakin sulit untuk terurai.

3.3 Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana

Gambar 11 merupakan diagram kapasitas penyimpanan baik teoritis dan aktual hidrat gas campuran propana butana dalam satuan V/V pada variasi temperatur *cooling bath* 271 K, 273 K dan 275 K. Kapasitas penyimpanan hidrat merupakan kemampuan untuk menyimpan gas alam. Jika gas campuran propana butana semakin banyak yang dikonsumsi pada saat laju pembentukan hidrat maka kapasitas penyimpanan hidrat akan semakin besar.

Pada kapasitas penyimpanan hidrat teoritis yang digunakan adalah perbandingan antara volume dari gas campuran propana butana yang terdekomposisi dari tekanan gas yang terdekomposisi hingga

temperatur 27°C dengan volume gas campuran propana butana yang diperoleh dari 15% H₂O (50 cm³) yang akan ditempati oleh hidrat. Kapasitas penyimpanan hidrat teoritis tertinggi ada pada variasi temperatur *cooling bath* 275 K dengan nilai sebesar 0,709578485 V/V. Ini terjadi karena semakin besar temperatur *cooling bath* maka perpindahan panas dari *cooling bath* ke system akan semakin lama, dengan semakin lamanya perpindahan panas maka banyaknya gas yang dikonsumsi akan semakin besar pula. Sehingga apabila gas yang dikonsumsi oleh hidrat semakin besar maka akan menyebabkan kapasitas penyimpanan hidrat semakin besar.



Gambar 11. Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Teoritis dan Aktual

Pada kapasitas penyimpanan hidrat aktual yang digunakan adalah perbandingan antara volume dari gas campuran propana butana yang terdekomposisi hingga temperatur 27°C pada pengukuran *flowmeter* dengan volume gas campuran propana butana yang diperoleh dari 15% H₂O (50 cm³) yang akan ditempati oleh hidrat. Kapasitas penyimpanan hidrat aktual tertinggi ada pada variasi temperatur *cooling bath* 275 K dengan nilai sebesar 0.708652467 V/V.

3.3.1 Validasi Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrat Propana Butana

Perbedaan nilai kapasitas penyimpanan hidrat teoritis dan aktual terlihat pada gambar 10. Nilai kapasitas penyimpanan hidrat teoritis selalu lebih tinggi daripada nilai kapasitas penyimpanan aktual. Penyebabnya adalah adanya losses yang dialami oleh gas hidrat yang keluar pada saluran sebelum mencapai *flowmeter*. Namun secara umum, besarnya kapasitas penyimpanan dapat diprediksi dengan persamaan Arrhenius, yang dibuktikan bahwa kapasitas penyimpanan teoritis dan aktual menunjukkan nilai yang hampir sama.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Laju pembentukan gas hidrat tercepat berada pada temperatur *cooling bath* yang terendah.

2. Stabilitas hidrat terbaik, yaitu kemampuan hidrat untuk dapat mempertahankan struktur hidrat itu sendiri, berada pada temperatur *cooling bath* terendah.
3. Kapasitas penyimpanan terbesar berada pada kondisi temperatur *cooling bath* tertinggi.
4. Hasil validasi yang menggunakan persamaan Arrhenius menunjukkan kesesuaian nilai teoritis dan aktualnya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh PUPT - KEMENRISTEKDIKTI. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan setinggi-tingginya atas bantuan yang tidak ternilai atas kontribusinya dalam penyelesaian penelitian ini kepada Ilham Ayu Putri Pratiwi. Terimakasih yang tidak terhingga kepada pihak-pihak yang terkait, terutama KEMENRISTEKDIKTI atas dukungannya baik secara moril maupun materiil.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Carroll, John. 2009. Natural Gas Hydrate A Guide for Engineers. Second Edition. British Library, USA.
- [2] 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.
- [3] Sloan, E.D., Koh, Carolyn, A. 2008. Clathrate Hydrate of Natural Gases. Third Edition. Taylor & Francis Group, LLC.
- [4] Widya Wijayanti, Mega Nur Sasongko, Purnami. 2018. The Effect of Initial Pressure on Clathrate Hydrate Formation of Propane-Butane Mixtures. Journal of Heat and Mass Transfer (on progress)
- [5] Widya Wijayanti. 2017. The Stirrer Rotation Effects of Gas Hydrate Performance in the Hydrate Crystallizer. 3rd International Conference on Mechanical Engineering (ICOME 2017), Surabaya, 2017
- [6] Widya Wijayanti, K Tanoue. 2013. Char Formation and Gas Products of Woody Biomass Pyrolysis. Energy Procedia, Vol. 32, pp. 145-152.