

PENENTUAN BANYAKNYA UAP YANG DILEPASKAN KE UDARA DARI SUATU CAIRAN YANG TERSIMPAN DI TANGKI SIMPAN DENGAN PENDEKATAN TEORI NERACA ENERGI

Oleh : Arluky Novandy *)

ABSTRAK

Isu lingkungan tentang clean production memaksa beberapa industri untuk bersungguh-sungguh dalam menangani uap hidrokarbon yang terlepas ke udara bebas karena uap hidrokarbon dapat menyebabkan pencemaran di atmosfer. Tentunya dalam pelepasan hidrokarbon ke udara ini bila ditangani dengan serius akan menghasilkan nilai ekonomis tersendiri sehingga dirasa perlu bagi para process engineer untuk menghitung secara pasti besarnya uap hidrokarbon yang dilepaskan ke udara. Pada tulisan ini, disampaikan suatu Teori Neraca Energi untuk membahas besarnya uap yang dilepaskan dari suatu tangki yang dilengkapi dengan Katup Pernafasan (Breather Valve). Dimana pada Teori Neraca Energi pada tulisan ini sampai pada suatu kesimpulan bahwa Teori Neraca Energi masih memungkinkan untuk digunakan menghitung besarnya uap yang dilepaskan dari suatu tangki simpan.

I. PENDAHULUAN

Selama beberapa tahun seseorang selalu mencari persamaan yang tepat untuk menentukan berapa banyaknya uap yang dilepaskan ke udara dari suatu cairan yang tersimpan di tangki simpan. Persamaan persamaan yang ada umumnya adalah persamaan persamaan panas penguapan yang sering kita kenal selama ini, seperti : *Clausius-Clapeyron Equation, Chen's Equation, Dhuring Plot, dan Othmer Plot*⁽¹⁾. Tentunya dalam persamaan persamaan empiris tersebut dalam penggunaannya diperlukan beberapa percobaan untuk mencari kesamaannya dengan realiti di lapangan.

Latar Belakang

Yang melatar belakangi penulis dalam menyusun suatu perhitungan penentuan besarnya uap cairan yang dilepaskan ke udara adalah :

1. Persamaan persamaan yang ada di beberapa literatur umumnya adalah persamaan empiris

2. Penulis merasa belum menemukan satu literatur yang menuliskan penurunan persamaan persamaan empiris tersebut

Tujuan Penulisan

Penulisan ini bertujuan agar :

1. Adanya suatu persamaan yang fleksibel dalam menghitung banyaknya uap yang dilepaskan ke udara yang bisa diturunkan dari suatu persamaan umum yang ada
2. Sebagai media penambah wawasan bagi para pengajar/Widyaiswara dalam menyampaikan suatu materi diklat teknis seperti : *fuel losses, storage handling, perhitungan minyak standar, dll*

Batasan Masalah

Dalam penulisan ini dibuat beberapa batasan untuk mempersempit permasalahan sehingga mudah dalam perhitungan banyaknya uap yang

dilepaskan ke udara. Adapun batasan masalah yang dibuat adalah :

1. Penentuan perhitungan didasarkan atas penurunan dari persamaan Neraca Energi
2. Kondisi yang digunakan dalam penurunan persamaan Neraca Energi ini adalah kondisi tunak (*Steady State*)
3. Contoh kasus yang digunakan dalam perhitungan ini adalah tangki simpan
4. Material yang dijadikan objek perhitungan adalah air yang panas dengan temperatur simpan berkisar antara 80 – 100 °C
5. Arah aliran uap diasumsikan *unidirectional flow*

Manfaat Penulisan

Adapun manfaat penulisan ini adalah :

1. Agar para *Prosess Engineer* di Kilang Pusdiklat Migas dapat menentukan besarnya uap cairan yang dilepaskan dari suatu tangki simpan
2. Dapat dijadikan sebagai dasar bagi para *Geologist* dalam memahami besarnya uap yang dilepaskan di suatu *reservoirgeothermal*
3. Dapat dijadikan sebagai dasar bagi *Prosess Engineer* di Pusdiklat Migas dalam memahami besarnya *losses* cairan yang tersimpan di tangki simpan

II. PERSAMAAN UMUM NERACA ENERGI

Hukum pertama Thermodinamika yang akan digunakan dalam perhitungan ini adalah untuk *open system*, yaitu massa yang masuk dan yang keluar adalah tidak sama⁽²⁾.

Secara umum hukum pertama Thermodinamika ditulis sebagai berikut⁽²⁾ :

$$\Delta (\text{energi di sistem}) + \Delta (\text{energi di sekeliling}) = 0 \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

$$\Delta (\text{energi di sistem}) = \Delta U + \Delta EK + \Delta EP$$

$$\Delta (\text{energi sekeliling}) = + Q + W$$

Sehingga persamaan (1) kembali ditulis menjadi :

$$\Delta U + \Delta EK + \Delta EP = + Q + W \dots \dots \dots (2)$$

Hukum Kekelan Energi

Secara umum Hukum Kekekalan Energi di tulis sebagai berikut ⁽²⁾ :

$$\{ \text{Laju akumulasi energi di tangki} \} =$$

$$\{ \text{laju energi yang masuk} \} \quad -$$

$$\{ \text{laju energi yang keluar} \} \quad +$$

$$\{ \text{heat flow, } Q \} \quad - \quad \{ \text{Net Power, } W \}$$

$$\dots \dots \dots (3)$$

Persamaan (3) secara matematis dapat ditulis sebagai berikut ⁽²⁾ :

$$\frac{d(mU)_{di\ tangki}}{dt} + \Delta \left[\left(U + \frac{1}{2} U^2 + zg \right) \dot{m} \right]_{fs} =$$

$$\dot{Q} - \dot{W} \dots \dots \dots (4)$$

Dan jika :

$$\dot{W} = \dot{W}_s + \Delta [(PV)\dot{m}]_{fs} \dots \dots \dots (5)$$

Maka persamaan (5) bila disubstitusikan ke persamaan (4), akan menjadi :

$$\frac{d(mU)_{di\ tangki}}{dt} + \Delta \left[\left(U + \frac{1}{2} U^2 + zg \right) \dot{m} \right]_{fs} =$$

$$\dot{Q} - \dot{W}_s - \Delta [(PV)\dot{m}]_{fs} \dots \dots \dots (6)$$

Bila persamaan (6) disederhanakan akan menjadi :

$$\frac{d(mU)_{di\ tangki}}{dt} + \Delta \left[\left(U + \Delta [(PV)]_{fs} + \frac{1}{2} U^2 + zg \right) \dot{m} \right]_{fs} = \dot{Q} - \dot{W}_s \dots \dots \dots (7)$$

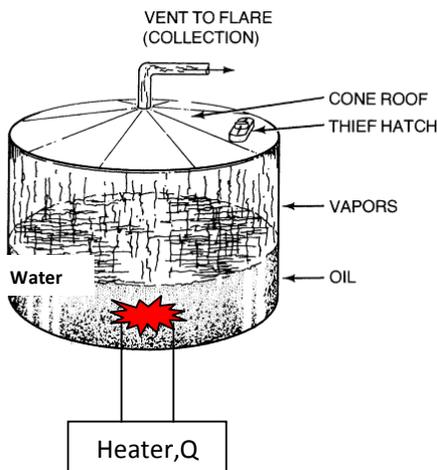
Jika : $U + \Delta [(PV)]_{fs} = H$, maka persamaan (7) ditulis kembali menjadi :

$$\frac{d(mU)_{di\ tangki}}{dt} + \Delta \left[\left(H + \frac{1}{2} U^2 + zg \right) \dot{m} \right]_{fs} =$$

$$\dot{Q} - \dot{W}_s \dots \dots \dots (8)$$

Notasi *fs* = *flowing stream*, yaitu aliran yang akan masuk ke tangki dan yang sudah keluar dari tangki

III. APLIKASI NERACA ENERGI DI TANGKI SIMPAN



Gambar 1 : sistem yang menjadi objek perhitungan

Pada gambar 1 diatas menggambarkan suatu sistem yang menjadi objek perhitungan banyaknya uap yang dilepaskan ke udara dari tangki simpan. Di gambar 1 tersebut diatas, juga merupakan sistem terbuka karena ada perubahan massa yang terdapat di dalam tangki. Jika diamati pada kondisi gambar 1 diatas bahwa energi sekeliling yang mempengaruhi sistem, seperti pompa bisa diabaikan, serta tidak terdapat pula energi kinetik dan energi potensial yang terlibat di sistem pada gambar diatas.

Jika persamaan (8) diaplikasikan untuk sistem yang berada di tangki seperti pada gambar 1 diatas, maka persamaan (8) menjadi sebagai berikut ini :

$$\frac{d(mU)_{di\ tangki}}{dt} + \Delta[(H)\dot{m}]_{fs} =$$

$$\dot{Q} \dots \dots \dots (9)$$

dimana :

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} \dots \dots \dots (10)$$

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} \dots \dots \dots (11)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (10) dan (11) ke persamaan (9), maka persamaan (9) kembali ditulis :

$$d(mU)_{di\ tangki} + \Delta(H\ dm)_{fs} = dQ \dots \dots \dots (12)$$

Persamaan (12) dapat ditulis kembali menjadi :

$$d(mU)_{di\ tangki} + [H''\ dm'' - H'\ dm']_{fs} = dQ \dots \dots \dots (13)$$

dimana :

$d(mU)_{di\ tangki}$ = akumulasi di tangki

$H''\ dm''$ = besarnya energi yang keluar dari tangki

$H'\ dm'$ = besarnya energi yang masuk ke tangki

Jika persamaan (13) diintegrasikan, maka :

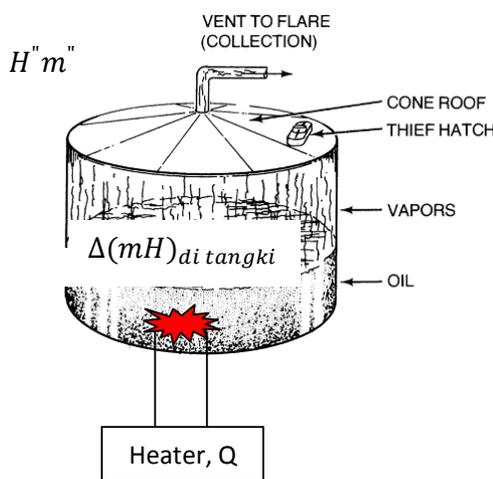
$$\int d(mU)_{di\ tangki} + \int (H''\ dm'' - H'\ dm') = \int dQ$$

$$\Delta(mU)_{di\ tangki} + H''\ m'' - H'\ m' = Q \dots \dots \dots (14)$$

Jika $U = H - P$,
 maka $\Delta(mU)_{di\ tangki}$ menjadi :
 $\Delta(mU)_{di\ tangki} = \Delta(mH)_{di\ tangki} -$
 $\Delta(PmV)_{di\ tangki} \dots\dots(14a)$

Karena tekanan operasi di tangki dijaga
 agar selalu tetap, sehingga
 $\Delta(PmV)_{di\ tangki} = 0^{(2)}$,
 maka persamaan (14a) menjadi :
 $\Delta(mU)_{di\ tangki} =$
 $\Delta(mH)_{di\ tangki} \dots\dots\dots(14b)$

Substitusi persamaan (14b) ke persamaan
 (14) menghasilkan persamaan :
 $\Delta(mH)_{di\ tangki} + H''m'' + H'm' =$
 $Q \dots\dots\dots(15)$



Gambar 2 : Neraca energi di tangki simpan

IV. STUDI KASUS PERHITUNGAN PELEPASAN UAP KE UDARA

Suatu tangki air tertutup berkapasitas 500 ft³ berisi 5100 lbm air jenuh pada suhu 460 °F. Air ini memenuhi tangki, sedangkan pada bagian ullage tangki terisi penuh oleh uap air. Uap air yang mengisi pada bagian ullage tangki ini kemudian di venting keluar ke udara bebas, sehingga temperatur air yang ada di tangki turun menjadi 450 °F.

Diasumsikan tidak ada panas yang ditambahkan ke tangki (tidak ada heater). Maka banyaknya uap air yang dibuang ke udara dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan (15) sebagai berikut :

Persamaan (15) :
 $\Delta(mH)_{di\ tangki} + H''m'' + H'm' = Q$

Karena tidak ada massa yang masuk dan tidak ada penambahan panas (heater), maka persamaan (15) disederhanakan menjadi :

$\Delta(mH)_{di\ tangki} + H''m'' + 0 = 0 \dots\dots\dots(a)$

$\Delta(mH)_{di\ tangki} + H''m'' = 0 \dots\dots\dots(b)$

$(m_2H_2 - m_1H_1)_{di\ tangki} + H''m'' = 0$
(c)

- dimana :
- m_2H_2 = kondisi di dalam tangki setelah mengalami venting
 - m_1H_1 = kondisi di dalam tangki sebelum mengalami venting
 - $H''m''$ = besar vapor yang di venting

Seperti diketahui bahwa di dalam tangki terdapat air dan uap air, baik pada suhu 460 °F dan 450 °F, maka :

$$m_2 H_2 = m_2^l H_2^l + m_2^v H_2^v, \text{ dan}$$

$$m_1 H_1 = m_1^l H_1^l + m_1^v H_1^v$$

Sedangkan $H'' = H_1^v$

Data enthalpi dapat dicari di *Steam Table*, dimana :

H_1^l = enthalpy saturated liquid air pada suhu 460 °F

H_1^v = enthalpy saturated vapor pada suhu 460 °F

H_2^l = enthalpy saturated liquid air pada suhu 450 °F

H_2^v = enthalpy saturated vapor pada suhu 450 °F

V^l = specific volume pada saturated liquid

V^v = specific volume pada saturated vapor

Sehingga didapatkan data dari *steam tabel*⁽²⁾ sebagai berikut :

Pada suhu 460 °F :

$$V^l = 0,0196 \text{ ft}^3/\text{lbm}$$

$$V^v = 0,9942 \text{ ft}^3/\text{lbm}$$

$$H^l = 441,54 \text{ Btu}/\text{lbm}$$

$$H^v = 1204,8 \text{ Btu}/\text{lbm}$$

Pada suhu 450 °F :

$$V^l = 0,01943 \text{ ft}^3/\text{lbm}$$

$$V^v = 1,0991 \text{ ft}^3/\text{lbm}$$

$$H^l = 430,23 \text{ Btu}/\text{lbm}$$

$$H^v = 1204,7 \text{ Btu}/\text{lbm}$$

Pada saat kondisi awal suhu tangki 460 °F

$$m_1^l = 5100 \text{ lbm}$$

Kapasitas tangki 500 ft³ tersebut terdiri atas air dan uap, jika banyaknya air pada awalnya adalah 5100 lbm, maka banyaknya uap adalah :

$$m_1^l V_1^l + m_1^v V_1^v = 500 \text{ ft}^3$$

$$5100 \text{ lbm} * 0,0196 \frac{\text{ft}^3}{\text{lbm}} + m_1^v \text{lbm} * 0,9942 \frac{\text{ft}^3}{\text{lbm}} = 500 \text{ ft}^3$$

Maka $m_1^v = 402,4 \text{ lbm}$

sehingga :

$$\begin{aligned} m_1 H_1 &= m_1^l H_1^l + m_1^v H_1^v \\ m_1 H_1 &= 5100 \text{ lbm} * 441,54 \text{ Btu}/\text{lbm} \\ &+ 402,4 \text{ lbm} * 1204,8 \text{ Btu}/\text{lbm} \\ &= 2.736.666 \text{ Btu} \end{aligned}$$

Pada saat kondisi setelah venting suhu tangki 450 °F :

Pada kondisi setelah venting, hanya vapor saja yang berkurang (karena di venting) sedangkan jumlah air di tangki tetap dan tentunya kapasitas tangki selalu 500 ft³, maka besarnya vapor di tangki setelah venting adalah :

$$\begin{aligned} m_2^l V_2^l + m_2^v V_2^v &= 500 \text{ ft}^3 \\ 5100 \text{ lbm} * 0,01943 \frac{\text{ft}^3}{\text{lbm}} + m_2^v \text{lbm} * 1,0991 \frac{\text{ft}^3}{\text{lbm}} &= 500 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Maka $m_2^v = 364,75 \text{ lbm}$

sehingga :

$$\begin{aligned} m_2 H_2 &= m_2^l H_2^l + m_2^v H_2^v \\ m_2 H_2 &= 5100 \text{ lbm} * 430,23 \text{ Btu}/\text{lbm} + 364,75 \text{ lbm} * 1204,7 \text{ Btu}/\text{lbm} \\ &= 2.633.587 \text{ Btu} \end{aligned}$$

Dari persamaan (c) dapat dihitung besarnya uap yang di venting adalah

$$\begin{aligned} (m_2 H_2 - m_1 H_1)_{\text{di tangki}} + H'' m'' &= 0 \\ (2.633.587 \text{ Btu} - 2.736.666 \text{ Btu}) &= \\ - (1204,8 \text{ Btu}/\text{lbm} * m'' \text{lbm}) & \end{aligned}$$

Yaitu sebesar $m'' = 20.528,784$ lbm

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Dari ulasan diatas dapat disimpulkan bahwa :

1. Penentuan besarnya uap cairan yang dilepaskan dari tangki dapat di dekati dengan menggunakan Teori Neraca Energi
2. Penentuan besarnya uap yang dilepaskan dari tangki dengan contoh kasus tersebut diatas adalah untuk tangki yang dilengkapi dengan fasilitas *Breather Valve*

3. Jika tangki menggunakan fasilitas *Breather Valve* maka pendekatan Teori Neraca Energi tersebut dapat digunakan sebagai dasar mendesain *Breather Valve* yang akan digunakan

V.2 Saran

1. Perlu dilakukan uji coba dengan fasilitas tangki yang ada di Pusdiklat Migas dengan menggunakan liquid hidrokarbon, seperti minyak solar, bensin, dsb nya.
2. Persamaan ini tidak berlaku pada tangki yang dilengkapi dengan fasilitas *Free Vent*.

DAFTAR PUSTAKA

1. David M. Himmelblau, "*Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*", 5th edition, Prentice-Hall International, USA
2. Smith, J.M and Van Ness, H. C, "*Introduction To Chemical Engineering Thermodynamics*", 4th edition, 1987, McGraw-Hill International, USA.

*) Penulis :

Widyaiswara Muda Pusdiklat Migas