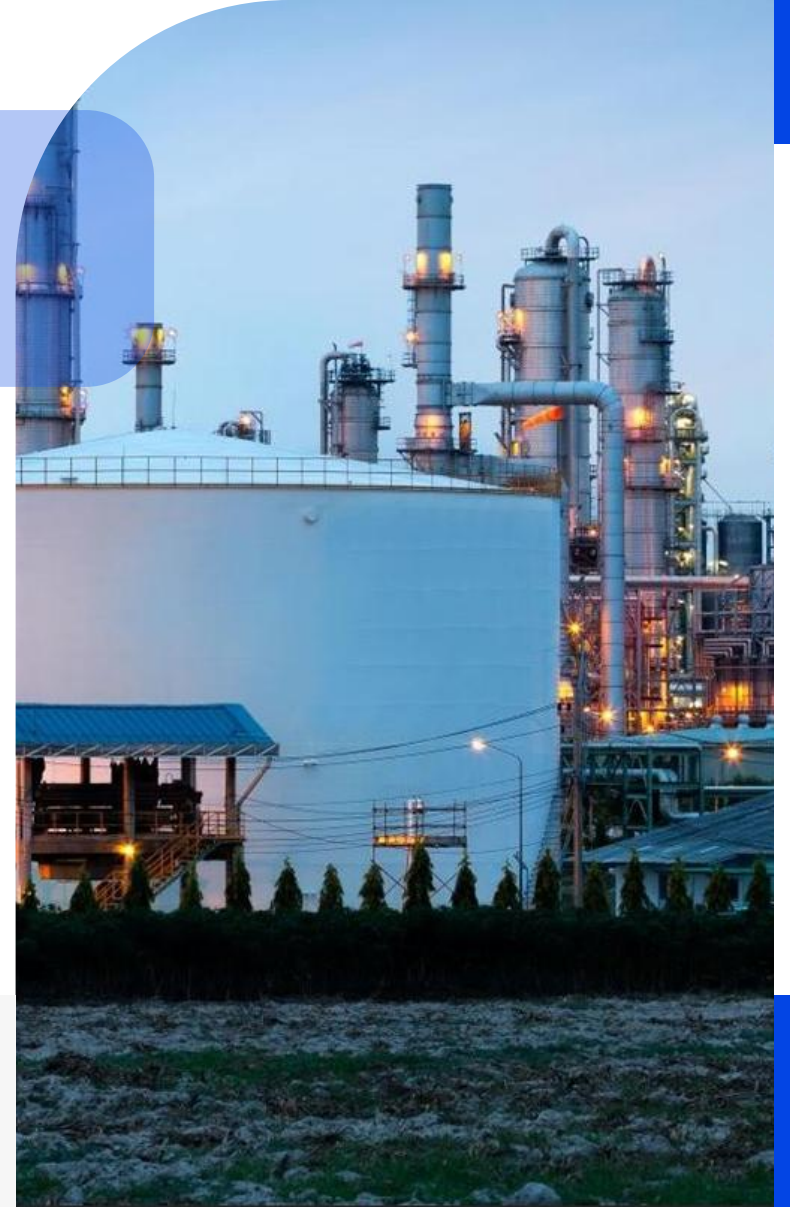


Heat Effects

Termodinamika Teknik Kimia I



Pendahuluan

- **Neraca panas:** ilmu yang mempelajari kesetimbangan energi pada suatu sistem
- Neraca energi dibuat berdasarkan pada hukum pertama termodinamika
- Hukum pertama ini menyatakan kekekalan energi, yaitu energi tidak dapat dimusnahkan atau dibuat, hanya dapat diubah bentuknya

Manfaat:

- Menghitung kebutuhan pemanas
- Menghitung kebutuhan pendingin
- Untuk desain peralatan perpindahan panas
- Menghitung suhu pada aliran keluar peralatan

Konsep Neraca Panas

- Perumusan dari neraca energi suatu sistem mirip dengan perumusan neraca massa.
- Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan neraca panas:
 - ✓ Suatu system dapat berupa system tertutup namun tidak terisolasi (tidak dapat terjadi perpindahan massa namun dapat terjadi perpindahan panas)
 - ✓ Hanya terdapat satu neraca energi untuk suatu sistem (tidak seperti neraca massa yang memungkinkan adanya beberapa neraca komponen).
- Persamaan umum neraca panas
$$[\text{Energi masuk}] - [\text{energi keluar}] + [\text{energi yang terbangkitkan sistem}] - [\text{energi yang dikonsumsi sistem}] = [\text{energi terakumulasi dalam sistem}]$$

Untuk sistem yang steady state maka energy terakumulasi dalam sistem = 0

Konsep Neraca Panas

Reaksi Adiabatis

- Reaksi adiabatik adalah reaksi yang dijalankan dalam suatu tempat dimana tidak ada panas yang ditambahkan atau dihilangkan.
- Reaksi adiabatik dijalankan dalam reaktor tanpa pemanas maupun pendingin
- Jika reaksi bersifat endotermis (memerlukan panas) maka reaksi akan menurunkan suhu produk reaktor. Endotermis → butuh pemanas
- Jika reaksi bersifat eksotermis (menghasilkan panas) maka reaksi akan menaikkan suhu produk reaktor. Eksotermis → butuh pendingin

Macam-Macam Panas

- **Panas Sensible:** panas karena perubahan suhunya.
- **Panas Laten:** panas karena perubahan fase dengan suhu tetap.
 - ✓ Panas peleburan (dari fase padat menjadi cair).
 - ✓ Panas sublimasi (dari fase padat menjadi gas).
 - ✓ Panas kondensasi (dari fase gas menjadi cair).
 - ✓ Panas penguapan (dari fase cair menjadi gas).
- **Panas reaksi:** panas yang dihasilkan atau dibutuhkan pada proses yang melibatkan reaksi kimia
- **Macam-macam panas reaksi :**
 - ✓ Heat of reaction.
 - ✓ Heat of formation.
 - ✓ Heat of combustion.

Peralatan yang dihitung

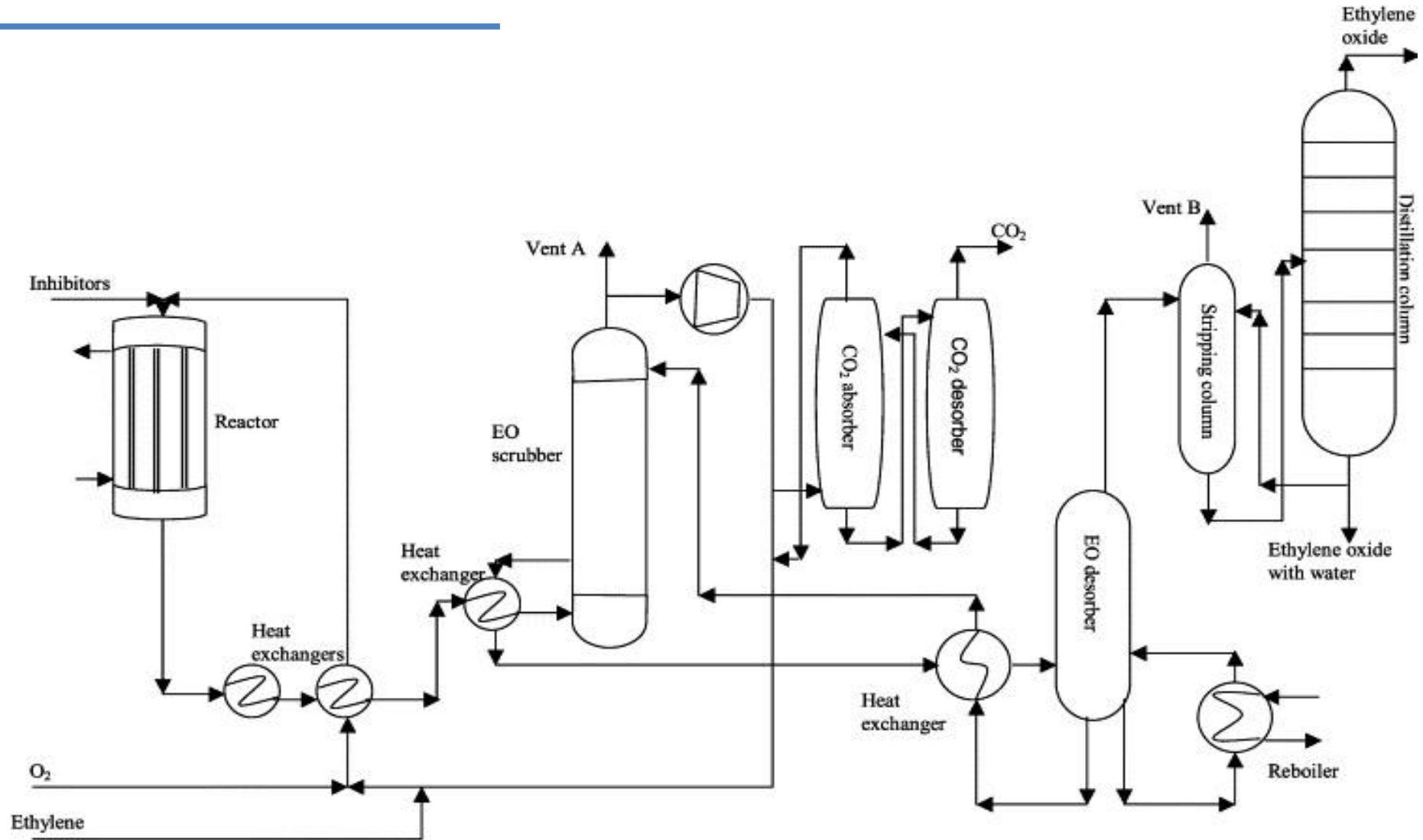
Peralatan tanpa perubahan massa:

- Heater
- Cooler
- Heat exchanger
- Reboiler
- Boiler
- Kondensor

Peralatan dengan perubahan massa:

- Reaktor
- Furnace
- Kiln
- Evaporator
- Kristalisator
- Tangki Pengencer
- Tangki Pelarut

Flow Sheet



Deskripsi Proses

- Perpindahan panas merupakan unit operasi yang paling banyak dijumpai di industri.
- Misal, pembuatan ethylene glycol dengan cara oksidasi terhadap ethylene menjadi ethylene oxide dan selanjutnya dihidrasi menjadi glycol.
- Reaksi oksidasi katalitik paling efektif jika dilakukan pada temperatur sekitar 523,15 K (250°C).
- Reaktan, yaitu ethylene dan udara, dipanaskan terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam reaktor.
- Untuk merancang preheater, kita harus mengetahui jumlah panas yang harus ditransfer.

Deskripsi Proses

- Reaksi pembakaran antara ethylene dengan oksigen dalam tumpukan/bed katalis akan menaikkan temperatur.
- Jika temperaturnya melebihi 250°C , maka akan terjadi reaksi samping yang tidak diinginkan, yaitu terbentuk-nya CO_2 .
- Oleh karena itu, panas harus terus diambil dari reaktor agar temperaturnya tidak melebihi 250°C .
- Untuk merancang reaktor, harus mengetahui laju perpindahan panas, dan hal ini tergantung pada efek panas yang menyertai reaksi kimia.

Deskripsi Proses

- Produk ethylene oxide dihidrasi menjadi glycol dengan cara diabsorpsi dengan air.
- Pada proses tsb dilepaskan panas karena perubahan fasa dan proses pelarutan dan juga karena reaksi hidrasi antara ethylene oxide terlarut dengan air.
- Akhirnya, glycol dimurnikan dengan cara distilasi, suatu proses penguapan dan kondensasi, yang mengakibatkan terjadinya pemisahan suatu larutan menjadi komponen-komponennya.
- Semua efek panas yang penting telah diilustrasikan dengan menggunakan satu contoh proses kimia sederhana di atas.

Panas Sensibel

- Panas sensibel adalah panas yang menyertai perubahan temperatur dari suatu sistem tanpa disertai perubahan fasa, reaksi kimia, dan perubahan komposisi.
- Jika sistem berupa suatu senyawa homogen dengan komposisi konstan, maka menurut aturan fasa, keadaan sistem tersebut akan tertentu jika 2 dari sifat-sifat intensifnya sudah tertentu.

$$U = U(T, V)$$

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV$$

$$dU = C_v dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV$$

Panas Sensibel

Suku kedua ruas kanan akan = 0 jika

- Proses berlangsung pada volum konstan (isokhorik), apapun senyawanya.
- Energi dalam yg tidak dipengaruhi volume, yaitu tepat utk gas ideal dan fluida inkompresibel, mendekati benar utk gas tekanan rendah
- C_v = kapasitas panas (molar) pd V tetap, J/(mol K)

$$dU = C_v dT$$

$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT \quad (1)$$

Untuk proses reversible yang berlangsung pada volum konstan,

$$Q = \Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT$$

Panas Sensibel

Enthalpy juga dapat dinyatakan sebagai fungsi dari T dan P:

$$H = H(T, P)$$

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P dT + \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP$$

$$dH = C_p dT + \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP$$

Suku kedua ruas akan = 0 jika

Suku kedua akan sama dengan nol, jika:

- Proses isobarik
- Entalpi yg tidak dipengaruhi tekanan, yaitu tepat utk gas ideal, mendekati benar utk gas tekanan rendah
- C_p = kapasitas panas (molar) pd P tetap, J/(mol K)

Panas Sensibel

$$dH = C_p dT$$
$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad (2)$$

Untuk sistem tertutup yang mengalami proses reversibel yang berlangsung pada tekanan konstan, dan juga untuk perpindahan panas di dalam alat penukar panas dalam keadaan steady dengan ΔE_K dan ΔE_p yang dapat diabaikan, dan $W_S = 0$:

$$Q = \Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad (3)$$

Ketergantungan C_p terhadap T

$C_p = f(T)$ demikian pula $C_v = f(T)$

Dalam perhitungan termodinamika lebih mudah menyatakan $C_p^{ig} = f(T)$

$$C_p^{ig} / R = A + BT + CT^2 + DT^{-2}$$

ig = ideal gas

$C_v = f(T)$ dihitung dari

$$C_v^{ig} = C_p^{ig} - R \quad C_v^{ig} / R = C_p^{ig} / R - 1$$

Ketergantungan C_p terhadap T

Persamaan (3) dapat diselesaikan jika tersedia hubungan antara C_p dan T .

Persamaan empiris yang paling sederhana yang menyatakan hubungan antara C_p dan T adalah:

$$\frac{C_p}{R} = A + BT + CT^2 + DT^{-2} \quad (4)$$

Dengan A , B , C dan D adalah konstanta yang nilainya tergantung pada jenis senyawa kimia.

Untuk gas ideal:

$$\frac{C_p^{ig}}{R} = A + BT + CT^2 + DT^{-2}$$

Ketergantungan C_p terhadap T

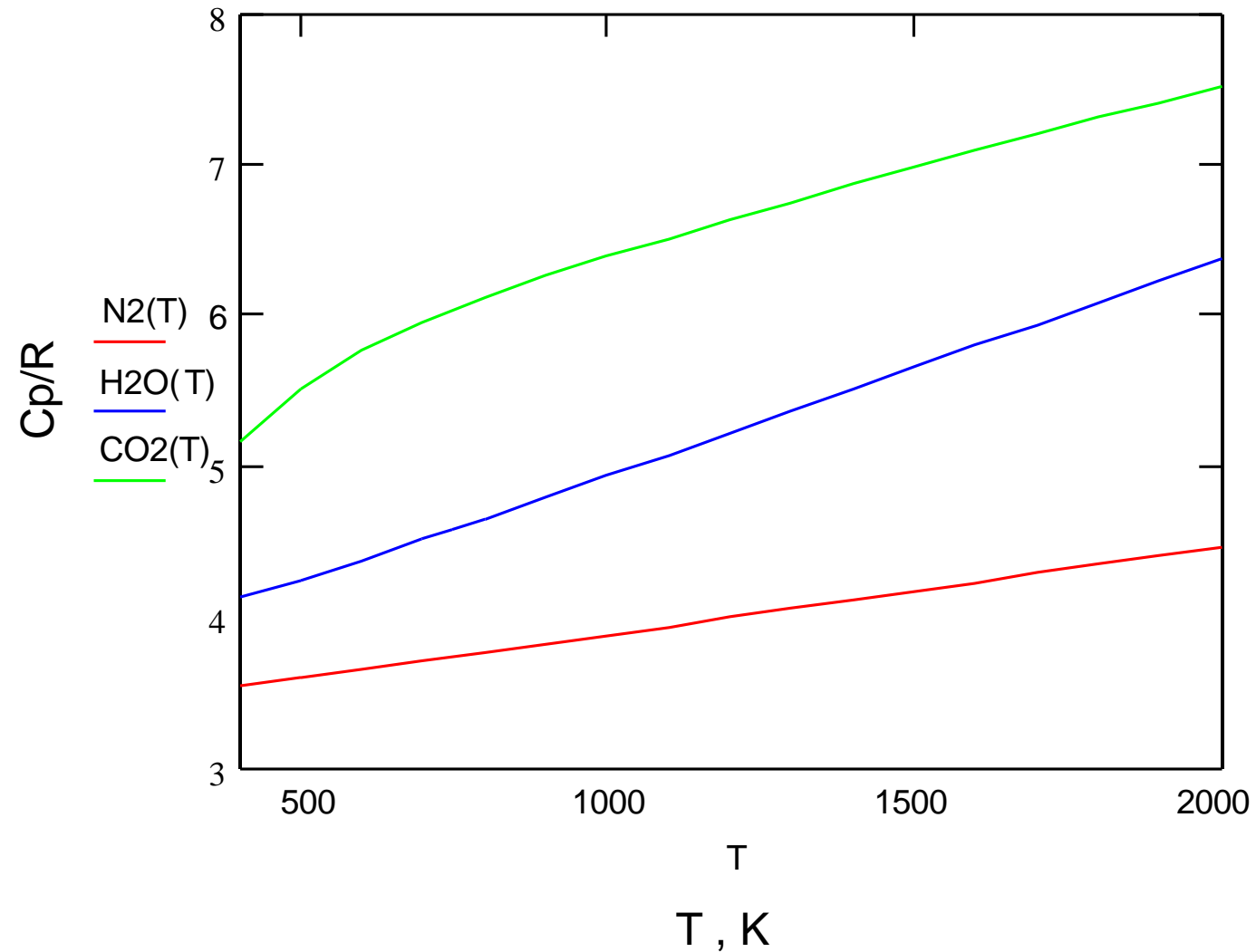
Nilai parameter A, B, C, dan D untuk berbagai macam gas dalam keadaan ideal dapat dilihat pada Tabel C.1.

Untuk gas ideal berlaku:

$$\frac{C_v^{ig}}{R} = \frac{C_p^{ig}}{R} - 1 \quad (5)$$

Sehingga hubungan antara C_v dan T mengikuti hubungan antara C_p dan T

Hubungan C_p/R dengan Suhu utk beberapa zat



Kapasitas Panas Campuran

$$Cp_{mixture}^{ig} = y_A Cp_A^{ig} + y_B Cp_B^{ig} + y_C Cp_C^{ig}$$

$Cp_{mixture}^{ig}$ = kapasitas panas campuran gas ideal, J/mol K

$Cp_A^{ig}, Cp_B^{ig}, Cp_C^{ig}$ = kapasitas panas A, B, C murni

y_A, y_B, y_C = fraksi mol A, B, C

Menentukan Panas Sensible

$$Q = \Delta H = n \int_{T_1}^{T_2} C_p \cdot dT$$

$$\frac{C_p^{ig}}{R} = A + BT + CT^2 + DT$$

A, B, C, D diperoleh dari table

R = konstanta gas

Menentukan Panas Sensible

$$\frac{Cp^{ig}}{R} = A + BT_{am} + \frac{C}{3} (4T_{am}^2 - T_1T_2) + \frac{D}{T_1T_2}$$

$$T_{am} = \frac{(T_1 + T_2)}{2}$$

$$Q = \Delta H = Cp_{mh} (T_2 - T_1)$$

Evaluasi Integral Panas Sensibel

Temperature dependence is expressed analytically by equations such as Eq. (4.4), here written:

$$\frac{C_P^{ig}}{R} = A + BT + CT^2 + DT^{-2} \quad (4.5)$$

Evaluation of the integral $\int C_P dT$ is accomplished by substitution for C_P as a function of T by Eq. (4.4), followed by formal integration. For temperature limits of T_0 and T the result is:

$$\int_{T_0}^T \frac{C_P}{R} dT = A(T - T_0) + \frac{B}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{C}{3} (T^3 - T_0^3) + D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \quad (4.8)$$

Given T_0 and T , the calculation of Q or ΔH is straightforward. Less direct is the calculation of T , given T_0 and Q or ΔH . Here, an iteration scheme may be useful. Factoring $(T - T_0)$ from each term on the right side of Eq. (4.8) gives:

$$\int_{T_0}^T \frac{C_P}{R} dT = \left[A + \frac{B}{2} (T + T_0) + \frac{C}{3} (T^2 + T_0^2 + TT_0) + \frac{D}{TT_0} \right] (T - T_0)$$

We identify the quantity in square brackets as $\langle C_P \rangle_H / R$, where $\langle C_P \rangle_H$ is defined as a *mean heat capacity* for the temperature range from T_0 to T :

$$\frac{\langle C_P \rangle_H}{R} = A + \frac{B}{2} (T + T_0) + \frac{C}{3} (T^2 + T_0^2 + TT_0) + \frac{D}{TT_0} \quad (4.9)$$

Equation (4.2) may therefore be written:

$$\Delta H = \langle C_P \rangle_H (T - T_0) \quad (4.10)$$

Contoh

Tentukan Panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 mol metana dari 260 C menjadi 600 C.

Penyelesaian (Metode 1):

1. Ubah Temperatur ke dalam K
2. Lihat data A, B, C, D pada Tabel 4.1 untuk metana
3. Masukkan data A,B,C dan D ke dalam persamaan polinomial
4. Integralkan sehingga didapat nilai Q

Penyelesaian

$$T_1 = 260 + 273,15 = 533,15 \text{ K}$$

$$T_2 = 600 + 273,15 = 873,15 \text{ K}$$

Table C.1: Heat Capacities of Gases in the Ideal-Gas State[†]

Constants in equation $C_P^{ig}/R = A + BT + CT^2 + DT^{-2}$ for T (K) from 298 K to T_{\max}

Chemical species	T_{\max}	$C_{P_{298}}^{ig}/R$	A	$10^3 B$	$10^6 C$	$10^{-5} D$
<i>Alkanes:</i>						
Methane	1500	4.217	1.702	9.081	-2.164

$$C_p = R (A + BT + CT^2 + DT^{-2})$$

$$= 8,314 (1,702 + 9,081 \times 10^{-3} T + -2,164 \times 10^{-6} T^2 + 0)$$

Penyelesaian Metode 1

$$Q = \int_{533,15}^{873,15} C_p \cdot dT$$

$$Q = 8,314 \int_{533,15}^{873,15} (1,702 + 9,081 \times 10^{-3} T - 2,164 \times 10^{-6} T^2 + 0) \cdot dT$$

$$Q = 8,314 \left(1,702 \Big|_{533,15}^{873,15} + \frac{9,081}{2} \times 10^{-3} \Big|_{533,15^2}^{873,15^2} - \frac{2,164}{3} \times 10^{-6} \Big|_{533,15^3}^{873,15^3} \right)$$

$$Q = (8,314)(578,68 + 2171 - 370,7)$$

$$Q = (8,314)(2378,8)$$

$$Q = 19788 \text{ Joule}$$

Penyelesaian

Prosedur:

1. Tentukan nilai Tam
2. Hitung Cp
3. Hitung $Q = \Delta H$

Penyelesaian

$$T_{am} = (873,15 + 533,15)/2 = 703,15 \text{ K}$$

$$\frac{C_p}{R} = A + BT_{am} + \frac{C}{3} (4T_{am}^2 - T_1T_2) + \frac{D}{T_1T_2}$$

$$C_p = (8,314)(1,702 + 9,081 \times 10^{-3} \times 703,15 \\ + \frac{-2,164 \times 10^{-6}}{3} (4 \times 703,15^2 - 533,15 \times 873,15) + 0$$

$$C_p = (8,314)(6,996)$$

$$Q = (8,314)(6,996)(873,15 - 533,15)$$

$$Q = 19788 \text{ Joule}$$

Contoh

Berapa temperatur akhir jika panas sebanyak $0,4 \times 10^6$ (Btu) ditambahkan pada 25 (lb mol) ammonia yang semula berada pada temperatur 500 ($^{\circ}\text{F}$) dalam suatu proses alir steady yang berlangsung pada tekanan 1 (atm)?

Penyelesaian

$$\Delta H = \frac{Q}{n} = \frac{0,4 \times 10^6}{25} = 16.000 \text{ (Btu) (lb mol)}^{-1} = 37.218 \text{ J mol}^{-1}$$

$$T_1 = \frac{500 + 459,67}{1,8} = 533,15 \text{ K}$$

$$A = 3,578$$

$$B = 3,02 \times 10^{-3}$$

$$C = 0$$

$$D = -0,186 \times 10^5$$

$$Q = \Delta H = R \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_P^{ig}}{R} dT \quad \leftarrow \quad Q = \Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_P dT$$

$$= R \int_{T_1}^{T_2} \left(A + BT + \frac{D}{T^2} \right) dT = R \left(AT + \frac{B}{2} T^2 - \frac{D}{T} \right) \Big|_{T_1}^{T_2}$$

$$= R \left\{ A(T_2 - T_1) + \frac{B}{2} (T_2^2 - T_1^2) - D \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right\}$$

$$37.218 = 8,314 \{ 3,578 (T_2 - 533,15) +$$

$$+ \frac{3,02 \times 10^{-3}}{2} (T_2^2 - 533,15^2) +$$

$$+ 0,186 \times 10^5 \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{533,15} \right) \}$$

Selanjutnya persamaan di atas diubah menjadi:

$$1,51 \times 10^{-3} T_2^2 + 3,578 T_2 + \frac{0,186 \times 10^5}{T_2} - 6.848,259 = 0$$

atau $f(T_2) = 0$

Persamaan di atas diselesaikan dengan cara iterasi

T_2	$f(T_2)$
1000	-1.741,66
900	-2.384,29
1200	-364,76
1250	-1,50
1250.2	-0.04

Jadi $T_2 = 1250,2$ K

$$1,51 \times 10^{-3} T_2^2 + 3,578 T_2 + \frac{0,186 \times 10^5}{T_2} - 6.848,259 = 0$$

$$T_2 = \frac{1}{3,578} \left(-1,51 \times 10^{-3} T_2^2 - \frac{0,186 \times 10^5}{T_2} + 6.848,259 \right)$$

Panas Laten

- **Panas Laten** : panas yg dibutuhkan/ dilepaskan saat perubahan fase (padat → cair, cair → gas, padat → gas atau sebaliknya)

$$\Delta H = T \Delta V \frac{dP^{sat}}{dT}$$

ΔH = panas laten, J/(mol K)

ΔV = perubahan volume yg mengiringi perubahan fase

P^{sat} = tekanan uap jenuh

Panas Laten

Trouton's Rule

Estimasi kasar utk menghitung panas laten penguapan zat cair murni pada titik didih normalnya, dgn persamaan :

$$\frac{\Delta H_n}{RT_n} \approx 10$$

ΔH_n = panas laten penguapan pd titik didih normal (J/mol)

T_n = titik didih normal (K)

R = konstanta gas umum (J/mol K)

Panas Laten

Persamaan Riedel

$$\frac{\Delta H_n}{RT_n} = \frac{1,092(\ln P_c - 1,013)}{0,930 - T_{r_n}}$$

ΔH_n = panas laten penguapan pd titik didih normal (J/mol)

$T_{r_n} = T_n / T_c$ = suhu tereduksi pada T_n T_n = titik didih normal (K)

R = konstanta gas umum (J/mol K) **Accurate! Error rarely exceed 5%**

Contoh

Estimate the latent heat of vaporization of water at normal boiling point !

$$\frac{\Delta H_n}{RT_n} = \frac{1.092(\ln 220.55 - 1.013)}{0.930 - 0.577} = 13.56$$

$$\begin{aligned}\Delta H_n &= 13.56 \times 8.314 \times 373.15 \\ &= 42065 \text{ J/mol} \\ &= \frac{42065 \text{ J/mol}}{18.015 \text{ g/mol}} \\ &= 2337 \text{ J/g}\end{aligned}$$

from steam table = 2257 J/g. Error = $(2335-2257)/2257=3,4 \%$

Panas Laten

Persamaan Watson

$$\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} = \left(\frac{1 - T_{r2}}{1 - T_{r1}} \right)^{0,38}$$

Utk menghitung Panas Laten Penguapan pada suhu yg lain (2) dgn data Panas Laten penguapan pd suatu suhu tertentu (1).

Contoh

Given that the latent heat of vaporization of water at 100°C is 2257 J/g, estimate the latent heat at 300 °C.

$$\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} = \left(\frac{1 - T_{r2}}{1 - T_{r1}} \right)^{0.38}$$

$$\Delta H_1(100^\circ\text{C}) = 2257$$

$$\Delta H_2(300^\circ\text{C}) = ?$$

$$T_{r1} = 373.15 / 647.1 = 0.577$$

$$T_{r2} = 573.15 / 647.1 = 0.886$$

$$\Delta H_2(300^\circ\text{C}) = 1371 \frac{\text{J}}{\text{g}}$$

Panas Reaksi Standar

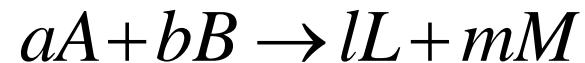
- Hukum I , utk kasus tidak ada kerja poros, energi potensial dan energi kinetik diabaikan, ada pembakaran/ reaksi lain

$$Q = \Delta H$$

- Perubahan entalpi karena suatu pembakaran/ reaksi yg lain, ΔH = panas reaksi (heat of reaction)

Panas Reaksi Standar

- **Panas reaksi standar** : perubahan entalpi jika a mol A dan b mol B dalam keadaan standar pada suhu T bereaksi membentuk l mole L dan m mol M dalam keadaan standar pada suhu T yang sama



- **Keadaan standar** : keadaan khusus suatu spesies (zat) pada suhu T dan pada tekanan, komposisi dan keadaan fisika tertentu, misalnya gas, cair atau padat

- Secara historis, mula-mula **tekanan** pada **keadaan standar** adalah 1 atm, namun sekarang 1 bar

- **Keadaan standar ditetapkan:**

- **Gas** : gas ideal, murni, pada 1 bar

$$C_P^{\circ} = C_P^{ig}$$

- **Cairan dan padat** : cairan/padatan murni
pada 1 bar

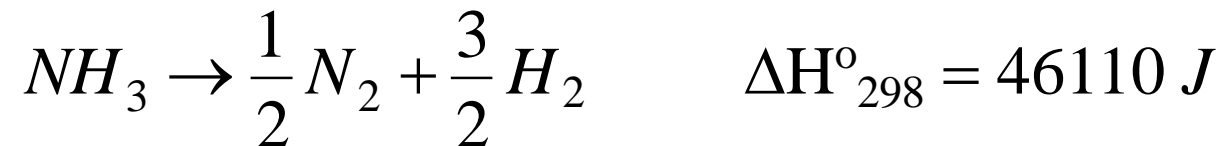
All conditions for a standard state are fixed except temperature. → Sifat (besaran) pada keadaan standar HANYA fungsi suhu.

- Lambang suatu sifat (besaran) pada keadaan standar ditunjukkan dengan tanda '°' (tanda derajat).
misal : C_p° : kapasitas panas keadaan standar

- Dilihat dari koefisien stoikiometrik, persamaan reaksi B adalah 2 kali persamaan reaksi A, sehingga besarnya **panas reaksi B** juga 2 kali **panas reaksi A**



- ΔH bertanda '-': reaksi eksotermis (demikian sebaliknya)
- Jika reaksi dibalik arahnya, maka **tanda** panas reaksi akan berubah sebaliknya. Contoh



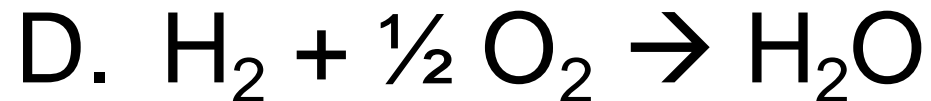
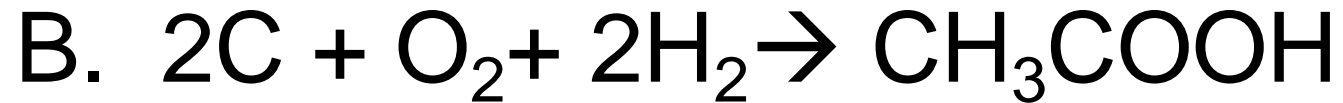
- Lambang ΔH_{298}° menunjukkan bahwa panas reaksi adalah pada keadaan standar untuk suhu 298,15 K (25°C)

Panas Pembentukan Standar

- Membuat tabel panas reaksi standar untuk semua reaksi yang ada adalah tidak efisien
- **Panas Pembentukan** senyawa-senyawa yang terlibat dalam reaksi bisa digunakan untuk menghitung panas reaksi
- **Reaksi Pembentukan** adalah reaksi pembentukan suatu senyawa dari unsur-unsurnya
contoh : $C + \frac{1}{2} O_2 + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$
- **Panas Pembentukan** adalah panas reaksi pembentukan 1 mol suatu senyawa dari unsur-unsurnya

Latihan

Manakah yang merupakan reaksi pembentukan ?



- **Panas Pembentukan Unsur** adalah sama dengan NOL

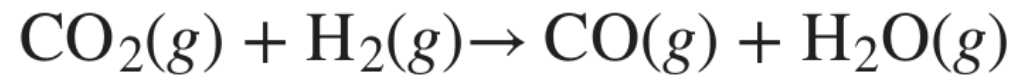
$\text{H}_2(\text{g})$: Hidrogen adalah unsur $\Delta\text{H}_{298}^{\circ} = 0$

- **Panas reaksi** pada suhu berapapun bisa dihitung jika data kapasitas panas pada perubahan suhu yang terjadi bisa diketahui
 - Dengan demikian → **Tabel panas pembentukan** dibuat untuk suatu suhu tertentu
 - Dipilih : 298,15 K (25 °C)
 - $\Delta H^{\circ}_{f, 298}$ = panas pembentukan standar pada suhu 298 K
- bisa dilihat pada handbook atau Tabel

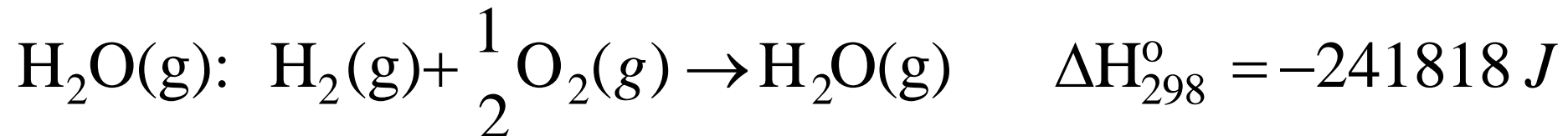
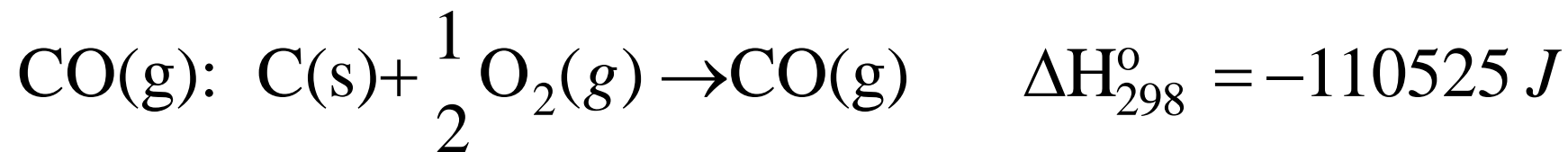
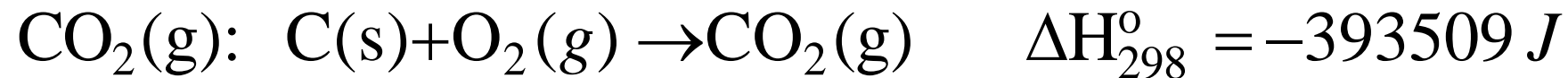
C.4 Appendix C

Contoh

Akan dihitung **panas reaksi standar** reaksi :

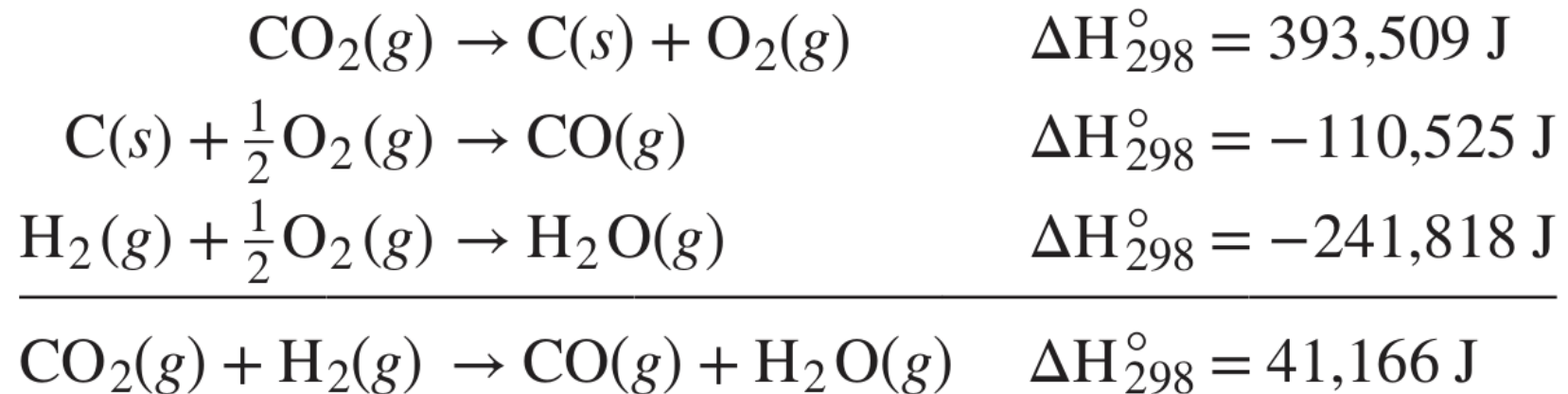


Reaksi-reaksi pembentukan yang terlibat adalah (dari Tabel C.4) sbb.



Contoh

Dengan penjumlahan reaksi pembentukan senyawa-senyawa yang terlibat, bisa dihitung panas reaksi yang diinginkan. Sehingga :



Untuk CO_2 (reaktan), reaksi pembentukan **harus dibalik** demikian pula **tanda panas reaksinya menjadi positif**

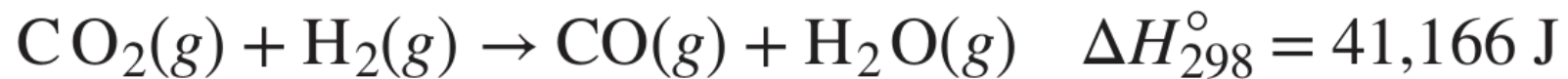
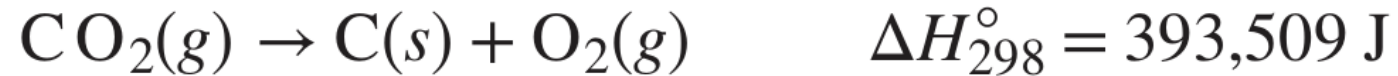
- Air (H₂O) pada 1 bar, 298,15 K berwujud cair. Panas pembentukan Air berwujud gas pada suhu itu adalah hipotetik saja
- Data **Panas pembentukan suatu zat berwujud gas** pada keadaan standar kadang tidak tersedia. Untuk itu dibutuhkan data panas laten

Contoh :



$$\Delta H_{298}^{\circ} = 44\,012 \text{ J}$$

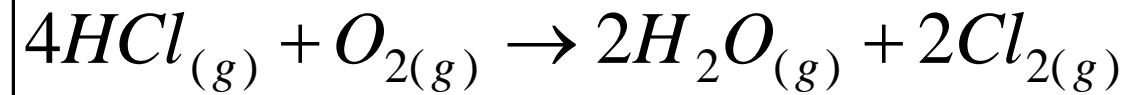
- Dengan demikian, bisa dihitung



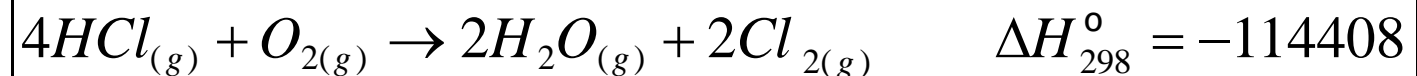
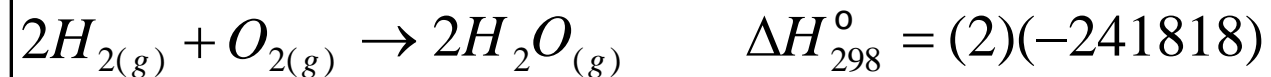
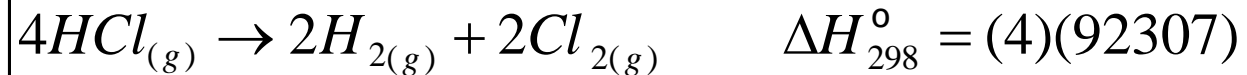
- Dan hasilnya sama dengan sebelumnya

Contoh

- Hitung panas reaksi standar pada 25°C, untuk reaksi



- Lihat panas pembentukan HCl dan H₂O dari Tabel C.4
- Hitung sbb

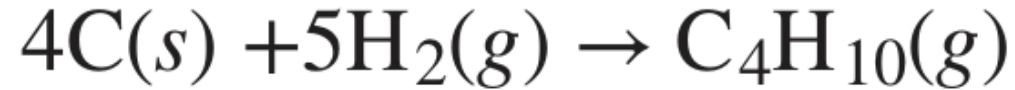


Panas Pembakaran Standar

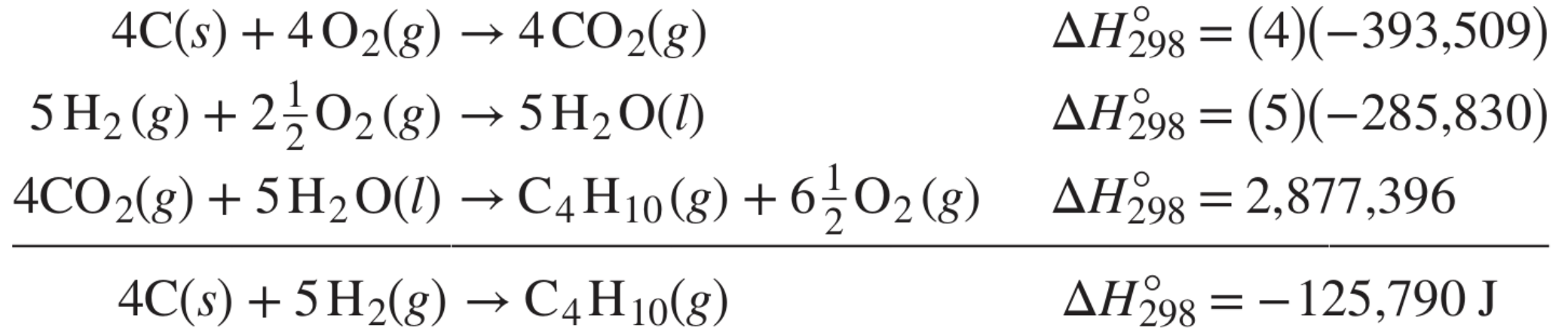
- Data eksperimen utk panas pembentukan sangat terbatas.
- Ada data **panas pembakaran** (terutama senyawa hidrokarbon) yang bisa dipakai dalam perhitungan panas reaksi
- Data berdasar 1 mol zat yang terbakar
- Beberapa **data panas pembentukan diperoleh dari panas pembakaran**

Contoh

Reaksi pembentukan :



Dihitung dari :



Ketergantungan ΔH° terhadap Suhu

- Reaksi kimia secara umum dituliskan



- $|v|$ = koefisien stoikiometris
- Perjanjian tanda v :

reaktan : v bertanda (-)

produk : v bertanda (+)

- **Contoh :**



$$\nu_{\text{N}_2} = -1 \quad \nu_{\text{H}_2} = -3 \quad \nu_{\text{NH}_3} = 2$$

- Dengan perjanjian itu, sehingga :

$$\Delta H^\circ \equiv \sum_i \nu_i H_i^\circ$$

- $\Delta H_i^\circ =$ entalpi spesies i pada keadaan standar

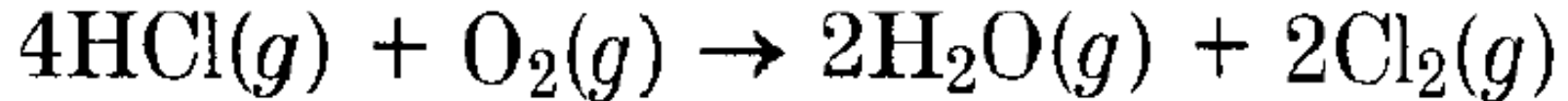
if the standard-state enthalpies of all elements are arbitrary set equal to zero as the basis of

calculation :

$$\Delta H^{\circ} \equiv \sum_i \nu_i H_i^{\circ} = \sum_i \nu_i \Delta H_{fi}^{\circ}$$

Penjumlahan (Σ) untuk semua produk dan reaktan.

Contoh



$$\Delta H^{\circ} = 2\Delta H_{f\text{H}_2\text{O}}^{\circ} - 4\Delta H_{f\text{HCl}}^{\circ}$$

$$\Delta H_{298}^{\circ} = (2)(-241\ 818) - (4)(-92\ 307) = -114\ 408\ \text{J}$$

- Reaksi standar adalah pada tekanan 1 bar, sehingga entalpi pada keadaan standar adalah fungsi suhu saja

$$dH_i^{\circ} = C_{Pi}^{\circ} dT$$

- Dengan dikalikan ν_i dan dijumlahkan untuk produk dan reaktan, diperoleh:

$$\sum_i \nu_i dH_i^{\circ} = \sum_i \nu_i C_{Pi}^{\circ} dT$$

- v_i adalah konstan sehingga bisa dikeluarkan dari tanda diferensial

$$\sum_i d(v_i H_i^0) = d \sum_i (v_i H_i^0) = \sum_i v_i C_{Pi}^0 dT$$

- $\sum_i v_i H_i^0$ adalah **panas reaksi standar**

$$\sum_i v_i H_i^0 = \Delta H_i^0$$

- Perubahan kapasitas panas reaksi juga dapat dituliskan :

$$\Delta C_P^0 = \sum_i v_i C_{Pi}^0$$

- Dengan demikian : $d\Delta H^{\circ} = \Delta C_P^{\circ} dT$

- Diintegrasikan : $\Delta H^{\circ} = \Delta H_0^{\circ} + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^{\circ}}{R} dT$

ΔH° = panas reaksi pada suhu T

ΔH_0° = panas reaksi pada suhu T_0

- $C_p^{\circ}/R = f(T)$ bisa diperoleh dari

$C_p^{\text{ig}} / R = A + BT + CT^2 + DT^{-2}$, sehingga

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^{\circ}}{R} dT = \Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \quad (4.20)$$

- $\tau = T/T_0$
- Dengan definisi yang sama : $\Delta A = \sum v_i A_i$
- Demikian juga utk : $\Delta B, \Delta C, \Delta D$
- Alternatif formula dengan kapasitas panas rata-rata :

$$\frac{\langle \Delta C_P^\circ \rangle_H}{R} = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau T_0^2}$$

- Sehingga: $\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT$ bisa dinyatakan dengan :

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + \langle \Delta C_P^\circ \rangle_H (T - T_0)$$

Penyelesaian dengan Matcad

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT = \text{IDCPH}(T_0, T; DA, DB, DC, DD)$$

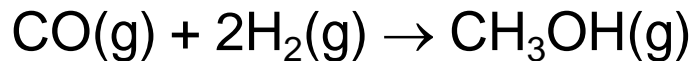
$$\frac{\langle \Delta C_P^\circ \rangle_H}{R} = \text{MDCPH}(T_0, T; DA, DB, DC, DD)$$

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \times \text{IDCPH}(T_0, T; DA, DB, DC, DD)$$

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \times \text{MDCPH}(T_0, T; DA, DB, DC, DD) \times (T - T_0)$$

Example

Hitung panas reaksi standar untuk sintesis metanol pada 800°C



Solution

$$T_{\text{ref}} = T_0 = 298,15 \text{ K}$$

$$T = 1073,15 \text{ K}$$

$$\Delta H_T^\circ = \Delta H_{298}^\circ + R \int_{298}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT$$

i	ν_i	ΔH_{f298}°	A	10^3 B	10^6 C	10^{-5} D
CH ₃ OH	1	-200.660	2,211	12,216	-3,450	0,000
CO	-1	-110.525	3,376	0,557	0,000	-0,031
H ₂	-2	0	3,249	0,422	0,000	0,083

$$\Delta H_0^\circ = \Delta H_{298}^\circ = -200.660 - (-110.525) = -90.135 \text{ J/mol CH}_3\text{OH}$$

$$\Delta A = \sum v_i A_i = (1)(2,211) + (-1)(3,376) + (-2)(3,249) = -7,663$$

Dengan cara yang sama:

$$\Delta B = 10,815 \times 10^{-3}$$

$$\Delta C = -3,450 \times 10^{-6}$$

$$\Delta D = -0,135 \times 10^5$$

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^o}{R} dT = \int_{T_0}^T [\Delta A + (\Delta B)T + (\Delta C)T^2 + (\Delta D)T^{-2}] dT$$

$$= \left[(\Delta A)T + \frac{\Delta B}{2} T^2 + \frac{\Delta C}{3} T^3 - \frac{\Delta D}{T} \right]_{T_0}^T$$

$$= (\Delta A)(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3 - T_0^3) - \Delta D \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

$$= -1.615,5 \text{ K}$$

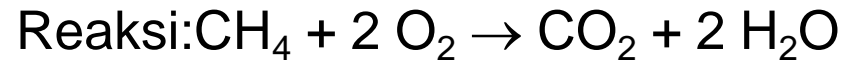
$$\Delta H_T^o = \Delta H_0^o + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^o}{R} dT \quad \Rightarrow \quad \Delta H_{1073}^o = \Delta H_{298}^o + R \int_{298}^{1073} \frac{\Delta C_P^o}{R} dT$$

$$= -90.135 + 8,314 (-1.615,5) = -103.566 \text{ J/mol}$$

Heat Effect in Industrial Reactions

Example

Berapa temperatur maksimum yang dapat dicapai oleh reaksi pembakaran gas metana dengan udara yang berlebihan 20%? Udara dan metana masuk ke burner pada temperatur 25°C.



Basis: 1 mol CH₄ yang bereaksi

$$\Delta H^\circ_{298} = -393.509 + (2)(-241.818) - (-74.520) = -802.625 \text{ J}$$

Asumsi:

- Reaksi berlangsung sempurna
- Reaksi berlangsung secara adiabatik ($Q = 0$)
- ΔE_K dan ΔE_P diabaikan
- $W_S = 0$

Sehingga $\Delta H = 0$

Basis: 1 mol CH₄ yang dibakar

Mol O₂ yang dibutuhkan = 2,0

Mol O₂ kelebihan = (0,2) (2,0) = 0,4

Mol O₂ total yang masuk = 2,4

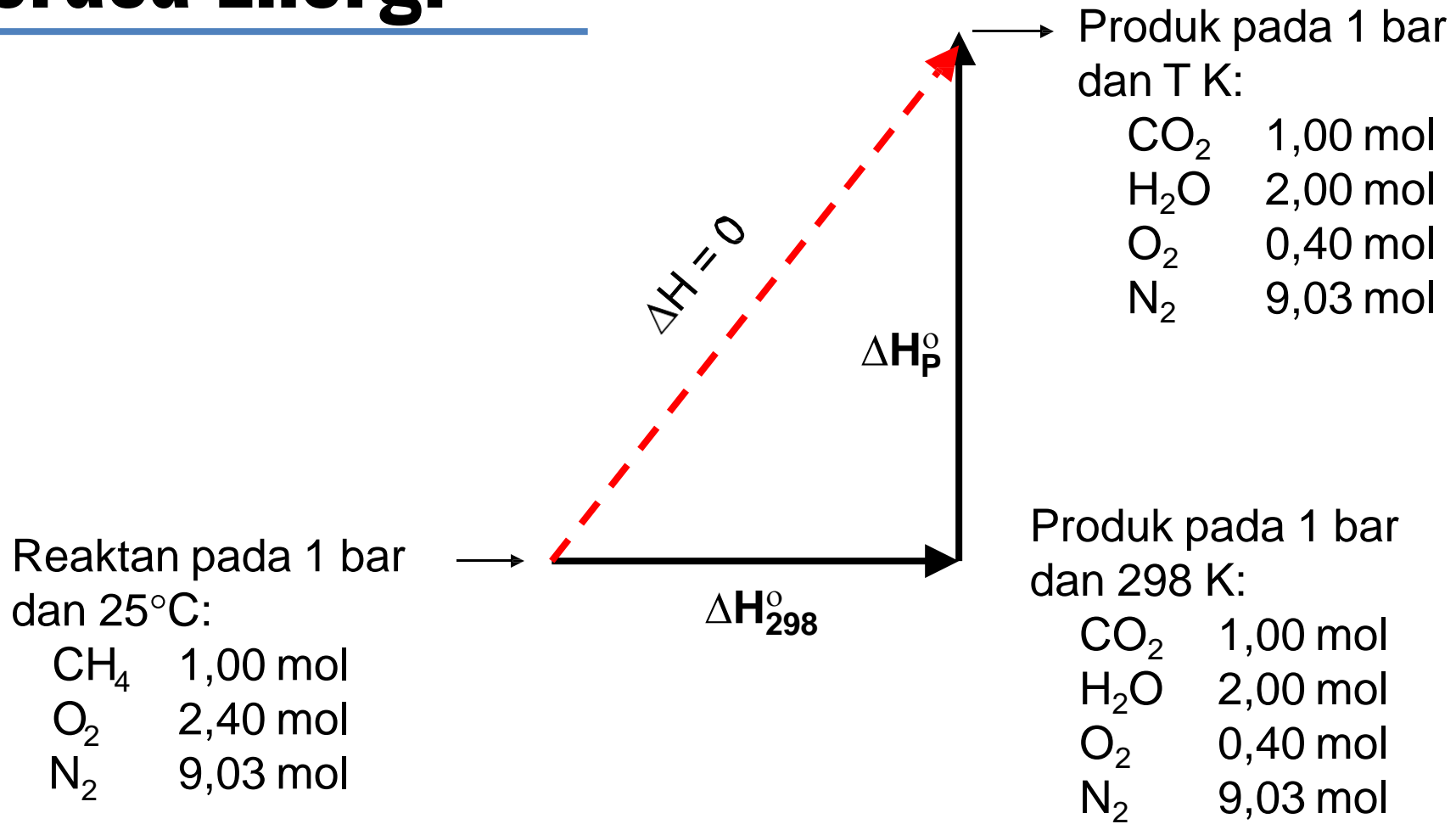
Mol N₂ yang masuk = (2,4) (79/21) = 9,03



Neraca massa

	CH ₄	O ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂
Masuk	1,00	2,40	0,00	0,00	9,03
Reaksi	- 1,00	- 2,00	1,00	2,00	0,00
Keluar/Sisa	0,00	0,40	1,00	2,00	9,03

Neraca Energi



Neraca energi:

$$\Delta H_{298}^{\circ} + \Delta H_P^{\circ} = \Delta H = 0 \quad (a)$$

ΔH_P° adalah panas sensibel untuk menaikkan temperatur produk dari 298,15 K menjadi T K

$$\begin{aligned} \Delta H_P^{\circ} &= \sum_i n_i R \int_{T_0}^T \frac{C_{P_i}^{\circ}}{R} dT = R \int_{T_0}^T \sum_i \left(\frac{n_i C_{P_i}^{\circ}}{R} \right) dT \\ &= R \int_{T_0}^T \left[\left(\sum_i n_i A_i \right) + \left(\sum_i n_i B_i \right) T + \left(\sum_i n_i C_i \right) T^2 + \left(\sum_i n_i D_i \right) T^{-2} \right] dT \\ &= R \left[\left(\sum_i n_i A_i \right) T + \frac{\left(\sum_i n_i B_i \right)}{2} T^2 + \frac{\left(\sum_i n_i C_i \right)}{3} T^3 - \left(\sum_i n_i D_i \right) \left(\frac{1}{T} \right) \right]_{T_0}^T \\ &= R \left[\left(\sum_i n_i A_i \right) (T - T_0) + \frac{\left(\sum_i n_i B_i \right)}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{\left(\sum_i n_i C_i \right)}{3} (T^3 - T_0^3) - \left(\sum_i n_i D_i \right) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_i n_i A_i &= (1) (5,457) + (2) (3,470) + (0,4) (3,639) + (9,03) (3,280) \\ &= 43,471\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama akan diperoleh:

$$\sum_i n_i B_i = 9,502 \times 10^{-3} \quad \sum_i n_i C_i = 0 \quad \sum_i n_i D_i = -0,645 \times 10^5$$

Jika dimasukkan ke persamaan untuk ΔH_p° :

$$\begin{aligned}\Delta H_p^\circ &= 8,314 \left[(43,471)(T - 298,15) + (4,751 \times 10^{-3})(T^2 - 298,15^2) + \right. \\ &\quad \left. + (0,645 \times 10^5) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298,15} \right) \right]\end{aligned}$$

Persamaan neraca energi [persamaan (a)] menjadi:

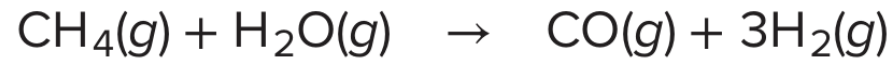
$$\begin{aligned}-802.625 + 8,314 \left[(43,471)(T - 298,15) + (4,751 \times 10^{-3})(T^2 - 298,15^2) + \right. \\ \left. + (0,645 \times 10^5) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298,15} \right) \right] = 0\end{aligned}$$

$$T = 2066,3 \text{ K}$$

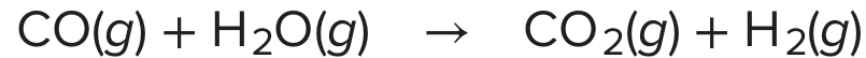
T	f(T)
500	-724035
1000	-514238
2000	-34588.4
2066	-143.422
2066.274	0.033162

Contoh

One method for the manufacture of “synthesis gas” (a mixture of CO and H₂) is the catalytic reforming of CH₄ with steam at high temperature and atmospheric pressure:



The only other reaction considered here is the water-gas-shift reaction:



Reactants are supplied in the ratio 2 mol steam to 1 mol CH₄, and heat is added to the reactor to bring the products to a temperature of 1300 K. The CH₄ is completely converted, and the product stream contains 17.4 mol-% CO. Assuming the reactants to be preheated to 600 K, calculate the heat requirement for the reactor.

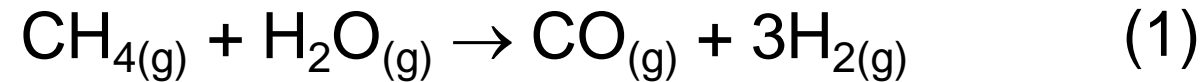
Penyelesaian

Basis:

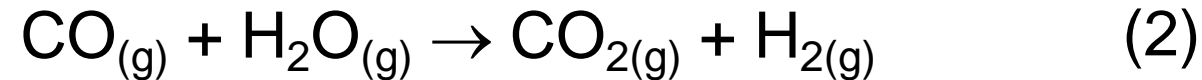
1 mol CH₄

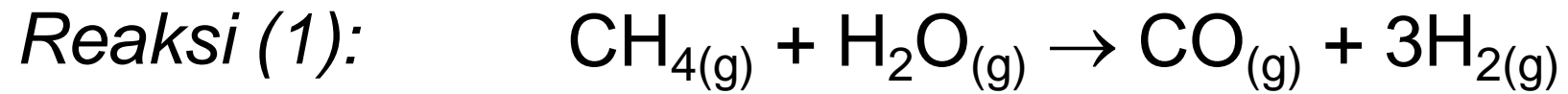
2 mol H₂O

Reaksi utama:

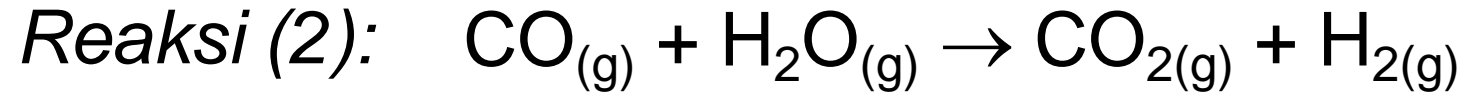


Reaksi samping:





i	v_i	ΔH°_{f298}	A	$10^3 B$	$10^6 C$	$10^{-5} D$
CH₄	- 1	- 74.520	1,702	9,081	- 2,164	0,000
H₂O	- 1	- 241.818	3,470	1,450	0,000	0,121
CO	1	- 110.525	3,376	0,557	0,000	- 0,031
H₂	3	0	3,249	0,422	0,000	0,083



i	v_i	ΔH°_{f298}	A	$10^3 B$	$10^6 C$	$10^{-5} D$
CO₂	1	- 393.509	5,547	1,045	0,000	- 1,157
H₂	1	0	3,249	0,422	0,000	0,083
H₂O	- 1	- 241.818	3,470	1,450	0,000	0,121
CO	- 1	- 110.525	3,376	0,557	0,000	- 0,031

CH₄ habis bereaksi

Misal CO yang bereaksi menurut reaksi (2) adalah x, maka:

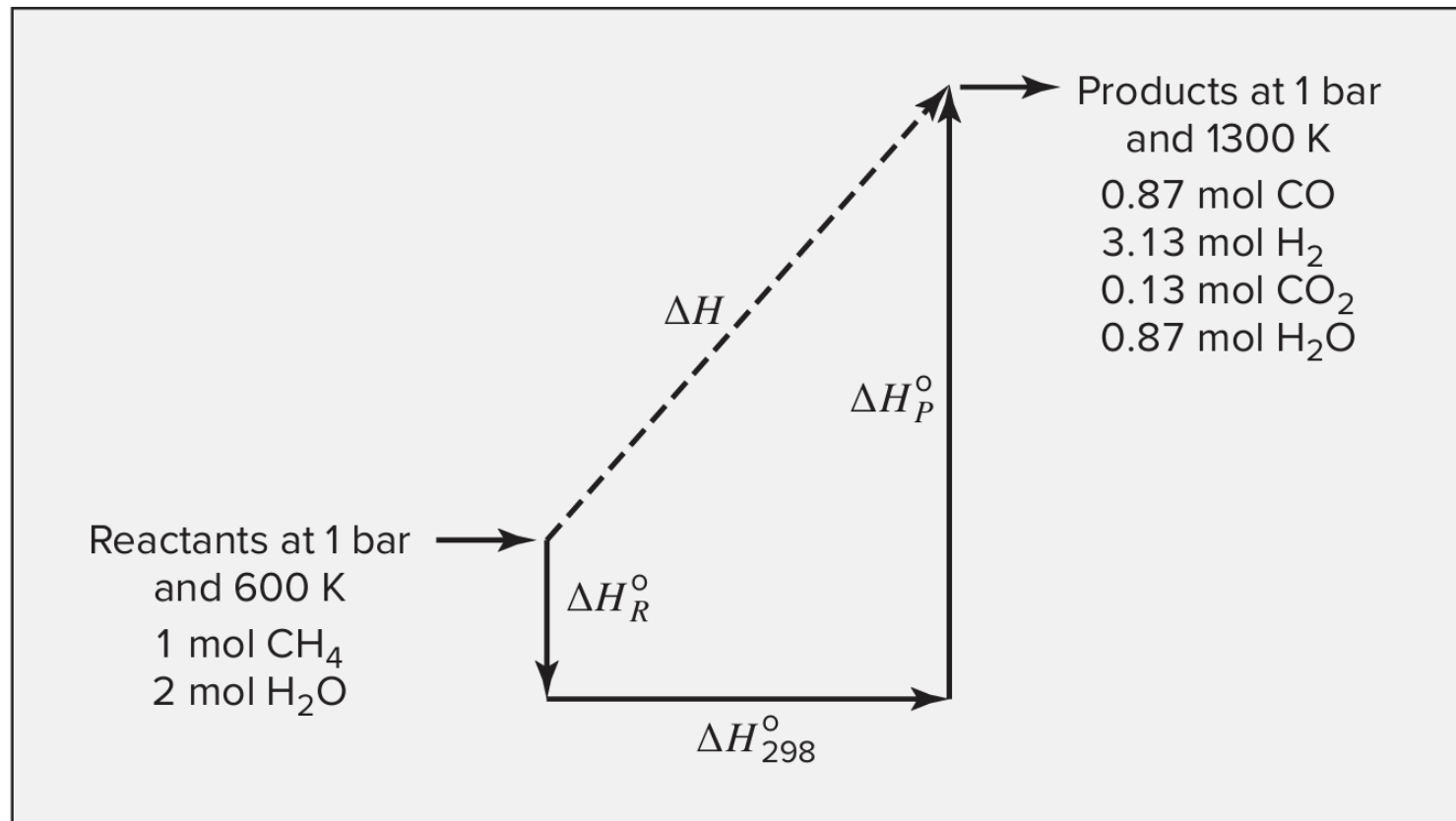
	CH ₄	H ₂ O	CO	H ₂	CO ₂
Awal	1	2	0	0	0
Reaksi (1)	-1	-1	1	3	0
Reaksi (2)	0	-x	-x	x	x
Sisa	0	1 - x	1 - x	3 + x	x

$$\text{Total} = (1 - x) + (1 - x) + (3 + 3) + x = 5$$

$$\text{Fraksi mol CO} = \frac{1 - x}{5} = 0,174 \quad \longrightarrow \quad x = 0,13$$

	CH₄	H₂O	CO	H₂	CO₂
Awal	1	2	0	0	0
Reaksi (1)	-1	-1	1	3	0
Reaksi (2)	0	-0,13	-0,13	0,13	0,13
Sisa	0	0,87	0,87	3,13	0,13

$$\Delta H = \Delta H_R^\circ + \Delta H_{298}^\circ + \Delta H_P^\circ$$



Panas reaksi pada 298 K

$$\Delta H_{298}^0 (1) = (1 \text{ mol})(426.863 \text{ J/mol}) = 426.863 \text{ J}$$

$$\Delta H_{298}^0 (2) = (0,13 \text{ mol})(-41.166 \text{ J/mol}) = -5.351,6 \text{ J}$$

Panas sensibel reaktan (600 K \rightarrow 298 K)

$$\begin{aligned}\Delta H_R^O &= \sum_i n_i R \int_T^{T_0} \frac{C_{P_i}^O}{R} dT = R \int_T^{T_0} \sum_i \left(\frac{n_i C_{P_i}^O}{R} \right) dT \\ &= R \left[\left(\sum_i n_i A_i \right) (T_0 - T) + \frac{\left(\sum_i n_i B_i \right)}{2} (T_0^2 - T^2) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\left(\sum_i n_i C_i \right)}{3} (T_0^3 - T^3) - \left(\sum_i n_i D_i \right) \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right]\end{aligned}$$

i	n_i	A	10³ B	10⁶ C	10⁻⁵ D
CH₄	1	1,702	9,081	- 2,164	0,000
H₂O	2	3,470	1,450	0,000	0,121
Σn		8,642	11,981	- 2,164	0,242

$$\sum_i n_i A_i = 8,642$$

$$\sum_i n_i B_i = 11,981 \times 10^{-3}$$

$$\sum_i n_i C_i = -2,164 \times 10^{-6}$$

$$\sum_i n_i D_i = 0,242 \times 10^5$$

Jika dimasukkan ke persamaan untuk ΔH_R° :

$$\begin{aligned}\Delta H_R^\circ &= 8,314 [(8,642)(298 - 600) + \\ &\quad + (11,981 \times 10^{-3})(298^2 - 600^2) \\ &\quad + (-2,164 \times 10^{-6})(298^3 - 600^3) \\ &\quad + (0,242 \times 10^5) \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{600} \right)] \\ &= \dots\dots\dots \text{ J}\end{aligned}$$

Panas sensibel produk (298K → 1300K)

$$\begin{aligned}\Delta H_p^{\circ} &= \sum_i n_i R \int_{T_0}^T \frac{C_{P_i}^{\circ}}{R} dT = R \int_{T_0}^T \sum_i \left(\frac{n_i C_{P_i}^{\circ}}{R} \right) dT \\ &= R \left[\left(\sum_i n_i A_i \right) (T - T_0) + \frac{\left(\sum_i n_i B_i \right)}{2} (T^2 - T_0^2) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\left(\sum_i n_i C_i \right)}{3} (T^3 - T_0^3) - \left(\sum_i n_i D_i \right) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]\end{aligned}$$

i	n_i	A	10³ B	10⁶ C	10⁻⁵ D
CO₂	0,13	5,547	1,045	0,000	- 1,157
H₂O	0,87	3,470	1,450	0,000	0,121
CO	0,87	3,376	0,557	0,000	- 0,031
H₂	3,13	3,249	0,422	0,000	0,083

$$\sum_i n_i A_i = 16,847$$

$$\sum_i n_i C_i = 0$$

$$\sum_i n_i B_i = 3,203 \times 10^{-3}$$

$$\sum_i n_i D_i = 0,188 \times 10_5$$

Jika dimasukkan ke persamaan untuk ΔH_p° :

$$\begin{aligned}\Delta H_p^\circ &= 8,314 [(16,847)(1300 - 298) + \\ &\quad + (3,203 \times 10^{-3})(1300^2 - 298^2) \\ &\quad + (0,188 \times 10^5) \left(\frac{1}{1300} - \frac{1}{298} \right)] \\ &= \dots\dots\dots \text{ J}\end{aligned}$$

$$\Delta H = \Delta H_R^\circ + \Delta H_{298}^\circ + \Delta H_p^\circ$$

CONTOH SOAL

Sebuah boiler menggunakan bahan bakar minyak kualitas tinggi (hanya berisi hidrokarbon) yang memiliki panas pembakaran standar -43.515 J g^{-1} pada 25°C dengan $\text{CO}_2(\text{g})$ dan $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ sebagai produk. Temperatur bahan bakar dan minyak masuk ke ruang pembakaran pada 25°C . Udara dianggap kering. Gas hasil pembakaran keluar dari boiler pada 300°C , dan analisis rata-ratanya adalah (basis kering) 11,2% CO_2 , 0,4% CO , 6,2% O_2 dan 82,2% N_2 . Berapa bagian dari panas pembakaran yang ditransfer sebagai panas ke boiler?

PENYELESAIAN

Basis: 100 mol gas hasil pembakaran kering:

CO_2	11,2 mol
CO	0,4 mol
O_2	6,2 mol
N_2	82,2 mol
Total	100,0 mol

NERACA O

Masuk:

$$\text{Masuk sebagai O}_2 \text{ (dalam udara)} = 82,2 \times \frac{21}{79} = 21,85 \text{ mol}$$

$$\text{Masuk sebagai O (dalam udara)} = 2 \times 21,85 \text{ mol} = 43,7 \text{ mol}$$

Keluar:

$$\text{Dalam CO}_2 = 2 \times 11,20 = 22,40 \text{ mol}$$

$$\text{Dalam CO} = 0,40 \text{ mol}$$

$$\text{Dalam O}_2 \text{ sisa} = 2 \times 6,20 = 12,40 \text{ mol}$$

$$\text{Total O selain H}_2\text{O} = 35,20 \text{ mol}$$

$$\text{Jadi O yang bereaksi membentuk H}_2\text{O} = 43,7 - 35,2 = 8,5 \text{ mol}$$

$$\text{H}_2\text{O yang terbentuk} = 8,50 \text{ mol}$$

$$\text{Total O yang bereaksi} = 22,4 + 0,4 + 8,5 = 31,3 \text{ mol}$$

Kesimpulan:

$$\text{Total O}_2 \text{ yang bereaksi} = \frac{1}{2} \times 31,3 = 15,65 \text{ mol}$$

The amount of C in the fuel is given by a carbon balance:

$$\text{Moles C in flue gases} = \text{moles C in fuel} = 11.2 + 0.4 = 11.60$$

These amounts of C and H₂ together give:

$$\text{Mass of fuel burned} = (8.50)(2) + (11.6)(12) = 156.2 \text{ g}$$

If this amount of fuel is burned completely to CO₂(g) and H₂O(l) at 25°C, the heat of combustion is:

$$\Delta H_{298}^{\circ} = (-43,515) (156.2) = -6,797,040 \text{ J}$$

The difference between these figures is the moles of O₂ that react to form H₂O. Therefore on the basis of 100 mol dry flue gases,

$$\text{Moles H}_2\text{O formed} = (21.85 - 17.60)(2) = 8.50$$

$$\text{Moles H}_2 \text{ in the fuel} = \text{moles of water formed} = 8.50$$

The amount of C in the fuel is given by a carbon balance:

$$\text{Moles C in flue gases} = \text{moles C in fuel} = 11.2 + 0.4 = 11.60$$

These amounts of C and H₂ together give:

$$\text{Mass of fuel burned} = (8.50)(2) + (11.6)(12) = 156.2 \text{ g}$$

If this amount of fuel is burned completely to CO₂(g) and H₂O(l) at 25°C, the heat of combustion is:

$$\Delta H_{298}^{\circ} = (-43,515)(156.2) = -6,797,040 \text{ J}$$

NERACA C

Keluar:

Sebagai CO₂ = 11,20 mol

Sebagai CO = 0,40 mol

Total = 11,60 mol

Masuk:

Mol C masuk = mol C keluar = 11,60 mol

NERACA H

Keluar:

Sebagai H₂O = 2 × 8,50 = 17,0 mol

Masuk:

Mol H masuk = mol H keluar = 17,0 mol

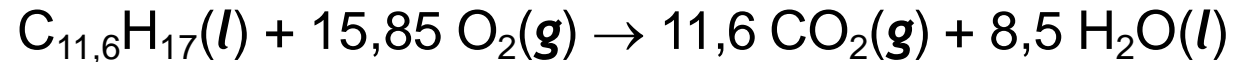
KESIMPULAN

Rumus molekul bahan bakar = C_{11,6}H₁₇

C dan H semuanya berasal dari bahan bakar, sehingga total berat *bahan bakar yang masuk adalah*

$$= (11,60) (12) + (17,0) (1) = 156,2 \text{ g}$$

Reaksi pembakaran jika bahan bakar terbakar sempurna membentuk $\text{CO}_2(\text{g})$ dan $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ adalah:



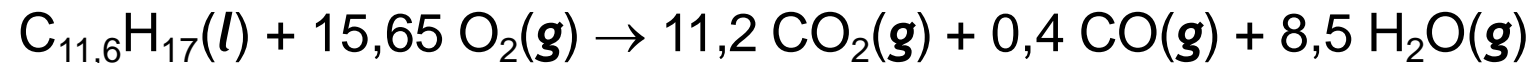
$$\Delta H^\circ_{298} = -43.515 \text{ J/g}$$

Jika semua bahan bakar terbakar sempurna membentuk $\text{CO}_2(\text{g})$ dan $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ pada 25°C , maka panas pembakarannya adalah:

$$\Delta H^\circ_{298} = (-43.515 \text{ J/g})(156,2 \text{ g}) = -6.797.040 \text{ J}$$

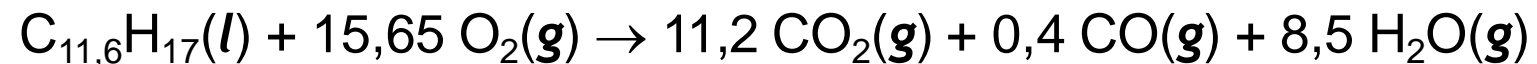
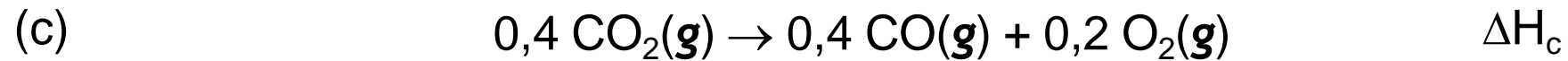
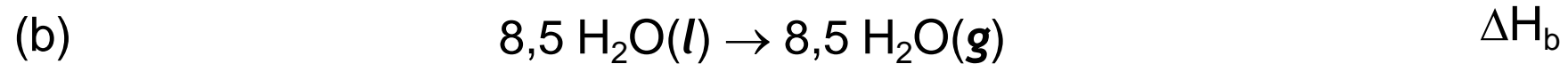
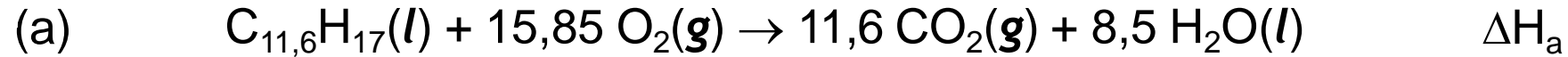
Analisis hasil pembakaran menunjukkan bahwa pembakaran berlangsung tidak sempurna (karena terbentuknya CO) dan H₂O berupa gas bukan cairan.

Reaksi yang terjadi:



Panas reaksi untuk reaksi tersebut dapat dihitung dengan menggunakan berbagai panas reaksi yang telah diketahui datanya.

Reaksi di atas merupakan penjumlahan dari reaksi sbb.:

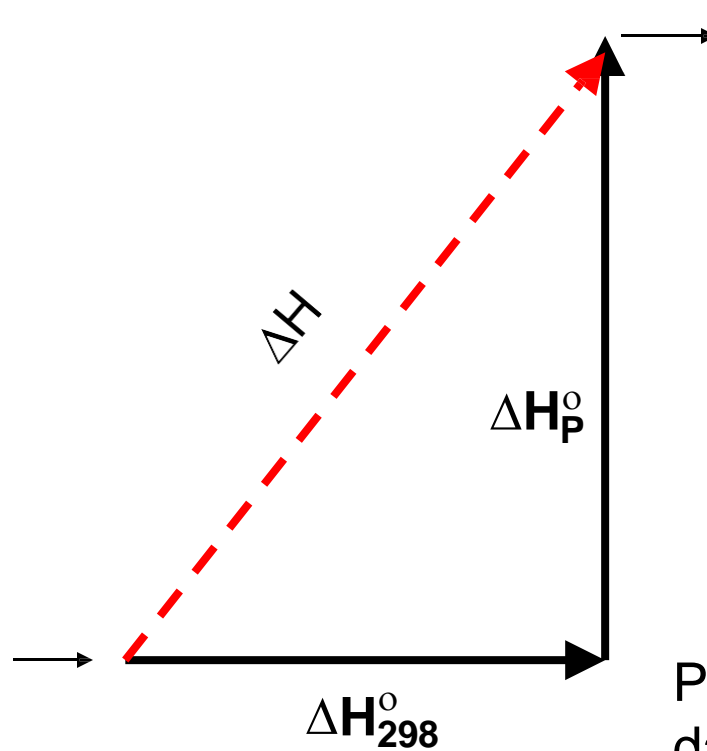


Panas reaksi standar total pada 25°C:

$$\Delta H_{298}^{\circ} = -6,797,040 + (44,012) (8.5) + (282,984) (0.4) = -6,309,740 \text{ J}$$

Reaktan pada 1 bar
dan 25°C:

fuel	152,2 g
O ₂	21,85 mol
N ₂	82,20 mol



Produk pada 1 bar
dan 300°C:

CO ₂	11,2 mol
CO	0,4 mol
H ₂ O	8,5 mol
O ₂	6,2 mol
N ₂	82,2 mol

Produk pada 1 bar
dan 298K:

CO ₂	11,2 mol
CO	0,4 mol
H ₂ O	8,5 mol
O ₂	6,2 mol
N ₂	82,2 mol

$$\Delta H_p^\circ = \sum_i n_i R \int_{T_0}^T \frac{C_{P_i}^\circ}{R} dT = R \int_{T_0}^T \sum_i \left(\frac{n_i C_{P_i}^\circ}{R} \right) dT$$

$$= R \left[\left(\sum_i n_i A_i \right) (T - T_0) + \frac{\left(\sum_i n_i B_i \right)}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{\left(\sum_i n_i C_i \right)}{3} (T^3 - T_0^3) - \left(\sum_i n_i D_i \right) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

$$\sum_i n_i A_i = 384,142$$

$$\sum_i n_i B_i = 76,134 \times 10^{-3}$$

$$\sum_i n_i C_i = 0$$

$$\sum_i n_i D_i = -10,0617 \times 10^5$$

Jika dimasukkan ke persamaan untuk ΔH_p° :

$$\Delta H_p^\circ = 8,314 \left[(384,142)(573,15 - 298,15) + \right. \\ \left. + (76,134 \times 10^{-3})(573,15^2 - 298,15^2) + (0,645 \times 10^5) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298,15} \right) \right]$$

$$= 940.660 \text{ J}$$

$$\Delta H = \Delta H_{298}^{\circ} + \Delta H_P^{\circ} = -6,309,740 + 940,660 = -5,369,080 \text{ J}$$

Proses pembakaran ini merupakan proses alir tunak dengan:

- $W_S = 0$
- $\Delta E_K = 0$
- $\Delta E_P = 0$

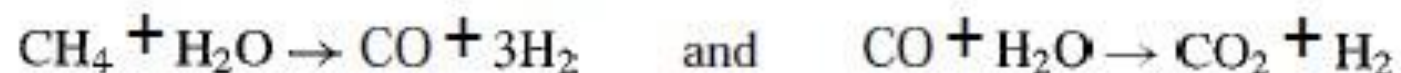
Maka: $\Delta H = Q$

$Q = -5.369.080 \text{ J}$ merupakan panas yang ditransfer ke boiler

Jadi fraksi panas pembakaran yang ditransfer ke boiler adalah:

$$= \frac{5.369.080}{6.797.040} \times 100\% = 79,0\%$$

A gas mixture of methane and steam at atmospheric pressure and 773.15 K (500°C) is fed to a reactor, where the following reactions occur:

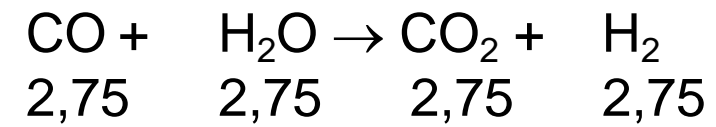


The product stream leaves the reactor at 1123.15 K (850°C). Its composition (mole fractions) is:

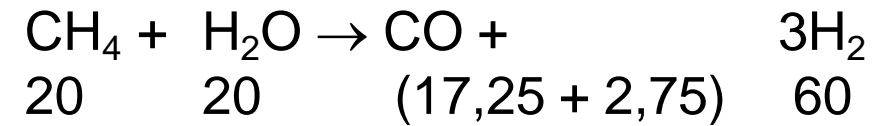
$$y_{\text{CO}_2} = 0.0275 \quad y_{\text{CO}} = 0.1725 \quad y_{\text{H}_2\text{O}} = 0.1725 \quad y_{\text{H}_2} = 0.6275$$

Determine the quantity of heat added to the reactor per mole of product gas.

Reaksi (2):



Reaksi (1):



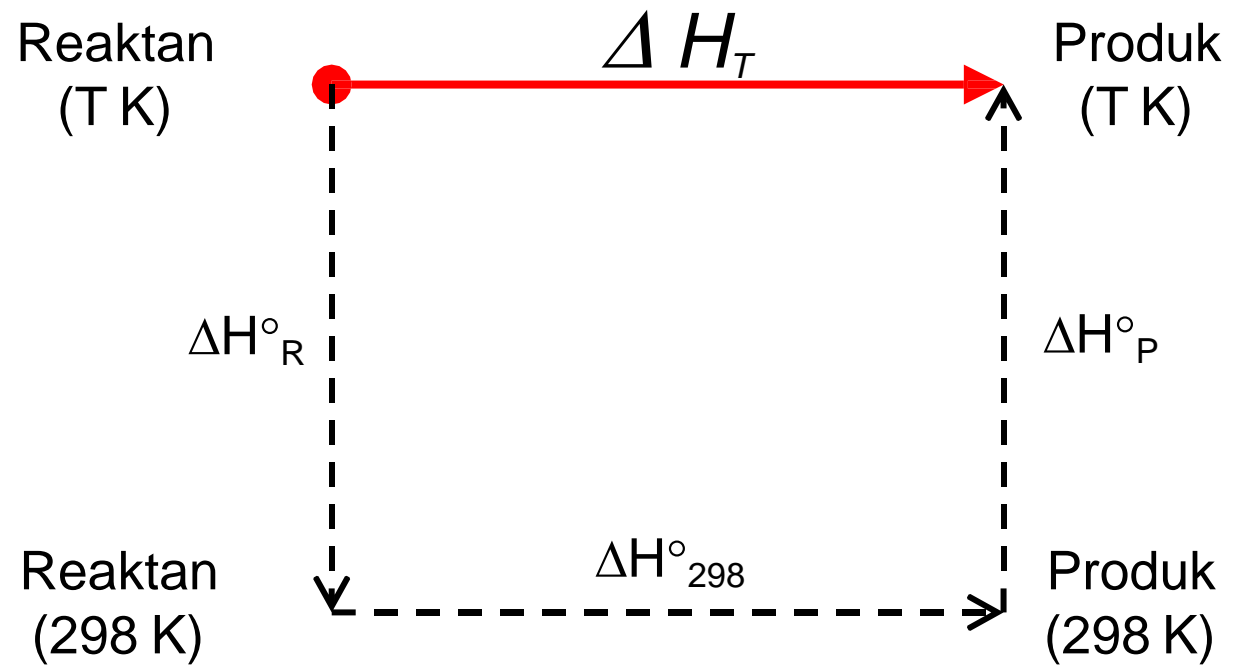
Reaktan:

$$\text{CH}_4 = 20 \text{ mol}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 22,75 \text{ mol}$$

Methane gas is burned completely with 30% excess air at approximately atmospheric pressure. Both the methane and the dry air enter the furnace at 303.15 K (30°C), and the flue gases leave the furnace at 1773.15 K (1500°C). The flue gases then pass through a heat exchanger from which they emerge at 323.15 K (50°C).

Per mole of methane, how much heat is lost from the furnace, and how much heat is transferred in the heat exchanger?



$$\Delta H_T^\circ = \Delta H_R^\circ + \Delta H_{298}^\circ + \Delta H_P^\circ$$

$$\Delta H_T^{\circ} = \Delta H_R^{\circ} + \Delta H_{298}^{\circ} + \Delta H_P^{\circ}$$

$$\Delta H_R^{\circ} = \left(\sum_i n_i \int_T^{298} C_{P_i} dT \right)_R = \left(\sum_i \int_T^{298} n_i C_{P_i} dT \right)_R = - \left(\sum_i \int_{298}^T n_i C_{P_i} dT \right)_R$$

$$\Delta H_P^{\circ} = \left(\sum_i n_i \int_{298}^T C_{P_i} dT \right)_P = \left(\sum_i \int_{298}^T n_i C_{P_i} dT \right)_P$$

$$\Delta H_T^{\circ} = \Delta H_{298}^{\circ} + \left(\sum_i \int_{298}^T n_i C_{P_i} dT \right)_P - \left(\sum_i \int_{298}^T n_i C_{P_i} dT \right)_R$$

$$\Delta H_T^{\circ} = \Delta H_{298}^{\circ} + R \int_{298}^T \frac{\Delta C_P^{\circ}}{R} dT$$

TERIMA KASIH

FOR YOUR ATTENTION

