8 TERMOKIMIA

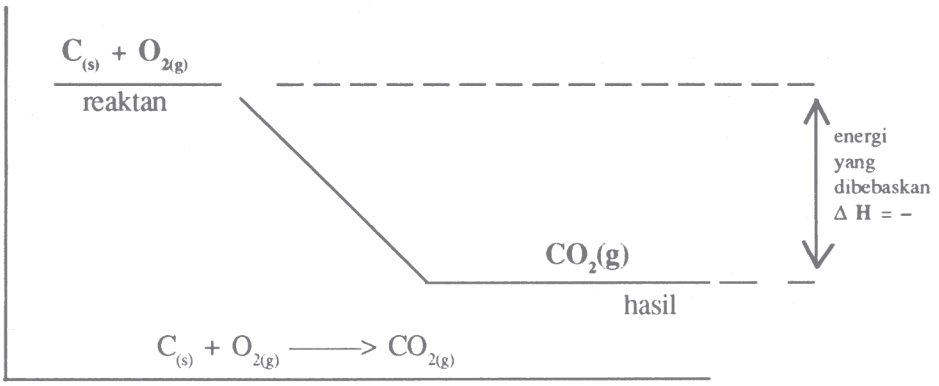
8.1. Pengertian

Termokimia adalah ilmu yang mempelajari hubungan antara energi panas dan energi kimia. Sedangkan energi kimia didefinisikan sebagai energi yang dikandung setiap unsur atau senyawa. Energi kimia yang terkandung dalam suatu zat adalah semacam energi potensial zat tersebut. Energi potensial kimia yang terkandung dalam suatu zat disebut panas dalam atau **entalpi** dan dinyatakan dengan simbol **H**. Selisih antara entalpi reaktan dan entalpi hasil pada suatu reaksi disebut **perubahan entalpi reaksi**.

Perubahan entalpi reaksi diberi simbol Δ **H**

8.1.1. Reaksi Eksoterm

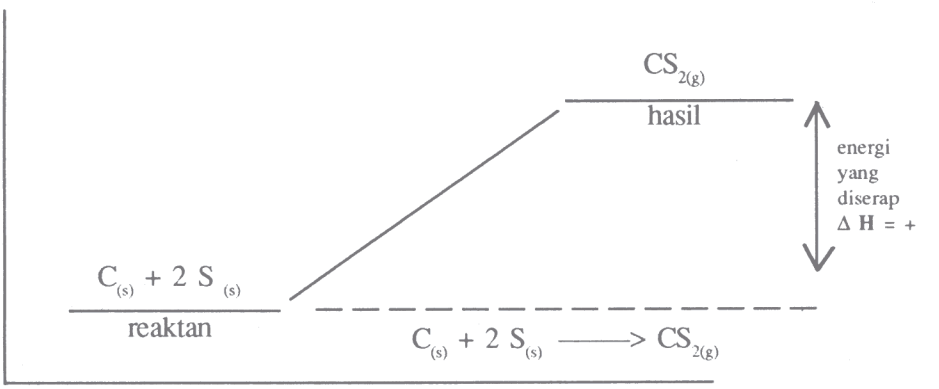
Apabila perubahan entalpi reaksi negatif (Δ H = –), reaksinya disebut **reaksi eksoterm.** Artinya reaksi tersebut membebaskan panas sebesar Δ H.



Gambar 8.1

8.1.2. Reaksi Endoterm

Apabila reaksi menyerap panas sebesar Δ H, maka perubahan entalpi reaksi bernilai positif (Δ H = +). Reaksinya disebut **raksi endoterm.**



Gambar 8.2.

Satuan yang digunakan untuk menyatakan jumlah panas yang diserap atau dibebaskan adalah kalori atau joule. Satu kalori adalah banyaknya panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1^0C bagi 1 gram air.

satu kalori = 4,186 joule

Perubahan entalpi reaksi, umumnya diukur pada suhu 25^0C dan tekanan 1 atmosfer.

8.2. JENIS-JENIS ENTALPI REAKSI

8.2.1. Δ H Pembentukan (Δ Hp)

Yaitu panas yang dikeluarkan atau diperlukan untuk membentuk 1 mol senyawa dari unsur-unsurnya.

Contoh :

Reaksi pembentukan air :

$H_{2\,(g)} + {}^{1}/_{2}\, O_{2\,(g)} \text{ -----> } H_2O\ (l)\ \Delta H = -68\ {}^{kkal}/_{mol}$

artinya :

Perubahan entalpi pembentukan air dalam fasa cair = -68,3 kkal.

8.2.2. Δ H Penguraian

Yaitu panas yang dikeluarkan atau diperlukan untuk menguraikan 1 mol senyawa menjadi unsur-unsurnya.

Contoh :

Reaksi penguraian air :

$H_2O_{(l)} \text{ ------> } H_{2(g)} + {}^{1}/_{2}O_{2(g)}\ \Delta H = +\ 68{,}3\ {}^{kkal}/_{mol}$

artinya :

perubahan entalpi penguraian air = + 68,3 $^{kkal}/_{mol}$

8.2.3. Δ H Pembakaran

Yaitu panas yang dikeluarkan pada pembakaran 1 mol unsur atau senyawa.

Contoh :

$CH_{4(g)} + 2\ O_{2(g)} \text{ -----> } CO_{2(g)} + 2\ H_2O_{(l)}\ \Delta H = -212{,}4\ {}^{kkal}/_{mol}$

artinya :

perubahan entalpi pembakaran metana adalah -212,4 $^{kkal}/_{mol}$

8.3. BEBERAPA HUKUM YANG DIKENAL DALAM TERMOKIMIA

8.3.1. Hukum Laplace

Hukum ini dikemukakan oleh Marquis de Laplace (1749-1827), yang berbunyi :

Jumlah kalor yang dilepaskan pada pembentukan suatu senyawa dari unsur-unsurnya sama dengan jumlah kalor yang diperlukan untuk menguraikan senyawa itu menjadi unsur-unsurnya.

Contoh :

$H_{2(g)} + {}^1/_2\, O_{2(g)} \text{ -----> } H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -68{,}3\ {}^{kkal}/_{mol}$

$H_2O_{(l)} \text{ -----> } H_{2(g)} + {}^1/_2\, O_2(g) \qquad \Delta H = +\ 68{,}3\ {}^{kkal}/_{mol}$

8.3.2. Hukum Hess

Germain Hess (1840), mengemukakan :

Bila suatu perubahan kimia dapat dibuat menjadi beberapa jalan/cara yang berbeda, jumlah perubahan energi panas keseluruhannya (total) adalah tetap, tidak bergantung pada jalan/cara yang ditempuh.

Contoh :

A -----> Z $\quad \Delta H_1$

bila reaksi dipecah menjadi beberapa jalan, misalnya :

A ----> B $\quad \Delta H_2$

B ----> E $\quad \Delta H_3$ atau A ----> C $\quad \Delta H_5$

E ----> Z $\quad \Delta H_4$ C ----> Z $\quad \Delta H_6$

maka perubahan entalpi total $= \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4$

$= \Delta H_5 + \Delta H_6$

$= \Delta H_1$

Dengan demikian hukum Hess dapat digunakan untuk menghitung ΔH reaksi berdasarkan reaksi-reaksi lain yang ΔH-nya sudah diketahui.

Contoh Soal 8.1.

Tentukan perubahan entalpi pembakaran gas metana, jika diketahui :

Δ H pembentukan CH_4 = - 17,9 $^{kkal}/_{mol}$

Δ H pembentukan CO_2 = - 94,1 $^{kkal}/_{mol}$

Δ H pembentukan H_2O = - 68,3 $^{kkal}/_{mol}$

Jawab :

Tentukan terlebih dahulu reaksi yang telah diketahui; yaitu :

$C_{(s)} + 2H_{2(g)}$ -----> $CH_{4(g)}$ Δ H = - 17,9 $^{kkal}/_{mol}$

$C_{(s)} + O_{2(g)}$ -----> $CO_{2(g)}$ Δ H = - 94,1 $^{kkal}/_{mol}$

$H_{2(g)} + {}^1/_2\, O_{2(g)}$ -----> $H_2O_{(l)}$ Δ H = - 68,3 $^{kkal}/_{mol}$

sedangkan reaksi pembakaran metana (CH_4).

$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)}$ -----> $CO_{2(g)} + 2\ H_2O_{(l)}$ Δ H = X $^{kkal}/_{mol}$

Langkah selanjutnya adalah membandingkan persamaan reaksi yang diketahui terhadap persamaan reaksi yang ditanya.

Persamaan-persamaan yang diketahui disusun sedemikian rupa, sehingga hasil penjumlahannya sama dengan persamaan yang ditanya.

$CH_{4(g)}$ -----> $C_{(s)} + 2\ H2_{(g)}$ Δ H = + 17,9 kkal

$C_{(s)} + O_{2(g)}$ -----> $CO_{2(g)}$ Δ H = - 94,1 kkal

$2\ H_{2(g)} + O_{2(g)}$ -----> $2\ H_2O_{(l)}$ Δ H = -136,6 kkal

---------- +

$CH_{4(g)} + 2\ O_{2(g)}$ -----> $CO_{2(g)} + 2\ H_2O_{(l)}$ Δ H = - 212,8 kkal

Jadi perubahan entalpi pembakaran gas metana = - 21,2 kkal.

Contoh Soal 8.2.

Panas pembakaran etanol (C_2H_5OH) adalah -330 kkal. Bila panas pembentukan CO_2 dan H_2O adalah -94,3 kkal dan -68,5 kkal, hitunglah panas pembentukan etanol!

Jawab :

Reaksi yang diketahui :

a. $C_2H_5OH + 3\ O_2$ -----> $2\ CO_2 + 3\ H_2O$ Δ H = -330 $^{kkal}/_{mol}$

b. $C + O_2$ -----> CO_2 Δ H = -94,3 $^{kkal}/_{mol}$

c. $H_2 + {}^1/_2\, O_2$ -----> H_2O Δ H = -68,5 $^{kkal}/_{mol}$

reaksi yang ditanya (reaksi pembentukan etanol) :

$2C + 3H_2 + {}^1/_2\, O2$ ----> C_2H_5OH Δ H = X $^{kkal}/_{mol}$

selanjutnya perhatian langkah berikut :

- reaksi a dibalik, sehingga Δ H bernilai kebalikannya
- reaksi b dikalikan 2, sehingga Δ H juga harus dikalikan 2
- reaksi c dikalikan 3, sehingga Δ H juga harus dikalikan 3

dari langkah tadi didapat persamaan reaksi sebagai berikut :

$2\ CO_2 + 3\ H_2O$ -----> $C_2H_5OH + 3\ O_2$ Δ H = +330 kkal

$2\ C + 2\ O_2$ -----> $2\ CO_2$ Δ H = -198,6 kkal

$3\ H_2 + 3\ ^1/_3 O2$ -----> $3\ H_2O$ Δ H = -205,5 kkal

$2\ C + 3\ H_2 + {}^1/_2\ O2$ -----> C_2H_5OH Δ H = -74,1 kkal

Jadi panas pembentukan etanol = -74,1 kkal

Catatan :

Δ H reaksi pembentukan unsur (misalnya Fe, Si, Na) dan gas-gas diatomik (misalnya H_2, O_2, N_2, Cl_2) dalam keadaan bebas dibei harga 0 kkal.

Contoh Soal 8.3.

Besi (III) oksida dapat diubah menjadi besi menurut reaksi :

$Fe_2O_3 + 2\ Al$ ------> $2\ Fe + Al_2O_3$

Bila diketahui :

Δ H pembentukan Fe_2O_3 = -198,9 kkal

Δ H pembentukan Al_2O_3 = -398,7 kkal

Tentukan Δ H reaksi untuk 5,0 kg Fe_2O_3 !

Jawab :

misal Δ H reaksinya = X kkal

Δ H reaksi = Δ H hasil - Δ H reaktan

X = (2 . Δ HpFe + Δ Hp Al_2O_3) - (ΔHpF_2O_3 + 2 . ΔHpAl)

X = (0 - 398,7) - (-198,9 + 0) kkal

X = (-398,7 + 198,9) kkal

X = - 199,8 kkal.

panas reaksi tersebut berlaku untuk tiap mol Fe2O3

$$5{,}0\ kg\ Fe_2O_3 = \frac{5000\ g}{Mr\ (Fe_2O_3)_g} \times 1\ mol\ Fe_2O_3$$

$$= \frac{5000}{160} \text{ mol } Fe_2O_3$$

$$= 31{,}25 \text{ mol } Fe_2O_3$$

Jadi untuk 5,0 kg Fe_2O_3 panas reaksinya =

(-199,8 x 31,25) kkal = 6243,75 kkal

8.4. Energi Ikatan

Pada dasarnya reaksi kimia adalah proses pemutusan dan pembentukan ikatan. Proses ini selalu disertai dengan perubahan energi.

Energi ikatan adalah energi yang diperlukan untuk memutuskan ikatan kimia dalam imol suatu senyawa dalam wujud gas pada keadaan standar menjadi atom-atom gasnya. Energi ikatan kadang-kadang juga disebut entalpi ikatan. Tabel 8.1 menunjukkan nilai energi ikatan.

Contoh :

a. pemutusan ikatan (menerima energi)

$H_{2(g)}$ ------> 1 $H_{(g)}$ $\Delta H = +435$ kJmol^{-1}

b. pembentukan ikatan (melepaskan energi)

2 $H_{(g)}$ ------> $H_{2(g)}$ $\Delta H = -435$ kJmol^{-1}

Contoh Soal 8.4.

Hitung ΔH untuk reaksi :

$CH_{4(g)} + 4\ Cl_{2(g)}$ -----> $CCl_{4(g)} + 4\ HCl_{(g)}$

Jawab :

ΔH pemutusan ikatan : ($\Delta H1$)

4 mol C - H = 4 mol x (+ 414 kJ mol^{-1}) = +1656 kJ

4 mol Cl-Cl = 4 mol x (+243 kJ mol^{-1}) = +972 kJ

ΔH pembentukan ikatan : ($\Delta H2$)

4 mol C - Cl = 4 mol x (-326 kJ mol^{-1}) = -1304 kJ

4 mol H - Cl = 4 mol x (-431 kJ mol^{-1}) = -1724 kJ

panas reaksi $= \Delta H_1 + \Delta H_2$

$= (+ 1656 + 972 - 1304 - 1724)$ kJ

$= - 400$ kJ

Tabel 8.1. Energi Ikatan (kJ mol-1)

Ikatan	Energi Ikatan (kJ mol -1)
H - H	435
H - C	414
H - N	389
H - O	464
H - F	565
H - Cl	431
H - Br	364
H - I	297
C - C	347
C = C	611
C ≡ C	837
C - N	305
C = N	891
C - O	360
C = O	736
C - Cl	326
N - N	163
N = N	418
N ≡ N	946
F - F	155
Cl - Cl	243
Br - Br	192
I - I	152

8.5. ARAH PROSES

Berdasarkan kespontanannya, suatu proses reaksi dapat dibagi menjadi 2, yaitu :

8.5.1. Proses spontan.

Proses spotan adalah suatu proses yang berlangsung satu arah, sistem dan lingkungan

tidak berada dalam kesetimbangan

contoh :

- Air mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah
- spirtus terbakar

8.5.2. Proses tidak spotan

Proses tidak spotan adalah suatu proses yang dapat berlangsung karena adanya pengaruh dari luar sistem. Sistem dan lingkungan selalu berada dalam keadaan kesetimbangan.

contoh :

- air membeku
- memperoleh aluminium dari oksidanya.

Suatu reaksi kimia berlangsung spotan atau tidak spotan dapat ditentukan dengan melihat 3 fungsi keadaan yaitu :

1. **Entalpi (H)**

   reaksi spotan $\Delta H < 0$ dan tidak spotan bila $\Delta H > 0$

2. **Entropi (S)**

   Entropi adalah derajat ketidakaturan sistem.

   reaksi spotan $\Delta S > 0$ dan tidak spotan bila $\Delta S < 0$.

3. **Energi bebas (G)**

   Perubahan energi bebas (ΔG) adalah jumlah energi maksimum dalam suatu proses yang berlangsung pada suhu dan tekanan tetap yang tidak digunakan untuk menghasilkan kerja. Oleh karena itu reaksi spotan $\Delta G < 0$ dan tidak spontan bila $\Delta G > 0$

$$\Delta G = \Delta H - T.\Delta S$$

T = suhu dalam derajat Kelvin.

8.6. LATIHAN SOAL

8.6.1. Essay

1. Apa yang kamu ketahui tentang entalpi ? Jelaskan!
2. Mengapa pada reaksi eksoterm Δ H reaksi berharga negatif dan pada reaksi endoterm sebaliknya?
3. Hitunglah panas yang dibebaskan pada pembakaran satu mol propana (C_3H_8), jika diketahui :

   Δ H pembentukan $C_3H_{8(g)}$ = - 24,8 $^{kkal}/_{mol}$

   Δ H pembentukan $CO_{2(g)}$ = - 94,7 $^{kkal}/_{mol}$

   Δ H pembentukan $H_2O_{(l)}$ = - 68,3 $^{kkal}/_{mol}$

   Jika diketahui bahwa 1 kalori sama dengan 4,184 joule, berapa kJ (kilojoule) panas yang dihasilkan pada reaksi diatas?
4. Diketahui Δ H reaksi pembentukan $KClO_{4(s)}$:

   $K(s) + {}^1/_2\ Cl_{2(g)} + 2\ O2(g) \text{ ----> } KClO_{4(s)}$ $\Delta H = -102,8$ kkal

   a. Tentukan Δ H reaksi pembentukan 13,85 gr $KClO_{4(s)}$

   b. Tentukan Δ H reaksi pembentukan 332,4 kg $KClO_{4(s)}$
5. Salah satu cara untuk mendapatkan besi dari bijihnya adalah mereduksi bijih besi dengan gas karbon monooksida menurut reaksi :

   $Fe_2O_{3(s)} + 3\ CO_{(g)} \text{ -----> } 2\ Fe_{(s)} + 3\ CO_{2(g)}$

   Δ H pembentukan Fe_2O_3 = - 198,5 $^{kkal}/_{mol}$

   Δ H pembentukan $CO_{9(g)}$ = - 26,4 $^{kkal}/_{mol}$

   Δ H pembentukan $CO_{2(g)}$ = -94,1 $^{kkal}/_{mol}$

   Analisalah apakah reaksi tersebut eksoterm atau endoterm?
6. Diketahui reaksi :

   $N_2H_{4(l)} + O_{2(g)} \text{ -----> } N_{2(g)} + H_2O_{(g)}$ $\Delta H = -148$ kkal

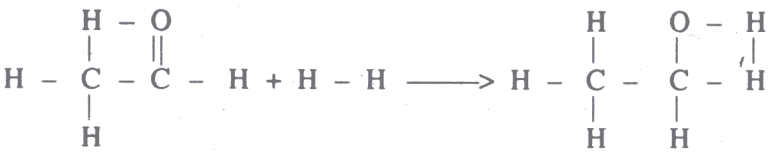
   $H_{2(g)} + {}^1/_2\ O_{2(g)} \text{ -----> } H_2O_{(g)}$ $\Delta H = -241,8$kJ

   ${}^1/_2\ H_{2(g)} + {}^1/_2\ Br_{2(g)} \text{ -----> } HBr_{(g)}$ $\Delta H = -8700$ kkal

   Berapa kkal Δ H reaksi dari :

   $N_2H_{4(l)} + 2\ Br_{2(g)} \text{ -----> } N_{2(g)} + 4\ HBr_{(g)}$?

7. Dengan menggunakan data pada tabel 8.1., tentukanlah Δ H dari reaksi :



8. Apa yang kamu ketahui tentang energi bebas (G) ?
   Jelaskan

9. Hidrazin yang digunakan sebagai kemampuan pada bahan bakar roket, dengan hidrogen peroksida bereaksi menurut :

   $N_2H_{4(l)} + 2\ H_2O_{2(l)}$ ------> $N_{2(g)} + 4\ H_2O_{(g)}$

   Tentukanlah :

   a. Δ H reaksi tersebut !

   b. Δ H reaksi bila telah dircaksikan 25,5 mol N_2H_4 dan H_2O_2 secukupnya!

10. Suatu gas alam terdiri dari 82,8% CH_4, 16,3% C_2H_6 dan 0,9 % gas lain yang tidak dapat terbakar. Hitunglah banyaknya panas yang terjadi jika 100 liter gas tersebut (0° C dan 1 atm) dibakar sempurna.

    Δ H pembentukan $CO_{2(g)}$ = -94,1 $^{kkal}/_{mol}$

    Δ H pembentukan $H_2O_{(l)}$ = -68,3 $^{kkal}/_{mol}$

    Δ H pembentukan $CH_{4(g)}$ = -17,9 $^{kkal}/_{mol}$

    Δ H pembentukan $C_2H_{6(g)}$ = -20,2 $^{kkal}/_{mol}$

11. Reaksi eksoterm adalah ..... dan harga ΔH untuk reaksi eksoterm adalah .....

12. Entalpi pembakaran adalah .....

13. Bila panas reaksi adalah + a kkal, maka harga Δ H reaksi tersebut adalah ..... kkal

14. Entropi berbanding lurus dengan .....

15. Bila panas yang diberikan makin kecil, maka harga entropi semakin .....

16. Pada suatu reaksi yang berlangsung pada suhu tetap ternyata didapatkan bahwa harga Δ S > Δ H. Jadi reaksi itu berlangsung secara .....

8.6.2. Pilihan ganda

1. Energi atomisasi CH_4 adalah 397,2 kkal/mol, maka energi ikatan rata-rata C-H adalah
   a. 99,3 $^{kkal}/_{mol}$
   b. 198,6 $^{kkal}/_{mol}$
   c. 297,9 $^{kkal}/_{mol}$
   d. 397,2 $^{kkal}/_{mol}$
   e. 496,5 $^{kkal}/_{mol}$

2. Suatu reaksi dapat dikatakan termasuk reaksi eksoterm, jika pada reaksi tersebut terjadi perpindahan panas dari :
   a. sistem ke lingkungan
   b. sistem ke sistem
   c. lingkungan ke sistem
   d. reaksi ke sistem
   e. lingkungan ke reaksi

3. Untuk menguraikan 17 gram $NH_{3(g)}$ (Mr = 17) menjadi unsur-unsurnya diperlukan energi sebesar 11 kkal, maka perubahan entalpi pembentukan $NH_{3(g)}$ adalah
   a. + 11 $^{kkal}/_{mol}$
   b. -11 $^{kkal}/_{mol}$
   c. -22 $^{kkal}/_{mol}$
   d. -22 $^{kkal}/_{mol}$
   e. -11/17 $^{kkal}/_{mol}$

4. Diketahui reaksi-reaksi :

   $2C_{(s)} + O2_{(g)}$ -----> $2\ CO_{(g)}$ $\Delta H = -A$ kkal

   $CO_{(g)} + 1/2\ O2_{(g)}$ -----> $CO_{2(g)}$ $\Delta H = -B$ kkal

   $C_{(s)} + O2_{(g)}$ -----> $CO_{2(g)}$ $\Delta H = -C$ kkal

   Menurut hukum Hess, yang memenuhi syarat adalah
   a. C = A + B
   b. B = A + C
   c. C = A + 2B
   d. 2C = A + 2 B
   e. A = C - 2B

5. Simbol untuk entropi adalah
   a. H
   b. U
   c. E
   d. S
   e. G

6. Contoh proses spontan adalah :
   a. air mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah
   b. panas merambat dari benda yang suhunya tinggi ke yang suhunya lebih rendah
   c. spirtus terbakar
   d. air membeku
   e. a, b, c benar

7. Perubahan energi bebas didefinisikan sebagai

   a. $G = H - TS$
   b. $E = mc^2$
   c. $\Delta U = q + w$
   d. $\Delta G = \Delta H - T.\ \Delta S$
   e. $\Delta H = H_1 - H_2$

8. Diketahui $6\ H_{(g)} + 2\ N_{(g)} \text{----> } 2\ NH_{3(g)}\ \Delta H = -560{,}6$ kkal

   Energi ikatan rata-rata N-H adalah :

   a. 560,6 kkal
   b. 280,3 kkal
   c. 140,15 kkal
   d. 140,25 kkal
   e. 93,43 kkal

9. Pada reaksi eksoterm :

   a. Sistem kehilangan energi
   b. suhu lingkungan naik
   c. Δ H reaksi negatif
   d. a dan c benar
   e. a, b, dan c benar

10. Dari reaksi :

    $2\ C_2H_{2(g)} + 5\ O_{2(g)} \text{------> } 4\ CO_{2(g)} + 2\ H_2O_{(l)}\ \Delta H = -674$ kkal, maka harga perubahan entalpi tersebut diatas menunjukkan

    a. Δ H pembentukan C_2H_2
    b. Δ H pembentukan CO_2
    c. Δ H pembentukan H_2O
    d. Δ H pembakaran C_2H_2
    e. Δ H reaksi C_2H_2 dengan O_2