



NERACA ENTALPI UNTUK PENENTUAN NILAI KALOR PADA BERBAGAI JINTAN HITAM

A. Aliyatulmuna^{1*}, H.W. Wijaya², M. Murti³, M. Rafli⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Malang

Diterima: 18 Februari 2022 Direvisi: 15 April 2022 Diterbitkan : 05 Juli 2022

ABSTRACT

The application of the enthalpy balance in solving the calorific value calculation has substituted the application of equation of $\Delta U = m(C)(\Delta T)$. The energy balance refers to (accumulation) = (total energy entering the system) - (total energy leaving the system) + (heat entering the system) - (work done by the system) + (work to enter mass into the system) - (work to remove mass of the system), which produces an enthalpy balance of $\Delta H_1 m_1 = \Delta H_2 m_2$ generating several assumptions. The assumptions include: first, the system is in a steady state condition; second, the system work (W) is quite small; and third, neglect $(\Delta ng)RT$ results in internal energy (ΔU) of the nickel wire, having a value almost equal to the enthalpy from the oxidation reaction of the nickel wire. The application of the enthalpy balance requires data on the enthalpy of combustion from a standard material, such as benzoic acid. The result of the enthalpy balance is the positive capacity of the bomb calorimeter. In determining the heat of a material, the enthalpy balance equation requires the value of the calorimeter capacity. This experiment examines the calorific value of black cumin in the form of oil, seeds, and a mixture with 20% coconut oil. The test results indicate that black cumin oil has the highest calorific value, which is in accordance with the referred literature reporting that black cumin oil has a high calorific value, while dried black cumin or seeds and palm oil have a similarly low calorific value.

Keywords: black cumin oil, bomb, calorimeter, enthalpy balance

PENDAHULUAN

Pada bahasan Hukum Pertama Termodinamika, nilai kalor suatu bahan yang dihitung secara kalorimetri menggunakan persamaan $\Delta U = m(C)(\Delta T)$ dengan C adalah kapasitas kalor (Elliott & Lira 2012).

Bom yang terpasang dalam kalorimeter merupakan tempat untuk membakar bahan uji. Bom kalorimeter memiliki nilai kapasitas kalor tertentu. Beberapa penelitian sebelumnya tidak menuliskan nilai kapasitas kalor dari bom kalorimeter (Kurniawan 2017; Kumar & Harish 2020).

Penelitian ini menghitung kapasitas kalor dari bom yang terpasang dalam kalorimeter sebelum menentukan nilai kalor dari bahan uji yaitu jintan hitam yang akan dibakar dalam bom. Pengujian nilai kalor suatu bahan uji dalam kalorimeter melibatkan beberapa komponen seperti bahan standar yang mudah terbakar, kawat nikel, larutan hasil pembakaran bahan, air rendaman bom, dan aliran listrik. Jika lebih dari satu komponen terlibat dalam proses pengujian kalor suatu bahan uji maka perhitungan nilai kalor dari bahan yang akan diuji menggunakan prinsip neraca energi (*energi*

*Correspondence Address

E-mail: adilah.aliyatulmuna.fmipa@um.ac.id

balance). Neraca energi memperhitungkan energi dalam (ΔU) serta tekanan sistem dan volume sistem $\Delta(pV)$. Pada persamaan neraca energi, nilai ΔH menggantikan nilai ΔU dan $\Delta(pV)$ melalui persamaan $\Delta(H) = \Delta(U) + \Delta(pV)$. Neraca energi menghasilkan neraca entalpi ($\Delta H_{\text{masuk}} = \Delta H_{\text{keluar}}$) yang diperoleh melalui beberapa pengasumsian seperti ketercapaian kondisi mantap, kondisi sistem adiabatik, dan kerja dari lingkungan menuju sistem yang nilainya kecil.

Neraca entalpi memerlukan nilai entalpi dari semua komponen yang terlibat dalam pembakaran dengan kalorimeter. Contohnya, bahan standar asam benzoat memiliki nilai entalpi pembakaran sebesar -6318 kalori/g. Kawat nikel memiliki nilai energi-dalam sebesar 1400 kalori/g (atau 2,3 kalori/cm) (Parr Instrument Co 2016). Perubahan jumlah mol gas $\Delta(n_g)$ yang kecil terjadi pada reaksi oksidasi kawat nikel. Oleh karena itu, energi-dalam dari kawat nikel memiliki nilai hampir sama dengan entalpi dari reaksi oksidasi kawat nikel. Perhitungan kalor dari suatu bahan uji memanfaatkan nilai entalpi dari kedua bahan di atas. Nilai entalpi bahan standar yaitu asam benzoat menghasilkan kapasitas kalor bom yang nilainya positif. Selanjutnya, neraca entalpi menggunakan kapasitas kalor dari bom kalorimeter untuk memperoleh kalor dari bahan yang diuji ($q = \Delta U$). Entalpi melalui persamaan $\Delta(H) = \Delta(U) + \Delta(n_g)RT$ dengan

pengasumsian bahwa nilai $\Delta(n_g)$ dari bahan yang diuji yang dibandingkan dengan $\Delta(H)$ dan $\Delta(U)$ dari reaksi pembakaran bahan adalah kecil.

Eksperimen ini akan menentukan nilai kalor dari berbagai jintan hitam yaitu jintan hitam minyak, jintan hitam serbuk, dan jintan hitam yang bercampur dengan 20% minyak kelapa melalui persamaan neraca entalpi. Selain nilai kalor, indeks bias dari jintan hitam juga ditentukan.

METODE PENELITIAN

Pengujian kalor jintan hitam dilakukan dengan kalorimeter tipe 1341. Kalorimeter terdiri dari tiga bagian utama dengan susunan mulai dari bagian paling luar ke bagian paling dalam yaitu jaket, ember, lalu bom. Bom merupakan tempat berlangsungnya proses pembakaran. Mula-mula kapasitas kalor dari bom ditentukan dengan bahan standar berupa asam benzoat seberat ± 1 gram. Asam benzoat diletakkan pada mangkuk sampel dalam bom. Kawat nikel dengan panjang 10 cm dipasang dalam bom dan diatur hingga bagian tengah kawat nikel menyentuh bagian permukaan asam benzoat yang telah terletak pada mangkuk sampel. Kedua ujung dari kawat nikel disambungkan ke pemantik listrik. Bom diisi oksigen hingga tekanan 20 atm.

Bom dimasukkan ke ember yang telah diisi air sebanyak 2 liter. Ember yang telah

dilengkapi dengan termometer dan pengaduk dimasukkan ke jaket. Jaket beserta ember dan bom ditutup dengan penutup. Bom dialiri listrik sebesar 4 ampere dan 23 volt selama 0,5 detik. Aliran listrik menyulut pembakaran keseluruhan asam benzoat dan sebagian kawat nikel dalam bom. Pembakaran ditunjukkan oleh kenaikan suhu air dalam ember melalui pembacaan skala termometer. Skala termometer dicatat tiap menit. Pembakaran selesai saat suhu air konstan. Setelah suhu air konstan, tutup kalorimeter dibuka dan sisa gas oksigen dibuang dari bom. Kawat nikel sisa atau yang tidak terbakar diukur panjangnya (Sumari 2019).

Pada pengukuran nilai kalor jintan hitam, mula-mula jintan hitam ditimbang

kemudian jintan hitam diletakkan dalam mangkuk sampel. Kawat nikel disentuhkan di atas sampel. Selanjutnya dilakukan pembakaran terhadap jintan hitam seperti pada pembakaran asam benzoat. Penentuan nilai kalor jintan hitam dilakukan secara triplo. Jintan hitam juga diukur indeks biasanya dengan refraktometer pada suhu ruangan yaitu 25,5 °C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persamaan (1) merupakan persamaan neraca energi sedangkan persamaan (2) adalah persamaan dari hukum pertama termodinamika. Persamaan (2) yang mensubstitusi persamaan (1) menghasilkan persamaan (3).

$$akumulasi = (U_1 + K_1 + P_1)m_1 - (U_2 + K_2 + P_2)m_2 + Q + W + (p_1V_1)m_1 - (p_2V_2)m_2 \quad (1)$$

$$(U_2m_2 - U_1m_1) = (H_2m_2 - H_1m_1) - ((p_2V_2)m_2 - (p_1V_1)m_1) \quad (2)$$

Persamaan (3) merupakan bentuk lain dari persamaan (2)

$$(U_1m_1 - U_2m_2) = (H_1m_1 - H_2m_2) + ((p_2V_2)m_2 - (p_1V_1)m_1) \quad (3)$$

Persamaan (1) yang disubstitusi oleh persamaan (3) menghasilkan persamaan (4)

$$akumulasi = (H_1 + K_1 + P_1)m_1 - (H_2 + K_2 + P_2)m_2 + Q + W \quad (4)$$

dengan K dan P masing-masing adalah energi kinetik dan energi potensial

Persamaan (4) menggunakan beberapa asumsi untuk menghasilkan sebuah neraca entalpi. Asumsi-asumsi tersebut adalah pertama, sistem dalam bom pada kalorimeter berada dalam kondisi *steady-state* atau dalam keadaan mantap yang mengakibatkan keseragaman kondisi sistem di awal dan di

akhir proses pembakaran di rentang waktu tertentu. Oleh karenanya, sistem tidak mengalami akumulasi atau akumulasi sistem adalah nol. Kedua, sistem dalam bom pada kalorimeter memiliki kondisi adiabatik atau tidak terjadi pertukaran panas antara sistem dan lingkungannya sehingga $Q = 0$ (Felder

menjadi sebesar 459 kal/(g °C) atau 453 kalimeter tipe Parr 1341 memiliki rentang kal/°C untuk 0,9875 g asam benzoat yang 410 sampai dengan 430 kal/°C (Parr terbakar. Hasil perhitungan ini sesuai dengan Instrument Co. 2016). literatur bahwa kapasitas kalor bom dari

Tabel 2. Neraca Entalpi untuk Penentuan Nilai Kalor Jintan Hitam Minyak

| Komponen | H ₁ | m ₁ | H ₂ | m ₂ | H ₁ m ₁ | H ₂ m ₂ |
|---------------------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Jintan hitam minyak | *X1 kal/ g | 2,0179 g | X1 kal/ g | 0 | (2,0179X1) kal | 0 |
| Kawat nikel | 2,3 kal/cm | 10 cm | 2,3 kal/cm | 0,9 cm | 23 kal | 2,07 kal |
| Air di ember | 1 kal/(g °C) 25,243 °C | 2000 g | 1 kal/(g °C) 33,569 °C | 2000 g | 50486 kal | 67138 kal |
| Bom | 453 kal/(°C) 25,243 °C | - | 453 kal/(°C) 33,569 °C | - | 11435 kal | 15206 kal |
| | | | | | + + | |
| | | | | | (61944 + (2,0179X1)) kal | 82346,827 kal |

*X1 = kalor jintan hitam uji ke-1

Berdasarkan Tabel 2, persamaan neraca entalpi $H_1m_1 = H_2m_2$ menghasilkan $(61944 + 2,0179X1) = 82346,827$. Hasil dari persamaan neraca entalpi ini memberikan nilai X1 atau nilai kalor jintan hitam minyak uji ke-1 yang sebesar 10110 kal/g.

Persamaan (7) merupakan bentuk linear dari persamaan (5).

$$\Sigma(H_1m_1 - H_2m_2) = 0 \quad (7)$$

Persamaan (8) merupakan penguraian dari persamaan (7). Persamaan (8) melibatkan banyak komponen pada persamaan neraca entalpi untuk penentuan nilai kalor jintan hitam minyak.

$$\{X1 \text{ kal/g} \cdot (2,0179 \text{ g} - 0)\}_{\text{jintan hitam minyak}} - (8) \\ \{2,3 \text{ kal/cm} \cdot (10 \text{ cm} - 0,9 \text{ cm})\}_{\text{kawat nikel}} \\ + \{1 \text{ kal/(g}^\circ\text{C)} \cdot (25,243 \text{ }^\circ\text{C} - 33,569 \text{ }^\circ\text{C}) \\ \cdot 2000 \text{ g}\}_{\text{air}} + \\ \{(453 \text{ kal/}^\circ\text{C)} \cdot (25,243 \text{ }^\circ\text{C} - 33,569 \\ \text{ }^\circ\text{C})\}_{\text{bom}} = 0$$

X1 dari persamaan (8) menghasilkan nilai kalor jintan hitam minyak uji ke-1 sebesar 10110 kal/g.

Selanjutnya, Tabel 3 menyajikan neraca entalpi dari jintan hitam minyak, neraca entalpi jintan hitam serbuk, dan neraca entalpi campuran jintan hitam minyak – 20% minyak kelapa sawit.

Tabel 3. Neraca Entalpi Jintan Hitam Minyak, Jintan Hitam Serbuk, dan Campuran 20% Minyak Kelapa Sawit

| Bahan Uji | $\Sigma(H_1m_1 - H_2m_2)$ | | | | | | |
|----------------------------------|--|---|---|---|---|-----------|---|
| | $(H_1m_1 - H_2m_2)_{\text{jintan hitam}}$ dalam satuan kalori | | $(H_1m_1 - H_2m_2)_{\text{kawat}}$ dalam satuan kalori | | $(H_1m_1 - H_2m_2)_{\text{air}}$ dalam satuan kalori | | $(H_1m_1 - H_2m_2)_{\text{bom}}$ dalam satuan kalori |
| | Nilai Entalpi Bahan | (Massa awal - massa akhir) _{bahan} | Nilai Entalpi Kawat | (Panjang awal - panjang akhir) _{kawat} | Nilai Entalpi Air dalam Ember | Massa air | kalori |
| Jintan Hitam Minyak | X2* | (1,0034-0) g | 2,3 kal/cm | (10-1) cm | 1 kal/g°C (25,243-33,569)°C | 2000 g | 453 kal/°C (25,243-33,569)°C |
| | X3* | (1,0034-0) g | 2,3 kal/cm | (10-1,1) cm | 1 kal/g°C (26,046-30,024)°C | 2000 g | 453 kal/°C (26,046-30,024)°C |
| | X1* | (1,0049-0) g | 2,3 kal/cm | (10-0,6) cm | 1 kal/g°C (25,358-28,133)°C | 2000 g | 453 kal/°C (25,358-28,133)°C |
| Jintan Hitam Serbuk | X2* | (1,0037-0) g | 2,3 kal/cm | (10-1,3) cm | 1 kal/g°C (27,675-30,448)°C | 2000 g | 453 kal/°C (27,675-30,448)°C |
| | X3* | (1,0008-0) g | 2,3 kal/cm | (10-1,1) cm | 1 kal/g°C (25,710-28,440)°C | 2000 g | 453 kal/°C (25,710-28,440)°C |
| Campuran dengan 20% minyak sawit | X1* | (1,0043-0) g | 2,3 kal/cm | (10-1) cm | 1 kal/g°C (26,027-29,923)°C | 2000 g | 453 kal/°C (26,027-29,923)°C |
| | X2* | (1,0019-0) g | 2,3 kal/cm | (10-1,1) cm | 1 kal/g°C (28,860-32,726)°C | 2000 g | 453 kal/°C (28,860-32,726)°C |

| | | | | | |
|-------|------------|--------|----------|-----------------------|---------------------------------|
| X3* | (1,0066-0) | 2,3 | (10-0,9) | 1 kal/g°C | 453 kal/°C |
| kal/g | g | kal/cm | cm | (26,744- 30,698)°C | 2000 g (26,744- 30,698)°C |

*Xi = uji ke-i

Tabel 3 tidak memperhitungkan neraca entalpi dari larutan cucian hasil pembakaran. Larutan cucian hasil pembakaran memiliki nilai entalpi sebesar 1 kal/mL. Nilai entalpi ini lebih kecil dibandingkan nilai entalpi komponen bahan (jintan hitam) maupun komponen kawat nikel. Neraca entalpi untuk menentukan entalpi jintan hitam mengabaikan entalpi komponen larutan cucian hasil pembakaran.

Bahan uji yang berupa jintan hitam memiliki nilai entalpi (ΔH) yang mendekati nilai energi-dalam (ΔU) dengan

pengasumsian bahwa nilai $\Delta n_g RT$ kecil. Sementara itu, pada sistem bom kalorimeter (sistem volume konstan), energi-dalam memiliki nilai yang sama dengan dengan kalor. Oleh karenanya, jintan hitam yang dibakar dalam sistem volume konstan atau dibakar dalam bom yang terpasang pada kalorimeter menghasilkan energi-dalam yang nilainya sama dengan kalor. Tabel 4 menunjukkan kalor rata-rata dari jintan hitam minyak, serbuk, dan campuran jintan hitam minyak - 20% minyak kelapa sawit.

Tabel 4. Kalor Rata-rata Jintan Hitam Minyak, Jintan Hitam Serbuk, dan Campuran 20% Minyak Kelapa Sawit

| Jintan Hitam | Kalor (kalori/g) |
|---|--|
| Minyak | $(X1 + X2 + X3)/3 = (10110 + 20333 + 9704)/3 = 13382$ kalori/g |
| Serbuk | $(X1 + X2 + X3)/3 = (6752 + 6757 + 6670)/3 = 6726$ kalori/g |
| Campuran jintan hitam minyak dengan 20 % minyak sawit | $(X1 + X2 + X3)/3 = (9481 + 9444 + 9615)/3 = 9513$ kalori/g |

Jintan hitam minyak memiliki nilai kalor terbesar yaitu 13382 kal/g yang dibandingkan dengan kalor dari jintan hitam serbuk maupun kalor dari jintan hitam minyak yang bercampur dengan minyak kelapa sawit. Hal

ini sesuai dengan penelitian dari Gökdoğan dkk. (2015) yang menyatakan bahwa jintan hitam minyak memiliki nilai kalor lebih besar, yaitu 9639 kal/g, dibandingkan jintan hitam biji yaitu 6320 kal/g. Kalor yang

merupakan besaran untuk menyatakan energi dari jintan hitam merupakan kalor dari karbohidrat, protein, lemak, dan alkohol (Health 1989). Sementara itu, lemak yang terkandung dalam jintan hitam dapat terekstrak ketika jintan hitam berada di fasa minyak (Hewavitharana dkk. 2020).

Pada Tabel 4, jintan hitam minyak yang bercampur dengan minyak kelapa sawit memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan jintan hitam minyak. Jintan hitam minyak memiliki kandungan lemak terbesar diantara minyak kelapa sawit, minyak kacang tanah, dan minyak nimba (Jalil dkk. 2019). Menurut Chin dkk. (2015), minyak kelapa sawit memiliki nilai kalor yang sama rendah dengan jintan hitam biji.

Pada pengukuran indeks bias dari jintan hitam di suhu 25,5 °C, jintan hitam minyak memiliki indeks bias sebesar 1,473 sedangkan jintan hitam minyak yang bercampur dengan 20% minyak kelapa sawit memiliki indeks bias sebesar 1,471. Penurunan indeks bias campuran jintan hitam minyak - 20% minyak kelapa sawit sesuai data Thomas dkk. (2015) bahwa jintan hitam minyak memiliki indeks bias lebih tinggi dibandingkan minyak kelapa sawit yaitu 1,4721 yang dibandingkan dengan 1,4550.

KESIMPULAN

Penentuan nilai kalor suatu bahan uji yang dilakukan dalam bom yang terpasang pada kalorimeter melibatkan banyak

komponen. Neraca entalpi dengan banyak komponen $\Sigma(H_1m_1 - H_2m_2)$ menggunakan beberapa pengasumsian terhadap neraca energi. Neraca entalpi yang digunakan dalam penentuan nilai kalor dari jintan hitam bentuk minyak, jintan hitam bentuk serbuk, dan campuran 20% minyak kelapa sawit menghasilkan masing-masing nilai kalor yang sesuai dengan literatur. Neraca entalpi dapat digunakan dalam penentuan nilai kalor dari suatu bahan uji.

DAFTAR PUSTAKA

- Chin, K. L., Paik San, H., Kyin, E., Lee, S. H., Chen, L., & Yee, C. (2015). Yield and Calorific Value of Bio Oil Pyrolysed from Oil Palm Biomass and its Relation with Solid Residence Time and Process Temperature. *Asian Journal of Scientific Research* 8(3):351–358
- Elliott, J.R., & C.T. Lira (2012). *Introductory Chemical Engineering Thermodynamics*. New York: Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences. Pearson Education
- Felder, R. M., Rousseau, R. W., & Bullard, L. G. (2020). *Elementary Principles of Chemical Processes*. NJ: Wiley
- Gökdoğan, O., Eryilmaz, T., & Yesilyurt, M.K. (2015). Determination of Energy Use Efficiency of Nigella sativa L. (Black Seed) Oil Production.

- A. Aliyatulmuna, H.W. Wijaya, M. Murti, M. Rafli/ *Edumatsains* 7 (1) (2022) 11-20
- American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 15 (1):01-07
- Health, N. R. C. (US) C. on Diet (1989). *Calories: Total Macronutrient Intake, Energy Expenditure, and Net Energy Stores*. National Academies Press (US).
- Hewavitharana, G. G., Perera, D. N., Navaratne, S. B., & Wickramasinghe, I. (2020). Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: A review. *Arabian Journal of Chemistry* 13(8):6865–6875
- Jalil, M., Yeasmin, S., Akter, N., Rahim, M., & Mondol, M. M. (2019). Investigation of fatty acids composition of four different seed's oil (Peanut, Neem, Coconut and Nigella) grown in Bangladesh and its pharmacological and physiological role in human body. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences* 9(4):233–242
- Kumar, P., & Harish, H. (2020). Experimental Investigation on Injection Parameters by varying Compression Ratio Using Fish Oil Biodiesel in Diesel Engine. *International Journal for Ignited Minds (IJIMIINDS)* 2(1):12-20
- Kurniawan, H. (2017). Analisis Pengaruh Kandungan Logam Berat Terhadap Energi Pembakaran Batubara. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro* 1(2):121-128
- Parr Instrument Co. instruction manual 205. (2016)
- Sumari (2019). *Petunjuk Praktikum Kimia Fisika*. Universitas Negeri Malang.
- Thomas, A., Matthäus, B., & Fiebig, H.-J. (2015). Fats and Fatty Oils. In Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA (Ed.), *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (pp. 1–84). Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

