

Aplikasi Koreksi Newton pada Kondisi Suhu Lingkungan Lebih Besar daripada Suhu Kalorimeter (Kasus Penentuan Kalor Lebur Es)

Nani Yuningsih¹, Sardjito²

¹Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : nani.yuningsih@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : sardjito@polban.ac.id

ABSTRAK

Menurut Azas Black, dalam suatu sistem yang tersekat, pada saat terjadi pertukaran kalor maka berlaku konservasi energi yaitu jumlah kalor yang dilepaskan oleh satu atau lebih benda sama dengan jumlah kalor yang diterima benda lain dalam sistem tersebut. Dengan kata lain efisiensi pertukarannya adalah 100 %. Namun, menurut fakta nyata dari hasil praktik yang dilakukan mahasiswa, pada umumnya angka 100 % ini jarang tercapai. Hal ini disebabkan oleh adanya sejumlah energi yang terserap oleh lingkungan jika suhu lingkungan lebih rendah daripada suhu sistem yang diamati atau energi tambahan dari lingkungan jika suhu lingkungan lebih tinggi daripada suhu sistem yang diamati. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki hasil pembuktian Azas Black pada proses pertukaran kalor yang melibatkan perubahan suhu dan perubahan wujud zat, dalam bentuk penentuan kalor lebur es secara eksperimen, kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil sesungguhnya menurut berbagai literatur. Perbaikan proses dilakukan melalui perhitungan koreksi Newton terhadap suhu yang terukur karena adanya pengaruh suhu lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa eksperimen penentuan kalor lebur es dengan koreksi Newton yang dilakukan di Laboratorium Fisika Politeknik Negeri Bandung mencapai hasil yang lebih signifikan dengan simpangan relatif 0,3% dibanding penentuan kalor lebur es tanpa koreksi Newton dengan simpangan relatif 2,5%.

Kata kunci:

Koreksi Newton, kalor lebur es, pertukaran kalor

1. PENDAHULUAN

Pada proses pertukaran kalor dalam suatu sistem yang tersekat berlaku Azas Black. Azas Black menyatakan “Jika dua benda dengan suhu yang berbeda dicampur, maka benda yang suhunya lebih tinggi akan memberikan kalor pada benda yang suhunya lebih rendah sehingga suhu akhir keduanya menjadi sama”. Hal ini terjadi, karena jumlah kalor yang diserap (Q_{serap}) oleh benda yang suhunya lebih rendah sama dengan jumlah kalor yang dilepaskan (Q_{lepas}) benda bersuhu lebih tinggi [1], sehingga

$$Q_{lepas} = Q_{serap} \quad (1)$$

Kalor yang berkaitan dengan perubahan suhu, besarnya adalah

$$Q = m c \Delta T \quad (2)$$

dengan m adalah massa benda, c adalah kalor jenis benda, dan ΔT adalah perubahan suhu yang terjadi.

Pernyataan suhu lebih tinggi atau lebih rendah menyiratkan pengertian besar atau kecilnya kandungan energi di dalam benda, sekaligus mengandung pengertian wujud benda gas, cair, atau padat. Pada titik suhu dan tekanan perubahan wujud, kalor yang diserap atau dilepaskan akan digunakan untuk mengubah wujud benda. Besarnya kalor yang berhubungan dengan

perubahan wujud bergantung pada massa benda (m_e) dan nilai kalor transformasi atau kalor laten:

$$Q = m_e L \quad (3)$$

dengan L menyatakan kalor laten yang dapat berupa kalor peleburan, kalor penguapan, atau kalor sublimasi.

Untuk memahami konsep konversi energi secara utuh, maka perlu dilakukan pengujian percobaan, baik untuk menentukan besarnya kalor yang diserap maupun yang dilepaskan. Pada saat menentukan besar kalor, perlu dihitung secara pasti, besar perubahan suhu benda. Perubahan suhu benda yang dimaksud bukan hanya perubahan suhu yang terukur, karena suhu benda berbeda dengan suhu lingkungan. Suhu yang terukur tidak otomatis menyatakan suhu fisik kalorimeter, karena suhu terukur merupakan resultan suhu kalorimeter dengan pengaruh laju pendinginan atau pemanasan oleh lingkungan yang suhunya lebih rendah atau lebih tinggi dari pada suhu kalorimeter. Karena itulah perlu dilakukan koreksi terhadap suhu kalorimeter. Suhu benda yang terukur oleh termometer merupakan suhu benda yang sudah dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Sementara yang digunakan untuk menghitung kalor adalah suhu benda yang tidak terpengaruh oleh suhu lingkungan. Dalam hal ini perlu diperhitungkan koreksi suhu yang mengikuti Hukum Newton untuk laju pendinginan atau pemanasan pada

saat menghitung kalor. Koreksi Newton adalah suatu cara untuk melakukan koreksi pengaruh suhu lingkungan terhadap suhu benda pada saat suhu benda lebih besar atau lebih kecil daripada suhu lingkungan[2].

Penentuan koreksi Newton dilakukan dengan mengamati suhu benda, tidak hanya sesaat setelah percobaan selesai, namun juga beberapa saat sesudah percobaan selesai. Bentuk formulasi kebergantungan suhu benda terhadap waktu karena adanya pengaruh suhu lingkungan yang lebih tinggi atau lebih rendah dari pada suhu benda mengikuti perhitungan koreksi Newton yang telah diteliti sebelumnya[3]. Koreksi Newton untuk kondisi suhu lingkungan yang lebih rendah dari suhu sistem sudah diaplikasikan pada eksperimen Tara Kalor Mekanik dan Hukum Joule [4, 5]. Selanjutnya dalam penelitian ini dilakukan eksperimen Penentuan Kalor Lebur Es dengan suhu sistem yang diamati berada pada keadaan lebih rendah dari pada suhu lingkungan, yang kemudian juga diaplikasikan koreksi Newton padanya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimen, yakni eksperimen penentuan kalor lebur es yang menggunakan kalorimeter dengan berdasarkan pada azas Black. Hasil pengukuran dari eksperimen tersebut diolah dengan analisis perhitungan azas Black tanpa koreksi pengaruh suhu lingkungan serta perhitungan dengan pengaruh suhu lingkungan.

Percobaan dilakukan di Laboratorium Fisika Politeknik Negeri Bandung dengan peralatan seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peralatan Percobaan Penentuan Kalor Lebur Es

Kalorimeter yang digunakan adalah kalorimeter aluminium, yang bermassa 53,0 gram dan dilengkapi pengaduk bermassa 10,0 gram. Air yang menempati kalorimeter berjumlah 161,0 gram dan es yang dicampurkan berjumlah 20,0 gram dengan waktu pengamatan 480 sekon.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pertukaran kalor dilakukan di dalam wadah yang disebut kalorimeter. Kalorimeter beserta piranti lain (pengaduk, termometer) ditempatkan dalam wadah dan penutup yang berfungsi sebagai penyekat sehingga dapat mencegah perpindahan kalor dari atau ke lingkungan. Namun penyekatan ini bagaimanapun tidak bisa sempurna, sehingga masih ada pengaruh lingkungan terhadap proses pertukaran kalor.

Karena bahan pembuat kalorimeter bukan penyekat sempurna, maka kalorimeter pun bisa menyerap atau melepaskan kalor. Jumlah kalor yang diserap atau dilepaskan oleh kalorimeter beserta seluruh piranti pendukungnya disebut kapasitas panas atau harga air (*water equivalence*). Jika parameter fisis (massa, kalor jenis) kalorimeter beserta piranti pendukungnya dapat diukur, maka nilai kapasitas panasnya/kalornya dapat dihitung sebagai:

$$H_K = (m_K c_K + m_P c_P) \quad (4)$$

dengan m_K adalah massa kalorimeter, c_K adalah kalor jenis bahan kalorimeter, m_P adalah massa piranti pendukung, dan c_P adalah kalor jenis bahan piranti pendukung.

Untuk kalorimeter yang *built in* dengan penyekatnya, seperti bejana Dewar, penentuan kapasitas panasnya tak dapat dihitung dengan cara seperti persamaan (4); namun ditentukan melalui percobaan, diantaranya menggunakan Percobaan Hukum Joule, metode penambahan air panas terhadap air dingin, serta metode penempatan kalorimeter dalam oven adiabatik [6].

3.1 Eksperimen Penentuan Kalor Lebur Es

Ketika panas ditambahkan pada suatu zat, atau diambil dari zat tersebut, terdapat dua kemungkinan yang terjadi pada zat tersebut. Pertama terjadi perubahan suhu, dan kedua terjadi perubahan wujud. Pada saat terjadi perubahan wujud, suhu zat akan konstan.

Dalam penelitian ini, es dengan massa e , yang diasumsikan berada pada suhu leburnya yakni 0°C (tekanan 70 cmHg) dicampurkan dengan air cair yang bermassa m dan bersuhu T_0 . Pencampuran terjadi dalam kalorimeter seperti yang disebutkan di atas.

Setelah semua es melebur menjadi air, suhu sistem menjadi T_A , yang dalam pengamatan suhu T_A ini merupakan suhu terendah selama proses percobaan.

Sesuai dengan persamaan (1), kalor yang dilepaskan oleh air dan kalorimeter adalah

$$Q_{lepas} = m c (T_0 - T_A) + H_K (T_0 - T_A) \quad (5)$$

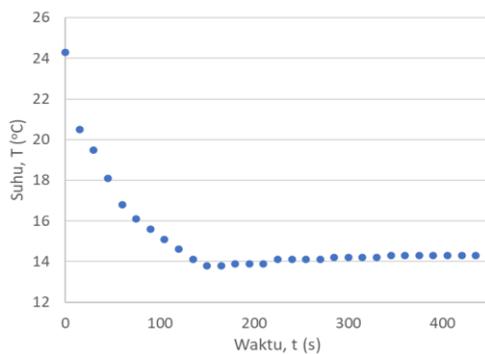
Sedang, kalor yang diterima oleh es adalah

$$Q_{serap} = eL + ec(T_A - 0) = eL + ecT_A \quad (6)$$

dan jika persamaan (5) dan (6) disamakan, maka diperoleh kalor peleburan es besarnya

$$L = \{(mc + H_K)(T_0 - T_A)/e\} - cT_A \quad (7)$$

Data percobaan diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik suhu (T) terhadap waktu (t) pada percobaan kalor lebur es

Dalam kalorimetri, meskipun seharusnya satuan besaran-besaran yang digunakan adalah satuan Sistem Internasional (SI), namun perhitungannya lebih mudah dinyatakan dalam satuan-satuan kalori untuk energi, gram untuk massa, serta °C untuk perbedaan suhu. Dari literatur, diketahui bahwa kalor jenis air besarnya 4186 joule/kg K, sama dengan 1,0 kalori/gram °C. Kalor jenis aluminium besarnya 897 joule/kg K, yang sama dengan 0,214 kalori/gram °C [1, 7].

Dari data percobaan, diperoleh suhu awal, $T_0 = 24,3$ °C. Harga T_0 ini sama dengan suhu ruangan atau lingkungan. Suhu akhir $T_A = 13,8$ °C, sehingga jika disubstitusikan pada persamaan (7), diperoleh nilai kalor peleburan es, $L = 77,8$ kalori/gram °C = $325,7 \times 10^3$ joule/kg K.

Sedang menurut literatur, nilai kalor peleburan es adalah $333,5 \times 10^3$ joule/kg K atau sama dengan 79,7 kalori/gram °C. Dengan demikian, penyimpangan hasil eksperimen dibandingkan terhadap nilai acuan rujukan literatur adalah 2,5 %.

3.2 Aplikasi Koreksi Newton untuk Menentukan Kalor Peleburan Es

Dari Gambar 2 terlihat bahwa setelah suhu sistem mencapai minimum ($T_A = 13,8$ °C, pada $t = 150$ s), maka dengan berjalannya waktu, terjadi kenaikan suhu meskipun sangat kecil hingga mencapai 14,3 °C pada $t = 345$ s sampai 480 s. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh dari lingkungan yang bersuhu lebih tinggi dari sistem yakni 24,3 °C. Dengan demikian, maka suhu terkecil pun ($T_A = 13,8$ °C) sesungguhnya sudah dipengaruhi oleh lingkungan. Ini berarti, bahwa jika tidak dipengaruhi oleh lingkungan, nilai suhu terkecil T_A yang sesungguhnya akan bernilai lebih kecil lagi misalnya sebesar T_{AK} dimana T_{AK} adalah nilai suhu terkecil terkoreksi yang dapat dihitung dengan menggunakan Koreksi Newton [2, 3, 8-10]:

$$T_{AK} = T_0 - (T_0 - T_A)e^{kt} \quad (8)$$

dengan k merupakan konstanta, dan t adalah tengat waktu antara kondisi suhu T_0 hingga T_A .

Nilai konstanta k dapat ditentukan dari proses saat terjadi kenaikan suhu yang murni karena pengaruh lingkungan yang dinyatakan dalam persamaan (9) [2], [3]:

$$k = \frac{\ln\left[\frac{S-T_1}{S-T_2}\right]}{t} \quad (9)$$

dengan S adalah suhu lingkungan, T_1 adalah suhu terkecil (13,8 °C), dan T_2 adalah suhu terbesar (14,3 °C) pada tengat waktu t selama proses pengaruh lingkungan murni, yakni dari $t = 150$ s hingga $t = 480$ s. Dengan persamaan (9) dapat dihitung bahwa nilai konstanta k adalah $18,1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, dan selanjutnya jika diterapkan pada persamaan (8), maka diperoleh suhu terkecil terkoreksi T_{AK} adalah 13,57 °C. Jika T_{AK} digunakan untuk menggantikan T_A pada persamaan (7), maka didapat nilai kalor peleburan es sebesar 80,04 kalori/gram °C, atau $335,05 \times 10^3$ joule/kg K. Dengan demikian, penyimpangan hasil eksperimen setelah dilakukan koreksi Newton dibandingkan terhadap nilai acuan yang merujuk pada literatur adalah 0,3 %.

Bila diringkaskan, maka hasil penentuan kalor peleburan es menggunakan eksperimen azas Black dalam kalorimeter, serta penyimpangan relatifnya terhadap nilai acuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil penentuan kalor peleburan es melalui eksperimen kalorimeter

Perlakuan	L_{es} (joule/kg K)	L_{es} (kalori/g °C)	Simpangan relatif (%)
Tanpa koreksi Newton	$325,70 \times 10^3$	77,80	2,5
Dengan koreksi Newton	$335,05 \times 10^3$	80,04	0,3

4. KESIMPULAN

Kalor peleburan es dapat ditentukan melalui eksperimen pertukaran kalor dalam kalorimeter yang didasarkan pada azas Black. Perlakuan koreksi Newton menghasilkan nilai kalor peleburan es yang lebih baik dibandingkan nilai yang dihasilkan tanpa koreksi Newton. Simpangan relatif nilai kalor peleburan es dengan koreksi Newton sebesar 0,3 % dan simpangan relatif nilai kalor peleburan tanpa koreksi Newton sebesar 2,5 %. Dengan demikian koreksi Newton perlu dilakukan bila terdapat perbedaan antara suhu lingkungan dengan suhu dalam kalorimeter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. B. Warrington and G. W. H. Höhne, "Thermal analysis and calorimetry," *Ullmann's Encycl. Ind. Chem.*, 2000.
- [2] S. Sardjito and N. Yuningsih, "Koreksi Suhu Kalorimeter sebagai Konsekuensi Laju Pendinginan oleh Suhu Lingkungan pada Percobaan Tara Kalor Mekanik," in *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 705–709.
- [3] Sardjito and N. Yuningsih, "Determination of object temperature influenced by ambient temperature as a solution of the law of cooling or heating rates," in *AIP Conference Proceedings*, 2021, vol. 2331, no. 1, p. 30022, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0041799>.
- [4] N. Yuningsih, K. H., and S. Sardjito, "Signifikansi Koreksi Newton untuk Memasukkan Pengaruh Lingkungan pada Percobaan Tarakalor Mekanik," 2019, doi: 10.21009/03.snf2019.02.pa.06.
- [5] N. Yuningsih, "Optimasi Besaran Fisis yang mempengaruhi Proses Konversi Energi (Studi Kasus Percobaan Tara Kalor Mekanik dan Hukum Joule)," in *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 2018, vol. 7, pp. SNF2018-PA.
- [6] S. Kenneth and R. H. Cole, "Heat Loss from Dewar Flasks," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 3, no. 11, pp. 684–686, 1932.
- [7] S. J. Henderson and R. J. Speedy, "Melting temperature of ice at positive and negative pressures," *J. Phys. Chem.*, vol. 91, no. 11, pp. 3069–3072, 1987.
- [8] M. Gockenbach and K. Schmidtke, "Newton's law of heating and the heat equation," *Involv. a J. Math.*, 2009, doi: 10.2140/involve.2009.2.419.
- [9] S. S. Sazhin, V. A. Gol'dshtein, and M. R. Heikal, "A transient formulation of Newton's cooling law for spherical bodies," *J. Heat Transfer*, 2001, doi: 10.1115/1.1337650.
- [10] J. L. Horst and M. Weber, "Joule's experiment modified by Newton's Law of Cooling," *Am. J. Phys.*, 1984, doi: 10.1119/1.13937.